



UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES  
INSTITUT DE PSYCHOLOGIE

Ecole Doctorale 261 « Cognition, Comportements, Conduites Humaines »

**Laboratoire de Psychologie du Développement et de l'Éducation de l'enfant  
(LaPsyDÉ), UMR 8240, CNRS**

**THÈSE**

Pour obtenir le grade de  
**DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES**  
Discipline : **Psychologie**  
Mention : **Psychologie du Développement**

---

# Prise de Risque à l'Adolescence : L'influence du niveau d'incertitude et du contexte socio-émotionnel

---

*Présentée et soutenue publiquement par*

**Anaïs OSMONT**

*Le 30 Novembre 2015*

*Thèse dirigée par le Pr. Sylvain MOUTIER et Mathieu CASSOTTI*

*Composition du jury :*

**CASSOTTI M.** – Maître de Conférences à L'Université Paris Descartes – Co-directeur de la thèse  
**ERNST M.** – Directrice de recherche au *National Institute Of Mental Health* (NIMH) - Rapporteur  
**HOUDÉ O.** – Professeur à l'Université Paris Descartes – Examineur  
**HUGUET P.** – Directeur de recherche CNRS - Examineur  
**MOUTIER S.** – Professeur à l'Université Paris Descartes – Directeur de la thèse  
**SANDER E.** – Professeur à l'Université Paris 8 – Rapporteur

# **Remerciements**

*L'utilisation de la première personne du pluriel plutôt que de la première personne du singulier dans la rédaction d'un travail de recherche apparaît évident à l'issue de trois années de thèse. Plus qu'une marque de modestie de la part du chercheur, le « nous » traduit la richesse du travail collaboratif. A travers ces quelques lignes, je tiens à remercier chaleureusement l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réalisation de cette thèse.*

*Mes premiers remerciements vont à Sylvain MOUTIER pour la confiance qu'il m'a accordée dès mes premiers pas à l'Université Paris Descartes et pour m'avoir laissé l'autonomie qui m'était nécessaire. Merci de m'avoir initié au domaine de la prise de décision et merci pour vos précieux encouragements à me lancer dans ce défi que représentait la thèse.*

*Merci à Mathieu CASSOTTI pour les échanges stimulants et le temps sans limite qu'il m'a consacré afin de me transmettre sa connaissance inébranlable de la littérature et sa passion pour la recherche. Merci pour ta patience, pour la mise en confiance perpétuelle dont tu as su faire preuve à mon égard. Bref, merci pour ne jamais avoir perdu de vue l'objectif de formation et de transmission pendant ces trois années de thèse. Mon amour propre m'a toujours refusé d'acquiescer lorsque tu affirmes à ton tour « nous faire grandir au quotidien », mais je dois l'avouer, tu n'as pas tout à fait tort...*

*Je souhaite également exprimer ma reconnaissance sincère à Olivier HOUDÉ qui, tel un chef d'orchestre, dirige notre cher laboratoire en générant autour de lui une ambiance de travail stimulante, chaleureuse et familiale. Nul doute que je ne pouvais trouver un cadre plus satisfaisant pour réaliser cette thèse.*

*Un immense merci aux membres du jury, Monique ERNST, Emmanuel SANDER et Pascal HUGUET pour leur expertise, le temps consacré à la lecture de ce travail, et pour me faire l'honneur de leur présence lors de ma soutenance de thèse.*

*Merci à ma co-équipière de choc, Claire Sara KRAKOWSKI, sans qui ce parcours de thèse n'aurait pas eu la même saveur. Ta présence pendant ces trois années aura été d'un immense soutien. Je jalouse déjà tes futur·e·s collègues Dijonnais·es.*

*Merci à Ania AÏTE et Marianne HABIB qui ont toujours su illustrer avec brio l'influence positive de l'expérience préalable des pairs. Vous avez toutes les deux représenté un modèle exemplaire et vos intégrations professionnelles respectives ne font pas exception. J'espère avoir la chance de suivre vos traces...*

*Et que dire de l'équipe des doctorants qui nous ont rejoint en force l'an passé. Emmanuel AHR, Anaëlle CAMARDA, Darren FREY, Adriano LINZARINI, Cloélia TISSIER, votre dynamisme, votre joie de vivre et les débats enflammés dont vous êtes initiateurs ont su illuminer notre bureau. Merci pour votre soutien et tous vos petits post-it qui me donnaient la pêche dès mon arrivée au laboratoire.*

*Merci à l'ensemble des membres du laboratoire, Marine AGOGUÉ, Bence BAGO, Arnaud CACHIA, Amélie LUBIN, Arlette PINEAU, Céline LANOE, Grégoire BORST, Marine BUON, Julien HAY, Katell MEVEL, Margot ROËLL, Grégory SIMON, Julie VIDAL, Nicolas POIREL, Sandrine ROSSI, Arnaud VIAROUGE et Wim DE NEYS, pour l'ambiance chaleureuse dont j'ai bénéficié, notamment lors des déjeuners quotidiens, théâtres de débats animés sur des questionnements scientifiques ou parfois plus dérisoires sous le regard bienveillant de Jean Piaget.*

*Merci à Julie VIDAL, Grégory SIMON et Gaétan DELORME pour leur aide précieuse dans la programmation e-prime de la BART et la résolution des déboires propres à cette tâche que je finissais souvent par attribuer à la malédiction.*

*Je n'oublie pas mes super collègues doctorants et post-doctorants de Boulogne pour les moments partagés entre deux cours ou autour d'un repas gastronomique au restaurant universitaire. Aurélien, Carline, Céline, Laura, Laurie, Léo, Mathilde, Marion, Roxane et bien sûr Elise, merci pour tous nos échanges pendant ces trois années.*

*Merci à Claire PRUVOT, Mathurin PHOJO et Mélanie SHAĚEK pour leur soutien sans faille dans toutes les démarches et batailles administratives qui jalonnent le parcours d'un doctorant.*

*Je tiens à exprimer ma reconnaissance à tous les établissements scolaires qui ont accepté notre invasion. Merci aux directeurs, directrices, et à l'ensemble des équipes pédagogiques des collèges Carnot (Paris 17<sup>e</sup>), St<sup>e</sup> Elisabeth (Paris 15<sup>e</sup>), Thomas Mann (Paris 13<sup>e</sup>), Michelet (Vanves), Ste Marie (Meaux), Jean Rostrand (Bray-sur-seine), les Petits Sentiers (Chartres-Lucé), Guillaume de Normandie (Caen) et de l'école primaire Marie Curie (Caen) pour leur accueil et l'organisation exemplaire mise en place autour de notre arrivée.*

*Je n'oublie pas l'ensemble des participants, adolescents ou sages adultes, sans qui ces études n'auraient pas pu voir le jour. Merci pour l'enthousiasme et la curiosité dont ils ont fait preuve face à ce projet. Je garderai en mémoire les vifs échanges avec les collégiens, aussi enrichissants qu'amusants, lors des restitutions sur les études réalisées.*

*Je remercie également les étudiantes de licence et de master, Diane, Lison, Manon, Laura, Philippine, Fanny, Sacha et Joy, pour la confiance qu'elles m'ont accordée et auprès desquelles il m'a été d'un grand plaisir de réaliser toutes ces passations. Ce fut un bonheur de participer à l'encadrement de vos mémoires. Une pensée particulière pour un duo de choc inséparable : Diane et Lison. Lison je me ravis de pouvoir enfin te souhaiter trois années de thèse aussi agréables que celles que je viens de vivre.*

*Une belle pensée pour Cécile DESSOUBRAIS qui en dépit de son désir de me voir mettre à profit le sens clinique qu'elle a su me transmettre, m'a toujours encouragée à suivre la voie de la recherche fondamentale. Cette dernière année de Master passé en stage à tes côtés fut pleine de révélations, tant sur un plan professionnel que personnel.*

*Merci à ma famille, en particulier mes parents et ma grand-mère qui m'ont tous les trois transmis le goût du travail sans jamais lui associer de contraintes, pour l'affection et le soutien sans faille dont ils ont fait preuve tout au long de mon parcours académique pourtant si éloigné des projets professionnels auxquels ils me destinaient.*

*Merci à mes amis, en particulier Elsa, Gaétan, Maud, Antoine et Fanny, qui ont joué un rôle clé et pourtant paradoxal dans la réalisation de cette thèse, en me permettant de l'extirper de mon esprit dès que cela s'avérait nécessaire.*

*Jean-Baptiste, merci pour tous ces moments de réconfort dès la sortie du laboratoire qui ont su rendre le chemin de la thèse si paisible. Merci de savoir me rappeler, dans les moments de doutes inévitables, la chance mais aussi la part de mérite qui m'ont permis d'arriver jusqu'ici.*

*Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué à la relecture de cette thèse. Certains se reconnaîtront parmi ces pages ...*



*A nos écarts d'adolescents,  
A la plage verte.*

# TABLE DES MATIÈRES

<b>PRÉSENTATION GENERALE DE LA THÈSE</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCTION THEORIQUE</b>	<b>15</b>
<b>CHAPITRE 1 : ADOLESCENCE ET PRISE DE RISQUE : DEFINITIONS ET MODELISATIONS</b>	<b>16</b>
<b>I. DEFINITION DE L'ADOLESCENCE</b>	<b>17</b>
1. Adolescence et puberté	17
a. <i>Changements physiques pendant la puberté</i>	18
b. <i>Bouleversement hormonaux pendant la puberté</i>	18
2. Les âges de l'adolescence	20
3. L'adolescence : une invention de nos sociétés contemporaines ?	21
4. Importance de l'environnement social à l'adolescence	22
<b>II. PRISE DE RISQUE ET ADOLESCENCE</b>	<b>23</b>
1. Définition de la prise de risque	23
2. Prise de risque, prise de décision à risque et prise de décision sous ambiguïté	23
3. Conduites à risque et adolescence	25
<b>III. MODELISATIONS NEURO-DEVELOPPEMENTALES DE L'ADOLESCENCE ET SES PRISES DE RISQUE</b>	<b>26</b>
1. Vers une modélisation dynamique du développement cognitif	27
2. Le modèle de Casey, Getz, & Galvan (2008) : nouvelle modélisation neurocognitive de l'adolescence	28
<b>IV. CONCLUSION</b>	<b>32</b>
<b>CHAPITRE 2 : DEVELOPPEMENT DE LA PRISE DE DECISION A RISQUE</b>	<b>34</b>
<b>I. DE L'INTUITION DES PROBABILITES A L'EVALUATION DU NIVEAU DE RISQUE AU COURS DU DEVELOPPEMENT</b>	<b>35</b>
1. Développement de la quantification des probabilités	35
a. <i>La genèse de l'idée de hasard selon Piaget</i>	35
b. <i>Des compétences plus précoces que ne le pensait Piaget ?</i>	38
2. Développement de la notion de valeur espérée	39
3. Evaluation du niveau de risque au cours du développement	40
4. Profil développemental de la prise de risque	43
<b>II. IMPACT DES EMOTIONS SUR LA PRISE DE DECISION A RISQUE</b>	<b>44</b>
1. L'effet du cadre de présentation : exemple d'une déviation systématique par rapport aux lois de l'approche normative	45
a. <i>Mise en évidence de l'effet du cadre</i>	45
b. <i>L'effet du cadre : un biais d'origine émotionnelle ?</i>	49
2. Développement de l'effet du cadre	51
a. <i>Manifestation de l'effet du cadre au cours du développement</i>	51
b. <i>Développement de l'effet du cadre et modèles du double processus</i>	53

<b>III. APPORTS DES NEUROSCIENCES CONCERNANT LE DEVELOPPEMENT DE LA PRISE DE DECISION A RISQUE</b>	<b>54</b>
1. Apport des neurosciences concernant le développement de la prise de risque	54
2. Apport des neurosciences sur la sensibilité aux récompenses des adolescents	56
3. Apport des neurosciences sur la sensibilité aux conséquences négatives	59
<b>IV. CONCLUSION</b>	<b>60</b>
<b>CHAPITRE 3 : DEVELOPPEMENT DE LA PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE</b>	<b>62</b>
<b>I. L'EXPLORATION SPONTANEE DE L'INCONNU : LE PHENOMENE D'AVERSION A L'AMBIGUÏTE</b>	<b>63</b>
1. Le paradoxe d'Ellsberg : mise en évidence de l'aversion à l'ambiguïté	63
2. Explications du phénomène d'aversion à l'ambiguïté	66
3. La prise de risque des adolescents comme résultat d'une plus grande tolérance face à l'ambiguïté ?	68
<b>II. LA PRISE DE DECISION SOUS AMBIGUÏTE</b>	<b>71</b>
1. L'hypothèse des marqueurs somatiques : les émotions au service de la décision	71
a. <i>Phinéas Gage : un destin tragique</i>	72
b. <i>L'hypothèse des Marqueurs Somatiques</i>	73
c. <i>Mise à l'épreuve de l'hypothèse des marqueurs somatiques : cas des patients cérébro-lésés</i>	74
2. Développement de la prise de décision sous ambiguïté	77
a. <i>Profil développemental de la prise de décision sous ambiguïté</i>	77
b. <i>Comment expliquer la difficulté des enfants et adolescents à faire des choix avantageux ?</i>	78
c. <i>Conclusion</i>	80
3. Distinction risque / ambiguïté : La prise de risque comme une difficulté d'apprentissage dans l'ambiguïté	81
<b>III. MESURE DE LA PRISE DE RISQUE EN SITUATION D'AMBIGUÏTE</b>	<b>85</b>
1. La Balloon Analogue Risk Task (BART)	86
2. Modélisation des processus engagés dans la BART	87
<b>CHAPITRE 4 : INFLUENCE DU CONTEXTE SOCIO-EMOTIONNEL A L'ADOLESCENCE</b>	<b>90</b>
<b>I. LA PRESENCE DES PAIRS COMME FACTEUR CLE DE LA PRISE DE RISQUE A L'ADOLESCENCE</b>	<b>91</b>
1. Le rôle des pairs dans les prises de risque quotidiennes	91
2. Le modèle de Steinberg : le contexte socio-émotionnel au cœur de la prise de risque des adolescents	92
3. Impact de la présence de pairs sur la prise de risque en situation informée	95
<b>II. COMMENT EXPLIQUER L'AUGMENTATION DE LA PRISE DE RISQUE EN PRESENCE DES PAIRS ?</b>	<b>97</b>
1. Présence de pairs et sensibilité aux récompenses	97
2. La présence de pairs comme une opportunité de gratification sociale	98
<b>III. LA NATURE DU CONTEXTE SOCIO-EMOTIONNEL</b>	<b>100</b>
1. De la présence à l'influence des pairs	101
a. <i>Le rôle de l'intervention des pairs</i>	101
b. <i>Envisager d'autres types d'influence</i>	103
2. L'influence des pairs peut-elle avoir un impact positif sur la prise de risque ?	104

<b>IV. CONCLUSION</b>	<b>109</b>
<b>OBJECTIFS DE LA THESE</b>	<b>113</b>
<b>PARTIE EXPERIMENTALE</b>	<b>122</b>
<b>ETUDE 1 : L'AVERSION A L'AMBIGUÏTE INFLUENCE-T-ELLE L'EFFET DU CADRE DE PRESENTATION :</b> <i>Argument en faveur de la prise en compte du niveau d'incertitude dans le choix des individus</i>	<b>123</b>
Résumé	123
Introduction	124
Méthode	127
<i>Participants</i>	127
<i>Procédure et Matériel</i>	127
Résultats	129
Discussion	132
<b>ETUDE 2 : DEVELOPPEMENT DES COMPORTEMENTS D'EXPLORATION SPONTANEE DE L'INCONNU :</b> <i>Evidence d'une aversion à l'ambiguïté similaire chez les adolescents et les adultes</i>	<b>135</b>
Résumé	135
<b>ETUDE 2A : DEVELOPPEMENT DES COMPORTEMENTS D'EXPLORATION SPONTANEE DE L'INCONNU</b> <b>DANS LE CADRE D'UNE AMBIGUÏTE TOTALE</b>	<b>136</b>
Introduction	136
Méthode	139
<i>Population</i>	139
<i>Procédure et Matériel</i>	139
Résultats	141
Discussion	143
<b>ETUDE 2B : IMPACT DU NIVEAU D'AMBIGUÏTE SUR LES COMPORTEMENTS D'EXPLORATION SPONTANEE DE</b> <b>L'INCONNU AU COURS DU DEVELOPPEMENT</b>	<b>146</b>
Introduction	146
Méthode	147
<i>Population</i>	147
<i>Procédure et Matériel</i>	147
Résultats	148
Discussion	150
<b>Conclusion</b>	<b>151</b>
<b>ETUDE 3 : IMPACT DU NIVEAU D'INFORMATION SUR LA PRISE DE RISQUE A L'ADOLESCENCE :</b> <i>Argument en faveur d'une difficulté spécifique à inférer le niveau de risque des options sur la base de leur propre expérience</i>	<b>152</b>

Résumé	152
Introduction	153
Méthode	156
<i>Population</i>	156
<i>Procédure et Matériel</i>	156
Résultats	158
Discussion	163
Conclusion	165
<b>ETUDE 4 : INFLUENCE DE L'EXPERIENCE DES PAIRS ET DU NIVEAU D'INCERTITUDE SUR LA PRISE DE RISQUE A L'ADOLESCENCE :</b>	<b>166</b>
<b>Résumé</b>	<b>166</b>
<b>ETUDE 4A : INFLUENCE DE L'EXPERIENCE DES PAIRS SUR LA PRISE DE RISQUE DES ADOLESCENTS SELON LE NIVEAU D'INFORMATION</b>	<b>168</b>
Introduction	168
Méthode	171
<i>Population</i>	171
<i>Procédure et Matériel</i>	172
Résultats	174
Discussion	179
<b>ETUDE 4B: INFLUENCE DE L'EXPERIENCE DES PAIRS SUR LA PRISE DE RISQUE DES ADOLESCENTS DANS LE CADRE D'UN CONFLIT ENTRE L'INFORMATION SOCIALE ET L'INFORMATION CHIFFREE</b>	<b>183</b>
Introduction	183
Méthode	184
<i>Population</i>	184
<i>Procédure et Matériel</i>	184
Résultats	185
Discussion	188
<b>Conclusion</b>	<b>189</b>
<b>DISCUSSION GENERALE</b>	<b>191</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>203</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>224</b>
<b>ANNEXE 1</b>	<b>225</b>
<i>Développement de la quantification des probabilités : remise en question des conclusions Piagétienne</i>	
<b>ANNEXE 2</b>	<b>229</b>
<i>La théorie des perspectives</i>	

<b>ANNEXE 3</b>	<b>235</b>
<i>Le développement de l'effet de réflexion : Des choix distincts dans le domaine des gains et des pertes au cours du développement ?</i>	
<b>ANNEXE 4</b>	<b>237</b>
<i>La Fuzzy Trace Theory et son application à la prise de risque des adolescents</i>	
<b>ANNEXE 5</b>	<b>239</b>
Osmont, A., Cassotti, M., Agogué, M., Houdé, O., & Moutier, S. (2014). Does ambiguity aversion influence the framing effect during decision making? <i>Psychonomic Bulletin &amp; Review</i> , 22(2), 572–577.	
<b>ANNEXE 6</b>	<b>246</b>
Cassotti, M., Aïte, A., Osmont, A., Houdé, O., & Borst, G. (2014). What have we learned about the processes involved in the Iowa Gambling Task from developmental studies? <i>Decision Neuroscience</i> , 5, 915.	
<b>ANNEXE 7</b>	<b>252</b>
Osmont, A., Bouhours, L., Moutier, S., Simon, G., Houdé, O. & Cassotti, M. (soumis). How does the information level regarding risk influence adolescent risk-taking engagement? <i>Journal of behavioral decision making</i> .	

# **Présentation générale** **de la thèse**

*Jim Stark, 17 ans, s'apprête à se lancer dans un défi insensé contre Buzz, « la course des dégonflés », dans l'espoir de se faire accepter au sein de son nouveau lycée. Au volant de leurs voitures respectives, les deux conducteurs attendent concentrés l'annonce du départ. « Elle donne le signal, il faut se diriger vers la falaise et le premier qui saute est un dégonflé, d'accord ? ». Lancé à toute allure, Jim parviendra à s'éjecter de la voiture à quelques mètres du précipice, Buzz trouvera la mort dans l'explosion de son véhicule au pied de la falaise.*

---

*La fureur de vivre, adaptation française de Rebel Without a Cause (Weisbart & Ray, 1955)*

*Prise dans l'engrenage d'un éternel jeu de « cap ou pas cap » et cherchant à obtenir le pardon de Julien, Sophie se tient là, les yeux bandés, en robe de soirée, au milieu des rails du chemin de fer. Assis plus loin, Julien contemple la situation. Lorsque qu'elle entendra le sifflement du train s'approcher derrière elle, c'est l'approbation de Julien qu'elle cherchera à obtenir « C'est quoi-ça ? Julien ? Julien, je peux bouger ? Julien dis-moi stop ! ». Face à son silence, elle attendra la dernière seconde pour s'extirper in extremis de la voie ferrée.*

---

*Jeux d'enfants (Rossignon & Samuëli, 2003)*

Bien qu'un demi-siècle sépare ces deux œuvres cinématographiques, une dimension commune ne peut nous échapper. Ces séquences respectivement réalisées par Nicolas Ray et Yann Samuëli placent la question de la prise de risque au cœur des interactions sociales chez les adolescents. Dans le but de satisfaire les attentes de leurs pairs, Jim et Sophie attendront la dernière seconde pour se désengager d'une conduite mettant leur vie en péril. Mais si elle constitue une source d'inspiration riche pour les auteurs et scénaristes, l'étude développementale des conduites à risque et les enjeux sociétaux majeurs qui y sont associés ont suscité de nombreuses questions qui restent à ce jour en suspens. La prise de risque est-elle réellement spécifique aux adolescents ? Quels sont les facteurs favorisant ces prises de risque ? La connaissance des conséquences négatives associées contribue-t-elle à limiter cet engagement dans le risque ? Quel est le rôle joué par les pairs dans le choix d'adopter de telles conduites ?

Depuis plus de trente ans, un nombre croissant de recherches s'attache à souligner l'augmentation de l'engagement dans des conduites à risque pendant l'adolescence (Arnett, 1992; Varela & Pritchard, 2011), tant dans le domaine de la conduite automobile (Jonah,



1986; Mayhew, 1986) que de la consommation d'alcool et de drogues (Fishburne et al., 1980) ou de la sexualité à risque (Zelnik & Kantner, 1980). Alors même que ces études viennent corroborer l'image d'un adolescent comme individu inconscient, persuadé de son invulnérabilité et négligent vis-à-vis des répercussions potentiellement négatives de ses actes, la psychologie expérimentale n'a pas toujours soutenu ce stéréotype mais témoigne à l'inverse de leur remarquable aptitude à évaluer avec justesse les conséquences de leurs conduites (Beyth-Marom, Austin, Fischhoff, Palmgren, & Jacobs-Quadrel, 1993; Quadrel, Fischhoff, & Davis, 1993).

L'émergence de modèles neurocognitifs de l'adolescence s'inscrit dans ce contexte paradoxal afin d'apporter une explication rigoureuse au pic de prise de risque observé à l'adolescence, en postulant un décalage de maturation entre un système émotionnel et un système de contrôle encore immature (Casey, Getz, & Galvan, 2008; voir aussi Monique Ernst, 2014). La prise de risque exacerbée des adolescents pourrait ainsi être attribuée à une hypersensibilité spécifique de cette période face au caractère émotionnel des stimulations (Casey, Getz, & Galvan, 2008b; Hare et al., 2008; Somerville, Jones, & Casey, 2010) et dans le cadre d'un environnement social saillant, notamment la présence des pairs (Blakemore & Mills, 2014; Gardner & Steinberg, 2005; Steinberg & Monahan, 2007). Force est de constater qu'en l'absence de leurs spectateurs respectifs, Jim n'aurait probablement pas allumé le moteur de sa voiture et Sophie aurait certainement quitté les voies ferrées dès le premier sifflement du train.

Pour autant, ces modélisations ne prennent pas suffisamment en compte un facteur qui, selon les recherches en économie expérimentale, joue pourtant un rôle déterminant dans la prise de risque. Imaginez un instant que Sophie ait eu connaissance de la fréquence de passage des trains. Connaissant le niveau de risque réel de la situation, se serait-elle installée délibérément sur les voies les yeux bandés. Le choix de s'engager dans une prise de risque peut en effet s'opérer dans le cadre d'une situation de prise de décision à risque, c'est à dire en toute connaissance des risques potentiels et de leurs probabilités d'occurrence, mais aussi dans le cadre de situations ambiguës pour lesquelles les informations permettant l'évaluation du niveau de risque ne sont pas disponibles. L'absence de considération de cette dimension nous paraît d'autant plus regrettable que les travaux de psychologie expérimentale ont largement contribué à différencier les trajectoires développementales de la prise de décision à risque et de la prise de décision sous ambiguïté (van Duijvenvoorde, Jansen, Bredman, & Huizenga, 2012). Les adolescents parviennent à intégrer avec finesse les probabilités et les enjeux des options pour optimiser leur prise de décision (Schlottmann, 2001; Van Leijenhorst, Westenberg, & Crone, 2008), mais présentent en revanche une difficulté conséquente à opter pour des choix avantageux dès que ces informations ne sont

plus directement disponibles mais doivent être apprises de par leur propre expérience (Cassotti, Aïte, Osmont, Houdé, & Borst, 2014).

Par ailleurs, bien qu'une vaste littérature vienne étayer la spécificité de la réactivité des adolescents face à un contexte socio-émotionnel saillant, la plupart de ces études restent largement focalisées sur le rôle négatif de l'influence des pairs. Pourtant, le discours de Sophie témoigne de l'importance d'un signe de Julien l'informant qu'elle peut se désengager des voies. Si l'influence des pairs peut pousser les adolescents à prendre des risques, on peut également envisager leur influence positive dès lors qu'ils sont porteurs d'une incitation à la prudence (Maxwell, 2002).

Ainsi, le travail de cette thèse consistera à préciser d'une part l'influence du niveau d'information concernant les risques et d'autre part, l'influence positive ou négative du contexte-socio-émotionnel sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque.

L'introduction théorique sera consacrée à la présentation des modèles et des travaux expérimentaux qui nous ont conduits aux objectifs guidant le travail empirique de cette thèse. Après avoir précisé dans le premier chapitre le contexte général de ce travail à travers une définition de la période d'adolescence, de la prise de risque et du lien fort qui les unit, les chapitres 2 et 3 dresseront une synthèse des travaux de psychologie et de neurosciences qui ont permis de mieux caractériser le développement des capacités de prise de décision à risque et de prise de décision sous ambiguïté. Ces deux chapitres nous permettront également d'introduire le rôle des émotions dans la prise de décision, en témoignant non seulement de leur implication dans la génération de biais décisionnels massifs (De Martino, Kumaran, Seymour, & Dolan, 2006; Ellsberg, 1961; Tversky & Kahneman, 1981), mais également en soulignant leur contribution décisive dans les processus d'apprentissage nécessaires à l'optimisation de nos décisions (Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 2005; Damasio, Everitt, & Bishop, 1996). Enfin, le dernier chapitre de cette introduction fera état de la nécessité de considérer le contexte socio-émotionnel comme facteur clé de la prise de risque à l'adolescence tout en soulignant les divergences considérables qui jalonnent la littérature en fonction de la nature du contexte considéré (i.e. présence, avis des pairs, partage d'expériences, compétition), du statut social des pairs ou encore du niveau d'incertitude associé à la situation.

Dans la deuxième partie de cette thèse, nous dévoilerons l'issue de nos contributions expérimentales à travers quatre études principales. Après avoir précisé l'influence du niveau d'information sur les choix des adultes en confirmant un rejet massif des situations ambiguës, nous examinerons dans la deuxième étude la trajectoire développementale fine de ce phénomène d'aversion à l'ambiguïté. Ensuite, notre troisième étude aura pour objectif de

préciser l'impact du niveau d'information sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque, en manipulant le niveau d'incertitude de la situation. Enfin, nous proposerons dans la quatrième étude de clarifier le rôle d'une influence sociale risquée ou prudente sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque selon le niveau d'incertitude de la situation.

Finalement, la discussion générale dressera une synthèse des contributions expérimentales de cette thèse et de leurs apports pour la modélisation de la prise de risque à l'adolescence et les programmes de prévention du risque. Nous évoquerons pour terminer les limites et perspectives de recherche envisagées à l'issue de ce travail.

# **Introduction Théorique**

## Chapitre

# 1

# Adolescence et Prise de Risque : Définitions et Modélisations

*L'objectif de ce chapitre sera d'introduire le contexte général de cette thèse. Tabac, alcool, substances illicites, vitesse et alcool au volant, sexualité à risque... La question de la prise de risque est étroitement liée à la période de l'adolescence. Après avoir défini ces concepts d'adolescence et de prise de risque, nous illustrerons l'enjeu majeur d'une meilleure compréhension des processus impliqués dans la prise de décision au cours du développement afin de rendre compte de la spécificité de l'engagement des adolescents dans les conduites à risque. Pour finir, nous présenterons les modèles neurocognitifs actuellement dominants qui soulignent la nécessité d'envisager une conception plus dynamique du développement cognitif de l'adolescent, à travers l'hypothèse d'un décalage de maturation entre un système émotionnel et un système de contrôle encore immature.*

---

## I. DÉFINITION DE L'ADOLESCENCE

---

*Il a tendance à se coucher et se lever très tard, à s'effondrer dans tout ce qui ressemble à un fauteuil, à abuser des substances interdites, à vouloir un scooter, tout de suite, à se déplacer en bande et à passer sans cause apparente de l'apathie à l'euphorie ou à la mauvaise humeur. Vous l'avez reconnu, c'est un jeune être humain en phase aiguë d'adolescence.*

(Levisalles, 2009, p.9).

Paresse, impatience, impertinence, insolence, inconscience, opposition, sautes d'humeur, voici un résumé plutôt révélateur du regard porté par l'adulte sur cette période tumultueuse qu'est l'adolescence. Mais si l'adolescence semble aisément repérable et identifiable dans la vie quotidienne, en délimiter rigoureusement les frontières développementales reste aujourd'hui encore difficile et suscite de nombreux débats dans la communauté scientifique. Communément, l'adolescence se définit comme la période de transition entre l'enfance et l'âge adulte qui s'étend de l'apparition des premiers signes pubertaires à l'acquisition d'une autonomie sociale et financière (Blakemore & Mills, 2014; Blakemore & Robbins, 2012; Crone & Dahl, 2012; Dahl, 2004; Galvan, Van Leijenhorst, & McGlennen, 2012). Même si cette définition fait aujourd'hui l'objet d'un consensus, elle reste sans nul doute trop générale pour garantir un échantillonnage uniforme dans l'étude de l'adolescence (Galvan, 2010).

### 1. Adolescence et puberté

Alors que la puberté correspond à la période d'acquisition des capacités reproductives, le terme d'adolescence renvoie à la perspective plus large d'une période de transition entre l'enfance et l'âge adulte incluant la maturation sexuelle mais aussi une maturation cognitive, émotionnelle et sociale (Sisk & Zehr, 2005). Pour autant, adolescence et puberté apparaissent indissociables. La puberté est en effet jalonnée de changements physiques et hormonaux inévitables auxquels l'adolescent doit s'ajuster (Petersen, Crockett, Richards, & Boxer, 1988). Par ailleurs, si le lien entre la puberté et le développement neuronal reste encore flou dans la littérature, les modèles animaux semblent confirmer l'existence d'un impact des événements hormonaux sur le développement cérébral, cognitif et comportemental pendant la puberté (pour revue Blakemore, Burnett, & Dahl, 2010). Ainsi, la

prise en compte des évènements pubertaires dans la définition de la période d'adolescence semble inévitable.

### *a. Changements physiques pendant la puberté*

En première ligne, des changements physiques caractéristiques sont clairement établis pendant la puberté, à savoir le développement des organes sexuels (i.e. ovaires et testicules), l'accélération de la croissance et le déploiement de caractères sexuels secondaires distinctes selon le sexe (Blakemore et al., 2010; Crone & Dahl, 2012; Dahl, 2004; Sisk & Zehr, 2005). Chez les filles, la puberté se traduit par un développement des seins, une transformation de la vulve, l'apparition de la pilosité pubienne et axillaire, le développement du bassin et la mise en place des leucorrhées suivies par les premières menstruations. Chez le garçon, la mise en place des caractères sexuels correspond à l'augmentation de la taille de la verge, le développement de la pilosité faciale et corporelle, l'accroissement du volume thoracique, la prise de masse, le développement musculaire et l'apparition d'une tessiture plus grave au niveau de la voix.

Classiquement, l'échelle de puberté proposée par Tanner (Marshall & Tanner, 1969; Tanner, 1962) permet de déterminer le niveau de développement pubertaire d'un individu sur une classification en cinq stades de la pilosité pubienne, du développement du pénis et des testicules chez l'homme et du développement des seins chez la femme. Cette échelle, classiquement utilisée en clinique, reste toutefois peu présente dans le champ de la recherche car elle implique un examen physique dont le coût éthique et pratique est certain. L'échelle de développement de Peterson (Petersen et al., 1988) a ainsi permis une appréciation du développement pubertaire à travers une autoévaluation composite (ou une évaluation par les parents dans certains cas) de la croissance, de la pilosité corporelle, des changements de la peau, de l'apparition des menstruations et du développement des seins chez les filles ou de la pilosité faciale et du développement du pénis chez les garçons.

### *b. Bouleversement hormonaux pendant la puberté*

L'apparition de ces changements biologiques est régie par une cascade de bouleversements hormonaux encore discutés, mais pouvant être résumés en trois principaux axes neuroendocriniens (cf. Figure 1) : l'axe gonadarche (ou hypothalamo-hypophyso-gonadique) impliqué dans le développement des organes sexuels, l'axe adrénarche impliqué dans la mise en place des caractères sexuels secondaires et l'axe somatotrope responsable de l'accélération de la croissance (Blakemore et al., 2010; Dahl, 2004; Sisk & Zehr, 2005).

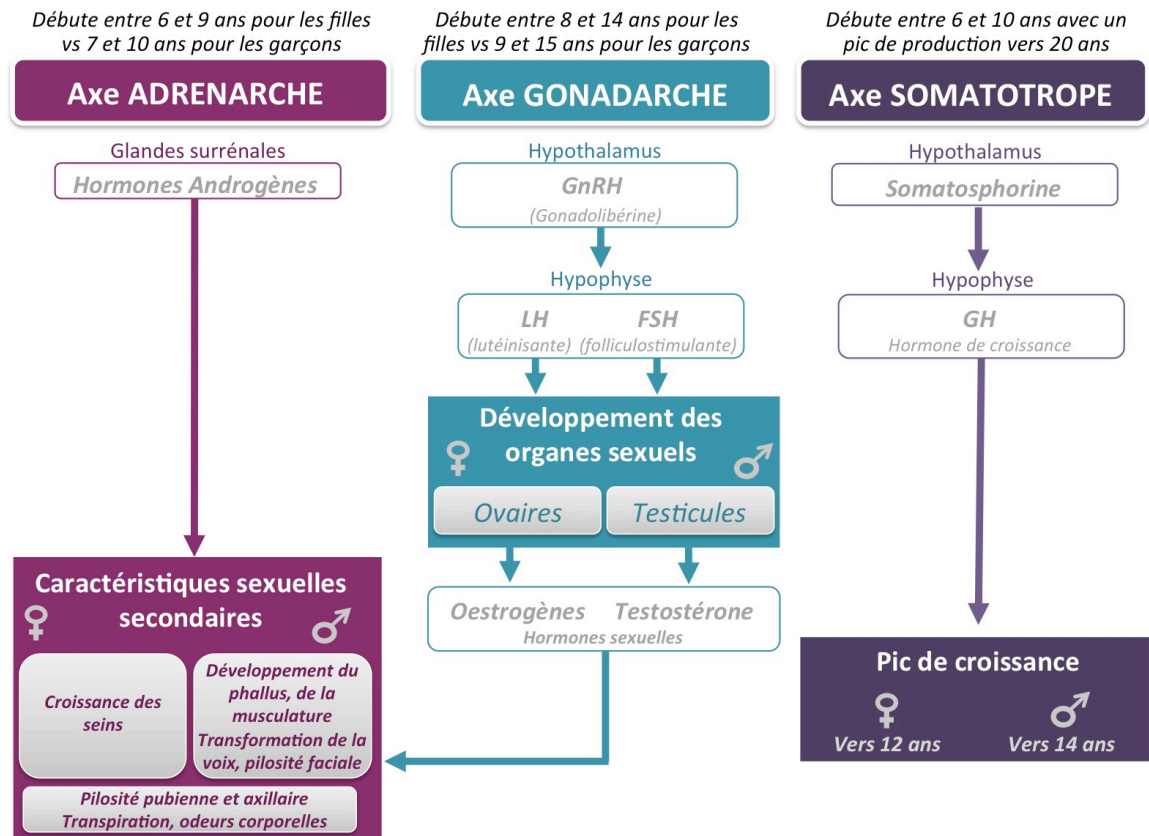


Figure 1 : Résumé des bouleversements hormonaux à l'adolescence : trois axes neuroendocriniens responsables des changements physiques à la puberté.

En effet, la période de puberté s'associe à une activation de l'axe gonadarche qui se traduit par une augmentation de production de gonadolibérine (GnRH) au niveau de l'hypothalamus. Cette sécrétion de GnRH va alors stimuler la libération par l'hypophyse de gonadotrophines hypophysaires, hormones lutéinisantes (LH) et hormone folliculostimulante (FSH), responsables de la maturation des gonades (i.e. ovaires et testicules). Les hormones sexuelles libérées par les gonades (Oestrogènes et Testostérone) participeront ainsi à la mise en place des caractères sexuels secondaires, en association avec l'action des hormones androgènes surrénales de l'axe adrénarche, dont la réactivation précède de 2 ans l'axe gonadarche. Enfin, le pic de croissance observé aux alentours de 12 ans chez les filles et 14 ans chez les garçons relève de la production par l'hypothalamus de somatosphorines, responsables de la libération d'hormones de croissance (GH) au niveau de l'hypophyse. C'est donc à travers la co-activation de ces trois axes neuroendocriniens que se développent les caractéristiques physiques visibles à l'adolescence : pic de croissance, acquisition des capacités reproductrices et développement des caractéristiques secondaires.



## 2. Les âges de l'adolescence

Considérer le début de la puberté comme marqueur de l'entrée dans l'adolescence semble consensuel. Comme nous venons de le détailler, l'apparition d'un ensemble de changements biologiques universels régis par une cascade de bouleversements hormonaux, bien que soumise à des différences interindividuelles considérables, est facilement repérable à cette période (Blakemore et al., 2010; Crone & Dahl, 2012; Dahl, 2004; Sisk & Zehr, 2005).

Néanmoins, situer le terme de l'adolescence fait encore l'objet de controverses. Imaginez une jeune fille de 14 ans présentant tous les signes d'une puberté achevée : peut-on pour autant qualifier cette jeune fille d'adulte ? Le développement pubertaire, s'il constitue un marqueur établi de l'entrée dans l'adolescence, ne semble pas suffire à lui seul pour définir l'entrée dans l'âge adulte (Spear, 2000). De nombreux auteurs s'accordent pour qualifier l'adolescence de période de changements neurobiologiques, physiques, identitaires, comportementaux, émotionnels et sociaux (Sisk & Zehr, 2005; Somerville et al., 2010). Ainsi, la diversité des cadres théoriques conduit à des définitions hétérogènes de l'acquisition d'un statut d'adulte. Etre adulte implique-t-il la maturité sexuelle, un certain niveau d'éducation, une indépendance financière, une autonomie par rapport aux parents, une responsabilité morale et juridique, une maturité psycho-affective, un rôle stable dans la société, ou encore une maturation cérébrale structurelle et fonctionnelle achevée ?

Ces divergences conceptuelles donnent lieu à de grandes disparités des âges considérés dans les études portant sur l'adolescent (Galvan, 2010; Galvan et al., 2012). S'ajoute à cela une variabilité interindividuelle considérable concernant non seulement l'entrée dans la puberté mais également le développement pubertaire en lui-même. Ainsi, la variable développementale à cette période ne semble que partiellement définissable par l'âge réel. En accord avec la distinction proposée par Galvan et al. (2012), une définition multiple de l'adolescence, en lien avec les étapes du développement pubertaire, permet une meilleure lecture de cette phase de transition entre l'enfance et l'âge adulte. L'adolescence peut en effet être découpée en quatre périodes successives (cf. Figure 2) : 1) le début de l'adolescence correspondant à la période pré-pubertaire, qui s'étend de 8 à 12 ans et se caractérise par l'apparition des premiers signes pubertaires ; 2) la mi-adolescence, allant de 13 à 15 ans, définie comme un temps de transformations pubertaires importantes; 3) la fin de l'adolescence ou puberté tardive, entre 16 et 18 ans, caractérisée par l'achèvement des transformations pubertaires et enfin 4) la post-adolescence ou post-puberté marquée par l'acquisition de l'identité d'adulte entre 18 et 30 ans.

## Adolescence

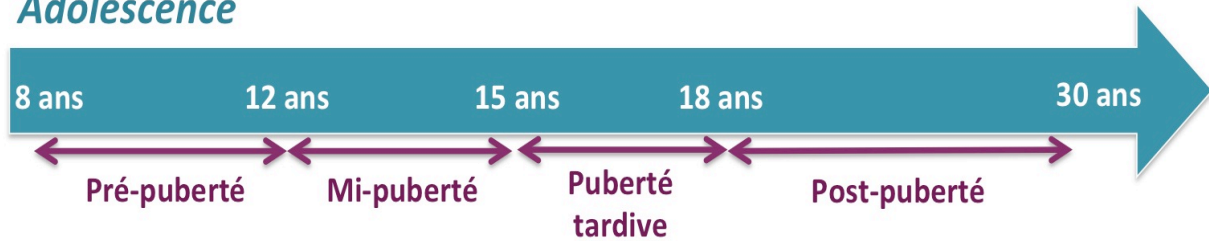


Figure 2 : Les âges de l'adolescence définis par Galvan et al. (2012)

### 3. L'adolescence : une invention de nos sociétés contemporaines ?

Une conception commune consiste à envisager l'adolescence comme une construction de nos sociétés modernes plutôt qu'une étape de transition universelle (Crone & Dahl, 2012). A première vue, l'historique du concept d'adolescence participe à le présenter comme « un artifice, [...] un phénomène récent, propre aux sociétés occidentales » (Huerre, 2001, p.6). Selon Huerre, le terme d'adolescence n'est apparu dans nos sociétés occidentales qu'au cours du XIXe siècle pour désigner les jeunes étudiants encore dépendants financièrement de leur famille suite à l'essor de l'industrialisation, à la réglementation du travail des mineurs et au recul de la fin de la scolarité obligatoire. Au préalable, les enfants entraient directement dans l'âge adulte autour de l'âge de la puberté.

Cependant, de nouvelles études viennent remettre en cause cette idée d'une construction moderne en révélant le caractère universel de la reconnaissance d'une période de transition, caractérisée par des conduites distinctes de celles de l'enfance et de l'âge adulte (i.e. interactions privilégiées avec les pairs, recherche de nouveauté, prise de risque), y compris dans les sociétés non-industrialisées et certaines espèces animales (Lerner & Steinberg, 2009; Spear, 2000). Si l'uniformité du développement social de l'adolescent reste controversé, l'existence de changements comportementaux, pubertaires ou neurologiques universels et adaptatifs pendant cette période semble évidente (Crone & Dahl, 2012; Spear, 2000).

Ainsi, les distinctions culturelles ne reposent pas sur la question de l'existence d'une période spécifique, mais sur des manifestations comportementales distinctes et une évolution permanente de la temporalité de cette période en lien avec les contraintes sociétales. En effet, nos sociétés contemporaines connaissent un allongement de l'adolescence (Crone & Dahl, 2012; Dahl, 2004) : la puberté semble de plus en plus précoce et l'accès à l'autonomie financière de plus en plus tardive, conduisant même à la proposition du néologisme « d'adulthood » par le secteur publicitaire pour dénoncer cette extension de l'adolescence jusqu'à l'âge de la trentaine.

## 4. Importance de l'environnement social à l'adolescence

A en croire l'attroupement de bandes d'adolescents à la sortie des collèges ou dans les cours de récréation, nul doute que l'adolescent est avant tout un être social. Comme nous l'avons vu précédemment, l'adolescence est une période de construction d'une nouvelle place dans la société, pendant laquelle l'individu présente une forte sensibilité à l'environnement social (Blakemore & Mills, 2014), notamment du point de vue de l'évaluation de ses pairs et de l'exclusion par ses derniers (Sebastian, Viding, Williams, & Blakemore, 2010).

Pour mieux comprendre le rôle des pairs et de l'environnement familial dans le quotidien des adolescents, Csikszentmihalyi, Larson et Prescott (1977) se sont intéressés aux activités d'adolescents de 13 à 18 ans grâce à l'élaboration d'un système de *bipper* permettant de récolter des informations sur leurs occupations à différents moments de la semaine (i.e. 42 moments choisis aléatoirement dans la semaine de chaque participant) ainsi que les motivations et le niveau de satisfaction associés. Les résultats de cette étude suggèrent que les interactions avec les pairs représentent bien la première source de socialisation des adolescents, tant sur le plan quantitatif que qualitatif : les participants déclarent passer volontairement un tiers de leur temps à discuter avec leurs amis et associent à cette activité une humeur très positive. Par opposition, ils n'occupent que 8% de leur temps à discuter avec des adultes, principalement leurs parents et y accordent un taux de satisfaction moins important. À l'aide d'une méthodologie similaire et d'une approche longitudinale, Larson, Richards, Moneta, Holmbeck et Duckett (1996) ont pu compléter cette étude en confirmant un désengagement des interactions avec l'environnement familial entre le début et la mi-adolescence, au profit du temps passé avec le groupe de pairs. En accord avec ces résultats, les travaux de psychologie sociale ont également souligné le rôle clé de l'environnement social extra-familial en dévoilant un développement en « U inversé » du conformisme envers les pairs avec un pic aux alentours de 14-15 ans, s'opposant à une diminution progressive des parents comme source d'influence (Berndt, 1979; Meyer & Anderson, 2000; Utech & Hoving, 1969).

Les relations affiliatives avec les pairs permettraient ainsi l'acquisition de compétences sociales en dehors de l'environnement familial et faciliteraient la transition vers l'indépendance de l'individu (Lerner & Steinberg, 2009; Spear, 2000).

---

## II. PRISE DE RISQUE ET ADOLESCENCE

---

### 1. Définition de la prise de risque

Si vous demandez à plusieurs personnes quelle conduite leur vient spontanément à l'esprit pour évoquer une prise de risque, les réponses seront variées : jeux d'argent, alcool au volant, saut en parachute, départ dans un pays étranger pour s'y installer, consommation de drogues dures... Il peut dès lors sembler difficile de définir la prise de risque. Certaines de ces conduites impliquent des risques sur le long terme (e.g. tabagisme) ou immédiats (e.g. saut à l'élastique), des risques pour soi et/ou pour autrui (e.g. conduite en état d'ivresse), pouvant être perçus comme négatifs (e.g. jeux d'argents) ou au contraire valorisés voire perçus comme « héroïques » (e.g. risquer sa vie pour sauver quelqu'un) (Leigh, 1999). Pourtant, toutes ces conduites, bien que très différentes, partagent des similitudes qui caractérisent une prise de risque.

Selon Slovic, la prise de risque se définit comme un comportement qui implique une perte probable (Slovic, 1964), qu'il s'agisse de conséquences négatives physiques (e.g. risque de blessure), financières, sociales (e.g. cout de l'embarras ou d'un échec public), émotionnelles ou éthiques (Jackson, Hourany, & Vidmar, 1972). En outre, une prise de risque doit également impliquer une certaine probabilité de gain, l'opportunité d'obtenir une récompense telle qu'un bénéfice financier, une sensation forte, la satisfaction d'une curiosité ou un renforcement social positif (Moore & Gullone, 1996). Le niveau de risque d'une conduite pourra alors être déterminé sur la base d'une comparaison entre la probabilité et l'ampleur des récompenses potentielles et des conséquences négatives associées.

### 2. Prise de risque, prise de décision à risque et prise de décision sous ambiguïté

Si les termes de prise de risque et prise de décision à risque sont souvent utilisés sans distinction dans la littérature, des précisions terminologiques sont essentielles à la compréhension des objectifs de cette thèse.

La prise de décision est un processus cognitif complexe, omniprésent dans la vie quotidienne, qui nécessite la prise en compte et la sélection d'une option parmi un ensemble de possibilités qui s'offrent à nous. Si notre connaissance des probabilités et des enjeux

relatifs à chacune des options représente un indice essentiel pour guider nos choix, de telles informations permettant une prise de décision avec évaluation des risques ne sont pas toujours disponibles. Dans ce cadre, le terme de prise de décision à risque est utilisé en opposition au terme de prise de décision sous ambiguïté pour évoquer le niveau d'incertitude associé à une situation (Loewenstein, Weber, Hsee, & Welch, 2001; Loewenstein, Rick, & Cohen, 2008; Osmont, Cassotti, Agogué, Houdé, & Moutier, 2014). En effet, les situations de prise de décision se déploient sur un continuum allant de situations sûres (i.e. options définies par une issue certaine), jusqu'à des situations de prise de décision sous ambiguïté (i.e. absence d'information sur les probabilités et les enjeux associés à chacune des options), en passant par des situations dites de prise de décision à risque (i.e. issue incertaine mais probabilités et enjeux associés à chacune des options clairement définis) (cf. Figure 3).

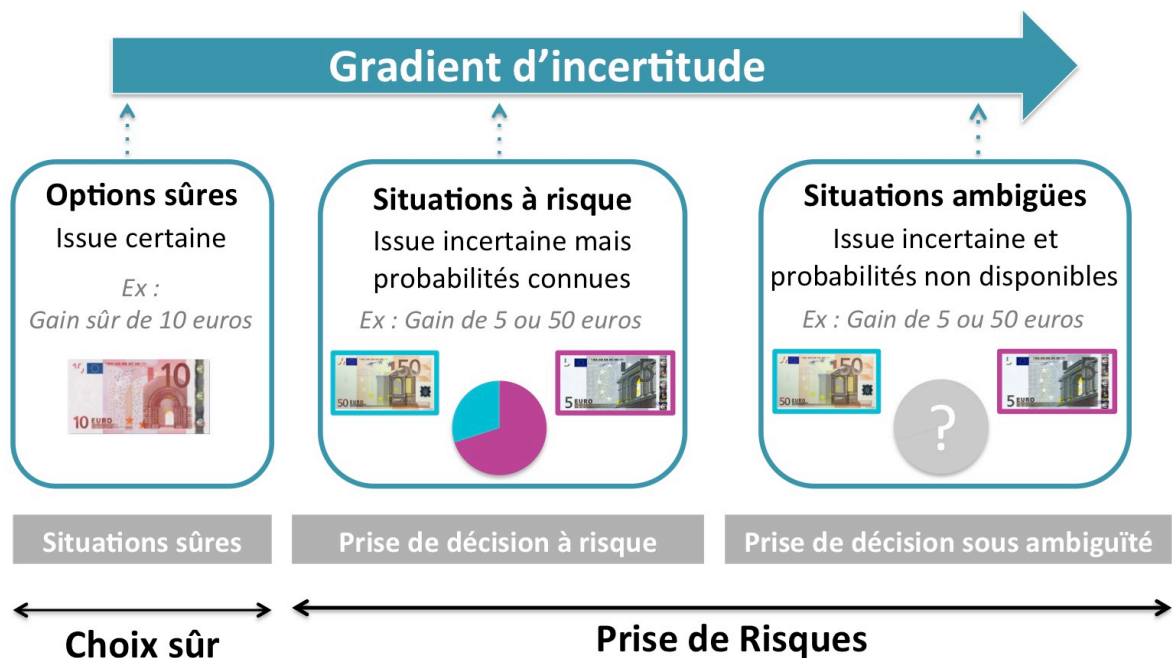


Figure 3 : Continuum de situations de prise de décision selon le niveau d'incertitude.

Nous avons précédemment défini la prise de risque comme une situation impliquant une perte probable mais également une récompense potentielle. Or, rien n'indique que ces probabilités de gains et de pertes soient nécessairement déterminées et permettent une évaluation probabiliste du niveau de risque associé. Imaginons que vous ayez le choix entre un gain certain de 10 euros et une roue de la fortune vous permettant de gagner soit 5 euros soit 50 euros (cf. Figure 3). Que vous connaissiez ou non les probabilités associées à chaque issue de la roue, le choix de la roue de la fortune représente une prise de risque dans la mesure où il offre l'opportunité d'un gain de 50 euros mais comporte également le risque de ne gagner que 5 euros, une somme inférieure à celle proposée dans l'option sûre.

Ainsi, le choix de s'engager dans une prise de risque peut s'opérer dans le cadre d'une situation de prise de décision à risque, mais aussi de prise de décision sous ambiguïté (i.e. sans informations permettant l'évaluation du niveau de risque) (Habib & Cassotti, 2015).

### **3. Conduites à risque et adolescence**

Tabagisme, abus d'alcool ou de substances illicites, vitesse, alcool au volant, sexualité à risque et grossesses non désirées, jeux violents ou dangereux et défis postés sur internet... Parler d'adolescence conduit naturellement à la question de la prise de risque. En effet, l'adolescence est souvent décrite comme une période associée à une augmentation de l'engagement dans des conduites à risque par rapport à l'enfance et à l'âge adulte (Dahl, 2004; Galvan, Hare, Voss, Glover, & Casey, 2007; Smith, Chein, & Steinberg, 2013; Spear, 2000; Steinberg, 2007; Tymula et al., 2012).

Depuis les années 80, de nombreuses études ont cherché à mieux caractériser cette augmentation des comportements à risque pendant l'adolescence (Arnett, 1992; Varela & Pritchard, 2011), notamment dans le domaine de la conduite automobile (Jonah, 1986; Mayhew, 1986), la consommation d'alcool et de drogues (Fishburne et al., 1980), ou encore la sexualité à risque (Zelnik & Kantner, 1980).

Plus récemment, de vastes enquêtes permettent un suivi des comportements à risque des adolescents. Aux Etats-Unis, le *Youth Risk Behavior Surveillance System* (Eaton et al., 2012) révèle que 21% des lycéens affirment avoir eu une consommation massive d'alcool, environ 20% avoir consommé régulièrement du tabac et de la marijuana et 8% avoir déjà consommé de l'ecstasy. Par ailleurs, une proportion non négligeable d'adolescents affirme ne jamais porter de casque en vélo (87%) ou de ceinture de sécurité (près de 10%), avoir déjà conduit en état d'ivresse (8%) ou avoir été passager d'un conducteur sous emprise d'alcool (24%). En France, les chiffres ne sont pas moins alarmants. Les données françaises recueillies dans le cadre de l'enquête internationale *Health Behaviours in School-aged Children* en 2010 (Godeau, Navarro & Arnaud, 2012) révèlent qu'un élève de seconde sur deux a déjà été ivre, 90% d'entre eux ont déjà expérimenté la consommation d'alcool et 22% consomment régulièrement du tabac. S'ajoute à cela, l'ensemble des défis d'alcoolisation massive (e.g. *Binge Drinking*, *Neknomination*) ou de cascades dangereuses (e.g. *train surfing*) qui, médiatisés par l'essor des réseaux sociaux, se multiplient chez les jeunes.

Ce pic de comportements imprudents pendant la mi-adolescence corrobore le stéréotype d'un individu inconscient qui, dicté par ses bouleversements hormonaux, néglige les conséquences négatives de ses actes, et fait aujourd'hui l'objet d'un véritable enjeux de santé public (Steinberg, 2008). Le taux de mortalité entre l'enfance et la fin de l'adolescence

connaît un accroissement de 200%, augmentation qui ne peut être imputée à des maladies cancéreuses, cardiaques ou infectieuses, mais à un nombre plus important d'accidents, de suicides, d'abus d'alcool, de drogues, ou encore de maladies sexuellement transmissibles (Dahl, 2004; Eaton et al., 2012). Paradoxalement, la psychologie expérimentale n'a pas toujours confirmé ce stéréotype mais révèle au contraire la capacité des adolescents à se percevoir aussi vulnérables que les adultes, à évaluer avec justesse les conséquences des leurs conduites et leurs probabilités d'occurrence (Beyth-Marom et al., 1993; Quadrel et al., 1993). Certaines études vont même jusqu'à montrer la tendance des adolescents à surestimer la probabilité d'apparition de conséquences négatives par rapport aux adultes, notamment dans le domaine des relations sexuelles à risque, de la conduite sous alcool, du sport et des intempéries climatiques (Millstein & Halpern-Felsher, 2002; Reyna & Farley, 2006). Ainsi, l'existence de ce paradoxe dresse un portrait plus complexe de l'adolescent et souligne la nécessité d'aller au delà des apparences en dépassant le stéréotype d'un individu irrationnel.

---

### **III. MODÉLISATIONS NEURO-DÉVELOPPEMENTALES DE L'ADOLESCENCE ET SES PRISES DE RISQUE**

---

Nous venons de le voir, la période de l'adolescence connaît une augmentation de la probabilité d'engagement dans des conduites à risque quotidiennes alors que la psychologie expérimentale révèle au contraire la capacité des adolescents à évaluer avec justesse les conséquences de leurs conduites (Beyth-Marom et al., 1993; Quadrel et al., 1993).

L'enjeu des modélisations actuelles de la prise de décision à l'adolescence est donc de contribuer à la compréhension de ce paradoxe à travers la prise en compte de facteurs neuro-développementaux, cognitifs, émotionnels et sociaux. En effet, les modélisations classiques et linéaires du développement, qui supposent que le renforcement des capacités cognitives au cours du développement se traduit par une diminution des conduites à risque, ne permettent pas de rendre compte du pic de prise de risque à l'adolescence, en expliquant à la fois l'augmentation de la prise de risque entre l'enfance et l'adolescence, mais aussi sa diminution jusqu'à l'âge adulte.



## **1. Vers une modélisation dynamique du développement cognitif**

Depuis plus de trois décennies, les travaux de psychologie et d'économie ont conduit à mettre en évidence la transgression systématique de règles logiques dans les processus de prise de décision, démontrant ainsi l'insuffisance de l'approche normative pour rendre compte de la complexité du raisonnement humain (Houdé, 2014; Kahneman, 2003; Reyna, 2004). Afin de rendre compte du paradoxe d'un individu capable de raisonner en accord avec les principes de la logique et pourtant vulnérable à divers biais de raisonnement, les modèles du double processus ont proposé l'existence de deux systèmes distincts susceptibles de rentrer en compétition : un système dit heuristique-intuitif (système 1) reposant sur un traitement rapide, automatisé, pragmatique de la situation mais conduisant parfois à des erreurs systématiques de raisonnement, et un système dit délibéré-analytique (système 2) caractérisé par un traitement plus lent, contrôlé, en accord avec les principes de la logique formelle et les normes de la décision rationnelle (De Neys, 2006a, 2006b; Evans, 2003, 2010). Ainsi, les biais de prise de décision seraient le reflet d'un mode de fonctionnement intuitif (reposant sur le système 1) au détriment d'une analyse logique et probabiliste des éléments de la situation (système 2).

Par ailleurs, les travaux initiés par Olivier Houdé au cours des vingt dernières années ont apporté un nouvel éclairage sur les processus clés permettant le passage d'un type de rationalité à un autre. En effet, le passage d'un mode de fonctionnement intuitif à un mode de fonctionnement analytique serait gouverné par le processus d'inhibition cognitive (Borst, Aïte, & Houdé, 2015; Cassotti & Moutier, 2010; Houdé, 2000, 2007; Houdé & Borst, 2015). L'ensemble de ces travaux conduit à une conception dynamique du développement cognitif, caractérisé par un ensemble de stratégies à la fois intuitives et analytiques, plus ou moins dominantes selon l'âge et l'expérience de l'individu et dont l'expression est régulée par le contrôle inhibiteur.

Cette nouvelle conception du développement permet alors l'hypothèse d'une présomption de rationalité face à la prise de risque des adolescents : les biais décisionnels dont ils font preuve pourraient refléter un défaut spécifique d'inhibition d'une réponse intuitive et émotionnelle et non une absence de compétences logiques quant à l'évaluation du niveau de risque d'une situation.



## 2. Le modèle de Casey, Getz, & Galvan (2008) : nouvelle modélisation neurocognitive de l'adolescence

Les théories du double processus initialement proposées pour rendre compte des conduites massivement irrationnelles des adultes dans les domaines du raisonnement déductif, du jugement de probabilité et de la prise de décision, trouvent échos dans les récentes modélisations neurocognitives de l'adolescence. Ainsi, l'hypothèse d'une compétition entre un système émotionnel et un système de contrôle supposée par ces modèles, offre un cadre explicatif puissant pour rendre compte de l'augmentation des conduites risquées à l'adolescence. Selon le modèle de Casey et al. (2008), la prise de risque des adolescents serait le reflet d'un décalage de trajectoires développementales entre ces deux systèmes. En effet, l'engagement des adolescents dans des conduites à risque pourrait s'expliquer par une hypersensibilité face aux stimuli sociaux et émotionnels, associée à une immaturité des processus de contrôle nécessaires à la régulation émotionnelle (cf. Figure 4).

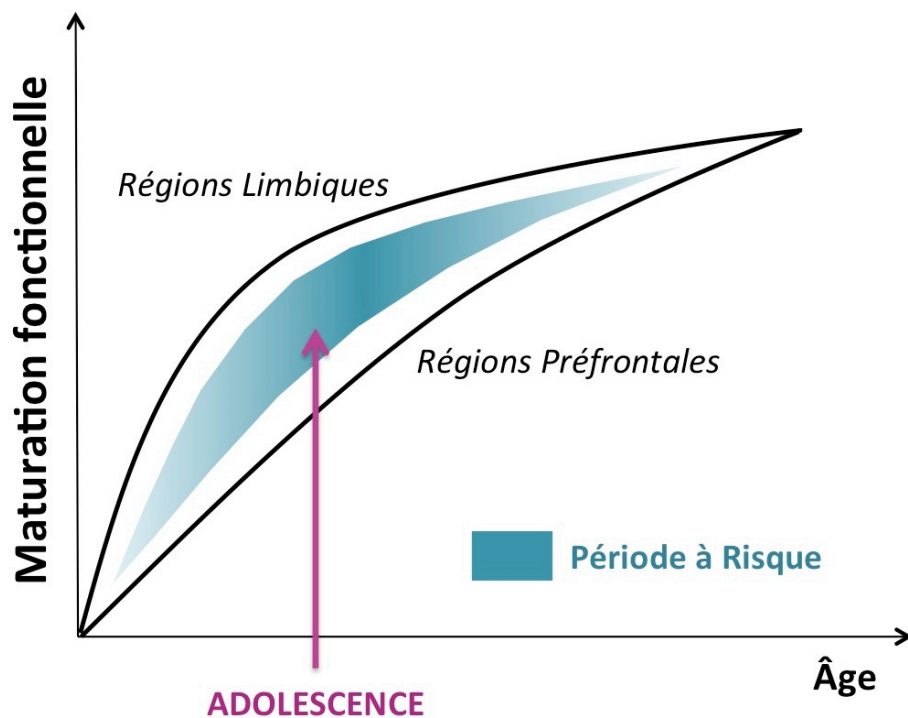


Figure 4 : Modèle de Casey, Getz, & Galvan (2008) : l'augmentation de la prise de risque à l'adolescence serait le reflet d'une maturation plus précoce des régions limbiques par rapport aux régions préfrontales.

Le modèle de Casey est aujourd'hui supporté par de nombreuses études comportementales et neurofonctionnelles témoignant d'une maturation lente du cortex préfrontal et d'une hypersensibilité émotionnelle à l'adolescence (Casey et al., 2008; Galvan et al., 2006; Hare et al., 2008; Somerville et al., 2010; Van Leijenhorst, Moor et al., 2010; van Leijenhorst, Crone, & Bunge, 2006).

L'étude en imagerie par résonnance magnétique fonctionnelle (IRMf) de Galvan et al. (2006) a initié une série de travaux en s'intéressant au développement neurofonctionnel des régions cérébrales sous-tendant le système de récompense, connu pour son implication dans le processus de prise de décision. Dans cette étude, les auteurs ont proposé à 37 participants, âgés de 7 à 29 ans, une tâche impliquant la réception de récompenses d'ampleurs variables (i.e. faibles, moyennes ou fortes). Les participants devaient sélectionner, une option parmi les deux coffres de pirates présentés simultanément, sur la base d'un indicage préalable de la localisation et de l'ampleur de la récompense. Ils recevaient ensuite la récompense attendue dès lors que leur réponse respectait la localisation indiquée (cf. Figure 5).

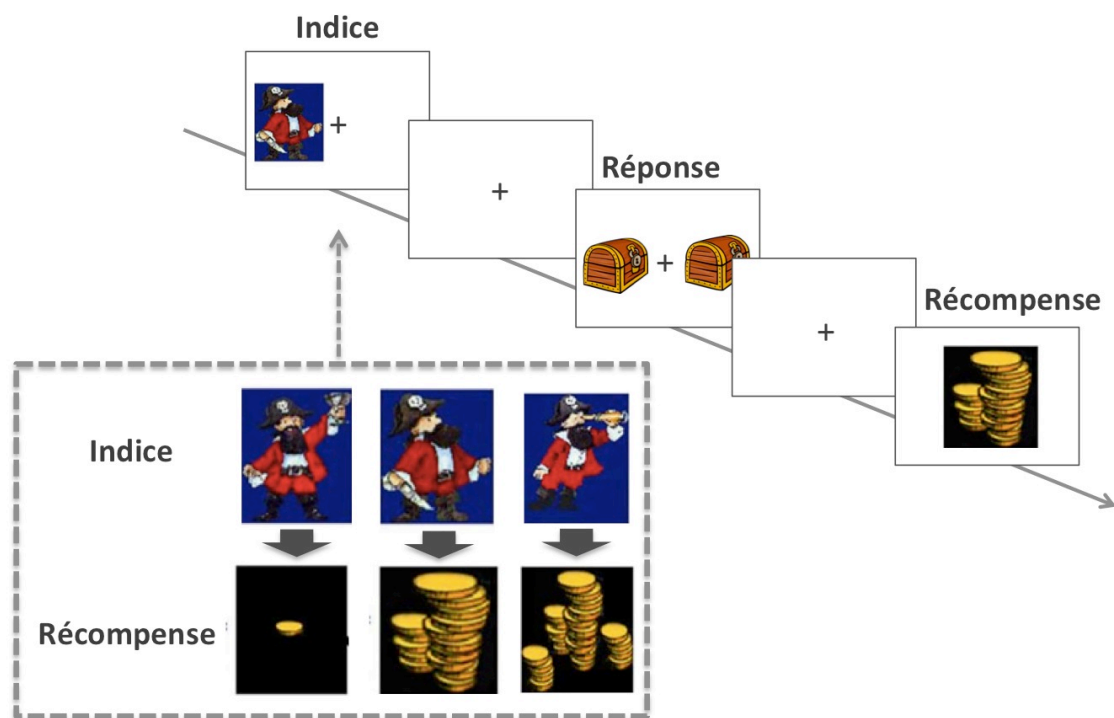


Figure 5 : Déroulement d'un essai dans l'étude de Galvan et al. (2006) : après avoir reçu un indice sur la localisation et l'ampleur de la récompense, les participants devaient choisir entre deux coffres et obtenaient la récompense indiquée en cas de réponse correcte.

Les résultats de cette étude confirment tout d'abord l'implication du noyau accumbens (NAcc) dans la sensibilité aux récompenses en montrant une augmentation de l'activation de cette région avec l'ampleur de la récompense. Sur le plan développemental, les analyses révèlent un degré d'activation plus fort du NAcc chez les adolescents de 13-17 ans par rapport aux enfants et aux adultes. Par ailleurs, l'étendue de cette activation est comparable chez les adolescents et les adultes avec une focalisation de l'activation plus importante que chez les enfants. En revanche, les adolescents présentent une activation des régions impliquées dans le contrôle cognitif comparable aux enfants, soit une activation du cortex orbitofrontal (OF) plus diffuse que chez les adultes (cf. Figure 6).

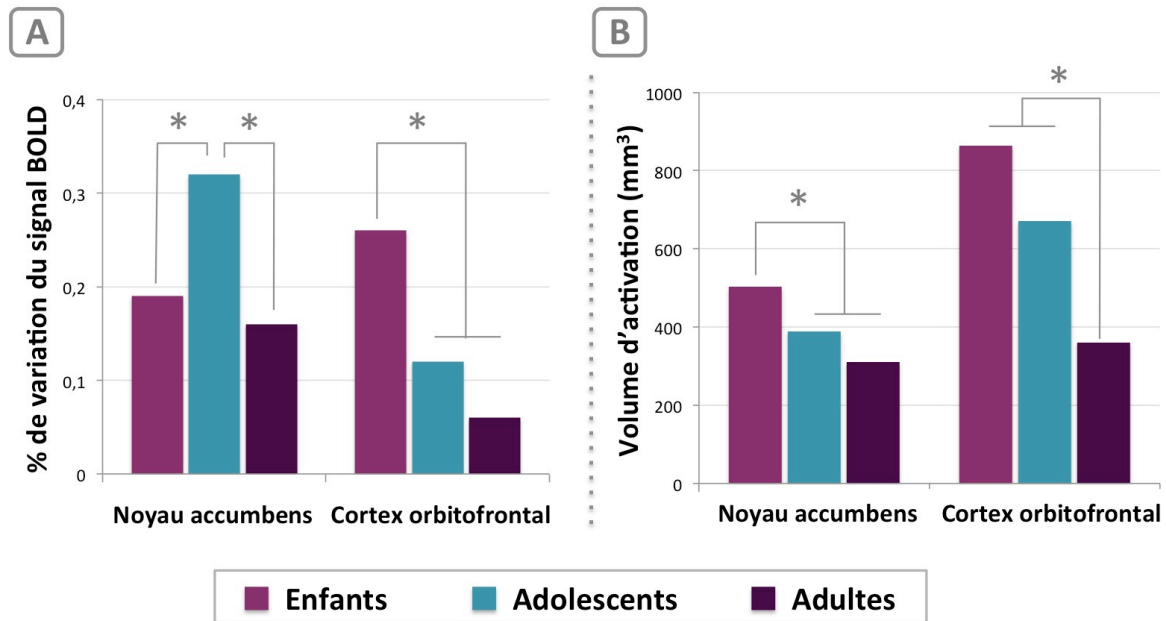


Figure 6 : Niveau (A) et étendue (B) de l'activation neuronale du NAcc et du cortex OF selon l'âge des participants dans l'étude de Galvan (2006). Les adolescents présentent un niveau d'activation plus important du NAcc par rapport aux enfants et aux adultes. Cependant, les résultats révèlent une diminution progressive du niveau d'activation du cortex OF avec l'âge ainsi qu'une activation plus diffuse chez les enfants et les adolescents par rapport aux adultes.

Ces données de neuro-imagerie confirment donc l'existence d'un pic d'activation des régions impliquées dans le système de récompenses (NAcc) ainsi qu'un développement fonctionnel plus précoce de ces régions par rapport aux régions de contrôle (OF) qui restent encore immatures chez les adolescents.

En outre, grâce à l'élaboration d'une adaptation émotionnelle de la tâche de *Go/Nogo*, initialement conçue pour mesurer les capacités d'inhibition d'une réponse motrice, deux études en IRMf ont permis de souligner la spécificité de la réactivité émotionnelle et les difficultés de régulation émotionnelle des adolescents (Hare et al., 2008; Somerville, Hare, & Casey, 2011). Dans cette adaptation, les participants doivent fournir une réponse motrice la plus rapide possible pour une catégorie donnée de stimuli (i.e. essais *Go*) et ne pas répondre pour une autre catégorie de stimuli moins fréquents dans la tâche (i.e. essai *Nogo*). L'absence de réponse face aux stimuli *Nogo* nécessite alors l'inhibition d'une routine motrice installée suite à la surreprésentation des essais *Go*. Trois catégories de visages exprimant une émotion (i.e. peur, joie, neutre) issus des NimStim (Tottenham et al., 2009) sont assemblés deux à deux pour constituer un ensemble d'essais *Go* et *Nogo*.

Dans une première étude, Hare et al. (2008) confirment la spécificité de la réactivité émotionnelle à l'adolescence en montrant une plus forte activité amygdalienne suite à la présentation de visages exprimant de la peur chez les adolescents par rapports aux enfants et aux adultes (cf. Figure 7). En outre, le lien entre la force des connectivités fronto-

amygdaliennes et l'habituation de l'amygdale face à la présentation répétée de stimuli émotionnels (i.e. différence entre la réactivité amygdalienne pendant les premiers versus les derniers essais) témoigne de l'implication des régions frontales dans la régulation de ces émotions.

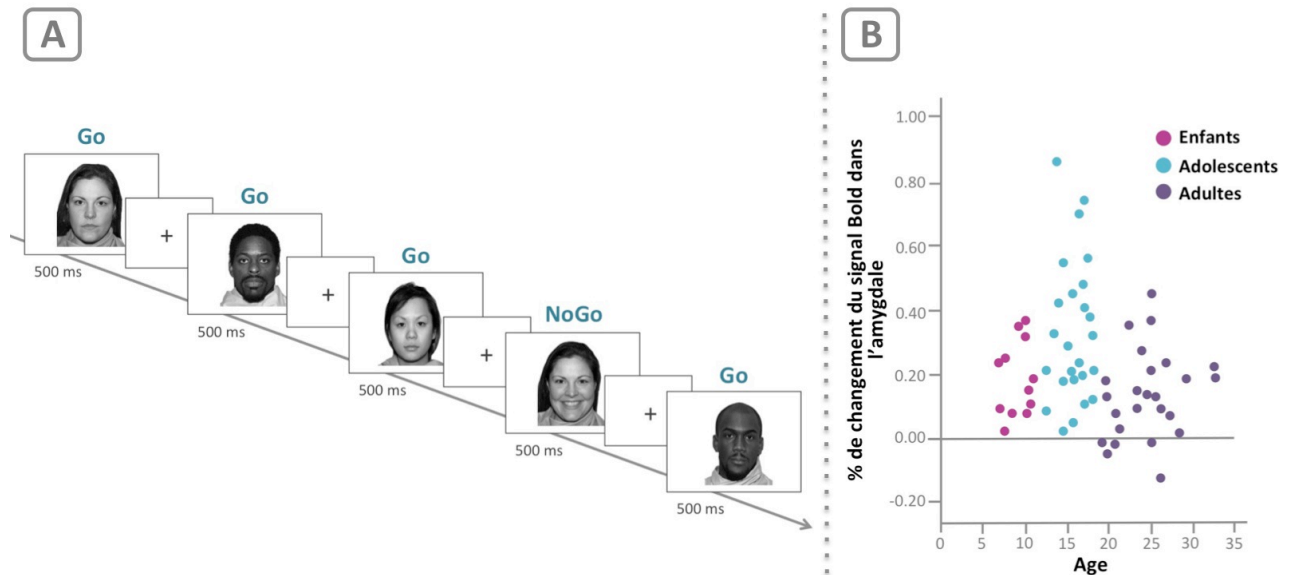


Figure 7 : A) Déroulement du Go/Nogo émotionnel proposé dans les études de Hare et al. (2008) et Somerville et al. (2011). Dans cet exemple, les participants doivent répondre le plus rapidement possible suite à la présentation d'un visage neutre (essai Go) et inhiber leur réponse suite à la présentation d'un visage de joie (essai Nogo). Une croix de fixation est présentée entre chaque essai pour un intervalle inter-stimuli variant entre 2000 et 14500 ms. B) Résultats de l'étude de Hare et al. (2008) représentant l'activation de l'amygdale en réponse à la présentation de visages émotionnels en fonction de l'âge. Les adolescents présentent une plus forte activité amygdalienne que les enfants et les adultes.

Afin de préciser les difficultés de régulation émotionnelle des adolescents, Somerville et al. (2011) présentent à 62 participants âgés de 6 à 29 ans un Go/Nogo émotionnel incluant des stimuli neutres et appétitifs (i.e. visages neutres et visages de joie). Les résultats comportementaux viennent compléter la précédente étude en soulignant un nombre plus important de fausses alarmes (i.e. réponse à un essai Nogo) pour les visages de joie que pour les visages neutres chez les adolescents, alors que le nombre de fausses alarmes n'est pas modulé par le type de visage chez les enfants et les adultes (cf. Figure 8). En conséquence, ces résultats attestent d'une difficulté de contrôle inhibiteur spécifique des stimuli à contenu émotionnel chez les adolescents. Par ailleurs, ils rejoignent les observations des études précédentes en révélant une plus forte activation du striatum ventral (VS) chez les adolescents par rapport aux adultes et aux enfants en réponse à des visages émotionnels, ainsi qu'une diminution linéaire avec l'âge du recrutement du gyrus frontal inférieur droit (IFG), impliqués dans le contrôle cognitif, lors de l'inhibition de la réponse motrice pour les essais Nogo.

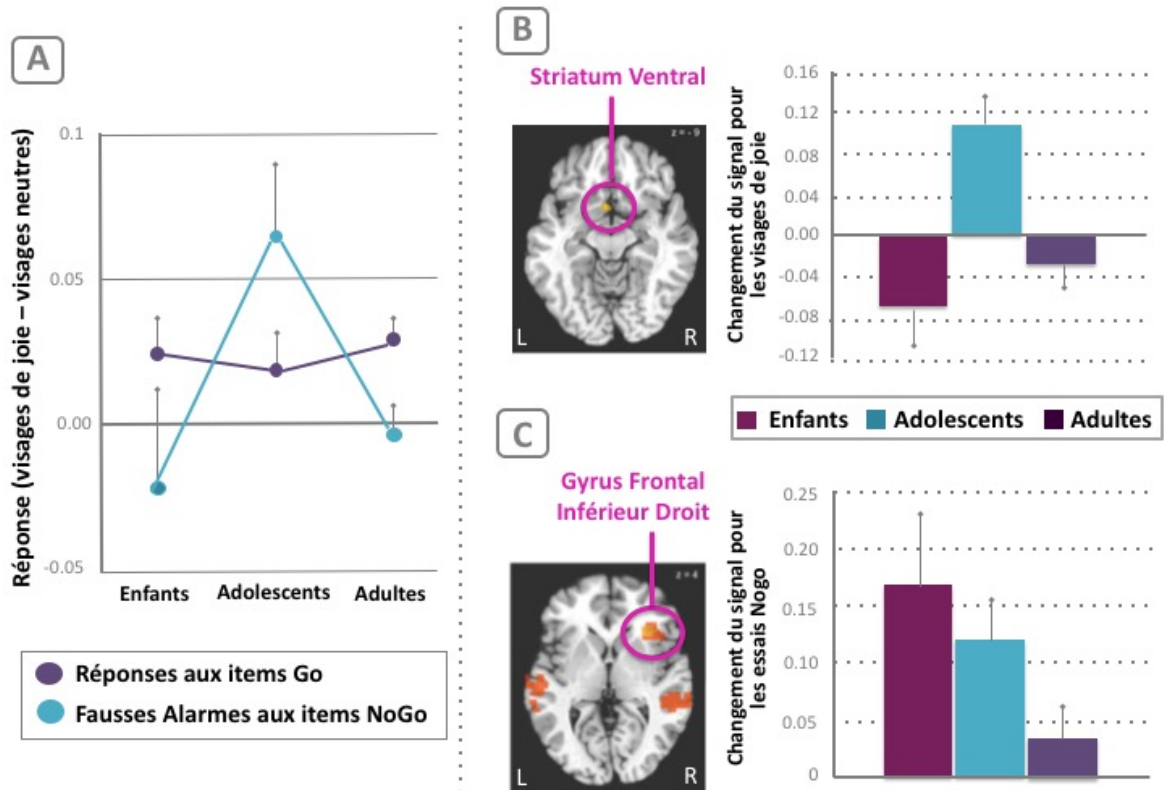


Figure 8 : Résultats comportementaux (A) et d'IRMf (B et C) obtenus dans l'étude de Somerville et al. (2011). A) Soustraction entre le nombre de réponses aux visages de joie et le nombre de réponses aux visages neutres pour les items Go (bonnes réponses) et les items Nogo (fausses alarmes) en fonction de l'âge des participants. Les adolescents font plus de fausses alarmes pour les visages de joie que les enfants et les adultes. B) Résultat du contraste (visage de joie – visage neutre) dans le VS : les adolescents montrent une activation plus importante du VS que les adultes en réponse à des visages émotionnels. C) Résultat du contraste (Nogo – Go) dans l'IFG droit : on note une diminution linéaire du recrutement de cette région avec l'âge.

## IV. CONCLUSION

Ce premier chapitre fait clairement état de l'enjeu majeur de la compréhension des processus impliqués dans la prise de décision afin de modéliser la prise de risque exacerbée des adolescents et de nourrir les débats sur les interventions pédagogiques adaptées pour répondre à cet enjeu de santé publique.

Comme nous l'avons évoqué, les modélisations classiques et linéaires du développement supposent que l'amélioration des capacités cognitives au cours du développement se traduise par une diminution des conduites à risque. Ainsi, les modélisations neurocognitives actuellement dominantes (Casey et al., 2008) tentent d'expliquer le pic de prise de risque observé à l'adolescence en s'inscrivant dans une conception plus dynamique du développement cognitif de l'adolescent reposant sur

l'hypothèse d'un décalage de maturation entre un système émotionnel et un système de contrôle encore immature, conduisant les adolescents à présenter une hypersensibilité face aux stimulations émotionnelles (Houdé, 2014).

En outre, comme nous l'avons suggéré dans ce chapitre, l'engagement dans une prise de risque n'est pas spécifique des situations pour lesquelles l'individu dispose des informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque, mais peut aussi s'opérer dans le cadre d'une prise de décision sous ambiguïté. Pour autant, ce modèle néglige la considération de cette distinction entre prise de décision à risque et prise de décision sous ambiguïté. L'absence de discussion sur l'impact du degré d'information disponible concernant le niveau de risque d'une situation semble d'autant plus surprenante sachant que dès les années quatre-vingt, la réflexion autour des campagnes de prévention opposait l'idée d'une mauvaise connaissance des risques propres à une conduite à l'hypothèse d'une incapacité à résister à l'influence des pairs malgré une pleine connaissance des risques en jeu (Furby & Beyth-Marom, 1990).

Ainsi, la suite de cette introduction aura pour objectif de présenter les données empiriques et expérimentales qui apportent un éclairage sur la complexité de la prise de risque à l'adolescence, en distinguant le développement des capacités de prise de décision à risque et le développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté.

## Chapitre

# 2

# Développement de la prise de décision à risque

*Ce chapitre répondra à trois principaux objectifs :*

*Premièrement, nous nous intéresserons au développement de la prise de décision à risque en rapportant une vaste littérature témoignant de compétences relativement précoces quant à l'intégration des informations probabilistes et des enjeux d'une option.*

*Ensuite, tout l'enjeu sera de mettre en exergue le rôle clé des émotions dans la compréhension des choix des individus, en soulignant l'existence de biais décisionnels systématiques d'origine émotionnelle au cours du développement.*

*Pour terminer, nous évoquerons les apports majeurs des travaux de neuro-imagerie dans ce domaine qui fournissent des arguments empiriques forts en faveur des modélisations dynamiques tels que le modèle de Casey et al. (2008), tout en témoignant de la nécessité de considérer conjointement la spécificité de la réactivité face aux émotions positives et négatives à l'adolescence (Ernst et al. 2005).*

---

## I. DE L'INTUITION DES PROBABILITÉS A L'ÉVALUATION DU NIVEAU DE RISQUE AU COURS DU DÉVELOPPEMENT

---

Comme nous l'avons défini dans le premier chapitre, les situations de prise de décision à risque se caractérisent par une issue incertaine mais des probabilités et des enjeux relatifs à chacune des options clairement définies. La connaissance des probabilités et des enjeux permet de guider les choix de l'individu sur la base d'une évaluation du risque associé à une situation. Dans ce cadre, mieux comprendre l'origine de la prise de risque des adolescents nécessite de questionner leur capacité à évaluer le niveau de risque lié à une conduite sur la base des informations disponibles concernant les probabilités et les enjeux qui lui sont associés.

### 1. Développement de la quantification des probabilités

#### *a. La genèse de l'idée de hasard selon Piaget*

À travers l'analyse systématique des réponses et des justifications des enfants face à un ensemble d'expériences concrètes, Jean Piaget a pu élaborer un modèle du développement de l'intelligence basé sur la description de stades successifs caractérisés par de nouveaux modes de pensée (Piaget & Inhelder, 1996). Dans ce cadre, Piaget et Inhelder (1974) se sont intéressés à la compréhension de la notion de probabilité, concept clé dans le développement des capacités de prise de décision à risque.

Afin de décrire avec finesse les progrès de l'enfant quant à sa compréhension des probabilités, Piaget et Inhelder (1974) ont proposé un ensemble de problèmes concrets impliquant un jugement probabiliste. Ils disposaient alors devant chacun des enfants deux collections de jetons blancs dont certains comportaient une croix au verso. Après que l'enfant ait pu prendre connaissance de la composition exacte des deux collections, les jetons étaient alors mélangés et disposés face à lui de façon à ce que la face comportant une croix ne puisse être visible. L'enfant devait alors choisir la collection dans laquelle il pensait avoir le plus de chance de tirer une croix du premier coup en retournant un jeton. La combinaison de différents nombres de jetons gagnants et du nombre total de jetons dans chaque collection permettait ainsi la construction de dix situations nécessitant soit la prise en compte d'une seule variable (nombre total de jetons ou nombre de jetons gagnants) soit la considération combinée de deux variables (cf. Figure 9).



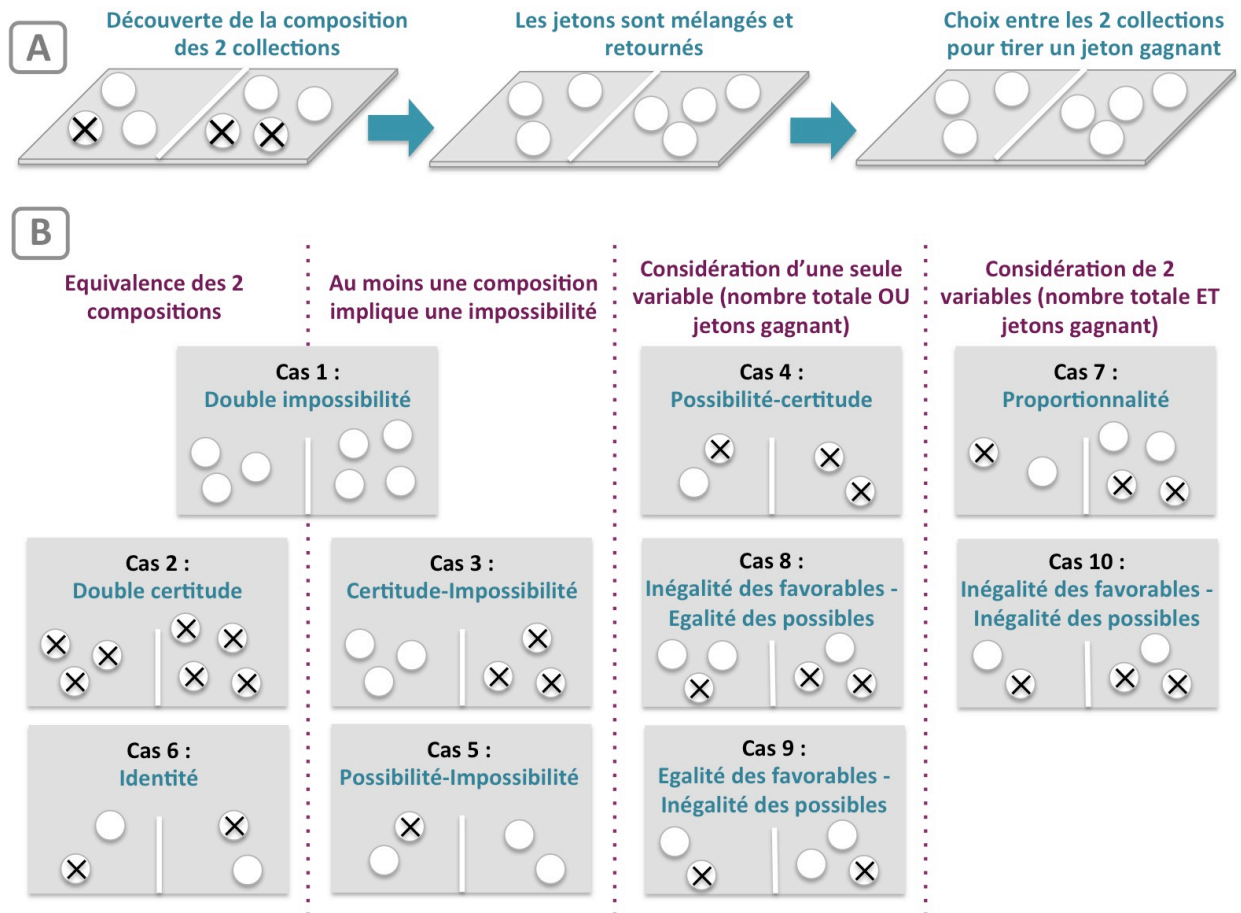


Figure 9 : A) déroulement du problème de quantification de probabilité proposé par Piaget & Inhelder (1974) à des enfants âgés de 4 à 13 ans. B) Exemple de situations correspondant aux 10 cas définis par Piaget & Inhelder (1974). Dans certaines situations, les enfants peuvent baser leur choix sur la détection d'une impossibilité de gain dans une des collections (cas 1, 3 et 5) ou de l'équivalence entre les 2 collections (cas 2 et 6). Pour d'autres, le raisonnement probabiliste nécessite la prise en compte d'une variable, soit la variation du nombre de jetons gagnants avec un nombre total de jetons identique (cas 8 et 4), soit la variation du nombre total de jetons pour un nombre de jetons gagnants identique (cas 9). Pour les cas 7 et 10, la résolution du problème nécessite de considérer à la fois le nombre total et le nombre de jetons gagnants.

L'observation des réactions et des réponses des enfants face à ce problème a ainsi conduit Piaget et Inhelder (1974) à décrire trois stades consécutifs dans le développement de la capacité à quantifier les probabilités.

Le premier stade décrit par Piaget et Inhelder (1974) chez les enfants de 4 à 7 ans se caractérise par une absence totale de comparaison quantitative et logico-mathématique, ou par quelques comparaisons intuitives à l'approche du stade suivant mais restreintes à des disproportions perceptives frappantes. Pendant ce premier stade, seules les situations impliquant une impossibilité dans l'une des collections (cas 1, 3 et 5) conduisent à des réponses correctes systématiques. Pour les autres situations, les enfants présentent un profil de réponse instable d'une question à l'autre, avec un nombre de réponses correctes en dessous ou proche du seuil de hasard. La plupart des enfants de 4 à 7 ans pourront par

exemple choisir arbitrairement une réponse parmi deux collections parfaitement identiques (cas 6).

### STADE 1

*Exemple de réponses d'enfants de stade 1 (Piaget & Inhelder, 1974, pp 129-130)*

**JEA, âgé de 4 ans et 6 mois.**

Cas 4 : possibilité-certitude (1/3 versus 3/3)

« - Où es-tu le plus sûr de trouver une croix tout de suite ?

- Là (l'enfant montre 1/3).

- Pourquoi ?

- C'est plus facile parce qu'il y a rien qu'une croix. Là (3/3) il y en a trois. »

**ROS, âgé de 5 ans et 2 mois.**

Cas 4 : possibilité-certitude (1/2 versus 2/2)

« - Où es-tu le plus sûr de trouver une croix tout de suite ?

- Là (l'enfant montre 2/2) parce qu'il y a deux croix.

- Et comme ça ? (2/2 versus 2/3)

- Là (l'enfant montre 2/3).

- Pourquoi ?

- ... (L'enfant hésite) [...]

- Et avec ça, (2/7 versus 1/1) où es-tu le plus sûr de trouver une croix du premier coup ?

- Ici (2/7) car il y en a deux. »

Lors du deuxième stade, seuls les problèmes nécessitant la prise en compte d'une seule variable sont correctement résolus. Les enfants de 7 à 11 ans échouent massivement dans les situations impliquant une proportionnalité ou plus généralement la considération conjointe du nombre de jetons gagnants et du nombre total (cas 7 et 10). Ils parviennent ainsi à faire des comparaisons qualitatives sur le nombre de cas favorables mais n'envisagent pas le rapport entre les cas favorables et les cas possibles. À la fin de ce stade, ils pourront parfois prendre en compte les proportions grâce à une stratégie de tâtonnement.

### STADE 2

*Exemple de réponses d'enfants de stade 2 (Piaget & Inhelder, 1974, pp 143-144)*

**ALL, âgé de 9 ans et 6 mois.**

Cas 8 : inégalité des favorables - égalité des possibles (1/3 versus 2/3)

« - Où es-tu le plus sûr de trouver une croix tout de suite ?

- Là (l'enfant montre 2/3) parce qu'il y en a deux.

Cas 9 : égalité des favorables - inégalité des possibles (1/4 versus 1/5)

« - Ici (l'enfant montre 1/4) parce qu'il y en a trois sans croix et là (1/5) quatre.

Cas 10 : inégalité des favorables et des possibles (1/2 versus 2/5)

« - Ici (l'enfant montre 2/5) parce qu'il y en a deux. »

- Ici (2/7) car il y en a deux. »

C'est seulement aux alentours de 11-12 ans que les enfants atteignent le troisième stade décrit par Piaget comme la capacité à résoudre l'ensemble des problèmes présentés en effectuant une comparaison logico-mathématique basée sur la relation entre les cas favorables et les cas possibles.

### **STADE 3**

*Exemple de réponses d'enfants de stade 3 (Piaget & Inhelder, 1974, pp 148-149)*

**LUT, âgé de 12 ans et 5 mois.**

Cas 10 : inégalité des favorables et des possibles (1/3 versus 2/5)

b. « - C'est plus facile ici (2/5) parce que ça fait deux chances contre trois et là une contre deux. Il faudrait qu'il y ait quatre (donc 2/6) sans croix là pour que ce soit égal ». Alors, puisqu'il y en a une de moins, c'est plus facile. »

### ***b. Des compétences plus précoces que ne le pensait Piaget ?***

Ainsi, selon Piaget & Inhelder (1974), l'enfant n'acquiert une bonne compréhension des probabilités que vers l'âge de 11-12 ans. Or, comme cela a pu être récemment démontré dans différents domaines de la cognition (Borst et al., 2015; Borst, Pineau, Poirel, Cassotti & Houdé, 2013; Borst, Simon, Vidal, Houdé, 2013; Houdé, 2000; Houdé et al., 2011), de nouvelles évidences attestent de compétences plus précoces que ce que Piaget avait pu définir. L'échec des enfants dans les problèmes utilisés par Piaget ne refléterait pas un défaut de compétences logiques nécessaires à leur résolution, mais l'existence de pièges dans la conception des situations proposées.

En effet, dès 4 ans, les enfants comprennent le caractère incertain et la nature imprévisible des issues d'une situation aléatoire (Kuzmak & Gelman, 1986). En outre, malgré l'interférence d'informations contextuelles ou perceptives saillantes mais non pertinentes (Betsch & Lang, 2013; Reyna, 1995) parfois persistances à l'âge adulte, les enfants dès l'âge de 7 ans parviennent à effectuer des comparaisons probabilistes fines en considérant de façon conjointe le nombre de cas favorables (i.e. numérateur) et le nombre total de cas (i.e. dénominateur) (Acredolo, O'Connor, Banks, & Horobin, 1989). Ainsi, ces études (cf. Annexe 1 pour une présentation plus détaillée) suggèrent que la prise de risque des adolescents ne peut être attribuée à un défaut de quantifications des probabilités associées aux issues d'une situation.

## 2. Développement de la notion de valeur espérée

Malgré les difficultés rencontrées dans certains paradigmes expérimentaux, les enfants et plus particulièrement les jeunes adolescents seraient capables de comprendre le caractère aléatoire et de quantifier les probabilités associées à une situation plus précocement que ne l'avait montré Piaget. Pour autant, le jugement probabiliste ne suffit pas à identifier les situations avantageuses dans des situations de prise de décision à risque. Comme nous l'avons suggéré dans le premier chapitre, l'option la plus avantageuse parmi un ensemble de possibles ne peut être définie sur la seule base des probabilités. Les situations de prise de décision à risque impliquent des probabilités et des enjeux clairement définis. Le caractère avantageux d'une option parmi d'autres repose alors sur la détermination de sa valeur espérée (EV) ou espérance mathématique, c'est à dire la considération conjointe des enjeux et des probabilités associées. La valeur espérée d'une situation peut alors être modélisée par la somme des produits de chaque résultat potentiel par sa probabilité d'occurrence, soit :

$$EV = v_1 p_1 + v_2 p_2 + \dots + v_n p_n$$

*(v étant le résultat potentiel et p sa probabilité associée)*

Dans cette perspective, une première recherche de Schlottmann (2001) a permis l'étude du développement de la prise en compte de la valeur espérée entre 5 et 10 ans. Selon Schlottmann, si les enfants parviennent à avoir une représentation juste des probabilités, alors ils devraient également comprendre la notion de valeur espérée à travers la mise en relation des récompenses en jeu et de leur probabilité. Le matériel utilisé dans cette étude consistait en un tube transparent sur sa face supérieure et divisé en plusieurs sections égales distribuées selon 2 couleurs. Une bille mobile pouvait alors s'arrêter aléatoirement sur une des deux couleurs suite à l'agitation du tube. Outre, les probabilités associées à chacune des couleurs (i.e.  $p_{\text{bleu}} = .20$  /  $p_{\text{jaune}} = .80$  soit 1 section bleue et 4 sections jaunes ;  $p_{\text{bleu}} = .50$  /  $p_{\text{jaune}} = .50$  soit 1 section bleue et 1 section jaune ;  $p_{\text{bleu}} = .80$  /  $p_{\text{jaune}} = .20$  soit 4 sections bleues et 1 section jaune), les enjeux étaient manipulés par l'association d'une récompense donnée à chacune des couleurs : récompense très faible ou très forte pour le jaune (i.e. 1 ou 10 crayons gagnés) et une récompense intermédiaire pour le bleu (i.e. 3 ou 6 crayons gagnés). La tâche de l'enfant était alors d'aider une marionnette à évaluer à quel point elle était heureuse de jouer face à une configuration donnée (cf. Figure 10A).

Grâce à ce paradigme, Schlottmann (2001) a pu mettre en avant les aptitudes précoces des enfants à évaluer l'espérance mathématique d'options complexes. Les enfants parviennent à intégrer les probabilités et les récompenses de façon multiplicative, ce qui les conduit à un pattern d'évaluation très proche des prédictions basées sur la valeur espérée des différentes configurations, et ce même chez les enfants les plus jeunes (cf. Figure 10 B et

C). Cette intégration multiplicative se traduit en effet par une augmentation de la satisfaction de la marionnette avec la probabilité de tomber sur une couleur donnée lorsque la récompense la plus importante est associée à cette couleur et au contraire, une diminution de la satisfaction avec la probabilité de tomber sur une couleur donnée quand la récompense la moins importante est associée à cette couleur.

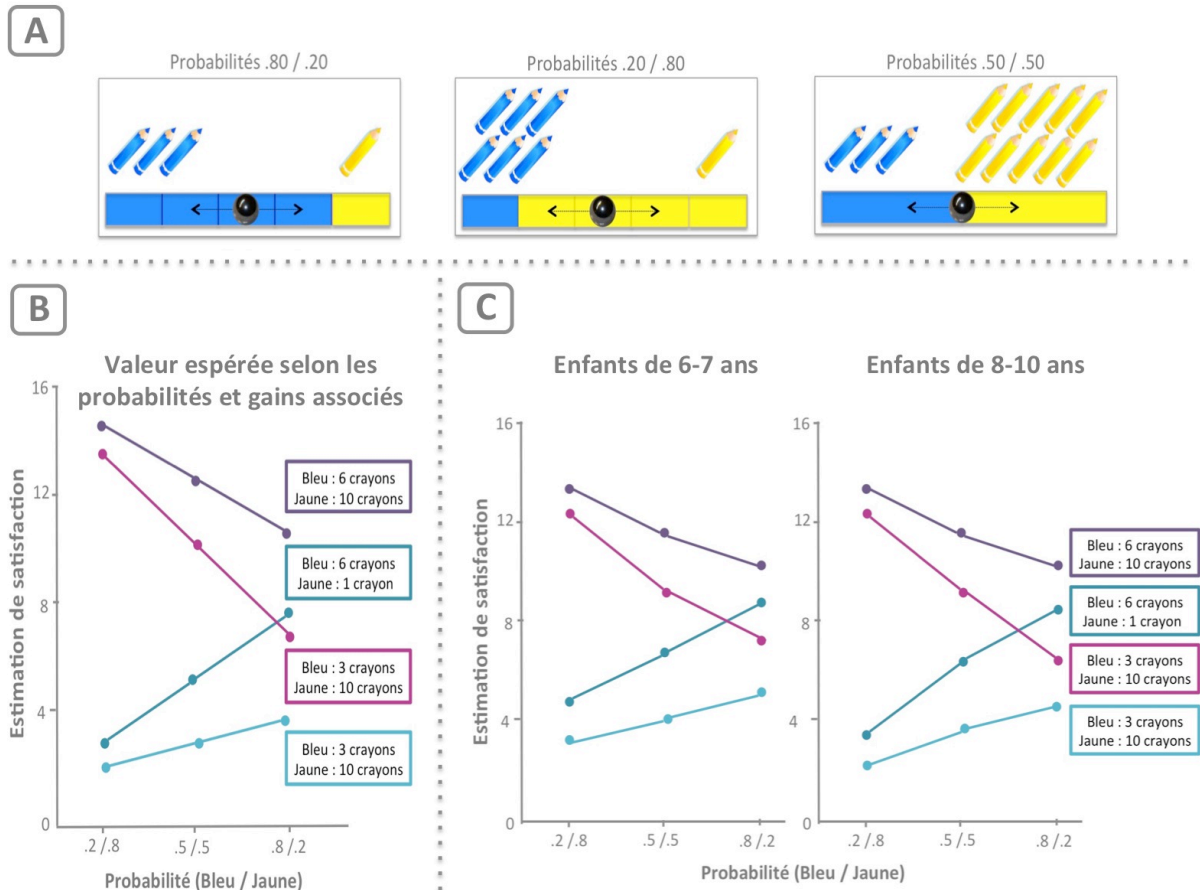


Figure 10 : Tâche de prise de décision à risque proposée par Schlottmann (2001). A) Exemple de configuration pour chacune des 3 conditions de probabilités ( $p_{\text{bleu}} = .80 / p_{\text{jaune}} = .20$  ;  $p_{\text{bleu}} = .50 / p_{\text{jaune}} = .50$  ;  $p_{\text{bleu}} = .20 / p_{\text{jaune}} = .80$ ). Un arrêt sur la couleur jaune était récompensé par des récompenses faibles ou fortes (i.e. 1 ou 10 crayons) et la couleur bleue par des récompenses intermédiaires (i.e. 3 ou 6 crayons gagnés). B) Valeur espérée théorique de chacune des configurations possibles selon l'ampleur des récompenses et leurs probabilités associées. C) Estimation de la satisfaction de la marionnette par l'enfant en fonction de la probabilité et des récompenses associées à chaque couleur. Les enfants de 6-7 ans comme les enfants de 8-10 ans présentent un pattern d'évaluation proche des prédictions élaborées sur la base de la valeur espérée de chacune des configurations.

### 3. Évaluation du niveau de risque au cours du développement

Bien que ces études témoignent d'une considération précoce de la notion de valeur espérée, il reste toutefois à comprendre comment les enfants parviennent à utiliser cette information pour décider de s'engager dans une situation à risque. En effet, les tâches utilisées dans les études précédentes reposent sur l'évaluation d'une configuration isolée et non sur le choix d'une option parmi d'autres. A notre connaissance, une étude a permis de

caractériser la capacité des enfants et des adolescents à intégrer la notion de valeur espérée dans un processus de prise de décision.

Dans cette étude, quatre-vingt-treize participants répartis en cinq groupes d'âge (i.e. 8-9 ans, 11-12 ans, 14-15 ans, 17-18 ans et 25-30 ans) ont complété une tâche de prise de décision nécessitant la prise en compte des probabilités et des récompenses associées à chaque issue possible : la *Cake Gambling Task* (van Leijenhorst, Westenberg, & Crone, 2008) (cf. Figure 11). À chaque essai, les participants sont confrontés à un gâteau découpé en 6 parts égales dont la proportion de parts à la fraise et de parts au chocolat varie selon les essais (5 / 1 ; 4 / 2 ou 3 / 3). Outre la probabilité variable associée à chacun des parfums, les récompenses associées sont également manipulées : alors que le parfum associé à la probabilité la plus forte est récompensé par un seul point, le parfum dont la probabilité est la plus faible est associé à une récompense plus importante (i.e. 1, 3, 5, 7 ou 9 points). La tâche consiste alors à parier sur le parfum (i.e. fraise ou chocolat) qui sera tiré au hasard par l'ordinateur parmi les 6 parts de gâteau, ce qui revient à faire un choix entre une option à haut risque (i.e. récompense plus importante mais moins probable) et une option à faible risque (i.e. récompense plus faible mais plus probable). Le participant remporte alors la récompense associée à l'option de son choix seulement si la part tirée par l'ordinateur correspond au parfum choisi. Même si les garçons semblent prendre plus de risques que les filles, aucune différence développementale n'est notée dans cette étude. Quel que soit l'âge, le nombre de choix risqués augmente avec la probabilité et la valeur de la récompense associée à cette option. Ces résultats confirment ainsi que dès l'âge de 8 ans, les enfants comme les adolescents et les adultes parviennent à ajuster leur choix en intégrant les probabilités et les enjeux des différentes options.

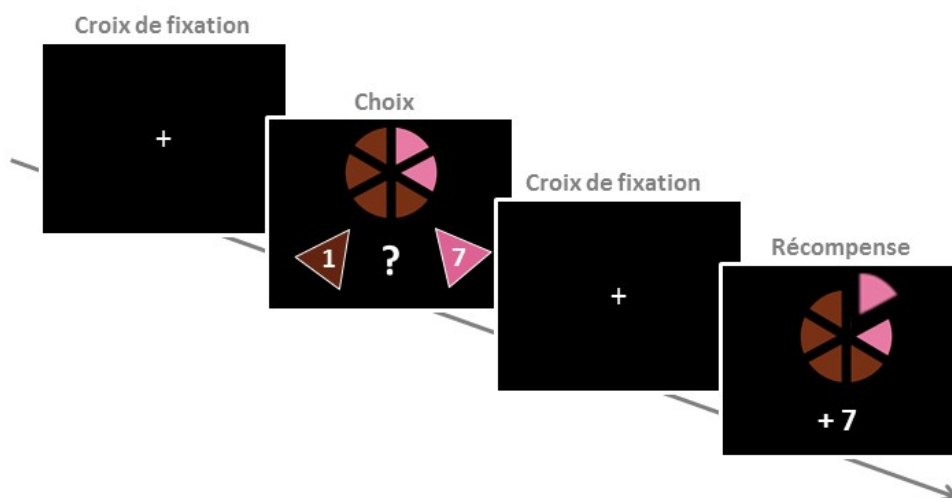


Figure 11 : Déroulement d'un essai dans l'étude de Van Leijenhorst et al. (2008) : après la présentation d'un gâteau découpé en 6 parts égales (e.g. 4 au chocolat et 2 à la fraise) et les récompenses associées à chacun des parfums, les participants doivent parier sur le parfum qui sera choisi au hasard par l'ordinateur. Les participants reçoivent alors la somme correspondante si le parfum de leur choix est sélectionné.

Au-delà d'un choix entre une option risquée et une option plus sûre, la prise de risque au quotidien peut souvent se traduire par un engagement progressif dans une conduite risquée. Imaginez-vous un soir de weekend dans un bar entouré de vos amis. Il semble raisonnable de penser que la consommation d'un unique verre d'alcool n'entravera pas votre capacité à prendre le volant en toute sérénité à la fermeture du bar. Mais qu'en est-il d'un deuxième, troisième, quatrième verre d'alcool ? Dans de telles circonstances, le choix de l'individu ne consisterait pas seulement à choisir entre deux options d'espérances mathématiques différentes, mais à décider d'une limite quant à son engagement croissant dans une conduite à risque, en réévaluant à chaque étape les probabilités et enjeux associés à la situation.

La tâche proposée par Slovic (1966) à un échantillon de plus de 1000 enfants et adolescents âgés de 6 à 16 ans illustre parfaitement cet engagement progressif dans une prise de risque. Un dispositif constitué de 10 interrupteurs était présenté aux enfants. Après avoir été informés que 9 de ces interrupteurs leur permettraient de gagner des bonbons mais que l'un d'entre eux les conduirait à tout perdre, les enfants étaient amenés à pousser un à un les interrupteurs. Ils pouvaient alors décider après chaque *feedback* de continuer ou non de pousser un interrupteur supplémentaire pour accumuler plus de bonbons sachant qu'ils risquaient de perdre l'ensemble des bonbons collectés en choisissant le levier perdant. Selon Slovic, la stratégie optimale (i.e. correspondant à la valeur espérée maximale) consiste à activer 5 interrupteurs. Dès lors, cette procédure permet aux auteurs de classer les individus comme aversifs face aux risques (i.e. pousser moins de 5 interrupteurs) ou au contraire preneurs de risque (i.e. pousser plus de 5 interrupteurs). Étonnamment, malgré l'ampleur de l'échantillon, les auteurs ne rendent pas compte de l'existence de différences développementales quant à la prise de risque des participants. Malgré tout, la présence d'une interaction entre l'âge et le sexe semble révéler que les garçons prennent plus de risques que les filles, surtout chez les adolescents. Notons cependant que la prudence des filles ne semble pas excessive car elle s'avère avantageuse en les conduisant à une plus grande collecte de bonbons à l'issue du jeu. Enfin, cette tâche semble être un bon prédicteur de l'engagement des enfants dans des conduites à risque plus écologiques. Hoffrage, Weber, Hertwig et Chase (2003) ont pu mettre en évidence le lien entre la tendance des enfants de 5-6 ans à traverser la rue en fonction de l'état du trafic et leur prise de risque, mesurée par une adaptation très proche de la tâche de Slovic (1966) (i.e. les interrupteurs étaient remplacés par des boîtes contenant des images). En effet, les enfants preneurs de risque (i.e. ouvrant plus de 5 boîtes) décident de traverser la rue plus rapidement et pour les délais plus courts entre deux voitures consécutives que les enfants dits aversifs face au risque (i.e. ouvrant moins de 5 boîtes).



#### 4. Profil développemental de la prise de risque

Au delà de la capacité des adolescents à utiliser les probabilités et l'ampleur des enjeux pour ajuster leurs choix, de nombreux auteurs ont cherché à caractériser le profil développemental de la prise de risque grâce à l'introduction de nombreuses tâches de prise de décision.

En présentant à des participants âgés de 8 à 18 ans une série de choix entre une option sûre (e.g. gain de 1 jeton) et une option risquée qui peut à long terme s'avérer avantageuse (50% de chance de gagner 5 jetons et 50% de chance de perdre 1 jeton) ou désavantageuse (50% de chance de gagner 5 jetons et 50% de chance de perdre 4 jetons), Crone, Bullens, van der Plas, Kijkuit, et Zelazo (2008) révèlent un profil développemental en contradiction avec l'idée d'un pic de prise de risque à l'adolescence : une diminution avec l'âge du nombre de choix risqués désavantageux (voir aussi Paulsen, Carter, Platt, Huettel, & Brannon, 2011; Paulsen, Platt, Huettel, & Brannon, 2011 ; van Duijvenvoorde et al., 2015). Bien que cette diminution linéaire de la prise de risque s'accorde facilement avec les études précédemment citées qui révélaient une augmentation des capacités à coordonner différentes dimensions d'un problème pour ajuster sa prise de risque, aucun consensus ne semble établi dans la littérature. En effet, certains travaux relèvent une stabilité de la prise de risque entre 11 et 17 ans, marquée par une tendance à être aversif face risque : dans une tâche comportant une moitié d'essais pour lesquels l'option risquée s'avère être la plus avantageuse, les participants, quel que soit leur âge, présentent un taux de prise de risque inférieur à 50% (Wolf, Wright, Kilford, Dolan, & Blakemore, 2013). D'autres au contraire suggèrent une évolution quadratique de la prise de risque avec l'âge caractérisée par un pic aux alentours de 14 ans, même si la différence entre les enfants et les adolescents les plus jeunes en termes de nombre de choix risqués ne semble pas si évidente (Burnett, Bault, Coricelli, & Blakemore, 2010).

Plusieurs facteurs explicatifs peuvent cependant être avancés pour rendre compte de ces données contradictoires. Alors que l'étude de Wolf et al. (2013) porte sur une population exclusivement féminine, seuls des garçons ont été inclus dans l'étude de Burnett et al. (2010). Outre ces différences d'échantillonnage, la procédure expérimentale utilisée par Burnett et al. (2010) impliquent des processus d'ordre émotionnel véhiculés à travers la réception de *feedbacks*, facteur dont l'impact sur la prise de décision apparaît incontestable. Ce rôle de la nature émotionnelle de la tâche a notamment été mis en exergue par Figner, Mackinlay, Wilkening et Weber (2009) grâce à une nouvelle procédure originale, la *Columbia Card Task*. Comme celle proposée par Slovic (1966), cette tâche permet de mesurer la prise de risque de façon dynamique en déterminant le moment où le participant décide de stopper



son engagement dans une série de choix soumis à une augmentation progressive du niveau de risque. En effet, les participants peuvent retourner autant de cartes qu'ils le souhaitent pour obtenir des récompenses mais l'essai prend fin si la carte retournée est perdante et s'accompagne d'une perte importante. Cette tâche s'inscrit dans le domaine de la prise de décision à risque dans la mesure où le participant a connaissance du nombre total de cartes, du nombre de cartes perdantes et de la valeur des enjeux qui leur sont associés. Par ailleurs, la distinction entre 2 versions permet de manipuler la nature émotionnelle de la tâche : une version dite « froide » et une version émotionnelle dite « chaude » caractérisée par la réception de *feedbacks* immédiats suite à chaque carte retournée. Les adolescents de 14-16 ans et de 17-19 ans présentent des décisions moins optimales que les adultes, se traduisant par une plus grande prise de risque uniquement dans le cadre de la version émotionnelle. Aucun effet développemental ne ressort sur la version non émotionnelle.

Au vu des résultats contrastés dans la littérature, le parallèle entre le pic d'engagement des adolescents dans des conduites à risque quotidiennes et le développement de la prise de risque en laboratoire apparaît limité à l'implication de facteurs émotionnels. Il semble en effet que la prise de risque diminue progressivement au cours du développement, en lien avec des compétences de plus en plus avisées dans la prise en compte des probabilités et des enjeux, mais uniquement dans le cadre de situation de laboratoire n'impliquant pas de dimension émotionnelle. Lorsqu'elle est mesurée par des tâches dites « émotionnelles » (i.e. tâches impliquant par exemple la réception de *feedbacks*), la prise de risque connaît un développement quadratique caractérisé par un engagement maximum au milieu de l'adolescence. Ce constat prend tout son sens à la lumière des nouvelles modélisations du développement cognitif décrites dans le premier chapitre. Il rejoint parfaitement le modèle de Casey et al. (2008) qui stipule que l'engagement dans des conduites à risque serait le reflet d'une hypersensibilité émotionnelle des adolescents alors même que les processus de contrôle nécessaires à la régulation de ces émotions restent encore immatures.

---

## II. IMPACT DES ÉMOTIONS SUR LA PRISE DE DÉCISION À RISQUE

---

Selon les modèles normatifs de la prise de décision, le processus décisionnel se déroule en cinq étapes consécutives : 1) l'identification des différentes options, 2) des conséquences potentielles de ces options, 3) de leur degré de désirabilité, 4) de leurs probabilités d'occurrence et enfin 5) la combinaison de ces éléments suivant l'application des règles

décisionnelles que de nombreux théoriciens de la décision ont tenté de formuler (Furby & Beyth-Marom, 1990). Pourtant, si l'implication d'une dimension émotionnelle semble affecter la capacité des adolescents à opter pour des choix avantageux (Figner et al., 2009), les émotions jouent également un rôle clé tout au long du développement en impactant les choix de l'individu jusqu'à le conduire à des biais systématiques transgressant ces règles décisionnelles normatives (cf. Annexe 2).

## 1. L'effet du cadre de présentation : exemple d'une déviation systématique par rapport aux lois de l'approche normative

### *a. Mise en évidence de l'effet du cadre*

Dans le domaine de la prise de décision à risque, la transgression du principe d'invariance constitue l'un des exemples les plus évidents d'une déviation de l'individu par rapport aux lois de l'approche normative (De Martino et al., 2006; Kahneman & Tversky, 1984; Trepel, Fox, & Poldrack, 2005; Tversky & Kahneman, 1981). Selon ce principe, l'ordre de préférence entre plusieurs alternatives ne devrait pas dépendre de la façon dont celles-ci sont décrites (Von Neumann & Morgenstern, 1947). Si une option A est préférée à une option B, elle doit le rester quelle que soit la manière dont elles sont présentées. Dès lors, deux versions d'un même problème, équivalentes en termes d'espérance mathématique, doivent aboutir aux mêmes préférences chez un sujet. Prenons l'exemple d'une proposition thérapeutique : si un traitement A comportant 70% de chance de survie est préféré à une proposition alternative, celui-ci doit le rester malgré une formulation en termes de perte : offrir 30% de risque de décès. Or, Tversky et Kahneman (1981) ont montré l'incapacité des individus à résister à l'influence d'indices non pertinents lorsqu'ils sont amenés à faire un choix. Ces auteurs ont mis en évidence la transgression du principe d'invariance en proposant aux sujets le problème suivant :

*« Imaginez que les Etats-Unis s'attendent à une recrudescence d'une infection (grippe) venue d'Asie risquant de provoquer la mort de 600 personnes. Deux programmes alternatifs pour combattre l'infection ont été proposés. Supposons que les estimations scientifiques exactes des retombées des deux programmes soient les suivantes :*

- Si le programme A est adopté, 200 personnes seront sauvées.*
- Si le programme B est adopté, il y a une chance sur trois que les 600 personnes soient sauvées, et deux chances sur trois qu'il n'y ait aucun survivant.*

*Parmi ces deux programmes, lequel retiendriez-vous ? »*

Dans cette version du problème, posé en termes de « vies sauvées », les individus vont majoritairement être aversifs au risque en préférant l'option sûre (programme A) à une option risquée (programme B) dont l'espérance mathématique est pourtant la même. En effet, 72% des participants vont opter pour le programme A contre seulement 28% pour le programme B, malgré l'équivalence mathématique de ces 2 alternatives. Les individus privilégient la certitude de 200 vies sauvées, plutôt que le risque de n'en sauver aucune.

Les auteurs ont alors présenté aux participants une nouvelle version du problème, cette fois-ci présenté en termes de « vies perdues » :

« Imaginez maintenant la même situation, avec ces deux options :

- Si le programme C est adopté, 400 personnes décéderont.

- Si le programme D est adopté, il y a une chance sur trois qu'il n'y ait aucun décès, et deux chances sur trois qu'il y ait 600 morts.

*Parmi ces deux nouveaux programmes, lequel retiendriez-vous ? »*

Dans cette deuxième version, la majorité des participants va préférer l'option risquée à l'option sûre. En effet, 78% optent pour le programme D contre seulement 22% pour le programme C, évitant ainsi la mort certaine de 400 individus. Il faut toutefois noter que ces deux versions du problème, conduisant pourtant à des préférences opposées, sont strictement identiques sur le plan mathématique. En accord avec les prédictions de la théorie des perspectives (cf. Annexe 2), cet effet du cadre de présentation sur les préférences des individus (ou *framing effect*) contredit ainsi le principe d'invariance et se traduit par une aversion au risque en version gain (i.e. vies sauvées) et une propension au risque en version perte (i.e. vies perdues) (Kahneman & Tversky, 1984; Tversky & Kahneman, 1981). En effet, la trajectoire de la fonction de valeur implique des préférences distinctes dans les domaines des gains et des pertes : alors que la valeur accordée à la certitude de sauver 200 vies surpasse la possibilité de sauver 600 vies, la perspective de 400 vies perdues s'associe au contraire à une valeur moindre par rapport à la possibilité de sauver 600 vies. Il faut cependant noter que la définition de l'effet du cadre a été par la suite nuancée pour distinguer deux formes distinctes d'effet du cadre : bidirectionnel et unidirectionnel (Wang, 1996). L'effet du cadre classique (ou bidirectionnel) se définit comme nous venons de le voir par des préférences contradictoires selon le cadre de présentation, à savoir une aversion au risque en version gain et une propension au risque en version perte. La forme unidirectionnelle se caractérise quant à elle par une bascule vers un positionnement plus extrême sans renversement strict des préférences du sujet (i.e. aversion au risque plus marquée en version gain qu'en version perte, ou propension au risque plus forte en version perte qu'en version gain).

De nombreuses études ont par la suite confirmé et généralisé cet effet du cadre de présentation dans d'autres domaines, comme dans le contexte de décisions financières (Cassotti et al., 2012; De Martino, Camerer, & Adolphs, 2010; De Martino et al., 2006; Huang & Wang, 2010; Ma, Pei, & Wang, 2015; Osmont et al., 2014; Sip, Smith, Porcelli, Kar, & Delgado, 2015; Wang, 1996; Zheng, Wang, & Zhu, 2010). Une étude de neuroéconomie de De Martino et al. (2006) a notamment permis de mettre en exergue l'implication des processus émotionnels dans l'apparition de ce biais. Après avoir reçu une somme de départ de 50\$, les participants devaient choisir entre une option sûre et une option risquée, de même espérance mathématique mais présentées soit en termes de gain soit en termes de perte. L'option sûre était définie comme une part conservée (ou perdue) par rapport à la somme de départ (ex : garder 20\$ sur les 50\$ en version gain, et perdre 30\$ sur les 50\$ en version perte) et l'option risquée sous forme de roue de la fortune indiquant une certaine probabilité de garder ou de perdre l'intégralité de la somme (cf. Figure 12).

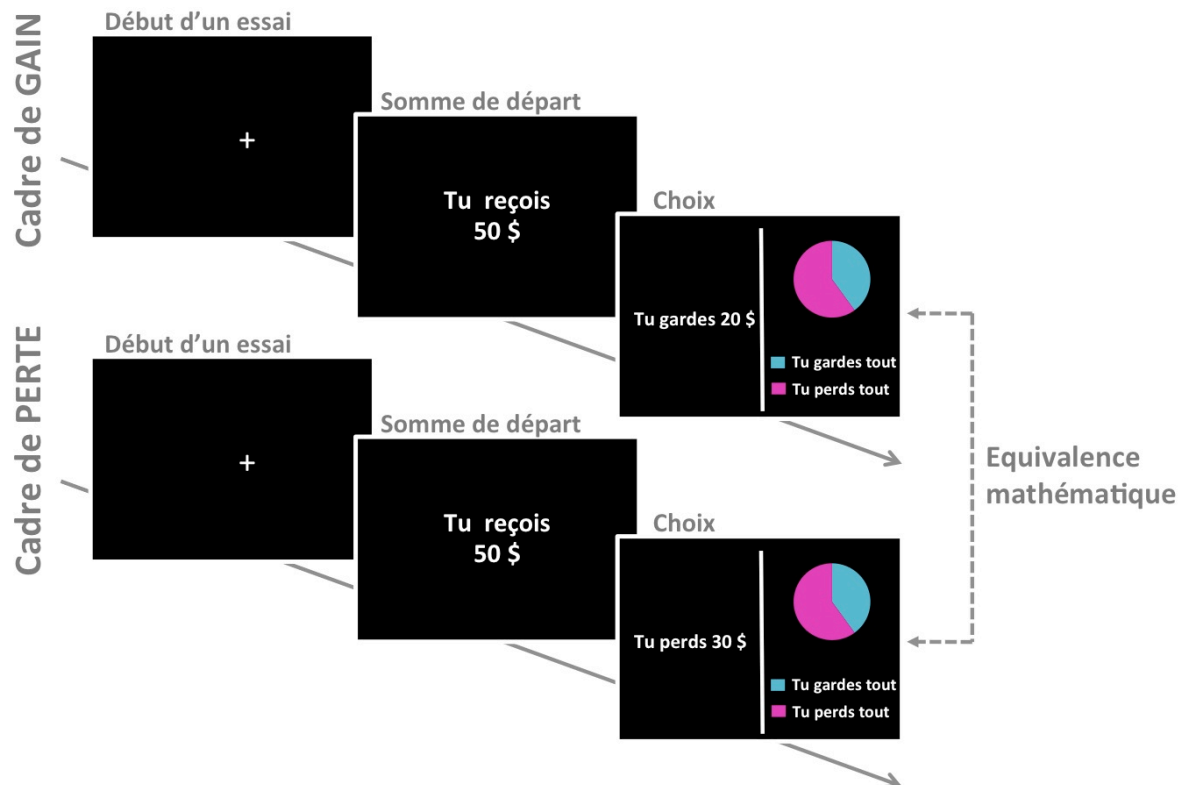


Figure 12 : Tâche proposée par De Martino et al. (2006). Exemples de choix entre l'option sûre et l'option risquée, présentés en version gain et en version perte. L'option sûre permet soit de garder (version gain) soit de perdre (version perte) une partie de la somme de façon certaine. L'option risquée correspond à une roue de la fortune permettant de jouer l'intégralité de la somme de départ. Les deux versions (gain versus perte) sont mathématiquement équivalentes et les options sûres et risquées possèdent la même valeur espérée.

Les résultats comportementaux confirment l'existence d'un effet du cadre de présentation dans les choix financiers. Les participants choisissent préférentiellement l'option sûre en version gain (i.e. aversion au risque) mais préfèrent l'option risquée en

version perte (i.e. propension pour le risque) (cf. Figure 13). Par ailleurs, l'étude des bases cérébrales impliquées révèle une supériorité de l'activité amygdalienne bilatérale pour les réponses en accord avec l'effet du cadre (choix de l'option sûre en version gain ou de l'option risquée en version perte). Au contraire, les réponses en contradiction avec l'effet du cadre se traduisent pas une augmentation de l'activation du cortex cingulaire antérieure (ACC). De plus, l'étude des différences interindividuelles révèle que l'activation du cortex préfrontal orbital et médial (PFOM), notamment du OF droit, est d'autant plus importante que la sensibilité au cadre de présentation des participants diminue.

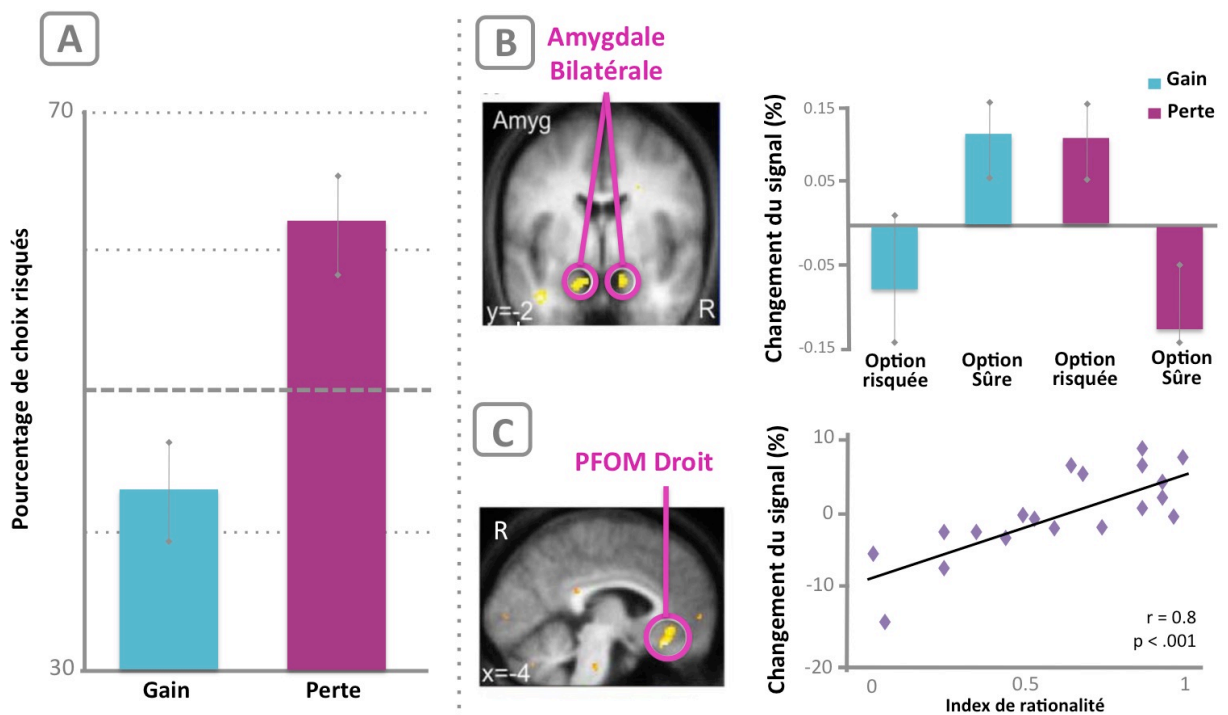


Figure 13 : Résultats de l'étude de De Martino et al. (2006). A) Pourcentage de choix risqués selon le cadre de présentation. Les participants présentent une aversion au risque en version gain et une propension au risque en version perte. B) Niveau d'activation de l'amygdale selon le cadre de présentation et l'option choisie. Le niveau d'activation de l'amygdale est plus important pendant les choix en accord avec l'effet du cadre que pour les choix en désaccord avec l'effet du cadre. C) Le niveau d'activation du cortex PFOM est inversement corrélé à la sensibilité des participants à l'effet du cadre.

Ces résultats attestent que l'effet du cadre serait le reflet de la sollicitation d'une heuristique affective sous-tendue par le système émotionnel et conduisant les individus à rejeter de façon systématique une option associée à une perte certaine et à conserver une option associée à un gain. En lien avec les modèles du double processus présentés dans le premier chapitre de ce manuscrit, les choix des participants seraient initialement guidés par une évaluation émotionnelle intuitive appartenant au système 1 et sous tendue par l'amygdale (Kahneman & Frederick, 2007). Selon De Martino et al. (2006), le cortex préfrontal orbital et médial jouerait quant à lui un rôle dans l'évaluation et l'intégration des composantes émotionnelles et cognitives. Dès lors, ces individus auraient une meilleure

représentation de leurs propres biais émotionnels et seraient ainsi capables d'opter pour les comportements les plus adaptés à chaque situation. Par ailleurs, l'implication des régions préfrontales dans les réponses en désaccord avec l'effet du cadre peut également suggérer que l'effet du cadre découlerait d'un défaut d'inhibition d'une stratégie intuitive conduisant à des préférences opposées suivant la présentation d'une option, et non d'une absence de stratégie logique répondant au principe d'invariance (Houdé, 2000; Houdé & Borst, 2015; Houdé, Rossi, Lubin, & Joliot, 2010).

### ***b. L'effet du cadre : un biais d'origine émotionnelle ?***

Ainsi, comme le suggère l'étude de De Martino et al. (2006), l'effet du cadre semble constituer un biais d'origine émotionnel. Les réponses contradictoires de l'individu selon le cadre de présentation pourraient résider dans l'évaluation de la valence émotionnelle portée par les mots « gain » et « perte » qui évoqueraient chacun une réponse émotionnelle spécifique, conduisant respectivement à la tendance à accepter ou rejeter l'option sûre de façon automatique (Cheng & Bargh, 1999 ; Kahneman & Frederick, 2007). Notons par ailleurs que selon l'hypothèse d'un poids décisionnel plus fort des pertes suggérée par la *Prospect Theory* (cf. Annexe 2), l'effet du cadre serait principalement sous-tendu par un phénomène d'aversion aux pertes conduisant au rejet systématique d'une perte certaine. La propension au risque en version perte se révèle en effet plus marquée que l'aversion face au risque en version gain (De Martino et al., 2006; Zheng et al., 2010).

Bien que deux études à notre connaissance ne confirment pas l'implication de l'amygdale dans le phénomène d'aversion aux pertes (Talmi, Hurlmann, Patin, & Dolan, 2010; Tom, Fox, Trepel, & Poldrack, 2007), de nombreux arguments comportementaux, neurofonctionnels et lésionnels viennent souligner la nature émotionnelle de ce biais. Grâce à une adaptation de la tâche de De Martino et al. (2006) précédée d'un amorçage émotionnel positif ou négatif, Cassotti et al. (2012) ont révélé que l'induction d'un contexte émotionnel positif permettait de neutraliser l'effet du cadre de présentation en supprimant le phénomène d'aversion aux pertes (cf. Figure 14). Au contraire, l'induction d'émotion négative entraîne une modulation spécifique de l'aversion au risque en version gain : alors que la peur entraîne une augmentation de l'aversion aux pertes, l'induction d'une émotion de colère neutralise l'effet du cadre en réduisant l'aversion au risque (Habib, Cassotti, Moutier, Houdé, & Borst, 2015). Par ailleurs, bien que l'étude lésionnelle menée par Talmi, Hurlmann, Patin et Dolan (2010) n'ait pas révélé de rôle causale de l'amygdale dans la manifestation de l'effet du cadre de présentation, De Martino, Camerer et Adolphs (2010) ont mis en évidence chez 2 patients présentant des dommages au niveau de l'amygdale, une

absence d'aversion aux pertes non explicable par une propension pour le risque globalement accentuée.

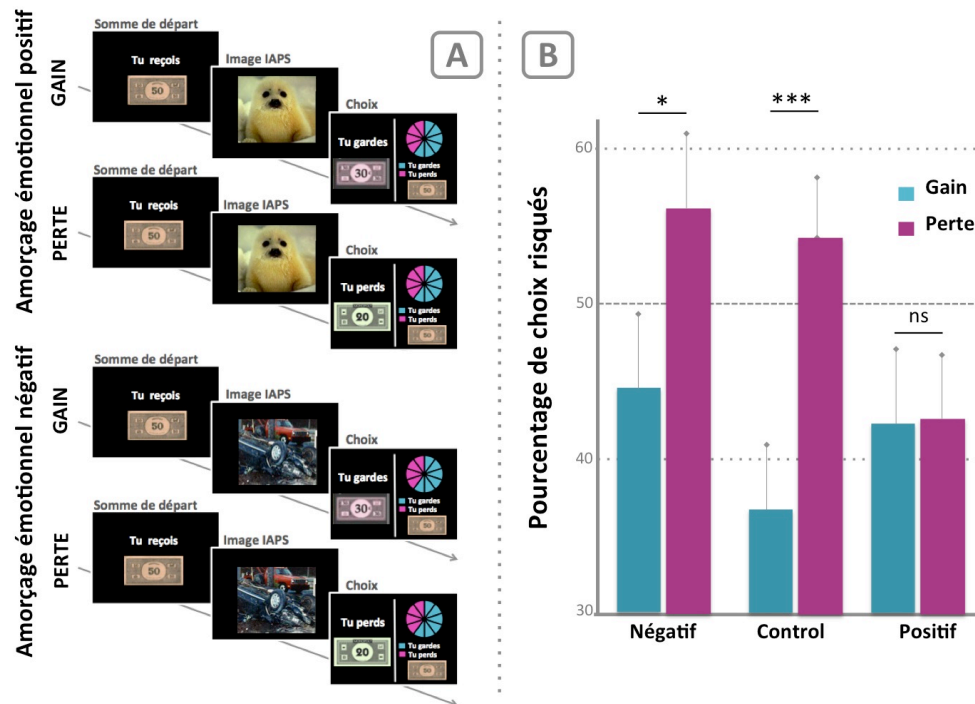


Figure 14 : Méthode (A) et résultats (B) de l'étude de Cassotti et al. (2012). A) Un contexte émotionnel positif ou négatif est induit par la présentation d'images issues de l'IAPS (Lang, Bradley, Cuthbert, & others, 1999) entre la somme de départ et la présentation des options. B) Pourcentage de choix risqués selon le cadre et l'induction émotionnelle. Seule l'induction d'émotions positive permet la neutralisation de l'effet du cadre en diminuant le nombre de choix risqués dans le cadre de perte.

Les études semblent ainsi converger et confirmer la nature émotionnelle de l'effet du cadre en révélant des réseaux neuraux impliquant l'amygdale et le cortex OF dans la détection d'une perte éventuelle (De Martino et al., 2010; Hsu, Bhatt, Adolphs, Tranel, & Camerer, 2005; Kahn et al., 2002). Pour autant, bien qu'elles semblent impliquées dans la génération de biais décisionnels, les émotions ne doivent pas être perçues comme revêtant un rôle strictement négatif sur la prise de décision. L'aversion aux pertes revêt également un rôle adaptatif essentiel dans certaines décisions quotidiennes. La génération d'un signal responsable de la modulation de la valeur estimée d'une issue particulièrement aversive pourrait permettre d'inhiber un comportement inadapté voire dangereux, et de mobiliser les ressources cognitives et comportementales nécessaires à l'obtention d'informations supplémentaires dans l'environnement. L'absence de sensibilité au cadre de présentation dans certaines pathologies comme l'autisme témoigne également de ce caractère adaptatif (De Martino, Harrison, Knafo, Bird, & Dolan, 2008).



## 2. Développement de l'effet du cadre

Suite à la découverte d'un effet du cadre chez l'adulte et des prédictions distinctes pour le domaine des gains et des pertes selon la théorie des perspectives, l'évolution avec l'âge de la prise de décision à risque selon la valence des récompenses a suscité un vif intérêt dans la littérature mais ne fait toujours pas l'objet d'un consensus.

### a. Manifestation de l'effet du cadre au cours du développement

À notre connaissance, trois principales études ont testé l'existence d'un effet du cadre impliquant une équivalence mathématique (Reyna & Ellis, 1994; Schlottmann & Tring, 2005) mais conduisent à des conclusions opposées. Schlottmann et Tring (2005) ont proposé à des enfants de 6-7 ans et de 8-11 ans d'aider une poupée nommée Lucy à obtenir des bonbons au cours d'un partage avec l'expérimentateur (cf. Figure 15).

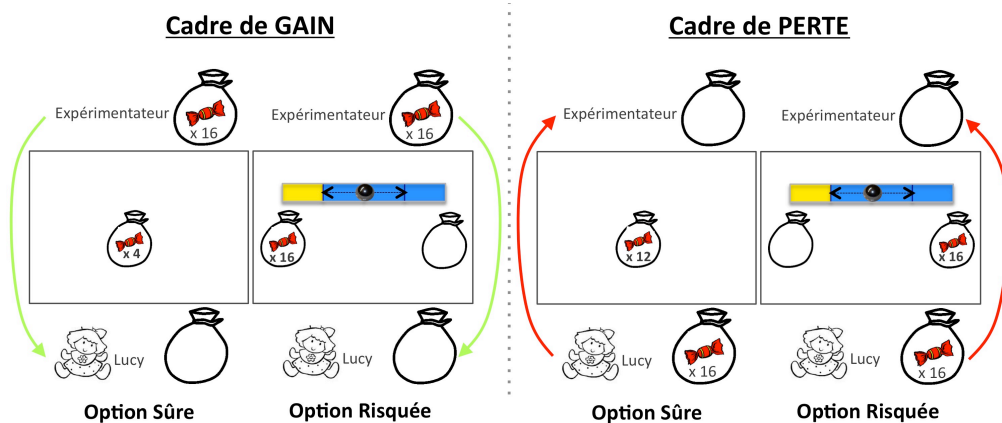


Figure 15 : Exemple de situation proposée dans l'étude de Schlottmann et Tring (2005) en version gain et en version perte. Dans la version gain, l'expérimentateur détient initialement la totalité des bonbons. Pour récupérer des bonbons, Lucy a le choix entre une option sûre lui permettant de récupérer 4 bonbons et une option risquée la conduisant soit à récupérer tous les bonbons (1 chance sur 4) soit à ne rien récupérer (3 chances sur 4). Dans la version perte, Lucy possède initialement la totalité des bonbons. Pour distribuer les bonbons, Lucy a le choix entre une option sûre lui permettant de donner 12 bonbons et une option risquée la conduisant soit à ne donner aucun bonbon (1 chance sur 4) soit à donner tous les bonbons (3 chances sur 4). L'issue de l'option risquée est déterminée par un tube en plastique transparent dans lequel une bille mobile peut s'immobiliser aléatoirement sur une des sections de couleurs représentant les probabilités.

Dans la version gain, l'expérimentateur possède des bonbons (e.g. 16 bonbons) dont Lucy peut en récupérer une partie de façon certaine (option sûre : e.g. gagner 4 bonbons sur les 16) ou prendre le risque soit de gagner l'intégralité des bonbons, soit de n'en gagner aucun (option risquée de valeur espérée égale : e.g. 1 chance sur 4 de gagner 16 bonbons et 3 chances sur 4 de n'en gagner aucun). Dans la version perte, c'est cette fois-ci Lucy qui possède initialement des bonbons (e.g. 16 bonbons). L'enfant doit alors l'aider à choisir entre la possibilité de n'en donner qu'une partie à l'expérimentateur de façon certaine (option sûre : e.g. donner 12 bonbons sur les 16) ou de prendre le risque soit de donner la totalité,



soit de ne rien donner (option risquée de valeur espérée égale : e.g. 1 chance sur 4 de ne rien donner et 3 chances sur 4 de donner 16 bonbons). Tout comme dans les études réalisées chez l'adulte (De Martino et al., 2006; Tversky & Kahneman, 1981), les versions gain et perte du problème sont strictement équivalentes sur le plan mathématique.

Les enfants de 6 ans comme les enfants de 9 ans traitent différemment les gains et les pertes : alors qu'ils présentent une forte aversion au risque en version gain, leurs choix basculent vers l'option risquée en version perte et ce même quand l'effet de la dotation de départ est contrôlé. Ces résultats rejoignent d'autres études suggérant une préférence pour les choix risqués plus marquée dans le domaine des pertes que dans le domaine des gains (Levin & Hart, 2003) (cf. Annexe 3) et suggèrent l'existence d'un effet du cadre classique des l'âge de 6 ans.

Cependant ces résultats semblent en totale contradiction avec ceux de Reyna et Ellis (1994) qui confirment l'hypothèse d'une augmentation des « illusions cognitives » au cours du développement à travers une adaptation visuelle des scénarios de Tversky et Kahneman (1981) chez des enfants de 4, 8 et 11 ans. Les enfants choisissaient entre une option sûre leur permettant de gagner un nombre certain de balles (1, 4 ou 30 balles) ou une option risquée permettant de gagner plus de balles ou de n'en gagner aucune, en jouant à une roue de la fortune équivalente à l'option sûre en termes de valeur espérée (i.e. roue associée à une probabilité de perte de 1/3, 1/2 ou 3/4). La version perte faisant suite à une dotation de départ était strictement équivalente à la version gain.

Contre toute attente, les choix apparaissent beaucoup plus consistants avec le principe d'invariance chez les enfants les plus jeunes qui, de façon générale, sont plutôt preneurs de risque mais montrent des choix en accord avec une combinaison multiplicative des enjeux et des probabilités. Les enfants de 8 ans montrent un pattern similaire mais présentent un effet du cadre inversé (i.e. plus de prise de risque dans le domaine des gains que des pertes) dans la condition où la différence d'amplitude des enjeux entre les deux options est maximale, profil pouvant suggérer une focalisation sur les enjeux : alors que l'option risquée dans la version gain offre la possibilité de gagner plus, l'option sûre dans la version perte offre la perspective de perdre moins. Enfin, seuls les enfants plus âgés présentent un renversement des préférences allant dans le sens de l'effet du cadre standard même si ce dernier ne se manifeste que pour les faibles ampleurs d'enjeux. De la même manière, la réplique de cette étude chez des adolescents âgés de 14 à 17 ans montrent que contrairement aux adultes qui présentent un effet du cadre standard quelles que soit les récompenses, l'effet du cadre chez les adolescents n'est standard que pour des enjeux faibles ou moyen mais inversé pour les enjeux les plus importants (Reyna et al., 2011).

Aux vues de ces études, il semble difficile de trancher sur la trajectoire développementale de l'effet du cadre de présentation, bien que des divergences méthodologiques pourraient en partie expliquer ces résultats contradictoires. Contrairement aux études réalisées chez l'adulte (De Martino et al., 2006; Tversky & Kahneman, 1981) et à l'étude de Schlottmann et Tring (2005), l'information de cadrage est seulement énoncée oralement dans l'étude de Reyna et Ellis (1994). En effet, seules les informations quantitatives sont visuellement présentées aux participants, pouvant ainsi favoriser une focalisation sur le nombre de balles présentes sur la table, au détriment de la considération de la valence des options.

### ***b. Développement de l'effet du cadre et modèles du double processus***

En contradiction avec les prédictions des modèles linéaires et cumulatifs du développement cognitif, l'idée d'une apparition progressive de biais décisionnels tels que l'effet du cadre offre un soutien expérimental fort à l'élaboration de modélisations développementales plus dynamiques (Reyna et al., 2011; Reyna & Ellis, 1994; voir aussi Chien, Lin, & Worthley, 1996). Les modèles du double processus permettent notamment de rendre compte d'une diminution avec l'âge des réponses en accord avec le principe d'invariance en décrivant le développement conjoint de deux systèmes : l'évolution des compétences logico-mathématiques (système 2 logique/analytique) et l'augmentation du nombre et de la fréquence d'usage de stratégies intuitives telle que l'aversion aux pertes (système 1 intuitif / heuristique) (De Neys & Vanderputte, 2011; Evans, 2011; Houdé, 2013; Jacobs & Potenza, 1991). Le registre cognitif de l'individu serait alors constitué d'un ensemble de stratégies variées, intuitives et analytiques, chacune caractérisée par une trajectoire développementale spécifique. Le renforcement des capacités d'inhibition cognitive, défini comme facteur clé du développement de l'intelligence (Houdé, 2000, 2007, 2013), pourrait dès lors assurer la régulation de la compétition entre ces deux systèmes en permettant l'expression de la stratégie logique malgré la dominance d'une heuristique plus automatisée. Dans la même perspective, la *Fuzzy trace theory* (Reyna, 1995, 2012; Reyna & Ellis, 1994) explique l'augmentation de la sensibilité au cadre de présentation des options avec l'âge par une augmentation du nombre et de la fréquence d'utilisation des stratégies intuitives en parallèle du développement des compétences logico-mathématiques. Ainsi, le développement cognitif se dirigerait vers une automatisation des intuitions plutôt que vers leur suppression. Sa présentation exhaustive ne répondant pas directement aux objectifs de cette thèse, un complément d'information sur le modèle de la *fuzzy trace theory* et son application à la prise de risque des adolescents est proposé en annexe 4.

### III. APPORTS DES NEUROSCIENCES CONCERNANT LE DÉVELOPPEMENT DE LA PRISE DE DÉCISION À RISQUE

---

Au cours de la dernière décennie, le domaine de la prise de décision a fortement bénéficié de l'essor des neurosciences développementales qui, grâce à l'amélioration des techniques d'imagerie cérébrale, permettent d'affiner et de compléter les données comportementales obtenues, contribuant ainsi à l'avancée des modélisations actuelles. Même s'il semble difficile de viser l'exhaustivité quant aux travaux de neuro-imagerie réalisés, l'objectif dans le cadre de cette introduction sera de présenter les principales études portant sur le développement de processus cognitifs essentiels à la prise de décision tels que l'évaluation du niveau de risque, la sensibilité aux récompenses et la sensibilité aux conséquences négatives.

#### 1. Apport des neurosciences concernant le développement de la prise de risque

L'étude de Van Leijenhorst, Moor et al. (2010) fournit de nouveaux arguments neuro-développementaux en faveur du modèle de Casey et al. (2008) en soulignant notamment la maturation des substrats neuronaux impliqués dans le contrôle cognitif au cours du développement. Pour cela, les auteurs proposent d'étudier le développement des patterns d'activation cérébrale dans le cadre d'une tâche de prise de décision à risque en IRMf. Quatre groupes de participants (i.e. des enfants, des adolescentes de 12-14 ans, des adolescents de 16-17 ans et des jeunes adultes) ont complété une version de la *Cake Gambling Task* proche de celle utilisée dans l'étude de Van Leijenhorst et al. (2008). A chaque essai, les participants sont confrontés à un gâteau découpé en 6 parts égales, 4 parts au chocolat et 2 parts à la fraise. La tâche consiste alors à parier sur le parfum (i.e. fraise ou chocolat) qui sera tiré au hasard par l'ordinateur. Dans cette version, les probabilités associées à chaque parfum ainsi que la récompense de l'option à faible risque (i.e. 1 euro) restent constantes, mais la récompense de l'option à haut risque varie entre les essais (i.e. 2, 4, 6, 8 euros). Ainsi, les valeurs espérées des deux options sont équivalentes pour une récompense de 2 euros, alors que pour les autres sommes, la valeur espérée de l'option à haut risque est supérieure malgré la probabilité plus faible de l'issue favorable.

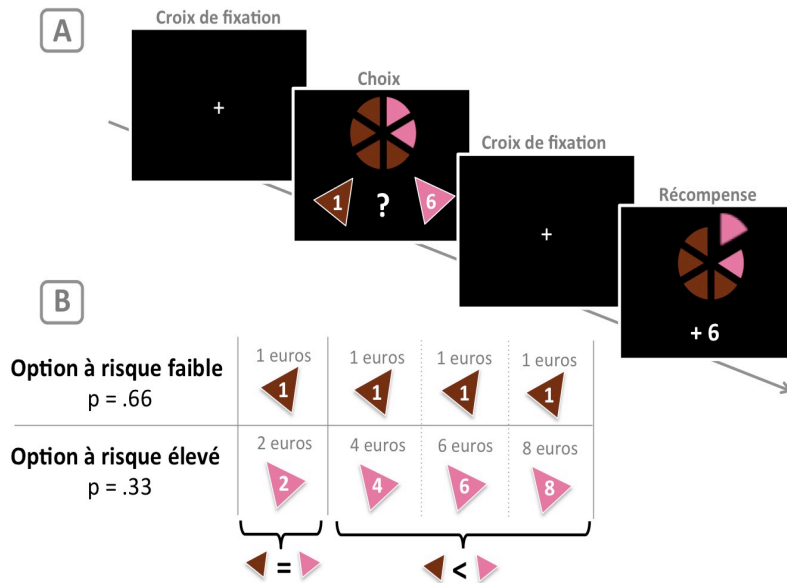


Figure 16 : A) Déroulement d'un essai dans l'étude de Van Leijenhorst et al. (2010a) : après la présentation d'un gâteau découpé en 6 parts égales (4 au chocolat et 2 à la fraise) et les récompenses associées à chacun des parfums, les participants doivent parier sur le parfum qui sera choisi au hasard par l'ordinateur. Les participants reçoivent alors la somme correspondante si le parfum de leur choix est sélectionné. B) Description des sommes et comparaison des valeurs espérées associées à chaque parfum dans les différentes conditions expérimentales.

En accord avec les études comportementales (Schlottmann, 2001; Van Leijenhorst et al., 2008), cette recherche confirme la capacité des enfants à intégrer les probabilités et enjeux associés aux options dans leur prise de décision à risque en révélant une absence d'effet développemental quant au nombre de choix risqués lorsque l'une des deux options s'avère plus avantageuse sur un plan mathématique. En revanche, le nombre de choix risqués diminue avec l'âge dans les cas où les options à faible et fort risque sont équivalentes en termes de valeur espérée, rejoignant ainsi l'idée d'une augmentation linéaire de l'aversion au risque (Crone et al., 2008; Paulsen, Platt, et al., 2011). Au delà des résultats comportementaux, cette étude suggère le rôle clé de la balance d'activation entre les régions sous-tendant le système de récompense (i.e. cortex préfrontal médial et VS) et les régions impliquées dans le contrôle cognitif (i.e. cortex préfrontal dorso-latéral, PFDL) : alors que les choix risqués des sujets s'accompagnent d'une activation plus importante du cortex préfrontal médial et du VS, les choix prudents s'associent à une augmentation de l'activation du cortex PFDL. De façon intéressante, le profil développemental de ces activations confirme une évolution avec l'âge de cette balance. Les patterns d'activation du cortex préfrontal médial et du VS suivent respectivement un développement en « U inversé » avec un pic à l'adolescence pendant les phases de décision (cortex préfrontal médial) et de réception de la récompense (VS). Au contraire les auteurs relèvent une diminution linéaire du recrutement des régions de contrôle cognitif avec l'âge (i.e. ACC dans sa partie dorsale) qu'ils interprètent comme une évidence supplémentaire de la maturation tardive de ces régions. Pour autant, à

travers une procédure expérimentale très proche, *the Wheel of Fortune task*, Eshel, Nelson, Blair, Pine et Ernst (2007) obtiennent des résultats contradictoires concernant l'activation de l'ACC. Les adultes engagent davantage les régions de régulation en comparaison à des adolescents lors d'un choix risqué et cet engagement est d'autant plus important que le nombre de choix risqués diminue. Bien qu'une l'explication convaincante de ces divergences n'ait pas été avancée, leur interprétation semble toutefois converger vers l'hypothèse d'une immaturité des régions sous-tendant les processus de contrôle à l'adolescence, l'une en postulant un besoin décroissant du recrutement de ces régions pour un contrôle cognitif efficient (van Leijenhorst et al., 2010), la seconde en suggérant un recrutement croissant des régions permettant la régulation d'un choix risqué au cours du développement (Eshel et al., 2007). Bien que des divergences apparaissent dans la littérature concernant le développement du pattern d'activation lié au contrôle cognitif (pour revue Crone & Dahl, 2012), la réunion de ces deux études fournit de nouveaux arguments neuro-développementaux en faveur du modèle de Casey et al. (2008), en lien avec l'évidence un engagement croissant et d'une focalisation progressive des substrats neuronaux impliqués dans la résolution de tâches exécutives au cours du développement (Durstun et al., 2002; Rubia et al., 2006).

## 2. Apport des neurosciences sur la sensibilité aux récompenses des adolescents

La question du développement de la sensibilité aux récompenses comme facteurs explicatifs de la prise de risque des adolescents a suscité un vif intérêt de la part des neurosciences développementales. Sur un plan comportemental, les multiples adaptations de la tâche emblématique des Marshmallow (Mischel & Metzner, 1962; Mischel, Shoda, & Rodriguez, 1989) - qui consiste à choisir entre une récompense immédiate (e.g. un marshmallow maintenant) et une récompense différée plus importante avec un délai variable (e.g. 3 marshmallow dans 20 minutes) - ont permis de mettre en évidence une augmentation avec l'âge de la capacité à résister aux récompenses immédiates (Mischel et al., 1989; Steelandt, Thierry, Broihane, & Dufour, 2012). En se focalisant sur la période de l'adolescence et grâce à l'utilisation d'enjeux financiers, l'étude de Steinberg et al. (2009) a notamment révélé que les jeunes adolescents présentaient une orientation vers le futur moins importante que les adolescents de plus de 16 ans et les jeunes adultes, en acceptant davantage les faibles récompenses immédiates. En neuro-imagerie, de nombreuses études se sont également focalisées sur la sensibilité aux récompenses des adolescents, certaines

attestant d'une hypersensibilité à cette période et d'autres suggérant au contraire une sensibilité réduite face aux enjeux positifs (pour revue Galvan, 2010).

Dans la continuité des travaux de Galvan et al. (2006) et Van Leijenhorst et al. (2010) qui, comme nous l'avons vu précédemment, relèvent un pic de réactivité des régions sous-tendant le système des récompenses pendant l'adolescence, plusieurs études récentes apportent des arguments supplémentaires en faveur d'une hypersensibilité aux récompenses dans le cadre de tâches sortant du domaine de la prise de décision (Geier, Terwilliger, Teslovich, Velanova, & Luna, 2010; Padmanabhan, Geier, Ordaz, Teslovich, & Luna, 2011; Smith, Halari, Giampetro, Brammer, & Rubia, 2011; voir aussi Ernst et al., 2004). En effet, l'association d'une récompense à un essai lors d'une tâche d'anti-saccades entraîne une augmentation des performances seulement chez les pré-adolescents (8-13 ans) et des adolescents (14-17ans) qui montrent par ailleurs une plus forte activité neurale liée à la récompense par rapport aux adultes (Padmanabhan et al., 2011). Afin de s'abstraire d'autres processus décisionnels impliqués dans des tâches d'évaluation ou de jugement probabiliste, Smith et al. (2011) ont également étudié les substrats neuronaux associés à la réception de récompenses chez des adolescents de 10 à 17 ans et des jeunes adultes dans le cadre d'une tâche d'attention soutenue, la *Rewarded Continuous Performance task*. Les adolescents se montrent plus sensibles à l'effet des récompenses que les adultes sur le plan comportemental : leurs temps de réponse diminuent pour les cibles récompensées par rapport aux cibles non récompensées. Toutefois, cette étude ne permet pas d'isoler de nette spécificité de la réactivité neurale des adolescents (voir aussi Paulsen, Carter, Platt, Huettel, & Brannon, 2011). De même, malgré l'absence de comparaison développementale directe, l'étude de May et al. (2004) décrit une activation du VS, du cortex OF latéral et médial et de l'ACC plus importante pour les gains que pour les pertes chez les enfants et les adolescents, pattern neural similaire à celui des adultes (Delgado, Locke, Stenger, & Fiez, 2003; Delgado, Nystrom, Fissell, Noll, & Fiez, 2000).

Au delà des études ne parvenant pas à relever de spécificité à l'adolescence, il faut noter que des résultats contradictoires ont également été avancés en révélant une diminution du recrutement du VS droit et de l'insula pendant l'anticipation d'un gain potentiel chez les adolescents de 12-17 ans par rapport aux adultes (Bjork et al., 2004). Selon les auteurs, les adolescents s'engageraient massivement dans des conduites à risque pour satisfaire une recherche exacerbée de récompenses en compensation de la sous-activation des régions liées à l'anticipation de gains potentiels.

Plusieurs hypothèses explicatives peuvent être avancées pour rendre compte de ces divergences : l'âge de l'échantillon, l'existence et les caractéristiques du groupe comparatif, le

protocole expérimental ou encore le type de traitement et d'analyses statistiques divergent entre ces études (Galvan, 2010). Par exemple, l'implication de processus décisionnels dans la tâche semble décisif : l'implication de prises de décision explicites favorisant le recrutement de processus *top-down*, l'augmentation de la réactivité des adolescents face aux récompenses de forte intensité serait spécifique de situations n'impliquant pas de processus décisionnels (Jarcho et al., 2012). Ces divergences trouvent également sens dans la distinction fondamentale entre deux composantes liées à la notion de récompense : le *Liking* et le *Wanting* (Berridge, Robinson & Aldridge, 2009). Alors que le *Wanting* renvoie au désir d'obtenir la récompense (i.e. anticipation des récompenses), le *Liking* correspond au plaisir lié à l'obtention de la récompense. Sur la base de cette distinction, la spécificité de la réactivité émotionnelle à l'adolescence peut être nuancée : les adolescents montreraient en effet une réponse neurale supérieure face à l'obtention d'une récompense, mais au contraire une réponse neurale atténuée lors de leur anticipation (pour revue Spear, 2011). Cette plus forte sensibilité aux récompenses pourrait donc être spécifiquement liée à l'obtention d'un gain. Grâce à un paradigme ingénieux (cf. Figure 17), Van Leijenhorst, Zanolie et al. (2010) se sont intéressés au développement fonctionnel de régions impliquées, en distinguant l'anticipation et la réception de récompenses non prévisibles et non liées aux réponses du participant. Les résultats de cette étude confirment une hypersensibilité des adolescents restreinte à la phase de réception de récompenses en montrant une augmentation de l'activation du VS à l'adolescence suite à la réception d'une récompense, avec un pic autour de 14-15 ans. Au contraire, les auteurs notent une diminution linéaire du recrutement de l'insula antérieure avec l'âge pendant l'anticipation des récompenses.

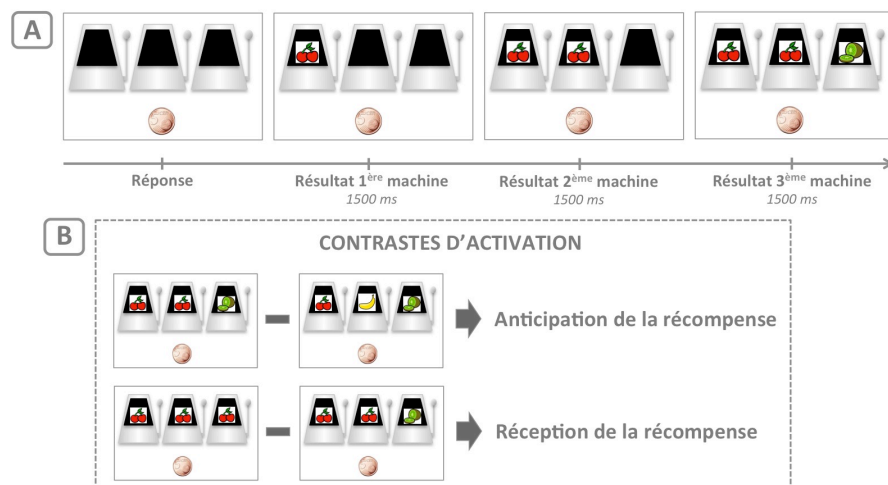


Figure 17 : Présentation de la Slot Machine Task (Van Leijenhorst, Zanolie et al., 2010). A) Déroulement d'un essai : A chaque essai, chacune des 3 machines à sous s'arrête consécutivement sur une image. Le participant reçoit la récompense monétaire seulement si les trois machines s'arrêtent sur une même image. B) Définition des contrastes d'activation permettant aux auteurs d'isoler l'anticipation et la réception d'une récompense. Le contraste d'anticipation des récompenses correspond à la différence entre les essais avec deux premières images identiques et les essais avec deux premières images différentes. Le contraste de réception des récompenses correspond à la différence entre les essais avec trois images identiques et les essais avec seulement deux premières images identiques.

### 3. Apport des neurosciences sur la sensibilité aux conséquences négatives

La plupart des études présentées offrent des arguments solides en faveur d'une hypersensibilité des adolescents face à la réception de récompenses, mais la spécificité de la réactivité face aux émotions négatives fait toujours l'objet de nombreux débats. Notons également qu'elle reste absente de la modélisation théorique proposée par Casey et al. (2008) et très souvent négligée dans les études expérimentales. Pourtant, les processus de prise de décision n'impliquent pas seulement la prise en compte des conséquences positives associées à nos choix, mais également la considération des issues négatives potentielles (Kahneman & Tversky, 1979).

Certaines études suggèrent en effet un impact émotionnel plus important des *feedbacks* négatifs au début de l'adolescence. En effet, certains auteurs révèlent une supériorité de l'activation de l'amygdale, du cortex OF et de l'ACC en réponse à des stimuli négatifs chez l'adolescent par rapport à l'adulte (Guyer et al., 2008; Monk et al., 2003). Par ailleurs, grâce à l'utilisation de la *Cake Gambling Task* chez des préadolescents (9-12 ans) et des jeunes adultes, van Leijenhorst, Crone et Bunge (2006) confirment une plus grande réactivité des préadolescents face à des *feedbacks* négatifs en montrant un engagement plus important des régions OF latérales en réponse aux *feedbacks* négatifs par rapport aux adultes.

A l'inverse, l'étude réalisée par Ernst et al. (2005) en IRMf fournit des arguments expérimentaux en faveur de ce déséquilibre entre les systèmes d'approche et de punition en confirmant l'hypersensibilité aux récompenses des adolescents et en suggérant une plus faible réactivité face aux stimuli négatifs. La tâche proposée aux participants consistait à faire un choix entre deux options présentées sous la forme de roue de la fortune divisée en deux portions égales (rose et bleu). Si la roue de la fortune s'arrête sur la couleur choisie (i.e. probabilité de 50%), le participant remporte un gain d'ampleur variable : 4 \$ dans la condition forte récompense versus 0,50 \$ dans la condition faible récompense. Sur le plan comportemental, les adolescents présentent une satisfaction exagérée suite à la réception d'un gain en comparaison aux adultes. Par ailleurs, la réception de *feedbacks* entraîne un plus faible engagement de l'amygdale (impliqué dans le système d'évitement) et au contraire une contribution plus importante du NAcc (impliqué dans le système de récompense) chez les adolescents.

Ces résultats conduisent les auteurs à proposer le modèle triadique des comportements motivés qui permet l'intégration de trois systèmes neuro-comportementaux dans la compréhension des processus de prise de décision : 1) le système



d'approche impliqué dans la recherche de récompenses et sous-tendus par le cortex PFDL ainsi que le VS (NAcc); 2) le système d'évitement défini comme un « frein comportemental » impliqué dans l'évitement de stimuli aversifs et sous-tendus par l'amygdale ; 3) et un système de régulation, sous-tendus par le cortex préfrontal, dont le rôle est d'assurer la modulation de la participation relative de chacun des deux autres systèmes (Ernst, 2014; Ernst, Pine, & Hardin, 2006; 2009).

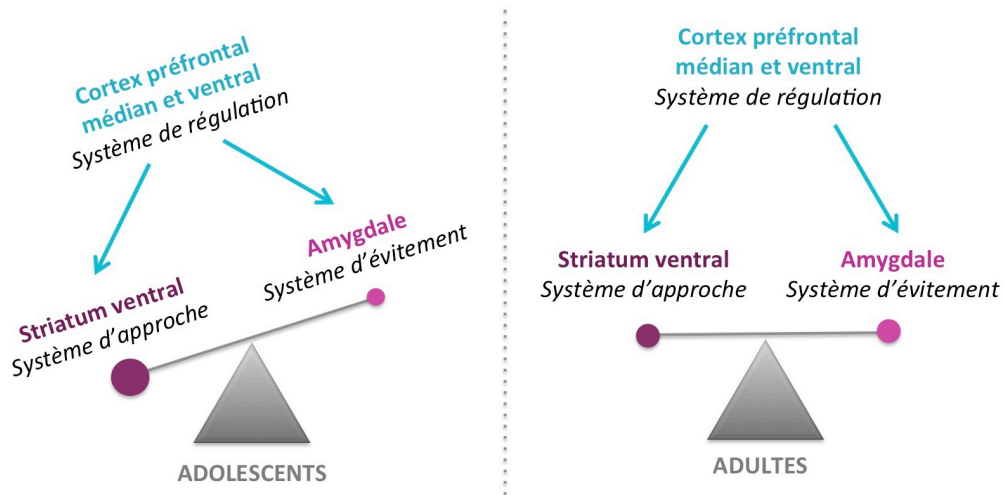


Figure 18 : Modèle triadique des comportements motivés

Appliqué à l'adolescence, ce modèle postule l'existence d'un déséquilibre entre le système d'approche et d'évitement en faveur du système de récompense, associé à une immaturité du cortex préfrontal impliqué dans la régulation de cette balance entre sensibilité aux récompenses et aux stimuli aversifs (cf. Figure 18). Ce modèle permet ainsi de rendre compte de la prise de risque exacerbée à l'adolescence en précisant les enjeux émotionnels présents dans le modèle de Casey et al. (2008) par l'intégration de la réactivité face aux *feedbacks* négatifs.

## IV. CONCLUSION

A l'issue de ce deuxième chapitre, trois points essentiels contribuent à la compréhension des objectifs de cette thèse :

1) L'ensemble de la littérature suggère des capacités relativement précoces concernant l'intégration des informations probabilistes et des enjeux d'une option dans le cadre d'une prise de décision à risque. Même si certaines divergences apparaissent sur ce point pendant l'enfance, il semble raisonnable de conclure sur l'aptitude des adolescents à opter pour des choix avantageux lorsqu'ils détiennent les informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque.

2) La littérature présentée dans ce chapitre met en exergue un impact massif des émotions sur la prise de décision à risque, allant jusqu'à la génération de biais décisionnels systématiques et persistants au cours du développement. Par ailleurs, l'implication émotionnelle a également été proposée comme facteur explicatif du paradoxe entre la prise de risque quotidienne et les résultats plus nuancés obtenus en laboratoire. En effet, le parallèle entre le pic d'engagement dans des conduites à risque et le profil développemental en « U inversé » de la prise de risque en laboratoire semble circonscrit aux procédures expérimentales impliquant une composante émotionnelle.

3) Les travaux de neuro-imagerie semblent corroborer ce constat en apportant des arguments empiriques en faveur des modélisations dynamiques telles que le modèle de Casey et al. (2008) qui postulent l'existence d'une hypersensibilité des régions émotionnelles, notamment du système des récompenses, en association à une immaturité des processus de contrôle impliqués dans la régulation de ces émotions. Bien qu'il permette de rendre compte du paradoxe entre la prise de risque quotidienne des adolescents et leur capacité à faire des choix avantageux en l'absence d'implications émotionnelles, la focalisation de ce modèle sur la sensibilité aux récompenses sans prise en compte des émotions négatives semble néanmoins regrettable. La prise de décision impliquant la considération conjointe des conséquences positives et négatives associées, le modèle triadique proposé par Ernst et al. (2005) nous semble aussi essentiel pour rendre compte des conduites à risque à l'adolescence, en permettant l'intégration de la spécificité de la réactivité face aux émotions positives, aux issues négatives potentielles ainsi que des capacités de régulations émotionnelles.

Cependant, les études présentées dans ce chapitre se limitent à des situations dans lesquelles les participants connaissent les probabilités et enjeux associés aux différentes options, à savoir des situations de prise de décision à risque. Comme nous l'avons précisé dans le premier chapitre, la prise de risque ne se restreint pas aux situations permettant une évaluation éclairée du niveau de risque, mais peuvent aussi peut s'opérer dans le cadre d'une prise de décision sous ambiguïté. L'objectif du troisième chapitre sera dès lors de s'intéresser au développement des capacités de prise de décision sous ambiguïté, situations assurément plus représentatives des opportunités de prise de risque rencontrées par les adolescents au quotidien. Si la difficulté à utiliser et coordonner les informations probabilistes ne semble pas suffire à expliquer la prise de risque des adolescents, cette dernière pourrait être le reflet d'une difficulté à intégrer le résultat d'expériences antérieures semblables dans l'ajustement de leur choix.

## Chapitre

# 3

# Développement de la prise de décision sous ambiguïté

*Ce chapitre aura pour objectif de présenter les modèles théoriques et les données empiriques de deux grands domaines de recherche dans le champ de la prise de décision sous ambiguïté. 1) Dans un premier temps, nous nous intéresserons aux stratégies spontanées d'exploration des situations ambiguës et à leur évolution avec l'âge, en évoquant l'un des biais décisionnels les plus emblématiques de la prise de décision : le phénomène d'aversion à l'ambiguïté. 2) Ensuite, nous dresserons une synthèse des travaux centrés sur le développement de la prise de décision sous ambiguïté, définie comme la capacité à opter pour des choix avantageux en l'absence d'information explicite sur le niveau de risque des options.*

*Comme nous le verrons, le développement de l'aversion à l'ambiguïté et des capacités de prise de décision sous ambiguïté constitue le point de départ de deux grandes hypothèses explicatives des conduites à risque à l'adolescence.*

*Enfin, ce chapitre nous permettra d'introduire une tâche centrale dans ce travail de thèse, la BART, qui permet de mesurer l'engagement dans la prise de risque en situation d'ambiguïté. Aussi, nous proposerons à l'issue de cette partie une modélisation des processus cognitifs impliqués dans la résolution de cette tâche.*

Le terme d'ambiguïté, dans son sens courant, est utilisé pour caractériser une situation, un mot, une phrase dont au moins deux interprétations possibles peuvent être avancées (Cabantous & Hilton, 2006). Dans la continuité de la distinction établie par Knight (1921) entre le risque et l'incertitude, l'ambiguïté d'une situation a initialement été proposée par Ellsberg (1961) pour marquer une distinction à la fois avec les situations dites « à risque » (i.e. dont les issues et leurs probabilités d'occurrence sont identifiables) mais aussi avec les situations d'incertitude totale aux issues non identifiables. Aussi, l'ambiguïté se caractérise par des issues pouvant être identifiées mais dont la probabilité d'occurrence n'est pas ou que partiellement disponible.

Dans le cadre de ce chapitre, trois questions se posent au vu de ce niveau d'incertitude qu'est l'ambiguïté. 1) Quelles sont les stratégies d'exploration spontanées des individus, leurs préférences dans le cadre d'un choix entre une option clairement définie et une option ambiguë ? 2) Comment l'individu parvient-il à opter pour des choix avantageux lorsqu'il ne dispose pas d'informations explicites sur le niveau de risque de ses choix et comment cette capacité se met-elle en place au cours du développement ? 3) Enfin, comment la notion d'ambiguïté contribue-t-elle à une meilleure compréhension des conduites à risque à l'adolescence ?

---

## I. L'EXPLORATION SPONTANÉE DE L'INCONNU : LE PHÉNOMÈNE D'AVERSION Á L'AMBIGUÏTÉ

---

### 1. Le paradoxe d'Ellsberg : mise en évidence de l'aversion à l'ambiguïté

Dans le domaine de la prise de décision, la distinction entre les situations de prise de décision à risque et les situations d'ambiguïté a longtemps été négligée. Selon la théorie de l'espérance subjective d'utilité proposée par Savage (1961), l'individu ne se comporterait pas différemment dans des situations ambiguës et dans des situations à risque. Face à une alternative ambiguë, il attribuerait aux différents événements des probabilités subjectives basées sur la représentation qu'il se fait de la situation. Grâce à un ensemble de situations ingénieuses impliquant un choix entre 2 urnes de contenus plus ou moins identifiés, Ellsberg (1961) a remis en cause cette idée d'attribution de probabilités subjectives en montrant son incapacité à rendre compte de l'existence de conduites décisionnelles paradoxales du point de vue de la logique normative proposée par Savage.

Dans une première expérience, deux urnes étaient présentées aux participants : l'urne I contenant 100 boules rouges et noires dans une proportion indéterminée (i.e. situation ambiguë) et l'urne II contenant exactement 50 boules rouges et 50 noires (i.e. situation à risque) (cf. Figure 19).

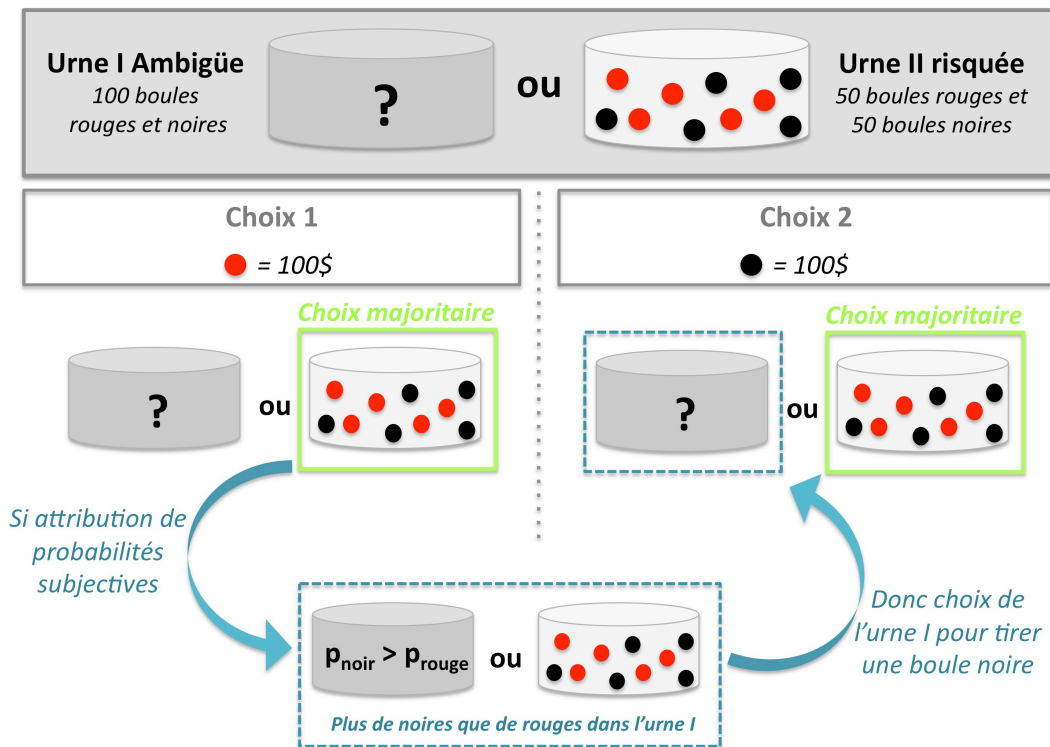


Figure 19 : Illustration de la première situation proposée par Ellsberg (1961) pour révéler le phénomène d'aversion à l'ambiguïté. En bleu : prédiction basée sur l'hypothèse d'une attribution de probabilités subjectives. En vert : choix majoritaires des participants. Alors que l'hypothèse d'une attribution de probabilités subjectives prédit un basculement des préférences avec le changement de couleur gagnante, les participants préfèrent l'option risquée à l'option ambiguë quelle que soit la couleur gagnante.

Après avoir désigné une couleur, les participants effectuaient un choix entre les deux urnes et recevaient 100\$ s'ils tiraient au hasard une boule de la couleur désignée dans l'urne de leur choix. Dans cette première configuration, la majorité des participants préfère l'urne risquée à l'urne ambiguë montrant ainsi un comportement distinct face à ces deux situations. Dans un deuxième temps, les participants doivent à nouveau parier sur l'une des deux urnes pour tirer cette fois-ci une boule de la seconde couleur. D'après la théorie de l'espérance subjective d'utilité, si un individu préfère l'urne II (situation à risque) à l'urne I (situation ambiguë) pour tirer une boule rouge, alors il attribue à la couleur rouge une probabilité inférieure à 50% dans l'urne I (i.e. : l'urne I contiendrait moins de 50 boules rouges et donc plus de 50 boules noires). La logique voudrait par conséquent qu'il préfère à l'inverse l'urne I (situation ambiguë) à l'urne II (situation à risque) lorsque les boules noires deviennent gagnantes. Pourtant, la majorité des individus persévère sur le choix de l'option risquée au détriment de l'option ambiguë, préférant une situation clairement définie par des

probabilités d'occurrence quelle que soit la couleur gagnante. Ellsberg (1961) suggère alors que les individus traitent les configurations ambiguës différemment des situations définies par des probabilités, leurs préférences étant dictées par la quantité d'informations dont ils disposent concernant chacune des options.

Afin de confirmer cette hypothèse, il propose ensuite une urne contenant exactement 30 boules rouges et 60 boules jaunes et noires dans une proportion inconnue. Les participants devaient alors choisir de parier sur la couleur rouge ou la couleur noire pour gagner 100 euros. Dans un deuxième temps, ils étaient ensuite amenés à choisir la couleur sur laquelle ils préféraient parier entre l'ensemble rouge-jaune et l'ensemble noir-jaune (cf. Figure 20).

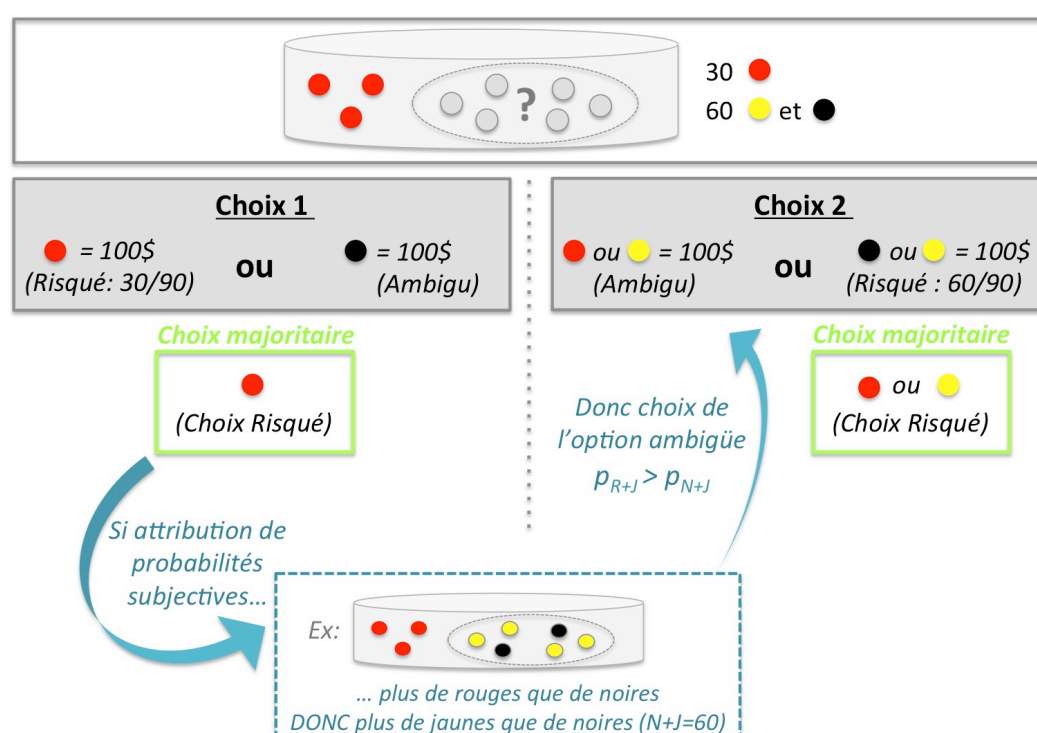


Figure 20: Illustration de la deuxième situation proposée par Ellsberg (1961) pour révéler le phénomène d'aversion à l'ambiguïté. En bleu : prédiction basée sur l'hypothèse d'une attribution de probabilités subjectives. En vert : choix majoritaires des participants.

La réponse communément donnée par les participants consiste à préférer parier sur le rouge plutôt que sur le noir (i.e. préférence pour la couleur dont la proportion est clairement déterminée) et préférer parier par la suite sur l'ensemble noir et jaune que sur l'ensemble rouge et jaune (i.e. préférence pour l'ensemble dont le nombre total est déterminé). Or, l'inférence d'une probabilité subjective implique qu'un participant préférant parier sur le rouge lors de son premier choix doit par la suite continuer à préférer l'option impliquant la couleur rouge. En effet, un premier pari sur la couleur rouge plutôt que sur la couleur noire implique une estimation du nombre de boules noires inférieur à 30, donc un nombre de

boules jaunes supérieur à 30 dans la mesure où la somme des boules noires et jaunes est égale à 60. Ainsi, cette estimation doit conduire les participants à préférer l'ensemble rouge-jaune à l'ensemble noir-jaune, et ce malgré le manque d'information sur le nombre exacte de boules dans l'ensemble rouge-jaune.

L'idée d'une attribution de probabilités subjectives est alors remise en cause, au profit d'un effet d'aversion à l'ambiguïté conduisant les individus à préférer systématiquement une situation risquée à une situation ambiguë.

Très souvent répliquée dans la littérature (Ho, Keller, & Keltyka, 2002; Kahn & Sarin, 1988; Osmont et al., 2014; Pulford, 2009; Pulford & Colman, 2007a ; 2007b; Trautmann, Vieider, & Wakker, 2008), l'aversion à l'ambiguïté a également été démontrée dans le cadre de l'évitement d'une perte comme de l'obtention d'un gain (Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999). En outre, sa persistance dans des situations pour lesquelles l'option ambiguë s'avère clairement plus avantageuse sur le plan de l'espérance mathématique démontre la robustesse de ce phénomène (Keren & Gerritsen, 1999). En effet, pour tirer au hasard une boule bleue, la majorité des individus préfère parier sur une urne dont le contenu est clairement défini (e.g. 200 boules rouges, 200 boules bleues et 200 boules vertes) à une urne ambiguë d'espérance mathématique supérieure (e.g. 190 boules rouges et 410 boules vertes et bleues). L'aversion face à un manque d'information suffit à conduire l'individu vers un jugement de probabilité erroné, pourtant élémentaire sur le plan des compétences logico-mathématiques engagées.

## 2. Explications du phénomène d'aversion à l'ambiguïté

Bien que sa robustesse ait largement été démontrée, la nature et l'origine de l'aversion à l'ambiguïté reste encore débattues. En effet, plusieurs explications ont été avancées pour rendre compte de ce phénomène. Pour certains auteurs, l'origine de l'aversion à l'ambiguïté réside dans la comparaison du manque d'information de l'option ambiguë avec une option risquée associée à un niveau d'information plus important ou bien à la perspective d'être désavantagé par rapport à une autre personne possédant plus d'informations sur la situation (Fox & Weber, 2002; Fox & Tversky, 1995; Heath & Tversky, 1991). Pour d'autres, l'aversion à l'ambiguïté relève de processus purement cognitifs (Einhorn & Hogarth, 1985). Face à une perspective ambiguë, l'individu initierait une estimation provisoire des probabilités qu'il ajusterait ensuite à la hausse ou à la baisse sur la base de la simulation de l'ensemble des distributions imaginables. Cette simulation sera ainsi déterminante quant à la quantité d'ambiguïté perçue.

Il faut toutefois noter que cette conception strictement cognitive a été remise en question par Pulford et Colman (2007b) grâce à la manipulation de la taille des urnes (i.e. 2, 10, et 100 boules rouges et bleus). Selon ces auteurs, la nature cognitive avancée par Einhorn et Hogarth (1985) suppose que la taille des urnes influe directement sur la charge cognitive nécessaire à l'estimation de l'ensemble des distributions possibles. Prenons l'exemple suivant : la simulation mentale d'une urne ambiguë, contenant 100 boules rouges et noires dans une proportion inconnue, implique la considération de 101 distributions imaginables alors que seulement 3 distributions sont envisageables pour une urne ne contenant que 2 boules (i.e. 1 rouge et 1 noire, 2 rouges ou 2 noires). L'ambiguïté perçue dans le cas de la première urne sera alors plus importante que pour la deuxième. En contradiction avec ces prédictions, cette manipulation expérimentale ne relève aucun effet de la taille de l'urne sur la force de l'aversion à l'ambiguïté, résultat difficilement compatible avec une explication purement cognitive. Cette étude permet ainsi à Pulford et Colman (2007b) d'avancer l'hypothèse d'une origine affective et émotionnelle en lien avec l'état physiologique troublant suscité par l'incertitude.

L'hypothèse de la nature émotionnelle de ce phénomène conduit à envisager le lien entre l'aversion à l'ambiguïté et les théories du double processus. Selon nous, tout comme l'effet du cadre, l'aversion à l'ambiguïté pourrait constituer un biais d'origine émotionnel inscrit dans une compétition entre deux types de stratégies : l'analyse rationnelle de la situation (système 2) et la stratégie heuristique consistant à considérer un manque d'information comme dangereux et conduisant les individus à rejeter de façon systématique une option ambiguë, au profit d'une option sûre ou risquée pouvant pourtant s'avérer moins avantageuse (système 1). Deux études de neuro-imagerie ont notamment permis confirmer la nature émotionnelle de l'aversion à l'ambiguïté en relevant l'implication d'un réseau émotionnel impliquant l'amygdale et le cortex OF dans la détection de l'ambiguïté (Hsu, Bhatt, Adolphs, Tranel, & Camerer, 2005; Levy, Snell, Nelson, Rustichini, & Glimcher, 2010). Pour cela, Hsu et al. (2005) proposent à de jeunes adultes d'effectuer un choix entre une option sûre et une option ambiguë, ou une option sûre et une option risquée, selon trois types de tâches : un tirage de carte, un pari basé sur leurs connaissances et une condition de tirage de cartes face à un adversaire dont la connaissance de la constitution du jeu varie. Le contraste entre les situations d'ambiguïté et les situations à risque révèle un pic d'activation bilatérale de l'amygdale et des régions OF respectivement impliquées dans la réaction et l'intégration des informations émotionnelles. Par ailleurs, la supériorité d'activation du cortex OF dans la condition ambiguë par rapport à la condition à risque apparaît fortement liée au taux d'aversion à l'ambiguïté des participants. Ces patterns neuronaux soulignent l'existence d'un système de vigilance et d'évaluation rapide du niveau d'incertitude,



impliquant du cortex OF et l'Amygdale, de plus en plus engagé avec l'ambiguïté de la situation. Ce système pourrait revêtir un rôle adaptatif en permettant à l'organisme d'être alerté du manque d'information afin d'éviter une situation associée à un niveau d'incertitude trop important et de mobiliser les ressources cognitives et comportementales nécessaires à l'acquisition d'informations supplémentaires dans l'environnement.

### **3. La prise de risque des adolescents comme résultat d'une plus grande tolérance face à l'ambiguïté ?**

Dans une perspective développementale, l'évolution des stratégies d'exploration spontanées de l'inconnu reste très peu documentée dans la littérature. Quelques études ont tenté d'évaluer le degré de tolérance face à l'ambiguïté à différents âges du développement. Harrington, Block et Block (1978) relèvent par exemple l'existence précoce d'une intolérance à l'ambiguïté dès l'âge de 3 ans et demi en utilisant des situations d'exploration et un index d'anxiété face à un environnement non prévisible ou peu structuré. Néanmoins, aucun lien direct entre le degré de tolérance générale à l'ambiguïté et l'aversion à effectuer un choix ambigu ne peut être clairement établi. Il convient en effet de distinguer la tolérance à l'ambiguïté de la préférence pour une option ambiguë. Dans une situation de prise de décision financière, les propositions ambiguës sont systématiquement confrontées à une option risquée voire à une option sûre : l'individu pourrait ainsi tolérer les situations ambiguës sans pour autant les préférer à une proposition plus clairement définie en situation de choix.

Bien qu'elle ait souvent été répliquée chez l'adulte, seule une étude à notre connaissance a déterminé l'existence de l'aversion à l'ambiguïté chez l'adolescent (Tymula et al., 2012). Cette étude présente un intérêt majeur dans le cadre de ce travail de thèse puisqu'elle initie l'hypothèse d'un lien entre le profil développemental de l'aversion à l'ambiguïté et le phénomène de prise de risque rencontré chez les adolescents. Les auteurs s'intéressent ici au développement de l'attitude face au risque et face à l'ambiguïté, qu'ils définissent respectivement comme la tendance à accepter une option lorsqu'ils connaissent les probabilités des résultats potentiels et lorsque ces probabilités ne sont pas disponibles. Des adolescents de 12 à 17 ans et des adultes de 30 à 50 ans ont pour cela complété une tâche de prise de décision financière informatisée, composée de 160 choix (cf. Figure 21). La moitié des essais consistaient en un choix entre un gain sûr de 5\$ et une option risquée offrant la possibilité de gagner plus de 5\$ (i.e. 5\$, 8\$, 20\$, 50\$ et 125\$) mais aussi le risque de ne rien gagner, avec des probabilités clairement identifiables (i.e. .13, .25, .38, .50, .75). Pour l'autre moitié, les sujets devaient choisir entre un gain sûr de 5\$ et une option offrant à

son tour la possibilité de gagner plus de 5\$ ou de ne rien gagner, mais dont une partie des probabilités était masquée. L'introduction d'un masque de taille variable permet aux auteurs de tester le comportement des participants face à l'ambiguïté mais aussi d'évaluer l'impact du niveau d'ambiguïté (i.e. 24%, 50% ou 74% d'ambiguïté autour d'une probabilité de .50).

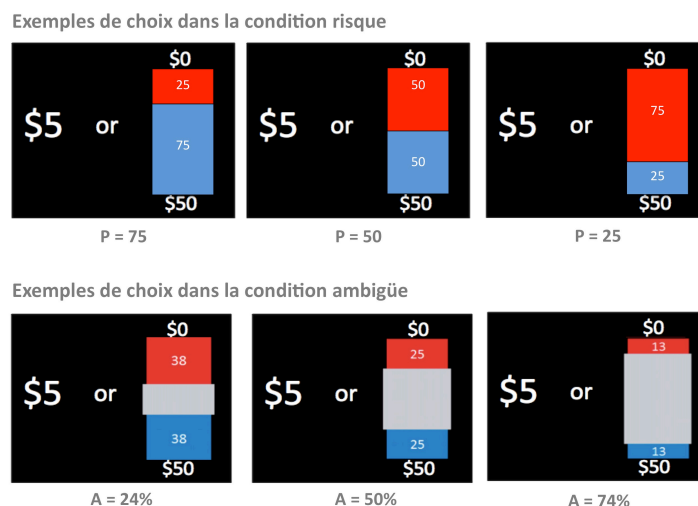


Figure 21 : Exemple de choix proposés par Tymula et al. (2012). En condition risque, les participants choisissent entre un gain sûr de 5\$ et une option risquée caractérisée par une probabilité définie de gagner plus ou de ne rien gagner. En condition ambiguë, les participants choisissent entre un gain sûr de 5\$ et une option ambiguë caractérisée par une probabilité partiellement masquée de gagner plus ou de ne rien gagner.

Les résultats de cette étude remettent totalement en cause la préférence pour le risque des adolescents comme facteur explicatif de leur engagement dans des conduites à risque. Grâce au calcul de paramètres reflétant l'aversion au risque et l'aversion à l'ambiguïté des participants, les auteurs relèvent une aversion au risque plus forte chez les adolescents que chez les adultes et au contraire une aversion à l'ambiguïté moins marquée à l'adolescence. En effet, les adolescents acceptent moins souvent l'option risquée que les adultes, mais présentent une tendance plus forte que les adultes à accepter une option ambiguë (cf. Figure 22A).

La prise en compte des niveaux de risque et des niveaux d'ambiguïté des options vient préciser et confirmer ces premiers résultats (cf. Figure 22B). Dans le domaine du risque, la proportion de choix risqués augmente avec la probabilité et l'ampleur des gains associés à l'option risquée chez les adolescents comme chez les adultes. Cependant, l'importance de l'aversion au risque diffère entre les deux groupes. Les adolescents sont deux fois moins nombreux que les adultes à préférer une option risquée avantageuse offrant 13% de chance de remporter 125\$ à un gain sûr de 5\$ ( $EV = .13 \times 125 = 16.25\$ > 5\$$ ). Dans le domaine de l'ambiguïté, seuls les adultes semblent sensibles au niveau d'ambiguïté et rejettent les options ambiguës en envisageant la pire configuration imaginable (i.e. choix pour un niveau

d'ambiguïté de 50% similaire à une probabilité de gain de 25%). Au contraire, l'aversion des adolescents face à une option ambiguë ne semble pas augmenter avec le niveau d'ambiguïté.

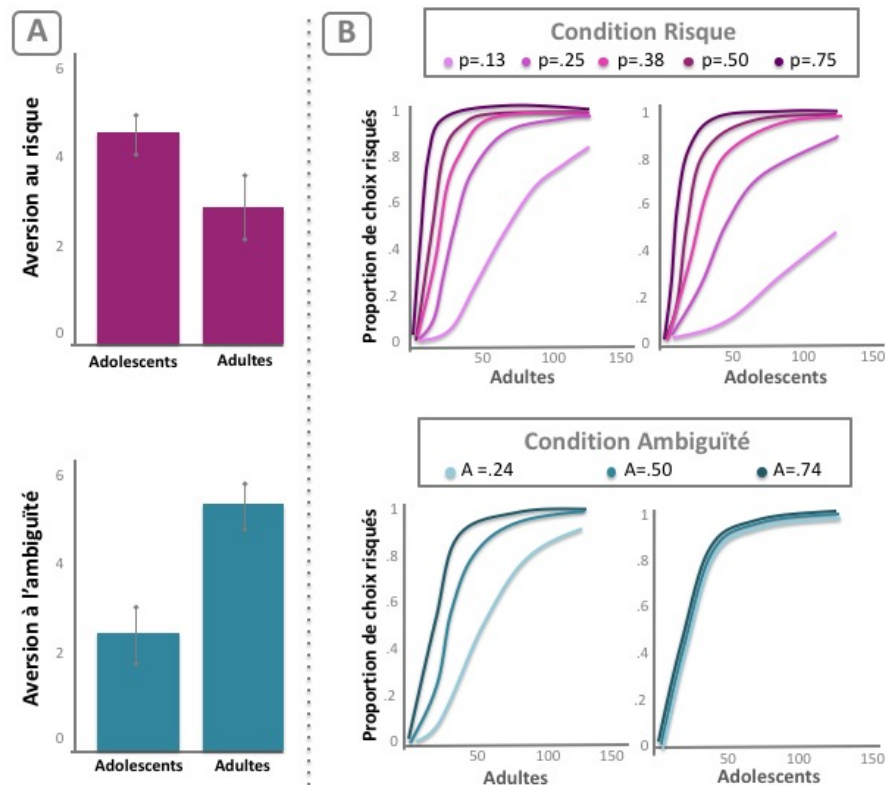


Figure 22 : Résultats de l'étude de Tymula et al. (2012). A) Estimation de l'aversion au risque et de l'aversion à l'ambiguïté chez les adolescents et les adultes. B) Proportion de choix risqués en fonction des gains potentiels et de leurs probabilités selon l'âge et la condition.

Les auteurs concluent alors que l'engagement quotidien des adolescents dans des conduites à risque serait le reflet d'une plus grande tolérance face aux situations associées à des conséquences ambiguës plutôt que d'une préférence pour le risque à proprement dit. La tolérance face à l'ambiguïté des situations, bien que responsable de leurs prises de risque, pourrait revêtir un caractère adaptatif pendant l'adolescence. Imaginez un enfant de 4 ans escaladant les étagères de l'armoire de ses parents dans l'espoir d'attraper une boîte cachée en son sommet. Selon Tymula et al. (2012), un tel comportement sera perçu comme une curiosité visant à la découverte de son environnement par l'enfant et non comme une réelle tentative de prise de risque. De même, une plus grande tolérance face à l'inconnu encouragerait l'exploration de l'environnement et favoriserait un mécanisme d'apprentissage essentiel pendant la période de l'adolescence.

Pour conclure, bien que le postulat d'un rôle clé de l'aversion à l'ambiguïté dans les conduites à risque à l'adolescence apparaisse novateur et engageant, il nous semble essentiel de confirmer et préciser cette hypothèse. Le constat d'une augmentation de la tolérance face à l'ambiguïté à l'adolescence reste peu documenté. En outre, l'aversion à l'ambiguïté telle

qu'elle est mesurée dans cette étude n'est pas strictement identique au phénomène décrit par Ellsberg (1961). Alors que la tâche princeps des urnes confrontait une option ambiguë à une option risquée, le travail de Tymula et al. (2012) repose sur la comparaison d'une option sûre et d'une option associée à un manque d'information mais n'impliquant pas d'ambiguïté totale. Enfin, il est important de noter que le groupe d'adolescents de cette étude inclut sans distinction des pré-adolescents de 12 ans et des adolescents tardifs de 17 ans. Dès lors, la perspective d'étudier plus finement la trajectoire développementale de l'aversion à l'ambiguïté en reprenant la démonstration initiale d'Ellsberg (1961) nous semble fondamentale.

---

## II. LA PRISE DE DÉCISION SOUS AMBIGUÏTÉ

---

L'ensemble des paradigmes visant à mettre en évidence le phénomène d'aversion à l'ambiguïté repose sur l'évaluation des préférences d'un individu selon le niveau d'information associé aux options qui s'offrent à lui. Imaginons maintenant le cas d'une prise de décision consistant en une sélection répétée d'une alternative parmi un ensemble d'options ambiguës et pour laquelle aucun indice n'est disponible à l'exception de la propre expérience de l'individu au fur et à mesure de ses choix. La suite de ce chapitre vise à présenter les travaux de prise de décision sous ambiguïté qui ont contribué à l'identification et au développement des processus permettant à l'individu de faire des choix adaptés malgré l'ambiguïté des alternatives.

### 1. L'hypothèse des marqueurs somatiques : les émotions au service de la décision

Sous l'héritage du dualisme cartésien qui posait les émotions comme entrave à la raison (Descartes, 1641), les émotions ont longtemps été évoquées à travers leur rôle négatif dans la génération de biais décisionnels. L'exemple de l'effet du cadre ou de l'aversion à l'ambiguïté, en dépit de leur caractère adaptatif, est une parfaite illustration de cette transmission. Depuis, les nombreux travaux menés au cours du XX<sup>e</sup> siècle par Antonio Damasio dans le domaine de la prise de décision sous ambiguïté ont très largement contribué à souligner le rôle positif des émotions dans le processus décisionnel (Damasio, 1994). Nous pouvons ici noter que le modèle de Casey et al. (2008), en soulignant un rôle essentiellement négatif des émotions sur la prise de décision des adolescents, pourrait dès lors s'inscrire davantage dans un héritage néo-cartésien.

### a. Phinéas Gage : un destin tragique

Comment introduire l'hypothèse des marqueurs somatiques sans évoquer l'histoire extraordinaire et incontournable de Phinéas Gage, patient cérébro-lésé le plus célèbre dans le champ de la neuropsychologie ? C'est au cours de la construction de voies ferrées sur lesquelles il était chef de chantier en Nouvelle Zélande que Phinéas Gage, âgé de 25 ans, vit son destin basculer tragiquement durant l'année 1848. Suite à une explosion soudaine, une barre de fer de plus d'un mètre de long et 3 centimètres d'épaisseur fut projetée à travers la joue de Gage, transperçant au passage la base du crâne et l'avant du cerveau, pour retomber une trentaine de mètres plus loin.

Survivant miraculeux de l'accident, Phinéas Gage se remit en moins de 2 mois sous la prise en charge du docteur Harlow. Mais malgré un rétablissement physique spectaculaire et des compétences intellectuelles, attentionnelles et langagières préservées, cet accident ne restera pas sans conséquences. Phinéas Gage connaîtra rapidement de sérieuses modifications au niveau de sa personnalité, se transformant en un personnage obstiné, grossier, irrespectueux, incapable de prendre les décisions nécessaires à l'amélioration de sa propre condition et optant pour un mode de vie instable qui le conduira jusqu'à exhiber sa blessure et sa barre de chantier dans le cirque Barnum.



Figure 23 : A gauche : Portrait de Phinéas Gage tenant dans sa main la barre de fer responsable de sa lésion ; A droite : illustration de la reconstitution en 3D de la trajectoire de la barre dans le cerveau de Phinéas Gage (issue de Damasio, Grabowski, Frank, Galaburda, & Damasio, 1994)

Accompagnant l'idée naissante mais débattue à l'époque d'une spécialisation de régions cérébrales pour des fonctions mentales distinctes, cette dissociation entre une intelligence préservée et une personnalité métamorphosée conduisant à des choix de vie désastreux, donna naissance à une véritable réflexion sur les fonctions sous tendues par le siège d'une telle lésion. Pendant longtemps, la conclusion d'un rôle très limité de la région sacrifiée au cours de l'accident domina, la symptomatologie et le site exact de la lésion restant énigmatiques. Si vingt ans après l'accident, le docteur Harlow commençait à émettre l'hypothèse d'un lien entre le comportement de Gage et une lésion certainement focale au niveau du cortex préfrontal, il faudra pourtant attendre plus d'un siècle après la mort de

Phinéas Gage pour préciser le siège de cette lésion et envisager son implication dans les processus décisionnels. En effet, les observations de Harlow et la description de patients présentant des lésions frontales au cours du 20<sup>e</sup> siècle suscitèrent l'intérêt d'Hanna Damasio qui entreprit avec son équipe un travail de reconstruction de la trajectoire de la barre par l'étude minutieuse du crâne de Gage, conservé au musée d'anatomie médicale de Harvard (Damasio et al., 1994). Grâce à une simulation informatisée en trois dimensions, les auteurs identifièrent une lésion focalisée au niveau du cortex préfrontal et plus spécifiquement du cortex préfrontal ventromédian droit (PFVM) (cf. Figure 23).

### ***b. L'hypothèse des Marqueurs Somatiques***

Suite aux observations du docteur Harlow et à la découverte de patients présentant des lésions préfrontales associées à des déficits décisionnels et des modifications massives de leur personnalité, qu'ils désignera par le terme de « sociopathie acquise », Antonio Damasio développa la théorie des marqueurs somatiques (Bechara & Damasio, 2005; Damasio, Everitt, & Bishop, 1996; Damasio, 1994). Cette théorie vise à préciser le rôle de régions préfrontales spécifiques dans le processus de raisonnement et de prise de décision grâce à l'introduction de la notion de marqueurs somatiques, qui renvoie au souvenir d'un ensemble de réponses liées au corps et caractérisant une émotion.

Deux types de marqueurs somatiques sous-tendus par des substrats neuronaux distincts sont spécifiés dans ce modèle théorique. Dans un premier temps, l'amygdale sous-tendrait le déclenchement de marqueurs somatiques par un inducteur primaire, définis comme des stimuli appétitifs ou aversifs responsables de la modification d'un état physiologique. En d'autres termes, ces marqueurs primaires désigneraient la trace de l'état somatique généré par les conséquences d'une action. Les marqueurs somatiques secondaires renvoient quant à eux à une réponse physiologique déclenchée par un inducteur secondaire défini comme le souvenir d'un événement émotionnel personnel ou hypothétique. Sous-tendue par le cortex PFVM, la réactivation ultérieure de cet état somatique dans une situation similaire joue un rôle clé dans le guidage du comportement en excluant certaines possibilités d'action. Selon Damasio, les marqueurs somatiques secondaires constituent un signal d'alarme essentiel permettant d'alerter l'organisme du danger potentiel associé à une action, ou au contraire de raviver l'association entre une option et ses conséquences positives. Imaginez un individu ayant perdu un pari lancé par des amis au cours d'une soirée. Nul doute que la perte d'une somme d'argent conséquente (i.e. inducteur primaire) générera en lui un état physiologique aversif (i.e. marqueur somatique primaire). Plongée dans une situation similaire quelques temps plus tard, la réactivation de cet état émotionnel généré

par la perte (i.e. marqueur somatique secondaire) pourra alors contribuer au guidage de son comportement en excluant la perspective d'engagement dans ce nouveau pari, et ce même en l'absence de souvenir conscient de l'évènement initial.

### *c. Mise à l'épreuve de l'hypothèse des marqueurs somatiques : le cas des patients cérébro-lésés*

Bien que de nombreux débats jalonnent la littérature (pour revue Dunn, Dalgleish, & Lawrence, 2006; Reimann & Bechara, 2010), la théorie des marqueurs somatiques bénéficie d'un ancrage neurobiologique solide, attesté par de nombreuses études alliant des données comportementales et électrophysiologiques chez des patients présentant des lésions spécifiques de l'amygdale et du cortex PFVM (pour revue Bechara, Damasio, & Damasio, 2000).

Afin de mesurer spécifiquement des déficits subtils de prise de décision sous ambiguïté chez les patients présentant des lésions frontales focalisées, Bechara, Damasio, Damasio et Anderson (1994) ont conçu une nouvelle tâche, l'Iowa Gambling Task (IGT), simulant une situation de prise de décision proche de la vie quotidienne. Suite à la réception initiale d'une somme d'argent (i.e. 2000\$), les participants doivent maximiser leurs gains en sélectionnant une à une des cartes parmi quatre tas disposés devant eux (cf. Figure 24). Chaque carte retournée s'accompagne d'une somme d'argent immédiatement remportée mais peut aussi être associée à une perte consécutive. Tout l'intérêt de cette tâche réside dans la distinction de deux types de tas. Les tas avantageux sur le long terme (tas C et D) s'associent à des gains modestes mais des pertes consécutives encore plus modérées (i.e. conduisant à un gain net de 250\$ sur un ensemble de 10 cartes). Les tas désavantageux à long terme (tas A et B) se caractérisent quant à eux par des gains plus attractifs mais des pertes potentielles encore plus importantes (i.e. conduisant à une perte nette de 250\$ sur un ensemble de 10 cartes). Par ailleurs, les tas se distinguent également par la fréquence des pertes puisque les tas A et C se caractérisent par des pertes plus fréquentes que les tas B et D. Les participants n'ayant aucune information sur les probabilités d'occurrence et l'ampleur des pertes potentielles, la tâche consiste dès lors à privilégier, au fur et à mesure des tirages, les tas avantageux à long termes (C et D) plutôt que les tas désavantageux (A et C) sur la base des *feedbacks* reçus.



	VERSION CLASSIQUE				VERSION INVERSÉE			
	Tas désavantageux		Tas Avantageux		Tas désavantageux		Tas Avantageux	
	A	B	C	D	F	H	E	G
Gain net / 10 cartes	1000\$	1000\$	500\$	500\$	250\$	250\$	1250\$	1250\$
Probabilité Gain	100%	100%	100%	100%	50%	10%	10%	50%
Perte nette / 10 cartes	1250\$	1250\$	250\$	250\$	500\$	500\$	1000\$	1000\$
Probabilité Perte	50%	10%	50%	10%	100%	100%	100%	100%
Résultat net /10 cartes	-250\$	-250\$	+250\$	+250\$	-250\$	-250\$	+250\$	+250\$

Figure 24 : Caractéristiques des tas avantageux et désavantageux dans la version classique et la version inversée de l'IGT.

En accord avec la théorie des marqueurs somatiques, Bechara et al. (1994) relèvent une insensibilité aux conséquences futures de leurs actes chez les patients présentant des lésions du cortex PFVM dont les choix apparaissent guidés uniquement par les perspectives immédiates. Alors que les participants contrôles sélectionnent les quatre tas de cartes au début du jeu puis piochent préférentiellement dans les tas avantageux au fur et à mesure des essais, les patients continuent à tirer plus de cartes dans les tas désavantageux en avançant dans la tâche. Ainsi, les lésions du cortex PFVM entraînent une focalisation sur l'attractivité de gains immédiats importants, sans considération du désavantage lié à des pertes conséquentes sur le long terme. En outre, les données électrophysiologiques viennent compléter ces résultats en révélant que malgré l'existence d'un pic de conductance cutanée suite à la réception d'un gain ou d'une perte dans les deux populations, la spécificité de ces patients apparaît dans la phase d'anticipation de l'issue de leur choix. Chez les participants contrôles, un pic de conductance précède la sélection d'une carte après un certain nombre de tirages. Or, ce pic de conductance anticipatrice ne se manifeste pas chez les patients avec lésion du PFVM et cette absence de réactivité électrodermale est corrélée avec la manifestation comportementale d'une insensibilité aux résultats futurs de leurs choix (Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 1997; Bechara, Tranel, Damasio, & Damasio, 1996). Ces premiers résultats viennent ainsi étayer l'hypothèse d'une absence de génération de marqueurs somatiques secondaires suite à une lésion du PFVM, responsable de l'incapacité des patients à opter pour des choix avantageux à long terme. Il faut noter que la stabilité dans le temps de ce déficit a été démontrée par Bechara et al. (2000) : malgré un re-test à



différents délais (i.e. 24heures, 1mois et 6mois), les patients continuent à opter pour des choix désavantageux alors que les sujets contrôle améliorent leurs performances au cours des re-tests.

Par ailleurs, la comparaison de patients présentant des lésions du PFVM et de patients présentant des lésions amygdaliennes a permis de confirmer les rôles respectifs de ces deux régions dans la génération des marqueurs somatiques (cf. Figure 25). Comme les patients avec lésion du PFVM, les patients avec lésion de l'amygdale ne parviennent pas à opter pour les tas avantageux au cours des essais. De façon intéressante, cet échec s'accompagne non seulement d'une absence de pic de conductance cutanée anticipatoire, mais également d'une absence de pic de réactivité électrodermale suite à la réception d'un gain ou d'une perte (Bechara, Damasio, Damasio, & Lee, 1999). Ainsi, l'incapacité des patients avec lésion de l'amygdale à faire des choix avantageux sur un plan comportemental reflèterait de façon indirecte un défaut de réactivité face à l'expérience des attributs émotionnels d'une situation. Les lésions amygdaliennes seraient donc responsables de la difficulté à générer des marqueurs somatiques primaires qui ne pourront dès lors pas être réactivés sous forme de marqueurs somatiques secondaires dans une situation ultérieure semblable.

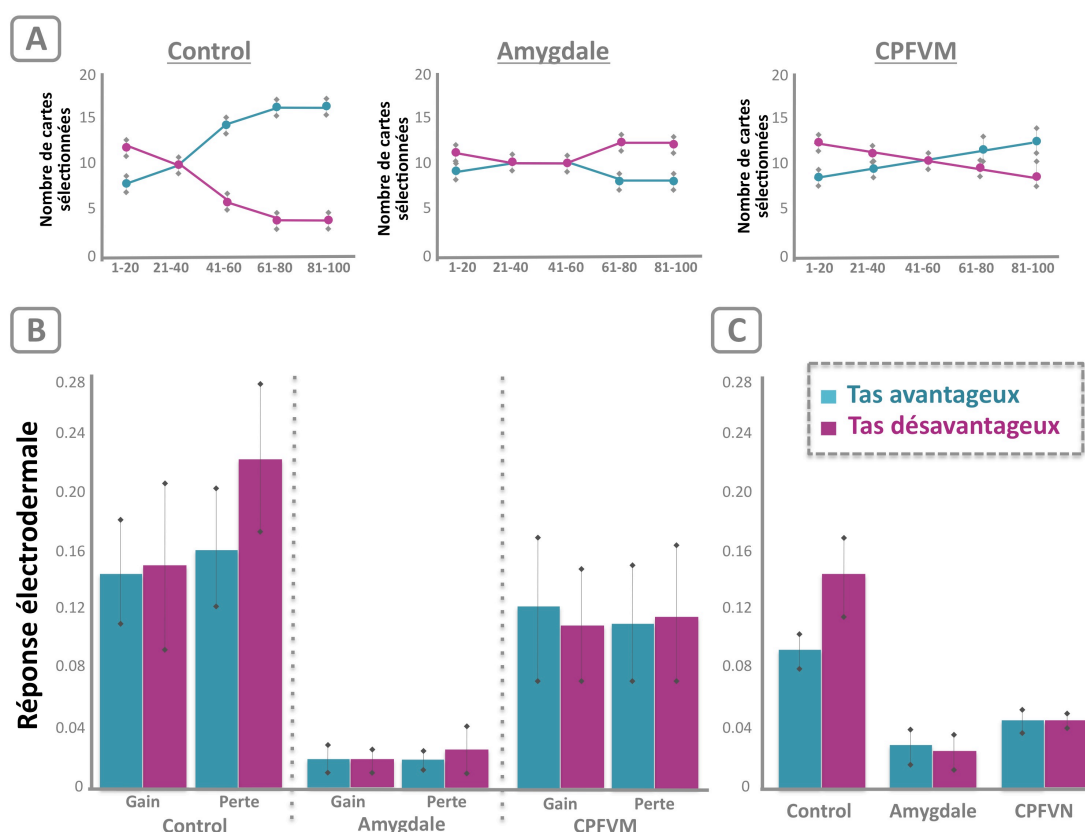


Figure 25 : Résultats de l'étude de Bechara et al. (1999). A) Nombre de cartes sélectionnées dans les tas avantageux et désavantageux au cours de la tâche, B) réponse électrodermale en réponse aux pertes et aux gains et C) réponse électrodermale anticipatrice dans le groupe contrôle, le groupe de patients avec lésions amygdaliennes et le groupe de patients avec lésions du cortex PFVM.

Trois hypothèses explicatives peuvent cependant être avancées pour rendre compte du profil de réponse des patients dans l'ensemble de ces études (Bechara et al., 1994; Bechara, Tranel, & Damasio, 2000). En effet, la tendance à se focaliser sur les gains importants et à opter pour les choix désavantageux peut à la fois refléter 1) une hypersensibilité aux gains au détriment de la prise en compte des pertes potentielles, 2) une insensibilité aux pertes favorisant la focalisation sur les gains, 3) ou une insensibilité générale face aux conséquences futures d'un choix, qu'elles soient positives ou négatives. Pour dissocier ces hypothèses alternatives, les auteurs élaborent une version inversée de l'IGT dans laquelle les tas avantageux correspondent à des pertes immédiates importantes mais des gains potentiels encore plus importants et les tas désavantageux associés à des pertes immédiates faibles mais des gains potentiels encore plus faibles (cf. Figure 24). Les patients PFVM continuant à opter pour les tas désavantageux malgré l'inversement du statut des gains et des pertes, les auteurs interprètent l'ensemble de ces résultats par une insensibilité aux conséquences futures (i.e. pertes futures ou diminution des gains futurs) qualifiée de « myopie vers le futur », plutôt qu'une insensibilité aux conséquences négatives ou au contraire une hypersensibilité aux récompenses.

## 2. Développement de la prise de décision sous ambiguïté

Si l'implication de régions préfrontales et notamment du cortex PFVM dans les processus de prise de décision sous ambiguïté semble consensuelle à l'issue de ces travaux, l'immaturation tardive du cortex préfrontal (Crone & Dahl, 2012) questionne sur le développement de la prise de décision sous ambiguïté chez l'enfant et l'adolescent. Utilisant de nouvelles versions de l'IGT adaptées aux enfants, une série d'études plus récentes offre un éclairage sur cette question.

### a. Profil développemental de la prise de décision sous ambiguïté

L'élaboration d'une adaptation proche de la version initiale de l'IGT mais reposant sur un contenu plus ludique, la *Hungry Dunkey Task (HDT)*, a permis l'étude de la trajectoire développementale des capacités de prise de décision sous ambiguïté de l'enfance à l'âge adulte. En proposant la HDT à des enfants de 6-9 ans, 10-12 ans, 13-15 ans et des jeunes adultes, Crone et van der Molen (2004) ont notamment mis en exergue le développement continu des processus décisionnels jusqu'à la fin de l'adolescence, voire jusqu'à l'âge adulte. Dans cette adaptation, les enfants avaient pour consigne d'aider un âne affamé à gagner un maximum de pommes grâce à l'ouverture de quatre portes. Construite sur le même modèle que l'IGT, la version classique de la HDT distingue deux portes avantageuses (i.e. impliquant

des gains faibles mais des pertes plus modérées) et deux portes désavantageuses à long terme (i.e. impliquant des gains attractifs mais des pertes importantes), la fréquence des pertes étant également manipulée (cf. Figure 26).

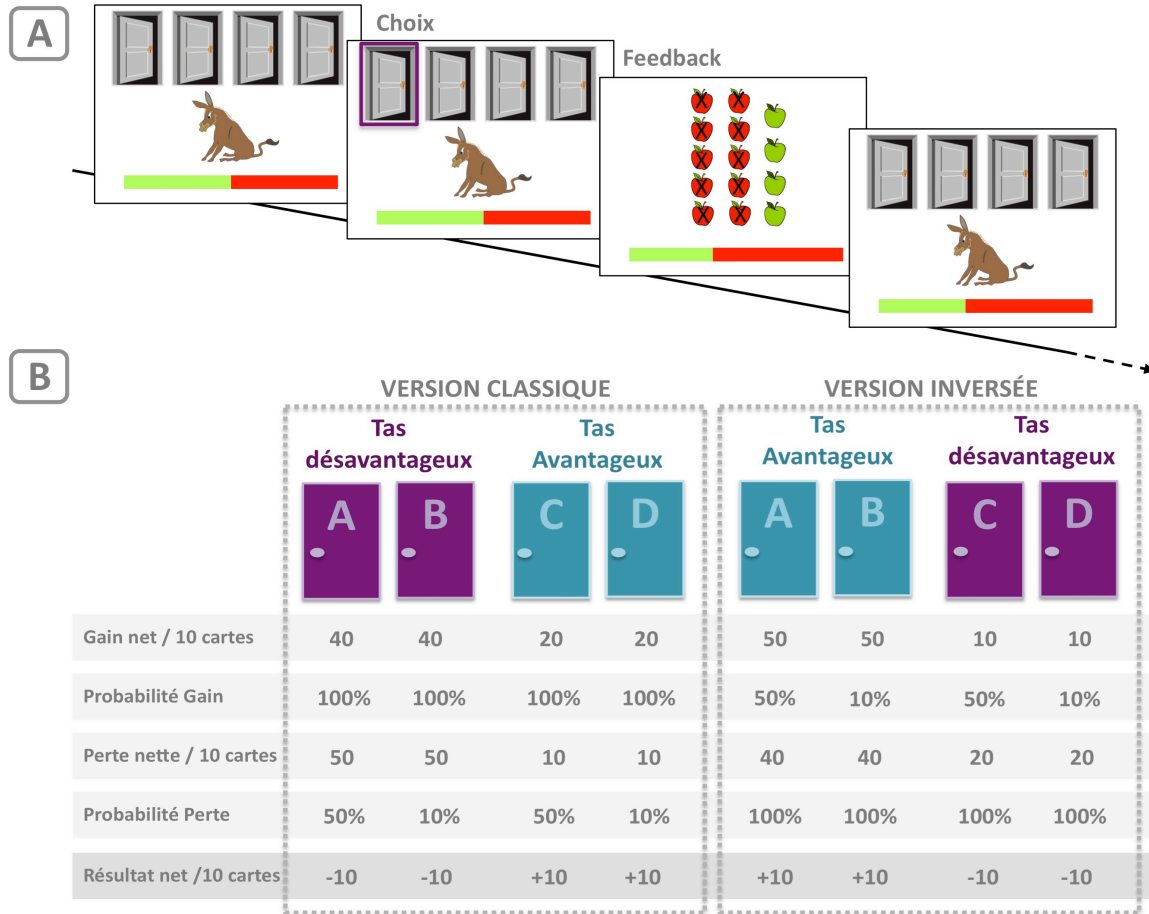


Figure 26 : A) Déroulement d'un essai dans la Hungry Dunkey Task. B) Caractéristiques des quatre portes dans la version classique et la version inversée.

Les résultats de cette étude révèlent une augmentation des choix avantageux avec l'âge. Les enfants persévèrent dans le choix des portes désavantageuses même à l'issue du jeu alors que les adolescents de 13-15 ans semblent présenter un niveau intermédiaire, ne parvenant pas à égaler les performances des adultes.

### ***b. Comment expliquer la difficulté des enfants et des adolescents à faire des choix avantageux ?***

Comme chez les patients cérébro-lésés, la question de l'interprétation de ces résultats comme une hypersensibilité aux gains ou insensibilité aux pertes se pose à nouveau. Nous l'avons vu dans le chapitre portant sur le développement de la prise de décision à risque, certaines études suggèrent une sensibilité aux pertes moins importante chez les adolescents (Ernst et al., 2005). De même, une diminution avec l'âge de la sensibilité aux récompenses

immédiates a été montrée par Steinberg et al. (2009), certains auteurs postulant même un pic de sensibilité à l'adolescence (Galvan et al., 2006; Geier et al., 2010; Padmanabhan et al., 2011; Smith et al., 2011; van Leijenhorst, Moor et al., 2010). Toutefois, la comparaison de la version classique de la HDT à une version inversée (cf. Figure 26) permet d'invalidier ces deux hypothèses explicatives en révélant que le nombre de choix avantageux augmente avec l'âge dans les deux versions (Crone & van der Molen, 2004).

Le rôle de la mémoire de travail dans l'explication des difficultés des enfants et des adolescents a également été questionné dans la littérature. Crone et van der Molen (2004) ont notamment manipulé la charge de mémoire de travail nécessaire à la mise à jour des feedbacks. Ils distinguent alors 3 niveaux de *feedback* : la présentation visuelle du niveau de résultat pour chaque porte (i.e. demande en mémoire de travail minimale), la présentation visuelle du niveau de résultat global (i.e. demande en mémoire de travail intermédiaire), l'absence de présentation visuelle des résultats. (i.e. demande en mémoire de travail maximale). Cette étude confirme que le déficit de prise de décision des plus jeunes reflète une inconscience des conséquences futures plutôt qu'une difficulté à garder les informations en mémoire de travail et relève l'absence de lien entre la réussite des enfants et une tâche d'empan numérique (voir aussi Crone, Bunge, Latenstein, & van der Molen, 2005).

De façon intéressante, l'étude de Crone et van der Molen (2004) souligne le caractère décisif de la fréquence des enjeux pour rendre compte de l'évolution du pattern développemental du choix des individus. Dans la version classique comme dans la version inversée de la HDT, les choix des plus jeunes se dirigent respectivement vers les portes associées à des pertes moins fréquentes et les portes associées à des gains fréquents, indépendamment de leur avantage à long terme. Cette étude fournit un premier argument expérimental en faveur d'une tendance des enfants à se focaliser sur la fréquence des enjeux sans considérer leur ampleur, un résultat fortement étayé sur le plan comportemental (Aïte et al., 2012; Cassotti, Houdé, & Moutier, 2011).

A l'instar des principaux arguments en faveur de l'hypothèse des marqueurs somatiques chez l'adulte, l'analyse des changements de réponse électrodermale au cours de la HDT rejoint l'idée d'une focalisation sur la fréquence des enjeux chez les enfants (Crone & van der Molen, 2007). Alors que les analyses électrophysiologiques suggèrent une augmentation de conductance cutanée suite à un gain ou une perte quelque soit l'âge, c'est seulement à partir de la fin de l'adolescence qu'apparaît un pic de réponse électrodermale anticipatrice. A première vue, le pattern électrophysiologique des plus jeunes n'est pas sans rappeler les patients avec lésion du cortex PFVM. Or, une analyse plus fine des résultats révèle que contrairement aux adultes qui présentent un pic de conductance cutanée avant

les choix désavantageux, la réponse électrodermale des adolescents augmente pendant l'anticipation d'un choix associé à des pertes fréquentes. Contrairement aux situations de prise de décision à risque pour lesquelles la capacité à coordonner des probabilités et des enjeux semble relativement précoce (Schlottmann, 2001; van Leijenhorst et al., 2008), cette intégration semble difficile chez les enfants et les adolescents dès lors que ces informations ne sont pas directement disponibles mais nécessitent d'être inférées sur la base d'une expérience acquise. L'augmentation avec l'âge de la capacité à intégrer de façon séquentielle différentes dimensions d'un problème et le constat d'un premier focus majoritairement dirigé vers la fréquence des pertes semblent d'ailleurs soutenir cette hypothèse (Huizenga, Crone, & Jansen, 2007; Jansen, van Duijvenvoorde, & Huizenga, 2012).

Enfin, deux études menées au sein de notre laboratoire proposent que les stratégies d'exploration suite à un gain ou une perte représentent un élément essentiel dans la réussite à cette tâche (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2014, 2011). Deux stratégies dominantes peuvent être isolées dans l'IGT : persévérer sur une pile suite à un gain (*win-stay strategy*) ou changer de pile suite à une perte (*loss-shift strategy*). Partant du constat d'une corrélation négative entre la proportion de changement de pile suite à une perte et le nombre de choix avantageux, les auteurs avancent l'hypothèse contre-intuitive du caractère adaptatif de la tendance à persévérer malgré une perte dans une situation nécessitant un apprentissage. En effet, les enfants présentent une tendance plus marquée à changer de tas après une perte que les adultes. Cette tendance pourrait réduire leurs opportunités d'inférer les caractéristiques propres aux piles associées à des pertes fréquentes, limitant de ce fait la prise en compte de la valeur des enjeux. Ce constat d'un manque de persévérance sur une même option à la suite d'une perte, associé à l'évidence d'une focalisation excessive sur la fréquence des pertes (Aïte et al., 2012; Crone & van der Molen, 2007; Crone et al., 2005), nous conduit à envisager le rôle clé du contrôle cognitif dans les difficultés de prise de décision sous ambiguïté présentées par les enfants et les adolescents. La capacité à déterminer le caractère avantageux d'une option ambiguë sur le long terme pourrait solliciter le contrôle cognitif nécessaire à l'inhibition d'une stratégie d'exploration spontanée consistant à rejeter une option venant d'aboutir à une perte ou caractérisée par des pertes fréquentes (Cassotti et al., 2014).

### c. Conclusion

A l'issue de cette partie, il apparaît évident que la trajectoire développementale de la prise de décision sous ambiguïté ne se superpose pas à celle de la prise de décision à risque. Contrairement à la prise de décision à risque, les capacités des adolescents à opter pour les

choix avantageux dans des situations de prise de décision sous ambiguïté n'égalent pas celles des adultes. Lorsque les informations caractérisant les options ne sont pas directement disponibles mais doivent être inférées sur la base de leur expérience, les capacités de prise de décision évoluent de façon plus lente et linéaire (Crone & van der Molen, 2004; Overman et al., 2004), même si deux études à notre connaissance attestent de difficultés spécifiques à l'adolescence (Cauffman et al., 2010; Smith, Xiao, & Bechara, 2012).

Pour autant, la nature exacte de cette difficulté reste questionnée. Si elle ne semble pas liée à des difficultés de mémoire de travail, l'hypothèse d'un défaut d'intégration des différentes dimensions émerge du constat d'une focalisation excessive sur la fréquence des pertes, sans prise en compte de l'ampleur des enjeux. Par ailleurs, la tendance des enfants et des adolescents à davantage changer d'option suite à une perte pourrait entraver leur possibilités d'apprentissage en raison d'un défaut de contrôle cognitif nécessaire à la suppression d'une stratégie d'exploration spontanée consistant à rejeter des options associées à une perte (Cassotti et al., 2014).

### **3. Distinction risque / ambiguïté : La prise de risque comme une difficulté d'apprentissage dans l'ambiguïté**

Le contraste fort entre les capacités de prise de décision des enfants et des adolescents rapportées dans les chapitres 2 et 3 souligne la nécessité de prendre en considération le niveau d'information disponible. En effet, les adolescents semblent faire des choix aussi avantageux que les adultes dans des situations de prise de décision à risque alors qu'ils rencontrent des difficultés dans le domaine de la prise de décision sous ambiguïté. De façon surprenante, ces deux domaines de la prise de décision ont très largement été étudiés mais principalement de façon dissociée. Seule un ensemble de travaux menés par Anna van Duijvenvoorde et son équipe ont évolué vers cette question du niveau d'information, à nos yeux essentielle.

Partant du constat d'une immaturité du contrôle émotionnel à l'adolescence (Casey et al., 2008b; Hare et al., 2008; Somerville et al., 2011) et dans la continuité des travaux de Figner et al. (2009), van Duijvenvoorde, Jansen, Visser, et Huizenga, (2010) suggèrent que la performance des adolescents dépende de la nature émotionnelle de la tâche. Les tâches dites « cognitives » ou « froides », n'impliquant pas la réception de *feedbacks*, minimiseraient l'implication de processus émotionnels et limiteraient la nécessité de recruter le contrôle cognitif. Le développement de ce type de décision pourrait ainsi s'avérer linéaire, reflétant la prise en compte d'un nombre croissant de dimensions. A l'inverse, les tâches dites « affectives » ou « chaudes » impliquent la réception de *feedbacks* positifs ou négatifs

augmentant la nécessité de régulation émotionnelle, au delà même du traitement d'une situation complexe de prise de décision.

Afin de vérifier l'hypothèse d'une prise de décision purement cognitive optimale et d'une prise de décision affective sous-optimale, van Duijvenvoorde et al. (2010) propose la comparaison directe d'une tâche de prise de décision affective (HDT) et d'une tâche cognitive (la *Gambling Machine Task*) en contrôlant la complexité de la tâche (nombre de dimensions impliquées). Dans la *Gambling Making Task* (MGT), les participants doivent décider quelle machine parmi deux présentées (A et B), leur paraît être la plus avantageuse ou si les deux leur semblent également profitables. Comme dans la HDT, les options se distinguent sur trois dimensions : l'ampleur d'un gain constant, l'ampleur et la fréquence des pertes. Chacune des machines s'associe à un gain constant (2 ou 4 points) et contient 10 boules blanches et grises dont la proportion de boules grises informe sur la probabilité de perte (10% ou 50%) et la valeur inscrite sur les boules renseigne sur la valeur de la perte potentielle (-2, -10, -50). Lorsqu'ils déclenchent une machine, une boule est tirée au hasard par le dispositif : quelle que soit la boule tirée, les participants remportent le gain indiqué sur la machine mais une perte est associée dans le cas où une boule grise est tirée. Pour autant, contrairement à la HDT, aucun retour n'est fourni au participant sur l'issue de son choix. Dans la tâche de prise de décision affective, les adolescents de 13-15 ans présentent des choix non optimaux en se focalisant sur une seule dimension du problème, la fréquence des pertes. A l'inverse, les adolescents font preuve de stratégies décisionnelles plus matures dans la condition « cognitive » en parvenant à coordonner deux voire trois dimensions de la tâche, ce qui semble malgré tout attester d'un développement continu jusqu'à l'âge adulte. Enfin, l'absence de lien entre les performances à ces deux tâches suggère que la réussite à une tâche de prise de décision affective dépendrait davantage des processus de contrôle émotionnel que d'un défaut de raisonnement complexe : les adolescents parvenant à intégrer les trois dimensions dans la MGT ne présentent pas forcément de stratégies plus élaborées lors de la résolution de la HDT.

Pourtant, bien qu'elle rejoigne les observations de Figner et al. (2009), il nous semble difficile de conclure sur la nature des processus impliqués dans la différence de performance entre ces deux tâches. En effet, ces dernières ne se distinguent pas uniquement sur leur charge affective mais également sur le niveau d'information. La disponibilité des informations dans la MGT la situe dans le champ de la prise de décision à risque, alors que la HDT fait clairement référence à des situations de prise de décision sous ambiguïté nécessitant non seulement de s'ajuster aux caractéristiques des options, mais également de les inférer à partir des *feedbacks* reçus. Bien qu'elle implique un nombre de dimensions

similaire, l'équivalence du niveau de complexité de ces deux tâches reste de ce fait discutable.

La suite des travaux d'Anna van Duijvenvoorde a fortement contribué à isoler l'impact de ce niveau d'information en faisant abstraction de la nature émotionnelle de la tâche. Pour cela, les auteurs proposent la comparaison directe de deux versions d'une même tâche, la MGT, se distinguant uniquement sur la disponibilité des informations (van Duijvenvoorde, Jansen, Bredman, & Huizenga, 2012). Dans cette adaptation de la MGT, des participants de 7-9 ans, 9-11 ans, 11-13 ans, 12-14 ans, 14-17 ans et des jeunes adultes effectuent une série de choix entre quatre machines (A, B, C et D) dans une version informée (i.e. ampleur des gains constants, probabilité et ampleur des pertes directement disponibles) et une version non informée (i.e. aucune information sur ces 3 dimensions) (cf. Figure 27).

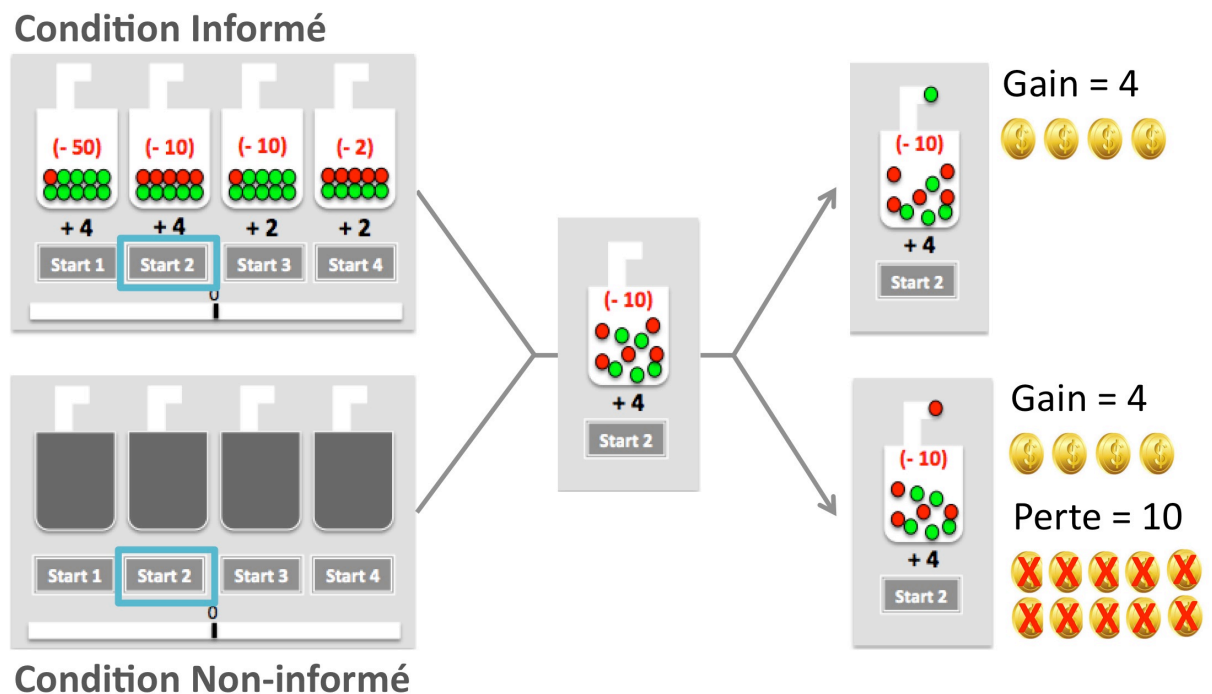


Figure 27 : Déroulement de la MGT, en version « informé » et « non informé » (Van Duijvenvoorde et al., 2012)

En accord avec les études précédentes, les enfants ne parviennent pas à opter pour les options avantageuses jusqu'à l'âge de 12 ans dans la condition non informée et cette capacité continue de se développer progressivement jusqu'à l'âge adulte. Par ailleurs, quel que soit leur âge, les participants parviennent à améliorer leur stratégie au fur et à mesure qu'ils avancent dans la tâche et présentent de meilleures performances dans la condition informée que dans la condition non informée. Cet avantage de la condition informée s'avère d'autant plus fort chez les enfants et préadolescents. Malgré tout, les performances continuent d'augmenter avec l'âge même en condition informée.



Pour les auteurs, l'explication de ce pattern de résultats réside dans le développement de la mémoire de travail et de la mémoire à long terme, toutes deux impliquées dans la prise de décision sous ambiguïté. Rendre les informations explicites pourrait améliorer les performances, surtout chez les enfants et les adolescents dont le système mnésique reste encore immature. Cependant, aucun lien direct ne permet une telle conclusion dans cette étude et d'autres révèlent au contraire une absence de corrélation entre prise de décision et mémoire de travail (Crone & van der Molen, 2004; Crone et al., 2005). Ce lien ne sera pas non plus étayé par ces mêmes auteurs dans une nouvelle étude publiée un an plus tard (van Duijvenvoorde, Jansen, Griffioen, Van der Molen, & Huizenga, 2013). Alors qu'ils prédisaient un lien spécifique entre mémoire de travail et prise de décision sous ambiguïté, de meilleurs scores de mémoire de travail s'associent à de meilleures performances de prise de décision en condition informée comme en condition non informée.

Cette dernière étude apporte malgré tout une réelle contribution dans la précision des processus en jeux dans le développement de l'apprentissage basé sur les *feedbacks* grâce à l'association des données comportementales et l'enregistrement du rythme cardiaque (van Duijvenvoorde et al., 2013). L'objectif est ici de discriminer une spécificité de la gestion des *feedbacks* (impliqué à la fois dans les situations « informée » et « non informée ») d'un déficit de l'élaboration d'une représentation des probabilités (propre aux situations « non informée »). Selon les auteurs, si l'échec des enfants résulte d'un déficit au niveau de l'élaboration d'une représentation des probabilités, l'analyse du rythme cardiaque devrait révéler un effet développemental suite à un *feedback* négatif seulement pour la condition non informée. Au contraire, si la gestion de *feedbacks* est en cause dans les difficultés de prise de décision des enfants, alors cet effet développemental sur la décélération du rythme cardiaque devrait être retrouvé quel que soit le niveau d'information. Les résultats de cette étude révèlent une décélération du rythme cardiaque, caractéristique de la réception d'une perte par rapport à un gain, plus marquée chez les adultes que chez les enfants et les jeunes adolescents. Cette spécificité développementale semble néanmoins circonscrite au domaine de la prise de décision sous ambiguïté puisque tous les groupes d'âge présentent une décélération cardiaque forte en condition informée.

Ainsi, jusqu'à l'âge de 12 ans, les enfants et préadolescents présenteraient un déficit d'élaboration d'une représentation des probabilités de par leur expérience, plutôt qu'un défaut de gestion des *feedbacks* négatifs, difficulté pouvant rendre compte de la prise de risque exacerbée des adolescents dans des situations associées à une manque d'information sur les conséquences de leurs actes.

## Précisions terminologiques

### *Prise de décision informée versus non informée ou*

### *Prise de décision à risque versus sous ambiguïté*

Jusqu'à présent, nous avons pris le parti de situer la prise de décision sur un continuum de niveau d'incertitude allant de la prise de décision à risque jusqu'à la prise de décision sous ambiguïté.

Les études présentées dans cette dernière section introduisent une nouvelle terminologie, le niveau d'information, qui fait directement échos au niveau d'incertitude précédemment évoqué. Les situations informées font clairement référence à des situations de prise de décision à risque dans lesquelles les sujets disposent d'informations explicites caractérisant les options. Au contraire, les situations non informées reviennent à des situations de prise de décision sous ambiguïté dans lesquelles ces informations ne sont pas disponibles.

Par souci d'économie, nous aurions pu nous limiter aux termes emblématiques de prise de décision à risque et sous ambiguïté dans l'ensemble de ce manuscrit. Cependant, la confusion courante entre prise de décision à risque et prise de risque (cf. chapitre 1) nous amènera par la suite à exploiter cette nouvelle terminologie, à nos yeux plus parlante pour distinguer les prises de risque avec ou sans information sur le niveau de risque associé.

## III. MESURE DE LA PRISE DE RISQUE EN SITUATION D'AMBIGUÏTÉ

Ainsi, la prise en compte du niveau d'incertitude a permis la naissance de deux nouvelles hypothèses explicatives du pic de prise de risque observé dans le quotidien des adolescents. 1) Selon Tymula et al. (2012), l'augmentation de la prise de risque refléterait une plus grande tolérance des adolescents face à l'ambiguïté les conduisant à une exploration plus poussée des situations associées à un manque d'information. 2) Pour van Duijvenvoorde et al. (2012), un déficit d'élaboration d'une représentation des probabilités sur la base de la réception de *feedbacks* conduirait les adolescents à une prise de risque exacerbée spécifique de situations associées à un manque d'information sur les conséquences de leurs actes. Mesurer finement l'engagement des adolescents dans la prise de risque selon le niveau d'information semble alors essentiel pour départager ces deux hypothèses.

## 1. La Balloon Analogue Risk Task (BART)

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 2, de nombreuses tâches permettent de mesurer la prise de risque dans le cadre de situations informées en impliquant soit un choix entre deux options dont les niveaux de risque diffèrent (Ernst et al., 2004; van Leijenhorst et al., 2008), soit l'évaluation d'un engagement progressif dans une conduite à risque (Figner et al., 2009; Slovic, 1966). A l'inverse, dans le champ du développement de la prise de décision sous ambiguïté, l'ensemble de la littérature précédemment évoquée repose sur des adaptations de l'IGT. Bien qu'elle nous renseigne sur la capacité des individus à faire des choix avantageux dans le cadre de l'ambiguïté, la difficulté persistante au cours du développement à extraire de l'information sur les caractéristiques des options nous conduit à envisager la pertinence limitée de cette tâche pour mesurer la prise de risque des adolescents.

En outre, l'évaluation des risques dans la vie quotidienne ne repose pas uniquement sur le choix entre différentes options mais aussi sur le retrait d'un engagement croissant dans le risque. Imaginez-vous au volant de votre voiture, vous rendant à un entretien d'embauche pour lequel vous avez déjà accumulé un retard conséquent. L'importance de ce rendez-vous vous conduira sans doute à opter pour une conduite plus rapide qu'à votre habitude. Mais, à partir de quel moment le risque encouru pour votre vie et celle d'autrui dépasse-t-il le bénéfice de votre ponctualité à cet entretien ? A notre connaissance, une seule tâche, la *Balloon Analogue Risk Task* (BART) permet d'évaluer la prise de risque dans le cadre de situation non informée, en mesurant un comportement de prise de risque pour lequel, comme dans la plupart des situations quotidiennes, le risque est récompensé jusqu'à un certain point mais au delà s'accompagne de conséquences négatives. Initialement proposée par Lejuez et al. (2002), la version classique de la BART propose aux participants de gonfler le plus possible un total de quatre-vingt dix ballons pouvant aléatoirement exploser entre 1 et 128 pressions, afin de gagner un maximum d'argent. Chaque gonflement se traduit par une augmentation de la taille du ballon et une récompense de 5 centimes accumulés dans une banque temporaire. Le participant peut alors gonfler chacun des ballons autant qu'il le souhaite sachant que son explosion s'accompagnera de la perte de l'ensemble de la banque temporaire. Il peut alors décider à tout moment de sauver l'argent dans une cagnotte définitive et de passer au ballon suivant (cf. Figure 28). Le nombre de gonflement sur les ballons n'ayant pas explosé (i.e. pumps ajustés), le nombre d'explosions et le montant des gains reflètent ainsi l'engagement de l'individu dans une prise de risque (i.e. prendre le risque d'exploser le ballon pour maximiser la récompense). Par ailleurs, dans la mesure où il ne reçoit aucune information sur le niveau de résistance de chaque ballon, cette tâche

s'inscrit dans une prise de risque en situation d'ambiguïté (i.e. aucune information sur la probabilité d'explosion du ballon).

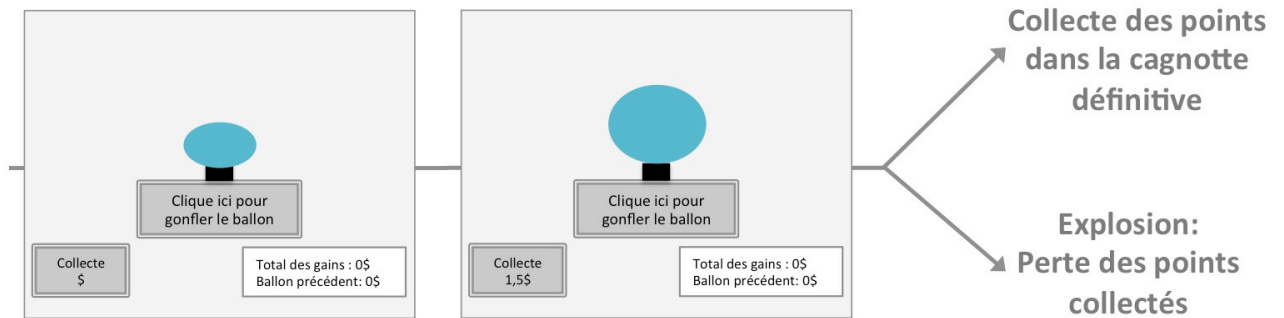


Figure 28 : Déroulement d'un essai dans la BART initiale (Lejuez et al., 2002)

La confrontation de cette tâche à des auto-questionnaires a notamment permis de confirmer sa sensibilité comme mesure de la prise de risque : en effet, le lien entre les performances à la BART et des mesures de prise de risque quotidienne ont été mises en évidence chez l'adulte (Lejuez et al., 2002) comme chez l'adolescent (Lejuez, Aklin, Zvolensky, & Pedulla, 2003). Par ailleurs, contrairement à l'IGT, les données comportementales à la BART semblent liées au tabagisme chez les adultes âgés de 18 à 30 ans (Lejuez, Aklin, Jones, et al., 2003).

## 2. Modélisation des processus engagés dans la BART

Malgré les qualités de cette tâche pour mesurer l'engagement dans le risque, aucune étude à ce jour ne propose d'évaluer la prise de risque à travers la BART dans une perspective développementale, ni de tester l'impact du niveau d'incertitude sur la prise de risque. Nous avons de ce fait décidé d'accorder une place centrale dans ce travail de thèse à la BART, que nous avons adaptée à plusieurs reprises afin de répondre au mieux à nos objectifs. Pour cela, il nous a semblé essentiel de préciser et de proposer une modélisation des processus impliqués dans la résolution de cette tâche en tenant compte de sa spécificité première : un engagement progressif dans le risque qui, contrairement à un choix isolé entre deux options, nécessite la considération de probabilités évoluant au fur et à mesure de cet engagement. En effet, la probabilité d'explosion du ballon, minimale au début d'un essai, augmente progressivement à mesure que l'individu continue de gonfler le ballon. Prendre des risques constitue une réponse avantageuse (i.e. gain de points) jusqu'à un certain point, à partir duquel un engagement supplémentaire dans le risque s'accompagne de conséquences négatives (i.e. pertes des points accumulés avec l'explosion du ballon).

Par ailleurs, la BART impliquant à la fois des gains et des pertes potentielles, le modèle triadique des comportements motivés proposés par Monique Ernst (Ernst et al., 2006) nous

semble être le plus complet pour rendre compte des processus cognitifs engagés dans la BART. Comme nous l'avons décrit à la fin du deuxième chapitre, ce modèle intègre trois systèmes neurocomportementaux : 1) un système d'approche impliquée dans la recherche de récompenses, 2) un système d'évitement impliqué dans l'évitement de stimuli aversifs et 3) un système de régulation assurant la modulation de la participation relative de chacun des ces deux premiers systèmes. Selon nous, la décision de gonfler les ballons repose sur la gestion d'une balance entre la maximisation du nombre de points collectés et l'évitement d'une explosion entraînant la perte de ces points. En accord avec cette hypothèse, l'étude des bases cérébrales liées à la résolution de la BART dévoilent l'implication de deux réseaux neuraux distincts selon le choix de l'individu (Fukunaga, Brown, & Bogg, 2012) : d'une part, le cortex PFVM dont l'activation augmente lorsque les participants continuent à gonfler le ballon ; d'autre part un réseau préfrontal dont l'activité augmente au moment où ces derniers décident d'arrêter de gonfler le ballon et engageant des régions connues dans la littérature pour leur implication dans les processus contrôle cognitif (i.e. ACC, Gyrus frontal inférieur et insula antérieure) (voir aussi Knoch, 2006). Ainsi, le système d'approche responsable de l'anticipation des récompenses favoriserait la prise de risque à la BART alors que le système d'évitement responsable de l'anticipation de la perte potentielle des points jouerait un rôle crucial dans la suppression de l'engagement dans le risque via le recrutement du système de contrôle et en particulier via le processus d'inhibition cognitive (cf. Figure 29).

Cette modélisation basée sur une balance entre un système d'approche et un système d'évitement nous semble d'autant plus adaptée à cette tâche qu'elle permet de rendre compte de l'impact de l'évolution des probabilités d'explosion au cours d'un même essai sur le comportement de l'individu. L'équilibre entre ces deux systèmes étant directement modulé par le niveau de risque de la situation, la tendance à la prise de risque va ainsi évoluer au cours d'un même essai. En effet, rappelons que la probabilité d'explosion du ballon, donc le niveau de risque, augmente à mesure des pressions (i.e. pumps) appliquées au ballon. Au début d'un essai, le niveau de risque minimal impliquerait une plus grande focalisation sur l'anticipation des récompenses et donc un déséquilibre de ces deux systèmes en faveur du système d'approche. A l'inverse, l'augmentation du niveau de risque avec le nombre de pumps amplifierait la saillance de la perte potentielle des points se traduisant ainsi par une bascule en faveur du système d'évitement.

Enfin, la considération d'un mécanisme d'apprentissage suite à la réception d'un *feedback* nous semble essentielle. En lien avec les travaux réalisés dans le cadre de la prise de décision sous ambiguïté (Bechara & Damasio, 2005; Cassotti et al., 2014; Van Duijvenvoorde et al., 2012, 2013), l'optimisation des bénéfices à la BART nécessite pour

l'individu d'apprendre à ajuster sa prise de risque à travers l'expérience acquise au cours de la tâche. A l'issue de chaque essai, le *feedback* reçu (i.e. gain ou explosion conduisant à la perte des points) doit être intégré afin de lui permettre de préciser sa perception du niveau de risque des ballons et de trouver un juste équilibre entre la maximisation des points collectés et le risque d'aboutir à une perte (Humphreys, Lee, & Tottenham, 2013; Rolison, Hanoch, & Wood, 2012).

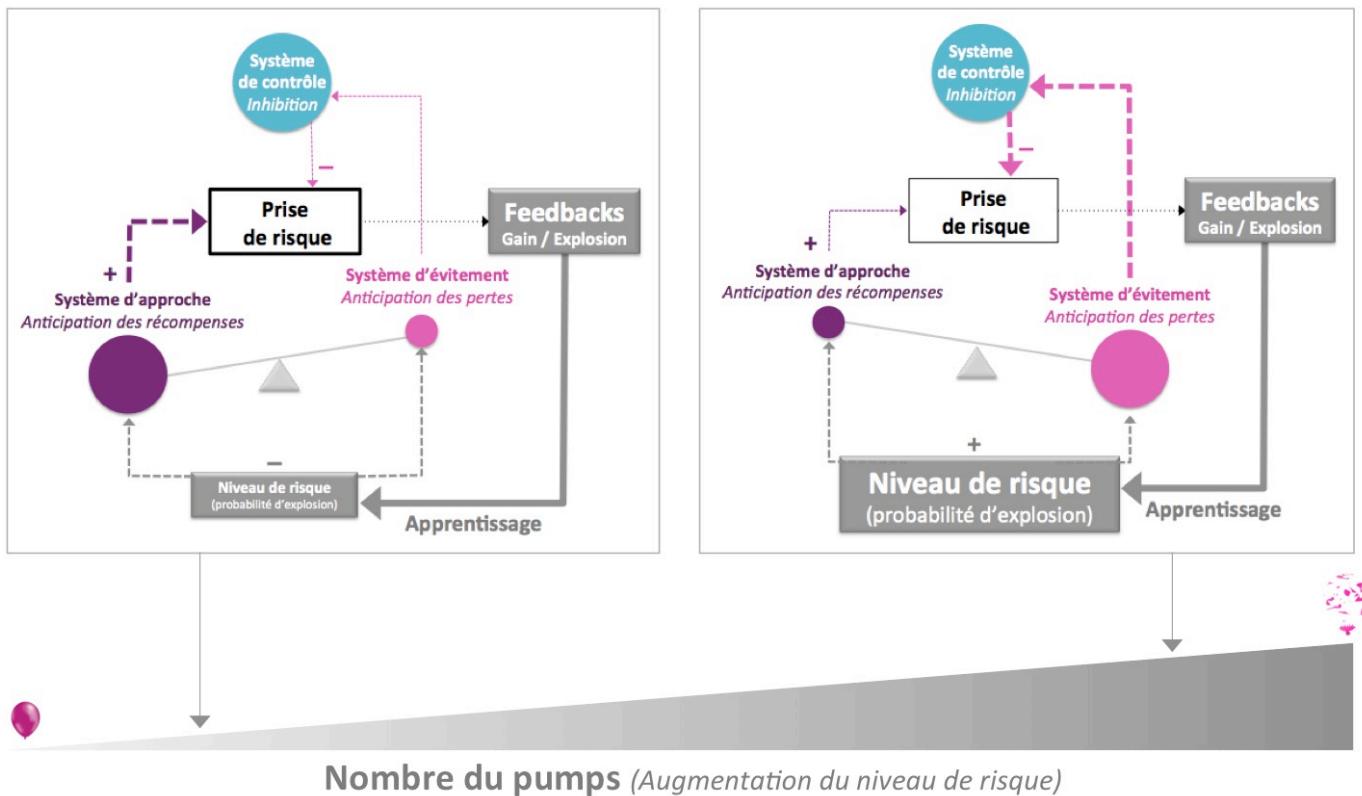


Figure 29 : Modélisation des processus cognitifs impliqués dans la BART. Au début d'un essai, le niveau de risque très bas favorise une anticipation des récompenses potentielles et entraîne une bascule en faveur du système d'approche, favorisant ainsi l'engagement dans le risque. A l'inverse, l'augmentation du niveau de risque avec le nombre de pumps au cours de l'essai va entraîner un déséquilibre au profit du système d'évitement et d'anticipation des pertes, permettant ainsi le désengagement de la prise de risque via les processus de contrôle cognitif. Enfin, la réception d'un feedback (i.e. gain ou perte) à l'issue de chaque essai favorise l'ajustement des réponses au niveau de risque des ballons via un mécanisme d'apprentissage.

## Chapitre

# 4

# Influence du contexte socio-émotionnel à l'adolescence

*Ce chapitre a pour objectif de souligner la nécessité de considérer le contexte socio-émotionnel comme facteur clé de la prise de risque à l'adolescence.*

*Après avoir présenté les travaux princeps faisant état d'une augmentation de la prise de risque des adolescents en présence de leurs pairs, nous introduirons les limites et questionnements actuels relatifs à l'influence du contexte-socio-émotionnel pendant l'adolescence. Quel est le rôle de l'intervention des pairs dans l'augmentation de la prise de risque des adolescents ? Comment expliquer cette augmentation de la prise de risque chez les adolescents soumis à un contexte socio-émotionnel saillant ? L'influence du contexte socio-émotionnel se limite-elle à des situations associées à un manque d'information sur les risques encourus ? Peut-on envisager d'autres types de contextes socio-émotionnels ? L'influence des pairs peut-elle également revêtir un rôle positif sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque ?*

*Bien que suscitant un vif intérêt dans la communauté scientifique, l'influence du contexte socio-émotionnel fait aujourd'hui l'objet de nombreux débats au vu de données souvent contradictoires dans la littérature.*

Si les modèles proposés par Casey et al. (2008) et Ernst et al. (2005) offrent un cadre explicatif fort pour comprendre la prise de risque des adolescents, il reste encore à rendre compte du paradoxe d'un engagement exagéré dans des conduites à risque quotidiennes non confirmé en situation de laboratoire. L'observation des situations quotidiennes suggère que la clé de ce paradoxe réside dans l'importance de l'influence sociale à l'adolescence (Steinberg, 2008). Alors que les prises de risque quotidiennes semblent prendre racine dans des situations socialement et émotionnellement saillantes, la rigueur imposée par la méthodologie expérimentale exclut généralement de tels facteurs. C'est grâce aux travaux initiés par l'équipe de Laurence Steinberg que la dimension socio-émotionnelle a peu à peu pris place au sein de la psychologie expérimentale et des neurosciences développementales, jusqu'à constituer aujourd'hui une thématique de recherche dynamique suscitant un vif intérêt.

---

## I. LA PRÉSENCE DES PAIRS COMME FACTEUR CLÉ DE LA PRISE DE RISQUE À L'ADOLESCENCE

---

### 1. Le rôle des pairs dans les prises de risque quotidiennes

Au quotidien, les adolescents s'engagent essentiellement dans des conduites à risque lorsqu'ils sont entourés de leur groupe de pairs et rarement lorsqu'ils sont seuls. Les recherches sur les prises de risque quotidiennes révèlent par exemple un risque d'accident grave plus important chez les jeunes conducteurs lorsqu'ils sont accompagnés d'un passager de même âge (Rhodes, Pivik, & Sutton, 2015; Simons-Morton et al., 2011; Simons-Morton, Lerner, & Singer, 2005). Aussi, les comportements risqués de leurs pairs semblent un excellent prédicteur de l'engagement des adolescents dans des conduites à risque (Maxwell, 2002; Varela & Pritchard, 2011), notamment la consommation d'alcool (Beal, Ausiello, & Perrin, 2001; Jackson et al., 2014), la conduite automobile dangereuse (Carter, Bingham, Zakrajsek, Shope, & Sayer, 2014) ou encore l'engagement dans des comportements déviants (Dahl & van Zalk, 2014).

Dès la sortie de l'enfance, le rôle décisif des pairs dans l'engagement dans des conduites mettant en péril sa propre sécurité a pu être mis en exergue grâce à la présentation de planches figuratives sur lesquelles un personnage pouvait emprunter plusieurs chemins possibles pour atteindre un objectif : un chemin prudent et un chemin comportant des risques de différentes natures (cf. Figure 30) (Christensen & Morrongiello, 1997). Alors que les enfants de 8-9 ans choisissent préférentiellement le chemin le plus sûr



dans un premier temps, l'intervention d'un ami les conduits par la suite à changer leur choix en faveur du chemin le plus risqué. En outre, cet effet de persuasion par les pairs semble avoir un impact plus fort sur leurs décisions par rapport à leur propre vécu puisque leur expérience de ce type d'accident ne prédit en rien leur choix initial. De la même manière, Hardoon et Derevensky (2001) confirment une prise de risque financière accentuée lors de décision prise en groupe chez les préadolescents dans un jeu inspiré de la roulette : outre le constat d'une prise de risque plus importante chez les garçons que chez les filles, cette étude démontre une augmentation de l'ampleur des paris lorsque les enfants de 9-13 ans jouent en dyade ou en triade par rapport aux paris qu'ils ont précédemment réalisés seuls. Amorçant le lien entre les situations quotidiennes et la prise de risque mesurée en laboratoire, ces deux premières études soulignent la nécessité de considérer le rôle central des pairs dans le domaine de la psychologie expérimentale comme des neurosciences développementales.

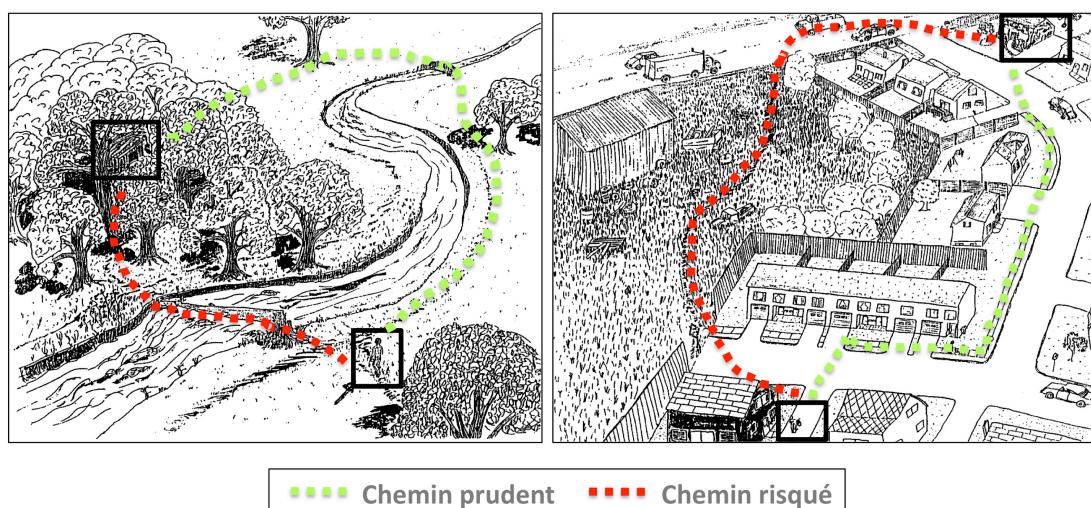


Figure 30 : Planches utilisées par Christensen et Morrongiello (1997) : pour chaque situation deux chemins sont envisageables pour que le personnage atteigne son objectif : un chemin prudent (en vert) et un chemin plus risqué (en rouge). Sur l'image de gauche, le personnage peut soit emprunter un rondin de bois pour traverser la rivière (chemin risqué), soit faire le tour et emprunter le pont (chemin sûr). Sur l'image de droite, le personnage en vélo peut soit traverser un jardin en friche plein d'obstacles et arriver sur une route très passante (chemin risqué), soit emprunter le trottoir sans sortir du pâté de maison (chemin sûr).

## 2. Le modèle de Steinberg : le contexte socio-émotionnel au cœur de la prise de risque des adolescents

Si l'on se réfère au modèle de Steinberg (Steinberg, 2007, 2008; Steinberg & Monahan, 2007), l'absence de prise de risque chez les adolescents dans les situations de laboratoire s'explique facilement par la neutralité de ce contexte en comparaison des situations quotidiennes impliquant la saillance de facteurs socio-émotionnels. Ainsi, la prise de risque exacerbée des adolescents pourrait être spécifiques de situations ancrées dans un contexte socio-émotionnel fort tel que la présence des pairs (Steinberg, 2007, 2008; Steinberg &

Monahan, 2007). Tout comme celui proposé par Casey et al. (2008), ce modèle s'inscrit dans l'hypothèse d'une hypersensibilité émotionnelle des adolescents associée à une immaturité des processus de régulation, mais il intègre avant tout le contexte social comme modulateur de cette sensibilité émotionnelle.

Pour valider cette hypothèse, Gardner & Steinberg (2005) ont imaginé une procédure expérimentale originale qui permet la simulation d'un contexte socio-émotionnel fort en situation de laboratoire et qui sera par la suite repris en IRMf (Chein, Albert, O'Brien, Uckert, & Steinberg, 2011). Dans cette étude, des adolescents de 14 à 18 ans, des jeunes adultes de 19 à 22 ans et des adultes de 24 à 29 ans devaient compléter une tâche de simulateur de conduite, la *Stoplight task*, permettant de mesurer leur prise de risque selon qu'ils réalisaient la tâche seuls ou en présence de deux amis de même sexe et de même âge (cf. Figure 31). Dans cette tâche, l'objectif des participants était de traverser la totalité d'un parcours composé de 20 intersections le plus rapidement possible. A chaque intersection, le participant arrivait face à un feu orange. Il pouvait alors choisir d'être prudent et de s'arrêter ou bien prendre le risque de passer malgré le feu. Alors que le choix prudent se traduisait par un délai de 3 secondes supplémentaires sur la réalisation du parcours, le choix risqué pouvait aléatoirement donner lieu à une issue positive (i.e. passer l'intersection avec succès sans aucune perte de temps supplémentaire) ou une issue négative (i.e. accident engendrant un délai supplémentaire plus important de 6 secondes).

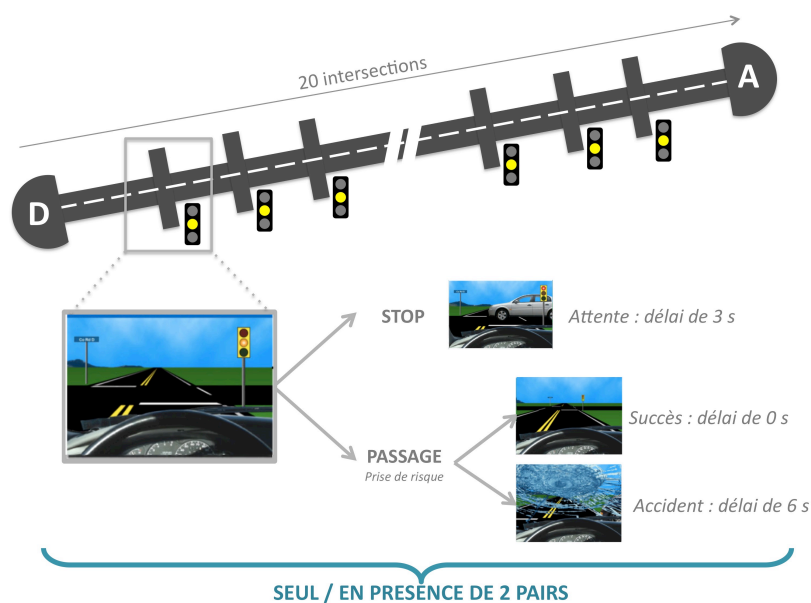


Figure 31 : Paradigme expérimental de l'étude de Chein et al. (2011). A chaque intersection, le participant peut faire le choix de s'arrêter 3 secondes au feu orange (choix prudent) ou de passer pour éviter le délai en prenant le risque de provoquer un accident engendrant un délai de 6 secondes (choix risqué). Les participants réalisent la tâche seule ou en présence de deux pairs.

Les résultats comportementaux soulignent une sensibilité à la présence des pairs spécifique des adolescents (cf. Figure 32). Lorsqu'ils réalisent la tâche seuls, les adolescents présentent une prise de risque équivalente aux adultes. En revanche, contrairement aux adultes, le nombre de choix risqués des adolescents augmente massivement en présence de leurs pairs. Aussi, les résultats d'imagerie viennent supporter l'ancrage de l'impact d'un contexte socio-émotionnel saillant dans un réseau émotionnel. L'augmentation de la prise de risque à l'adolescence en présence de pairs sur le plan comportemental se traduit par une augmentation de l'activation des régions émotionnelles (i.e. VS et OF) en présence de pairs également spécifique des adolescents. L'activation des régions de contrôle cognitif (i.e. Cortex préfrontal latéral : PFL) n'est en revanche pas modulée par le contexte socio-émotionnel et se caractérise par une augmentation progressive du recrutement de ces régions avec l'âge.

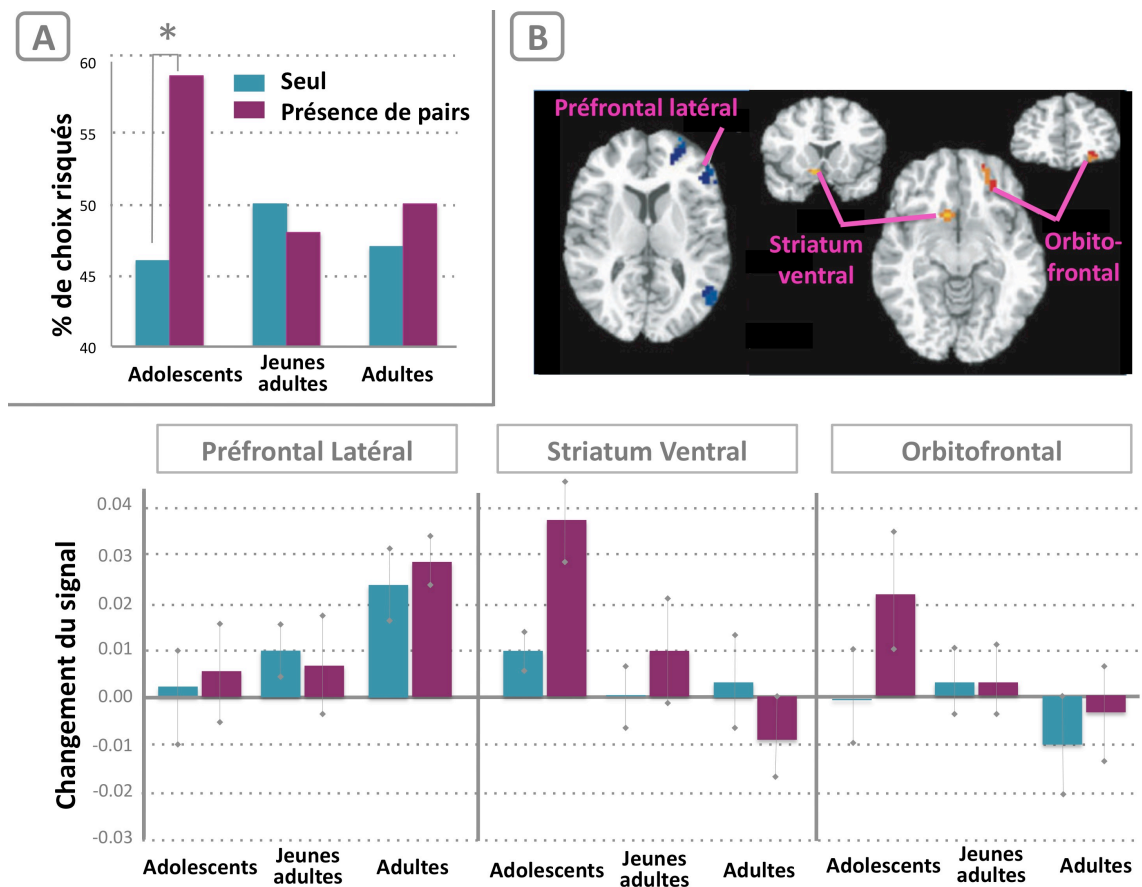


Figure 32 : Résultats de l'étude de Chein et al. (2011). A) Pourcentage de choix risqués en fonction du contexte (seul ou présence de pairs) pour les trois groupes d'âge. B) Niveau d'activation du cortex PFL, du VS et du cortex OF en fonction du contexte (seul ou présence de pairs) pour les trois groupes d'âge.

Bien sûr, ces travaux posent la question du rôle particulier des pairs pour l'adolescent. L'augmentation de la prise de risque constatée ici relève-t-elle d'une simple présence ou de l'identité même des observateurs ? Une étude récemment publiée permet de confirmer l'impact spécifique du groupe de pairs dans l'augmentation des conduites à risque (Telzer,

Ichien, & Qu, 2015). La procédure expérimentale restait identique à l'étude de Chein et al. (2011) à une exception près : la présence de la mère de l'adolescent se substituait à la présences des pairs. A l'inverse des résultats précédents, la présence de la mère entraîne une diminution de la prise de risque des adolescents. Par ailleurs, bien qu'elles impliquent des régions cérébrales très proches, la présence de la mère se traduit par une modulation des activations cérébrales inversée par rapport à la présence de pairs. Les choix sûrs des adolescents en présence de leur mère s'accompagnent d'une augmentation de l'activation des régions de contrôle (i.e. cortex préfrontal ventro-latéral : PFVL) par rapport à la condition contrôle. Au contraire, les régions émotionnelles (i.e. VS et amygdale) sont moins activées suite à une prise de risque récompensée lorsque la mère est présente.

L'ensemble de ces résultats vient étayer et compléter le modèle proposé par Casey et al. (2008) en confirmant l'immaturité des processus de contrôle à l'adolescence ainsi qu'une hypersensibilité face aux stimulations émotionnelles, mais aussi psycho-sociales dans lesquels les pairs semblent jouer un rôle décisif.

### **3. Impact de la présence de pairs sur la prise de risque en situation informée**

Force est de constater que les travaux sur la présence des pairs utilisant *la Stoplight task* se situent dans le cadre de la prise de risque en situation d'ambiguïté, confirmant ainsi l'impact du contexte socio-émotionnel sur la prise de décision des adolescents lorsque ces derniers ne disposent pas des informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque. Mais qu'en est-il des situations dans lesquels l'adolescent dispose de ces informations ? Face à l'essor des campagnes de prévention favorisant la diffusion chiffrée des risques associés à certaines conduites dangereuses, la question de l'impact de la présence des pairs selon le niveau d'information représente aujourd'hui un véritable enjeu.

A notre connaissance, peu d'études ont testé l'impact de la présence des pairs dans le cadre de situations de prise de décision à risque (Haddad, Harrison, Norman, & Lau, 2014; Smith, Chein, & Steinberg, 2014). Une étude récente a directement exploré cette question (Smith, Chein, & Steinberg, 2014). Confronté à une série de roues représentant des configurations de coût-bénéfice variables, les participants devaient choisir de passer à l'essai suivant ou de lancer la roue pour tenter d'obtenir un gain de 10 jetons tout en risquant également de subir une perte équivalente (cf. Figure 33). Six types de roues étaient différenciés allant de roues clairement avantageuses (e.g. rapport gain-perte de 1.5 correspondant à 54% de gain, 36% de perte et 10% neutre) jusqu'à des roues désavantageuses (e.g. rapport gain-perte de .33 correspondant à 22% de gain, 68% de perte

et 10% neutre). Ici, les participants assignés à la condition de présence de pairs étaient informés qu'un autre participant du même âge pouvait observer leurs choix dans une pièce adjacente. Malgré la présence fictive d'un pair anonyme et leur connaissance des probabilités associées à chaque roue, les adolescents de 15-17 ans prennent plus de risque en présence de pairs que lorsqu'ils sont seuls. De plus, bien que l'interaction entre le contexte et le rapport gain-perte ne parvienne pas au seuil de significativité, les auteurs constatent un impact de la présence de pairs plus marqué pour de fortes probabilités de perte. La présence de pairs pourrait être ainsi d'autant plus décisive que la situation implique de fortes probabilités de conséquences négatives.

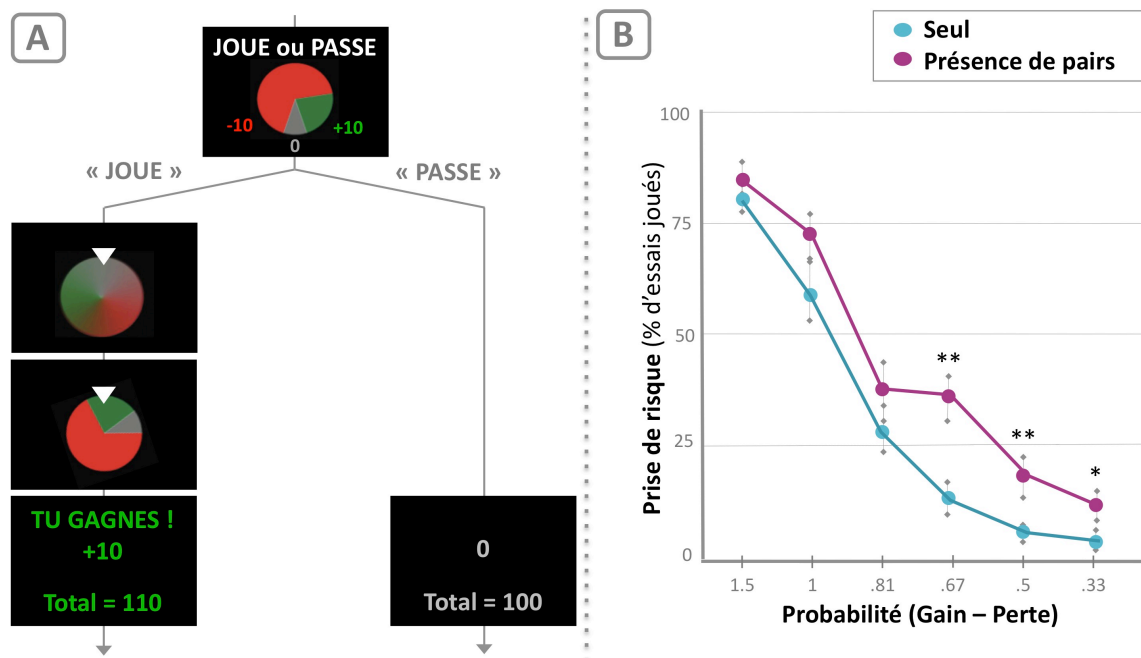


Figure 33 : A) Exemple d'un item présenté dans l'étude de Smith, Chein, et al. (2014) dans le cadre d'une roue impliquant un ratio gain-perte de .33 (roue défavorable) associé à une probabilité de gain de .22 et une probabilité de perte de .68. La participant peut choisir de lancer la roue pour tenter de gagner ou bien de perdre 10 jetons, ou choisir de passer directement à l'essai suivant. B) Les adolescents prennent plus de risque en présence de pairs que lorsqu'ils sont seuls et ce notamment pour des probabilités de perte élevées.

Dès lors, si la présence de pairs semble suffire à augmenter la prise de risque des adolescents en dépit de la disponibilité des probabilités, l'efficacité des programmes préventifs visant à renforcer leur connaissance des conséquences associées à leur conduite pourrait s'avérer discutable. A ce jour, aucune étude à notre connaissance ne propose de comparaison directe entre les situations informée et non informée concernant l'impact d'un contexte socio-émotionnel saillant. Contraster ces deux types de situations apparaît dès lors essentiel pour préciser la contribution de l'information sociale dans la prise de décision au cours du développement.

## II. COMMENT EXPLIQUER L'AUGMENTATION DE LA PRISE DE RISQUE EN PRÉSENCE DES PAIRS ?

---

### 1. Présence de pairs et sensibilité aux récompenses

Outre la *Stoplight task*, l'étude princeps de Gardner et Steinberg (2005) inclut la passation d'un questionnaire de préférence pour le risque dans lequel les adolescents doivent évaluer le rapport coût-bénéfice dans différents scénarios hypothétiques impliquant des conduites à risque (e.g. relations sexuelles non protégées, être passager d'un conducteur en état d'ivresse, tester une nouvelle drogue sans aucune information la concernant, vol dans un magasin, ou encore conduite nocturne à plus de 140km/h). Associés au constat d'une activation plus importante des régions impliquées dans le système des récompenses en présence de pairs (Chein et al., 2011), les résultats de cette échelle introduisent une première hypothèse concernant les processus responsables de l'augmentation de la prise de risque en présence de pairs en suggérant un impact d'un contexte socio-émotionnel saillant sur la sensibilité aux récompenses. En effet, les adolescents attribuent plus de poids aux bénéfices des conduites à risque lorsqu'ils remplissent cette échelle en présence de pairs. Selon Laurence Steinberg et son équipe, la présence des pairs pourrait augmenter la sensibilité aux récompenses immédiates des adolescents au détriment de la prise en compte des conséquences à long terme potentiellement négatives. Prenons l'exemple d'une conduite automobile dangereuse, la présence de pairs dans la voiture favoriserait une recherche de plaisir et de sensations fortes associées à la vitesse (i.e. récompenses immédiates) sans considération des risques encourus concernant un éventuel retrait de permis ou accident grave voire mortel.

Sur le plan comportemental, l'étude d'O'Brien, Albert, Chein et Steinberg (2011) souligne l'impact de la présence de pairs sur la sensibilité aux récompenses immédiates à la fin de l'adolescence. Les participants de 18-20 ans complètent, seuls ou en présence de deux amis de même âge et de même sexe, une tâche de récompenses différées, la *Delay Discounting Task*, impliquant un choix entre une récompense immédiate de valeur variable et une récompense plus importante différée dans le temps. Les adolescents présentent une préférence pour les récompenses immédiates plus importantes en présence de pairs que lorsqu'ils réalisent la tâche seuls. C'est par ailleurs dans la comparaison avec les données de l'étude de Steinberg et al. (2009) que ces résultats paraissent les plus surprenants : la manipulation de la présence des pairs dans cette étude amène les participants ici âgés de 18-20 ans à manifester une résistance face aux récompenses immédiates semblable à celle des



adolescents de 14-15 ans en contexte neutre. Cet impact du contexte socio-émotionnel sera par la suite étendu à la présence de pairs fictifs et anonymes (Weigard, Chein, Albert, Smith, & Steinberg, 2014).

L'hypothèse d'une implication du système de récompense dans l'augmentation de la prise de risque en présence de pairs est également supportée par les travaux de neuro-imagerie révélant une augmentation de l'activation striatale en présence de pairs spécifique des adolescents (Smith, Steinberg, Strang, & Chein, 2014). Vingt adolescents de 14-19 ans et 20 adultes ont complété en IRMf la *High/Low Card Guessing task*, une tâche impliquant un choix simple sans prise de décision, seul ou en présence de deux amis observant leurs choix dans une pièce adjacente. Après avoir reçu un indice sur l'ampleur d'une récompense potentielle, les participants devaient deviner si le chiffre inscrit au verso de la carte qui lui était présentée était inférieur ou supérieur au chiffre 5. Un *feedback* positif ou négatif leur indiquait ensuite l'issue du pari et conditionnait ainsi la réception de la récompense espérée (cf. Figure 34).

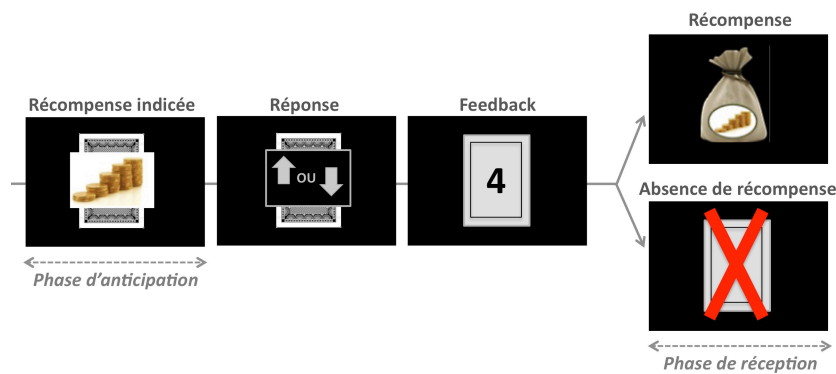


Figure 34 : déroulement d'un essai dans l'étude de Smith, Steinberg et al. (2014)

Concernant l'anticipation des récompenses, les auteurs ne relèvent aucun effet de l'âge ou du contexte. En revanche, pendant la réception d'une récompense, les adolescents présentent une activation des NAcc plus importante que les adultes seulement en présence de pairs. Ces trois études soutiennent l'hypothèse selon laquelle l'augmentation de la prise de risque en présence de pairs résulterait d'une augmentation de la saillance des récompenses chez les adolescents, tant sur un plan comportemental que neural.

## 2. La présence de pairs comme une opportunité de gratification sociale

Ainsi, les données comportementales et les données de neuro-imagerie convergent vers l'hypothèse d'une augmentation de la saillance des récompenses potentielles en présence de pairs expliquant l'augmentation de la prise de risque des adolescents. Pour

autant, ces études ne permettent pas d'exclure l'implication d'autres mécanismes psychosociaux dans la modulation de la prise de risque en présence des pairs. De plus, la présence de données contradictoires chez l'enfant questionne l'existence d'une réelle spécificité de l'adolescence face à l'impact du contexte socio-émotionnel. En effet, les travaux réalisés par Nissan et son équipe dans les années 70 suggèrent que la présence de pairs favorise au contraire la préférence pour une récompense différée chez les enfants de 6-7 ans (Nisan, 1976) et que la capacité à résister aux récompenses immédiates soit valorisée par les enfants du même âge (Nisan, 1977). Il semble ainsi tout à fait imaginable que la présence de pairs augmente également la saillance des implications potentielles du choix d'un individu quant à la détermination de son statut social futur. Les comportements valorisés par le groupe variant avec l'âge, la présence de pairs pourrait influencer de façon distincte la prise de décision et ce malgré une sensibilité au contexte socio-émotionnel plus transversale. Rappelons également que les travaux emblématiques menés par Asch dans le champ de la psychologie sociale (Asch, 1956) ont très largement démontré la sensibilité des adultes à l'influence de leurs pairs dans une simple tâche de perception visuelle.

Ainsi, bien que les études d'imagerie relèvent une spécificité de la réaction émotionnelle à la présence de pairs chez l'adolescent, ces divergences comportementales peuvent laisser penser que le pic de prise de risque observé en présence de pairs relève également d'une évolution avec l'âge des normes véhiculées et des conduites valorisées par le groupe, dont l'incitation au risque signerait la période de l'adolescence. Notons en effet que la popularité des adolescents semblent positivement reliée à leur engagement dans des prises de risque telles que la consommation de drogue ou les comportements agressifs (Allen, Porter, McFarland, Marsh, & McElhaney, 2005). L'étude de Cohen et Prinstein (2006) souligne cet enjeu de gratification sociale dans l'influence des pairs à l'adolescence. Selon les auteurs, l'imitation des pairs populaires représente une opportunité de maximiser son propre statut social. Pour confirmer cette hypothèse, les auteurs vont alors tester l'existence d'un "effet de contagion sociale" sur des comportements agressifs des adolescents de 16-17 ans selon la popularité de leurs pairs. Confrontés à un ensemble de scénarios fictifs impliquant des comportements potentiellement risqués et agressifs, les participants étaient amenés à indiquer leur propre réaction face à ce type de situation. Pour répondre à cette question, les adolescents participaient à une discussion en ligne avec trois pairs populaires pendant laquelle le participant était le dernier à donner sa réponse. Pour la plupart des scénarios (i.e. condition de pression sociale), les avis véhiculés par les pairs consistaient en un ensemble de réponses agressives. De façon intéressante, le statut des pairs semble déterminant quant à la tendance des adolescents à suivre l'avis de ces derniers. Lorsqu'ils sont confrontés à l'avis de pairs populaires, les adolescents choisissent plus de réponses



risquées ou agressives en condition de pression sociale que pour les scénarios contrôles. Au contraire, les adolescents favorisent des réponses prudentes et non agressives face à la pression sociale de pairs impopulaires présentant eux mêmes des conduites agressives. Ce paradoxe entre une tendance à l'imitation de pairs populaires et une prise de distance comportementale vis à vis des pairs impopulaires semble ainsi confirmer l'importance de la recherche de valorisation sociale comme motivation du phénomène d'influence sociale à l'adolescence.

Notons également que l'ensemble des travaux initiés par Pascal Huguet et son équipe viennent souligner l'enjeu de la préservation de l'estime de soi en contexte social à travers deux résultats majeurs (Belletier et al., 2015; Dumas, Huguet, & Ayme, 2005; Huguet, Galvaing, Monteil, & Dumas, 1999) : 1) Suite à la mise en évidence d'une amélioration du contrôle cognitif seulement dans le cadre d'une comparaison sociale ascendante (i.e. comparaison à un individu plus performant), l'étude de Dumas et al. (2005) suggère que la comparaison sociale agisse non pas comme un simple facteur motivationnel dicté par le désir d'obtenir une récompense (MacKinnon, 1985), mais bien comme une menace de l'estime de soi conduisant à de meilleures performances (voir aussi Huguet et al., 1999; Huguet, 2004). 2) Par ailleurs, la présence d'un expérimentateur perçu comme un expert entraîne une diminution de l'efficacité du contrôle cognitif alors même que la présence d'un pair non associé à un contexte d'évaluation ne module pas les performances de l'individu (Belletier et al., 2015).

---

### III. LA NATURE DU CONTEXTE SOCIO-EMOTIONNEL

---

Remémorez-vous votre première cigarette. Il y a fort à parier que vous ne vous trouviez pas seul mais en présence d'amis, après les cours ou peut être à une soirée. Quel rôle vos camarades ont-ils joué à cet instant précis ? Est-ce leur simple présence qui vous a incité à allumer cette cigarette ou leurs incitations incessantes ? Dans la plupart des situations quotidiennes, les pairs ne sont pas simplement présents mais conseillent, encouragent ou encore relatent leurs propres expériences à propos d'une conduite à risque. Il reste très peu probable pour des adolescents d'observer un de leurs amis confronté à une bouteille d'alcool fort sans intervenir pour lui mettre la pression en lui lançant un *challenge* ou en lui proposant un jeu à boire. Bien que les recherches présentées ci-dessus attestent de l'impact d'une simple présence des pairs sur la prise de risque, il est important de préciser qu'une ambiguïté concernant la possibilité d'une intervention des pairs réside dans certaines de ces études (i.e. pairs autorisés à donner leur avis pendant le jeu) (Chein et al., 2011;

Gardner & Steinberg, 2005; O'Brien et al., 2011). Par ailleurs, s'ils peuvent inciter à la prise de risque, il nous semble également essentiel de questionner la possibilité d'une influence positive des pairs. L'objectif de cette partie sera alors de distinguer plus finement la nature du contexte socio-émotionnel considéré dans les différentes études.

## 1. De la présence à l'influence des pairs

### *a. Le rôle de l'intervention des pairs*

Dans le cadre d'une tâche de prise de risque sous ambiguïté, la *Balloon Analogue Risk Task* (BART), une première étude nous informe sur le rôle de l'incitation au risque comme contexte socio-émotionnel (Cavalca et al., 2013). Les auteurs manipulent l'influence des pairs en informant des adolescents de 16 ans que leurs performances seraient observées en ligne par un autre adolescent pouvant leur communiquer à tout moment ses suggestions à travers une boîte de dialogue. En réalité, les participants recevaient des *feedbacks* automatiques. Dès lors qu'ils restaient en deçà du seuil d'explosion moyen (i.e. 64 pressions), ils étaient incités à gonfler davantage les ballons, mais ils recevaient au contraire un retour positif (e.g. « Bien joué ») dès que ce seuil était dépassé. Les résultats dévoilent un impact modéré de l'intervention des pairs. Seuls les adolescents fumeurs présentent une augmentation de la prise de risque sous l'intervention des pairs. Il faut toutefois préciser que cette augmentation reste circonscrite au nombre d'explosions mais n'est pas retrouvée sur le nombre de pressions.

Dans la continuité de cette étude et partant du constat d'une imprécision concernant le rôle des pairs dans les études précédentes, Reynolds, MacPherson, Schwartz, Fox, & Lejuez (2013) vont alors se demander si la seule présence de pairs suffit à augmenter la prise de risque des adolescents à la BART ou si leur intervention directe s'avère nécessaire. Une semaine après avoir complété la BART dans un contexte neutre, un échantillon conséquent de 183 participants de 18-20 ans étaient répartis dans trois conditions expérimentales : une condition contrôle, une condition de présence physique des pairs et une condition d'influence. Dans la condition de présence, les pairs (i.e. deux amis proches de même âge et même sexe) étaient encouragés à observer les réponses de leur camarade sans fournir de *feedbacks* verbaux ou non verbaux. Dans les conditions d'influence, les pairs étaient au contraire sollicités pour encourager leur camarade à gonfler le plus possible les ballons et étaient informés que leur rémunération augmenterait avec la prise de risque du participant (cf. Figure 35). Il faut toutefois souligner la principale limite de cette étude : bien que cette procédure garantisse la motivation des pairs à véhiculer une incitation au risque, la

fréquence des interventions, l'investissement et les talents de persuasion de ces derniers nous paraissent malgré tout difficilement contrôlables.

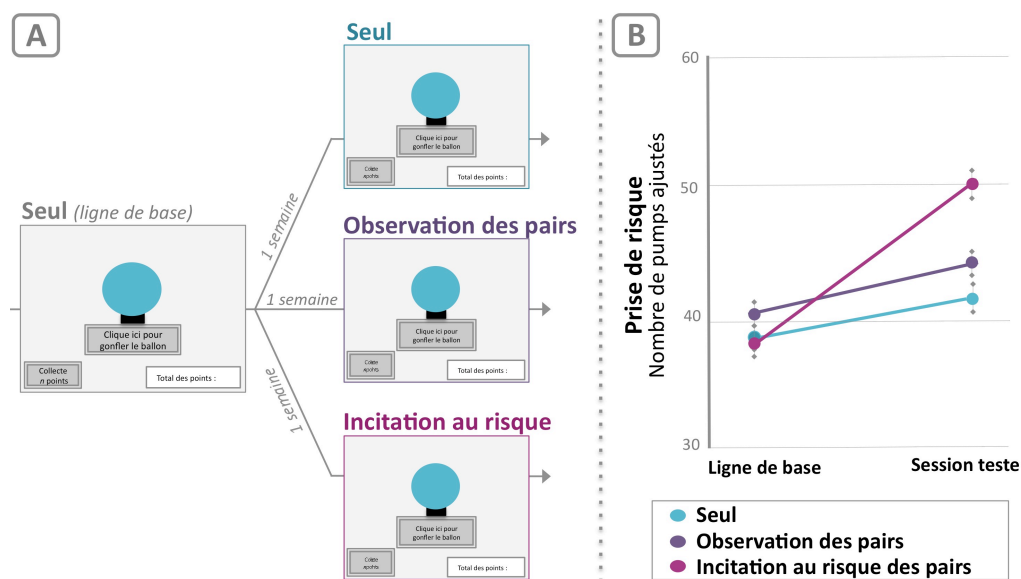


Figure 35 : Procédure expérimentale (A) et résultats (B) de l'étude de Reynolds et al. (2013). A) Dans un premier temps, l'ensemble des participants complète la BART seuls. Après un délai d'une semaine, ils complètent à nouveau la tâche dans l'une des 3 conditions suivantes : seuls, en présence de deux amis ou sous l'influence de deux amis les incitant à gonfler au maximum les ballons. B) Lors de la session test, seule l'incitation au risque entraîne une augmentation de la prise de risque par rapport au groupe contrôle.

Quelle que soit la condition, la prise de risque des participants augmente entre la première et la deuxième session, reflétant un léger effet test-retest à la BART. Cependant, cette augmentation s'avère beaucoup plus marquée dans la condition d'influence que dans les conditions contrôle et en présence de pairs, qui ne diffèrent pas entre elles lors de la session test. Ainsi, cette étude confirme l'impact de l'influence des pairs sur la prise de décision et suggère que la seule présence de pairs ne suffise pas à augmenter la prise de risque à la fin de l'adolescence.

Ces résultats entrent en contradiction avec les conclusions de l'équipe de Steinberg (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005) mais plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour rendre compte de ces divergences. 1) Premièrement, l'âge tardif des adolescents dans cette étude se rapproche davantage d'un groupe de jeunes adultes que d'adolescents. Plutôt que d'infirmer l'impact de la présence des pairs, ces résultats pourraient refléter sa spécificité à l'adolescence. 2) Comme nous l'avons évoqué précédemment, l'intervention potentielle des pairs dans les études précédentes pourrait simplement expliquer ces résultats contrastés. 3) Enfin, la présence de pairs a également été évoquée dans la littérature comme une opportunité de se conformer aux conduites valorisées par le groupe à des fins de gratification sociale. L'absence de résultat dans la condition de présence pourrait dès lors refléter une difficulté à inférer les attentes des pairs

concernant le comportement à adopter dans la BART, contrairement à la condition d'incitation pour laquelle les participants sont directement informés de la stratégie conduisant à l'approbation des pairs.

### ***b. Envisager d'autres types d'influence***

Au delà de cette distinction entre présence et influence des pairs, différents types d'interventions doivent également être envisagés. L'impact de simples encouragements de la part d'un camarade sur la tendance d'un adolescent à consommer une forte dose d'alcool fort est-il réellement comparable à l'impact du récit de sa propre consommation ou encore de l'induction d'un jeu à boire dans lequel la plus grande quantité d'alcool ingérée déterminera le vainqueur ? D'autres types d'influence sociale ont de ce fait été introduits dans la littérature.

Par exemple, Habib et al. (2013) se sont intéressés au développement du ressenti d'émotions complexes telles que le regret et le soulagement dans le cadre d'un contexte socio-émotionnel saillant de compétition. Face à un compétiteur perdant une somme d'argent plus importante, les adolescents ressentent un soulagement plus intense que les enfants et les adultes alors qu'ils ne présentent pas de spécificité dans un contexte neutre (Habib et al., 2012). Concernant les émotions négatives, les auteurs soulignent une diminution du sentiment de regret qu'ils attribuent à une régulation à la baisse de cette émotion en réponse à une difficulté des adolescents à tolérer les pertes dans un contexte de compétition désavantageuse. Cette modulation du ressenti émotionnel (Habib et al., 2013) mais aussi de la réponse neurale des régions impliquées dans l'évaluation d'une récompense face à un adversaire (Fareri & Delgado, 2014) suggèrent que la compétition constitue également un contexte socio-émotionnel saillant susceptible d'impacter la prise de risque au cours du développement.

Des distinctions plus fines peuvent également être avancées concernant l'influence des pairs. Dans les études de Cavalca et al. (2013) ou de Reynolds et al. (2013), la manipulation de l'influence se traduit par un avis de la part des pairs, véhiculant en direct une incitation à la prise de risque. Or, cette intervention des pairs peut revêtir différentes formes comme par exemple le partage d'une expérience sur une situation similaire. A travers une tâche de récompenses différées, Gilman, Curran, Calderon, Stoeckel et Evins (2014) propose une manipulation de l'influence sociale basée sur l'expérience des pairs. L'objectif de cette étude consistait à déterminer si la présentation de choix préalables des pairs, impulsifs (i.e. préférence pour les récompenses immédiates) ou non impulsifs (i.e. préférence pour les récompenses différées plus importantes), pouvait respectivement augmenter ou diminuer la

sensibilité aux récompenses immédiates de jeunes adultes de 18-25 ans. Bien que les participants choisissent plus souvent la récompense immédiate lorsqu'ils sont confrontés aux choix impulsifs de leurs pairs par rapport aux choix non impulsifs, aucune de ces deux conditions d'influence ne diffère significativement de la condition contrôle.

Selon nous, cette absence de résultat pourrait s'expliquer par le statut particulier de ce type d'influence sociale et par la nature de la tâche utilisée dans cette étude. Contrairement à leur présence, l'expérience des pairs fournit aux participants des informations de nature sociale, pouvant directement impacter leur stratégie indépendamment d'une modulation de la réactivité du système des récompenses. Selon les théories de l'apprentissage social, les processus d'apprentissage reposeraient sur l'observation des croyances et des comportements d'autrui ainsi que de leurs conséquences (Bandura, 1969 ; 1971 ; 1977). L'observation de l'expérience des pairs, de leurs croyances et des normes véhiculées pourrait guider le comportement des adolescents en leur permettant d'inférer la pertinence d'un comportement dans une situation donnée. L'effet limité de l'expérience des pairs sur la sensibilité aux récompenses des adolescents ne suffisant pas à exclure le rôle de ce contexte sociale sur la prise de décision des adolescents, des études complémentaires impliquant des tâches évaluant spécifiquement la prise de risque des adolescents nous semblent dès lors nécessaires.

## 2. L'influence des pairs peut-elle avoir un impact positif sur la prise de risque ?

Imaginez-vous dans la situation suivante. Vous êtes étudiant et vous êtes porté volontaire pour participer à une expérience menée par des chercheurs de votre université. Dès votre arrivée au laboratoire de recherche, le responsable de l'étude vous informe, ainsi qu'un autre participant, que l'expérience se déroulera dans un bâtiment situé à l'autre bout du campus. Une voiture vous y déposera en moins de 5 minutes. Maintenant, imaginez qu'à l'arrivée de la voiture, des signes apparents vous mettent la puce à l'oreille concernant l'état d'ivresse évident du conducteur : arrêt brutal de la voiture, musique très forte, difficulté d'articulation de la part du chauffeur et bouteilles de bière vides gisant sur le sol de la voiture. Dans quelle mesure accepteriez-vous de monter dans la voiture ?

C'est grâce à cette procédure expérimentale originale que Powell et Drucker (1997) ont pu mettre en évidence le rôle du positionnement d'un pair dans la tendance des participants à accepter de monter en voiture avec un conducteur sous emprise d'alcool. De façon surprenante mais aussi inquiétante, 100% des participants acceptent de monter avec un conducteur alcoolisé lorsque qu'ils sont seuls ou lorsque le deuxième participant (i.e. en

réalité complice de l'expérimentateur) accepte de monter. Seule la condition dans laquelle le complice a pour instruction de refuser de monter dans la voiture conduit la quasi-totalité des participants à refuser d'obtempérer. Bien que ce constat alarmant soit à nuancer suite aux avancées considérables de ces quinze dernières années concernant la perception des risques liés à l'alcool au volant, cette étude illustre parfaitement la possibilité d'une influence positive du positionnement des pairs.

Il est en effet regrettable de constater que la grande majorité des études s'est jusqu'alors principalement focalisée sur le rôle négatif du contexte socio-émotionnel. Pourtant, si l'influence des pairs peut pousser les adolescents au risque, on peut également envisager que les pairs puissent impacter positivement la prise de risque et puissent être porteurs d'un message préventif dans les situations quotidiennes (Maxwell, 2002). A notre connaissance, seules quelques études récentes se sont penchées sur cette question mais conduisent à des résultats souvent contradictoires (Haddad et al., 2014; Knoll, Magis-Weinberg, Speekenbrink, & Blakemore, 2015; Teunissen et al., 2012, 2013; van Hoorn, van Dijk, Meuwese, Rieffe, & Crone, 2014).

D'un côté, certaines études rejoignent les résultats de Powell et Drucker (1997) en soulignant le rôle potentiellement positif des pairs. Grâce à l'application de la méthode expérimentale dans le cadre d'une conduite à risque quotidienne, deux études ont pu mettre en évidence que les adolescents confrontés à une norme anti-alcool jugent plus négativement et s'identifient dans une moindre mesure aux consommateurs réguliers que les adolescents confrontés à une norme anti-alcool. L'introduction d'une norme anti-alcool véhiculée par des pairs populaires entraîne une diminution de la disposition à boire des adolescents (Teunissen et al., 2013 voir aussi Teunissen et al., 2012). En accord avec ces résultats, l'étude de van Hoorn et al. (2014) souligne le rôle positif des pairs sur les comportements prosociaux des adolescents de 12-16 ans. Après avoir reçu 10 jetons, les participants étaient amenés à répartir ces jetons entre une cagnotte personnelle et un pot commun pour lesquelles les jetons collectés étaient multipliés par deux et répartis équitablement entre le participant et trois autres joueurs à l'issue du jeu. Dans cette tâche, la *Peers Public Goods Game*, les participants pouvaient ainsi privilégier deux types de stratégies : une stratégie antisociale consistant à privilégier les gains individuels (i.e. maximum de jetons attribués à la cagnotte individuelle) ou une stratégie prosociale consistant à privilégier les gains collectifs (i.e. maximum de jetons attribués au pot commun). L'influence sociale était alors manipulée à travers l'avis de dix pairs fictifs ayant pour rôle de simplement observer les réponses du participant (i.e. condition d'observation), de donner un avis positif suite au choix d'une stratégie individualiste (i.e. condition d'influence antisociale) ou de donner un avis positif suite au choix d'une stratégie collective (i.e. condition

d'influence prosociale) (cf. Figure 36). Les résultats de cette étude suggèrent que les décisions prosociales augmentent avec l'encouragement des pairs pour les décisions collectives alors que l'influence antisociale des pairs favorise les stratégies individuelles.

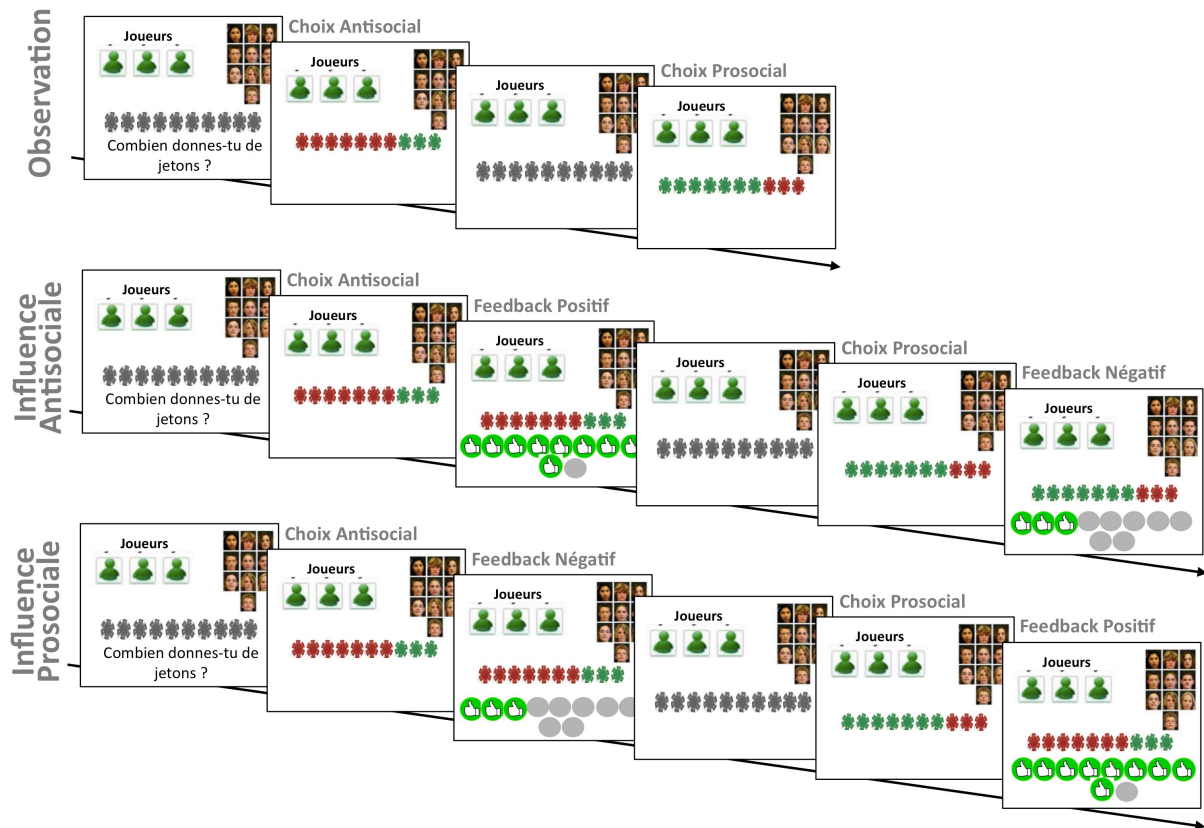


Figure 36 : Déroulement de la Peers Public Goods Game (van Hoorn et al., 2014) dans les trois conditions d'influence sociale : observation par les pairs, influence antisociale et influence prosociale.

Concernant la prise de risque, les études peinent au contraire à mettre en évidence un impact positif des pairs. Knoll et al. (2015) ont évalué l'impact de l'influence sociale sur la perception du risque au cours du développement. Un échantillon conséquent de plus de cinq cents participants répartis en 5 groupes d'âge (i.e. pré-adolescents, jeunes adolescents, adolescents, jeunes adultes et adultes) était amené à évaluer à deux reprises le niveau de risque associé à différents scénarios impliquant un danger potentiel (i.e. traverser la rue en écrivant un texto, faire du vélo sans casque ou encore monter sur un toit). Entre leurs deux évaluations, les participants recevaient le résultat de l'évaluation du scénario par un groupe de pairs dans la condition d'influence alors qu'ils ne percevaient que leur propre évaluation dans la condition contrôle. A première vue, la conclusion des auteurs laisse entendre l'existence d'une influence, positive comme négative, de l'évaluation des pairs sur la perception du niveau de risque. Les résultats confirment en effet que la perception du risque est modulée dans le sens de l'évaluation des pairs quel que soit l'âge, bien que cet effet diminue linéairement au cours du développement. Toutefois, aucune précision



méthodologique ne permet de déterminer réellement le sens de cette influence et de distinguer une influence positive d'une influence négative.

A notre connaissance, deux études permettent de contraster une influence au risque d'une influence à la prudence dans une tâche de prise de décision, même si elles ne permettent pas de conclure sur l'impact de la prudence chez les adolescents. Premièrement, Haddad et al. (2014) ont proposé à des adolescents de 11-18 ans et des adultes une tâche de prise de risque reposant sur une adaptation de la *Wheel of Fortune Game* (Monique Ernst et al., 2004). Les participants pouvaient choisir entre une option risquée (i.e. associée à un gain plus important mais une probabilité plus faible) et une option plus sûre (i.e. associée à un gain modéré mais une probabilité plus grande) selon trois niveaux de risque : niveau de risque élevé, niveau de risque modéré et équivalence entre les deux options (cf. Figure 37 B). Tout l'intérêt de cette étude réside dans une distinction claire entre quatre conditions expérimentales manipulées en intra-sujets : l'absence de contexte socio-émotionnel, l'observation, la réception de conseils risqués et la réception de conseils prudents de la part de trois pairs inconnus de même âge et même sexe, représentés par une photographie (cf. Figure 37 A).

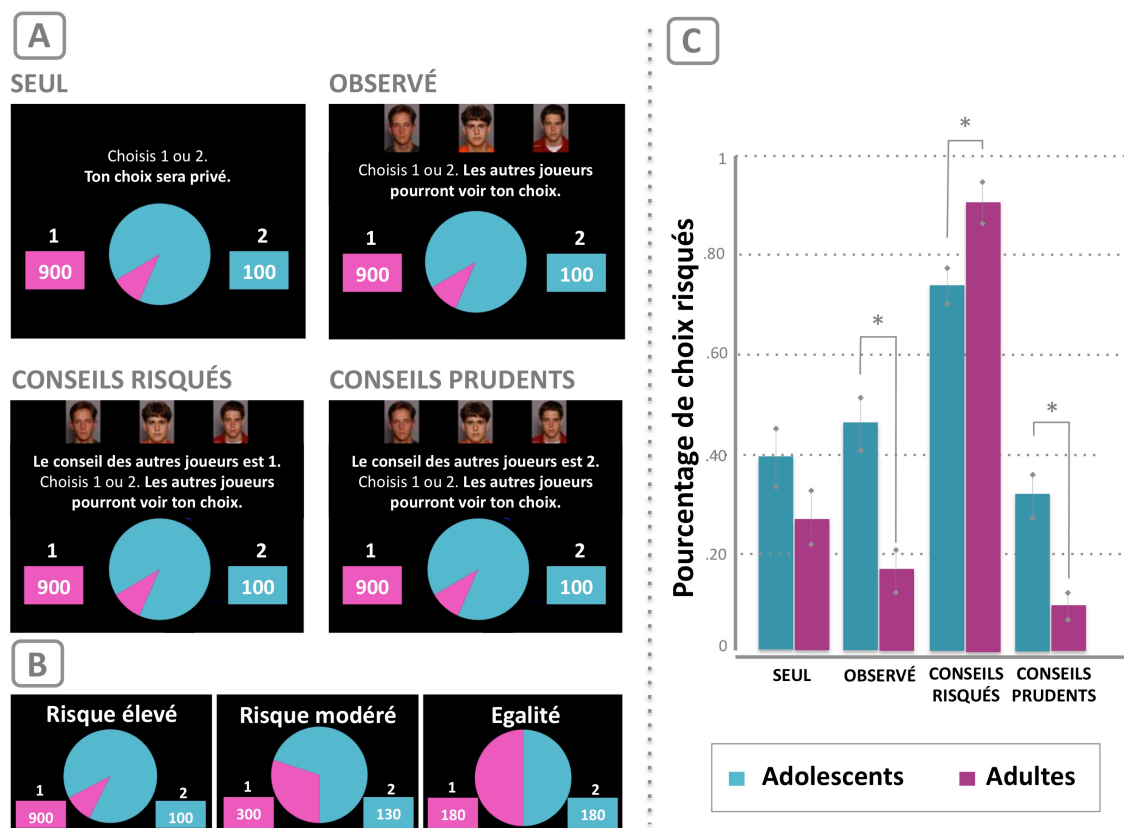


Figure 37 : Méthodologie et résultats de l'étude de Haddad et al. (2014). A) Illustration des conditions de contexte socio-émotionnel : sans contexte, présence des pairs, incitation au risque et incitation à la prudence. B) Exemples de roues de la fortune proposées selon le niveau de risque associé. C) Pourcentage de choix risqués pour les roues à risque élevé selon l'âge et le contexte socio-émotionnel.



Pour les roues à fort niveau de risque (cf. Figure 37 C), cette étude confirme l'absence de spécificité de la prise de risque des adolescents en l'absence de contexte socio-émotionnel. Par ailleurs, les résultats rejoignent les conclusions de Reynolds et al. (2013) en rejetant l'idée d'une augmentation de la prise de risque des adolescents sous la simple présence de leurs pairs. Bien que les adolescents prennent plus de risques que les adultes en présence de pairs, cet effet reflète la préférence des adultes pour les choix sûres lorsqu'ils sont observés plutôt qu'une augmentation du nombre de choix risqués chez les adolescents. Enfin, l'influence au risque des pairs conduit l'ensemble des participants à choisir plus souvent l'option risquée alors que les conseils prudents semblent avoir un effet différencié selon l'âge : seuls les adultes suivent les avis de leurs pairs véhiculant une incitation à la prudence. Selon les auteurs, cette absence d'impact d'un message de prudence chez les adolescents reposerait sur la spécificité de la perception des interactions sociales à cette période. Percevant les avis de leurs pairs comme motivés par une stratégie compétitive plutôt que collaborative, les adolescents seraient moins enclins à suivre les conseils prudents de leurs pairs, dont l'objectif réel pourrait être de minimiser leurs performances. Cette hypothèse explicative reste à être confirmée expérimentalement. Selon nous, l'expérience prudente des pairs constitue une piste de recherche intéressante pour répondre à cette question dans la mesure où elle ne laisse place à aucune stratégie volontairement compétitive ou collaborative de la part des pairs.

Une deuxième étude parut très récemment confirme l'existence d'un impact contrasté de l'influence au risque et à la prudence mais uniquement chez une population adulte (Chung, Christopoulos, King-Casas, Ball, & Chiu, 2015; voir aussi Smith & Delgado, 2015). Soixante-dix adultes ont complété en IRMF une tâche de prise de décision à risque dans laquelle ils devaient choisir entre deux roues de la fortune dont le niveau de risque variait sur la base de la variance des récompenses potentielles de chacune des roues. Ils étaient alors informés que d'autres joueurs complétaient simultanément la même tâche. Dans la condition contrôle, les participants étaient les premiers à donner leur réponse, de telle sorte qu'ils ne bénéficiaient pas d'informations sociales. Dans la condition d'influence, les participants donnaient leur réponse en dernière position, bénéficiant ainsi d'informations sociales de la part de pairs anonymes, favorisant soit le choix de la roue la plus risquée, soit de la roue la plus sûre. Les résultats confirment tout d'abord une tendance des sujets à être aversifs face au risque en l'absence d'influence sociale. Mais avant tout, les données comportementales confirment que les choix des adultes sont fortement affectés par l'information sociale puisque les participants choisissent plus souvent la roue sûre sous l'influence prudente de leurs pairs, alors qu'ils favorisent les roues risquées lorsque les choix préalables des pairs penchent vers cette option. Pour rendre compte de ces résultats en lien

avec les prédictions de la théorie des perspectives (cf. annexe 2), les auteurs suggèrent que les choix d'autrui modulent par translation bidirectionnelle la fonction d'utilité associée à une situation de prise de décision à risque, entraînant ainsi une réduction de la distance entre son propre choix spontané et le choix d'autrui. Les données neurofonctionnelles de cette étude viennent conforter cette hypothèse en révélant un lien fort entre l'activité du cortex PFVM et l'utilité des choix des pairs. En outre, la force de ce lien prédit la tendance des sujets à se conformer au choix des pairs. Ainsi, la fonction d'utilité portée par l'information sociale pourrait être encodée et intégrée aux préférences propres de l'individu grâce à l'activation du cortex PFVM, dont l'implication dans le codage de la valeur absolue d'une option a été démontrée dans la littérature (Hare, Camerer, & Rangel, 2009).

---

## IV. CONCLUSION

---

Ce dernier chapitre fait clairement état de la nécessité de considérer le contexte socio-émotionnel comme facteur clé de la prise de risque à l'adolescence. Bien que de nombreuses études se soient intéressées à son impact sur la prise de décision et plus spécifiquement sur la prise de risque au cours du développement, la multiplicité des facteurs modulant cet impact du contexte et les divergences dans les âges considérés conduisent à des données souvent contradictoires. Premièrement, si certaines études suggèrent que la seule présence de pairs suffise à augmenter la prise de risque des adolescents (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Smith, Chein, et al., 2014), d'autres suggèrent que l'intervention des pairs est une condition nécessaire à cette modulation (Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013; van Hoorn et al., 2014). Deuxièmement, la contribution du statut des pairs reste également débattue : alors que certains suggèrent un rôle déterminant de la popularité des pairs (Cohen & Prinstein, 2006; Teunissen et al., 2012, 2013), d'autres études soulignent une forte influence des pairs inconnus et fictifs (Cavalca et al., 2013; Gilman et al., 2014; Haddad et al., 2014; Smith, Chein, et al., 2014; van Hoorn et al., 2014; Weigard et al., 2014). Par ailleurs, bien que la majorité des travaux se focalise sur l'influence négative des pairs sur les conduites à risque, quelques études plus récentes soulignent l'importance d'envisager le rôle potentiellement positif de pairs véhiculant une incitation à la prudence (Haddad et al., 2014; Knoll et al., 2015; Teunissen et al., 2013; van Hoorn et al., 2014). Enfin, aucune étude à ce jour ne permet réellement d'évaluer l'impact du niveau d'incertitude sur le poids de l'influence des pairs à travers une comparaison directe de situations de prise de décision à risque et de prise de décision sous ambiguïté.

A ce stade et malgré le dynamisme de la recherche sur le domaine, il reste difficile de tirer des conclusions claires sur l'impact du contexte sociale en tenant compte de sa nature (présence, avis des pairs, partage d'expériences, compétition), du statut des pairs (amitié, popularité) ou encore du niveau d'incertitude associé à la situation (informé, non informé sur les probabilités de gain et de pertes). La construction de ce chapitre nous a imposé des choix quant aux facteurs considérés dans le rapprochement des différentes études. Evidement, d'autres critères auraient pu être privilégiés. Afin de permettre aux lecteurs une comparaison plus exhaustive, le tableau suivant récapitule le positionnement de chacune des études précédemment citées sur l'ensemble de ces critères (cf. tableau 1).

Tableau 1 : Synthèse contrastant les propriétés méthodologiques et les principaux résultats des études explorant l'influence de contextes socio-émotionnels spécifiques sur la prise de décision, la sensibilité aux récompenses ou l'engagement dans des conduites à risque quotidiennes. \* (+) : influence positive des pairs, (-) : influence négative des pairs ; \*\* I : Informé (prise de décision à risque), NI : Non-Informé (prise de décision sous ambiguïté).

	Nature du Contexte Socio-émotionnel	Intervention des pairs	Influence : + / - *	Information **	Domaine Tâche	Statut des pairs	Population	Effets observés
<b>Berndt (1979)</b>	Influence (avis)	Oui	+ -		Décisions prosociales ou antisociales Scénarios hypothétiques	Amis Parents	9-18 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ puis ↘ (pic à 14-15 ans) du conformisme envers les pairs (comportements antisociaux)</li> <li>• ↘ linéaire du conformisme envers les parents (comportements neutres et prosociaux)</li> </ul>
<b>Cavalca et al. (2013)</b>	Influence (avis)	Oui	-	NI	Prise de risque BART	Inconnus-fictifs	16 ans Fumeurs vs Non fumeurs	Effet de l'incitation au risque : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosions : ↗ de la prise de risque seulement chez les fumeurs</li> <li>• Pumps : → de la prise de risque</li> </ul>
<b>Chein et al. (2011)</b>  IRMf	Observation	(Non)	-	NI	Prise de risque Stoplight Task	Amis	14-18 ans 19-22 ans 24-29 ans	Effet de la présence des pairs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ de la prise de risque seulement chez les adolescents</li> <li>• ↗ de l'activation du Cortex OF et du VS seulement chez les adolescents</li> <li>• Pas d'effet sur l'activation du cortex PFL qui augmente linéairement avec l'âge</li> </ul>
<b>Christensen et al. (2008)</b>	Influence (persuasion)	Oui	-	NI	Prise de risque Choix d'itinéraires	Amis	8-9 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incitation au risque : ↗ du choix d'itinéraires risqués</li> <li>• Corrélation entre le nombre de choix risqués et d'arguments avancés par les pairs</li> </ul>
<b>Chung et al. (2015)</b>  IRMf	Influence (avis)	Oui	+ -	I	Prise de risque Roues de la fortune	Inconnus-fictifs	Adultes	Effet du contexte social : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avis prudents : ↗ des choix sûrs</li> <li>• Avis risqués : ↗ des choix risqués</li> </ul>
<b>Cohen et al. (2006)</b>	Influence (avis)	Oui	-		Comportements agressifs Scénarios hypothétiques	Inconnus Populaire vs Impopulaire	16-17 ans	Effet de l'incitation aux comportements agressifs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pairs populaires : ↗ des comportements agressifs (conformisme)</li> <li>• Pairs impopulaires : ↘ des comportements agressifs (distanciation)</li> </ul>
<b>Gardner et al. (2005)</b>	Observation	(Non)	-	NI	Prise de risque Stoplight Task	Amis	13-16 ans 18-22 ans + 24 ans	Effet de la présence des pairs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ de la prise de risque : diminution de cet effet avec l'âge</li> <li>• ↗ de l'importance des bénéfices attribués aux conduites à risque</li> </ul>
<b>Gilman et al. (2014)</b>	Influence (expérience)	Oui	+ -		Sensibilité aux récompenses Delay Discounting Task	Inconnus-fictifs	18-25 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix impulsifs des pairs : ↗ de la sensibilité aux récompenses immédiates</li> <li>• Choix non-impulsifs des pairs : → de la sensibilité aux récompenses immédiates</li> </ul>
<b>Habib et al. (2013)</b>	Compétition			I	Prise de risque / Evaluation du regret Roues de la fortune	Inconnus-fictifs	11-26 ans 13-15 ans Adultes	Effet du contexte social : <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ du ressenti du soulagement seulement chez les adolescents</li> <li>• ↘ du ressenti du regret seulement chez les adolescents</li> </ul>
<b>Haddad et al. (2014)</b>	Observation Influence (avis)	Oui / Non	+ -	I	Prise de décision à risque Wheel of Fortune Game	Inconnus-fictifs	11-18 ans adultes	Prise de risque pour les niveaux de risque élevés : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôle : pas d'effet de l'âge</li> <li>• Observation : → chez les adolescents, ↘ chez les adultes</li> <li>• Avis risqués : ↗ chez les adolescents et ↗ chez les adultes</li> <li>• Avis prudents : → chez les adolescents, ↘ chez les adultes</li> </ul>
<b>Hardoon et al. (2001)</b>	Effet du groupe (dyade-triade)	Oui	-	I	Prise de risque Jeu de Roulette	Inconnus	4-6 ans	Effet du groupe : <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ du nombre de paris chez les filles</li> <li>• Pas d'effet du groupe chez les garçons (prise de risque supérieure)</li> </ul>

	Nature du Contexte Socio-émotionnel	Intervention des pairs	Influence : + / - *	Information **	Domaine Tâche	Statut des pairs	Population	Effets observés
<b>Knoll et al. (2015)</b>	Influence (expérience)	Oui	+ -	NI	Perception du risque <i>Scénarios fictifs</i>	Inconnus-fictifs Adolescents / Adultes	8-11 ans 12-14 ans 15-18 ans 19-25 ans 26-54 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ ou ↘ du risque évalué dans le sens des réponses des pairs</li> <li>• ↘ de cette influence avec l'âge</li> <li>• Plus d'impact de l'avis des adultes sauf chez les 12-14 ans</li> </ul>
<b>Nawa et al. (2008)</b>  IRMf	Présence d'un autre joueur (le participant répond en premier)	Non	-	I	Prise de risque <i>Social/Non Social Betting Task</i>	Inconnus-fictifs	19-24 ans	Effet du contexte social (présence d'un autre joueur) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas d'effet sur la prise de risque</li> <li>• ↗ de l'activation de l'amygdale et du Cortex PFDL Droit</li> <li>• ↘ de l'activation du VS</li> </ul>
<b>O'Brien et al. (2011)</b>	Observation	(Non)	-		Sensibilité aux récompenses <i>Delay Discounting Task</i>	Amis	18-20 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ de la sensibilité aux récompenses immédiates</li> </ul>
<b>Powell et al. (1997)</b>	Influence (avis)	Oui	+ -		Conduite à risque <i>Scénario écologique</i>	Inconnus	Jeunes adultes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refus de monter avec un conducteur alcoolisé seulement en présence d'un pair refusant de monter</li> </ul>
<b>Reynolds et al. (2013)</b>	Observation Influence (incitation)	Oui / Non	-	NI	Prise de risque <i>BART</i>	Amis présents	18-20 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incitation au risque : ↗ de la prise de risque</li> <li>• Présence : → de la prise de risque</li> </ul>
<b>Smith, Chein et al. (2014)</b>	Observation	Non	-	I	Prise de risque <i>Probabilistic Gambling Task</i>	Inconnus-fictifs	15-17 ans	Effet de la présence des pairs : <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ de la prise de risque : surtout pour les probabilités de pertes élevées</li> </ul>
<b>Smith, Steinberg et al. (2014)</b>  IRMf	Observation	Non			Sensibilité aux récompenses (SANS prise de décision) <i>High/Low Card Guessing Task</i>	Amis	14-19 ans adultes	Anticipation des récompenses : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas d'effet du contexte</li> <li>• Pas d'effet de l'âge</li> </ul> Réception des récompenses : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortex cingulaire plus activé chez les adolescents que chez les adultes seulement en présence des pairs</li> </ul>
<b>Telzer et al. (2014)</b>  IRMf	Observation	Non	+	NI	Prise de risque <i>Stoplight Task</i>	Mère	15 ans	Effet de la présence de la mère : <ul style="list-style-type: none"> <li>• ↘ de la prise de risque</li> <li>• ↘ de l'activation du VS pour les choix risqués</li> <li>• ↗ de l'activation du Cortex PFVL pour les choix sûrs</li> </ul>
<b>Teunissen et al. (2012)</b>	Influence (normes pro ou anti-alcool)	Oui	+ -		Conduite à risque <i>Scénarios hypothétiques</i>	Populaire vs Impopulaire	14-15 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La confrontation à une norme anti-alcool diminue la disposition des adolescents à boire de l'alcool, notamment avec des pairs populaires</li> </ul>
<b>Teunissen et al. (2013)</b>	Influence (normes pro ou anti-alcool)	Oui	+ -		Conduite à risque <i>Jugement de profils de consommateurs d'alcool</i>	Amis Populaire vs Impopulaire	17 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La confrontation à une norme anti-alcool entraîne un jugement plus négatif et une distanciation par rapport aux consommateurs réguliers d'alcool qu'une norme pro-alcool</li> <li>• Les adolescents se décrivent comme plus proche de profils de consommateurs réguliers et modérés lorsqu'ils interagissent avec des pairs populaires</li> </ul>
<b>van Hoorn et al. (2014)</b>	Observation Influence (avis)	Oui / Non	+ -		Décisions prosociales ou antisociales <i>Peers Public Goods Game</i>	Inconnus-fictifs	12-16 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avis antisociaux ↗ décisions individuelles</li> <li>• Avis prosociaux ↗ décisions collectives</li> </ul>
<b>Weigard et al. (2014)</b>	Observation	Non	-		Sensibilité aux récompenses <i>Delay Discounting Task</i>	Inconnus-fictifs	18-22 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ↗ de la sensibilité aux récompenses immédiates</li> </ul>
<b>Yechiam et al. (2008)</b>	Observation réciproque	Oui	-	I	Prise de risque <i>Choix entre une option sûre et une option risquée</i>	Inconnus	Adultes	Effet de l'observation réciproque : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation des choix risqués (surtout pour les options impliquant des pertes importantes mais peu fréquentes)</li> <li>• Augmentation de la prise de risque plus importante en position observateur qu'en position observé</li> </ul>

## **Objectifs de la thèse**

Face au constat d'un engagement exacerbé des adolescents dans des conduites à risque telles que la consommation excessive d'alcool et de substances illicites, la conduite automobile dangereuse, les relations sexuelles non protégées ou encore la réalisation de défis et cascades en tout genre (Steinberg, 2008), une meilleure compréhension des processus impliqués dans la prise de décision au cours du développement représente un enjeu majeur pour les neurosciences et la psychologie expérimentale. Naturellement, notre regard adulte nous conduit à attribuer de telles conduites à la négligence des conséquences de leurs actes et à l'inconscience caractéristiques de cette période qu'est l'adolescence. Pourtant la psychologie expérimentale n'a pas toujours confirmé ce stéréotype mais révèle à l'inverse la capacité des adolescents à se percevoir aussi vulnérables que les adultes, à évaluer avec justesse les conséquences de leurs conduites et leurs probabilités d'occurrence (Beyth-Marom et al., 1993; Quadrel et al., 1993), indiquant même parfois une tendance à surestimer la probabilité d'apparition des conséquences négatives associées (Millstein & Halpern-Felsher, 2002; Reyna & Farley, 2006). Ainsi, l'existence de ce paradoxe témoigne de la nécessité de dépasser ce stéréotype d'un individu irrationnel en dressant un portrait plus fidèle à la complexité de l'adolescence.

Dans cette perspective, les modélisations neurocognitives actuelles telles que le modèle proposé par Casey et al. (2008) ou le modèle triadique des comportements motivés (Ernst et al., 2006) s'inscrivent dans une conception plus dynamique du développement cognitif en posant les processus émotionnels au cœur de la spécificité de prise de décision des adolescents. Le pic de risque observé à l'adolescence résulterait d'une spécificité de la réactivité émotionnelle des adolescents, notamment d'une hypersensibilité du système des récompenses, auquel s'ajoute une immaturité des processus de contrôle nécessaires à la régulation de ces émotions.

Malgré tout, une limite commune à ces différentes modélisations doit être avancée. Bien qu'une vaste littérature témoigne de stratégies décisionnelles distinctes dans le domaine de la prise de décision à risque (i.e. enjeux et probabilités clairement définis) et de la prise de décision sous ambiguïté (i.e. absence d'information sur les probabilités et les enjeux associés à chacune des options) (Loewenstein et al., 2008), ces modèles semblent négliger l'influence du niveau d'incertitude associé aux situations de prise de risque. L'un des enjeux majeur de cette thèse sera de clarifier l'impact potentiel de l'information concernant le niveau de risque sur les comportements de prise de risque à l'adolescence. En effet, comme nous l'avons suggéré dans cette introduction, l'engagement dans une prise de risque

n'est pas circonscrit aux situations pour lesquelles l'individu dispose des informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque, mais peut aussi s'opérer dans le cadre d'une prise de décision sous ambiguïté. La non considération de ce facteur est d'autant plus regrettable qu'un regard croisé sur les études développementales jalonnant ces deux domaines de la prise de décision suggère que la trajectoire développementale de la prise de décision sous ambiguïté ne se superpose pas à celle de la prise de décision à risque. Dans le cadre d'une prise de décision à risque, l'ensemble de la littérature témoigne de capacités d'intégration des informations probabilistes et des enjeux d'une option relativement précoces (Schlottmann, 2001; Van Leijenhorst et al., 2008). Cependant, dès lors que les informations caractérisant les options ne sont pas directement disponibles mais doivent être inférées sur la base de leur expérience, les capacités de prise de décision évoluent de façon plus lente jusqu'à la fin de l'adolescence (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2014; Crone & van der Molen, 2004; Overman et al., 2004). Ainsi, la plupart des situations quotidiennes de prise de risque impliquant une absence d'information sur le niveau de risque, comprendre l'origine de cette difficulté à faire des choix adaptés en situation d'ambiguïté représente un enjeu majeur.

Grâce à la confrontation de situations risquées et ambiguës, deux hypothèses explicatives du pic de prise de risque observé dans le quotidien des adolescents ont récemment émergé dans la littérature. 1) Tymula et al. (2012) proposent que l'augmentation de la prise de risque reflète une exploration plus poussée des situations associées à un manque d'information, faisant suite à une plus grande tolérance des adolescents face à l'ambiguïté. Une plus grande tolérance face à l'inconnu encouragerait l'exploration de l'environnement et favoriserait un mécanisme d'apprentissage essentiel pendant la période de l'adolescence. 2) Selon van Duijvenvoorde et al. (2012), les adolescents présentent une prise de risque exacerbée émanant d'un déficit d'élaboration d'une représentation des probabilités suite à la réception de *feedbacks* dans des situations associées à un manque d'information sur les conséquences de leurs choix. Dès lors, ce travail de thèse vise dans un premier temps à départager ces deux hypothèses à travers la réalisation de trois études comportementales.

En réponse à l'hypothèse d'une aversion à l'ambiguïté réduite pendant l'adolescence, nous chercherons à préciser sa trajectoire développementale de l'enfance à l'âge adulte. Si cette tendance systématique de l'individu à rejeter une option associée à un manque d'information a souvent répliquée dans la littérature (Ho et al., 2002; Inukai & Takahashi, 2009; Kahn & Sarin, 1988; Pulford, 2009; Pulford & Colman, 2007a; Trautmann et al., 2008),



la nature exacte de ce biais décisionnel reste débattue. En accord avec la littérature (Hsu et al., 2005; Pulford & Colman, 2007b), l'aversion à l'ambiguïté pourrait constituer un biais d'origine émotionnel consistant à considérer un manque d'information comme dangereux et conduisant les individus à rejeter de façon systématique une option ambiguë, au profit d'une option sûre ou risquée pouvant pourtant s'avérer moins avantageuse. Afin de tester sa robustesse, nous proposons dans une première étude de confronter l'aversion à l'ambiguïté à un autre biais décisionnel emblématique, l'effet du cadre de présentation. Les choix des individus étant fortement dépendants du format de présentation des options (i.e. présentation en termes de gain ou de perte), l'objectif sera de tester l'impact de l'aversion à l'ambiguïté sur l'effet du cadre de présentation. Nous allons pour cela élaborer une nouvelle tâche de prise de décision financière impliquant la manipulation conjointe du cadre de présentation (gain versus perte) et du niveau d'incertitude (risque versus ambiguïté). Les participants devront effectuer une série de choix entre une option sûre et une roue de la fortune illustrant des probabilités soit clairement définies, soit ambiguës. Cette première étude devrait nous permettre de confirmer la robustesse de l'effet d'aversion à l'ambiguïté, y compris lors de sa confrontation à une autre stratégie intuitive d'ordre émotionnel conduisant à des préférences opposées, soulignant ainsi son inscription dans un système général d'évitement conduisant l'individu à rejeter une situation potentiellement dangereuse ou associée à un manque d'information (Hsu et al., 2005; Pulford & Colman, 2007b).

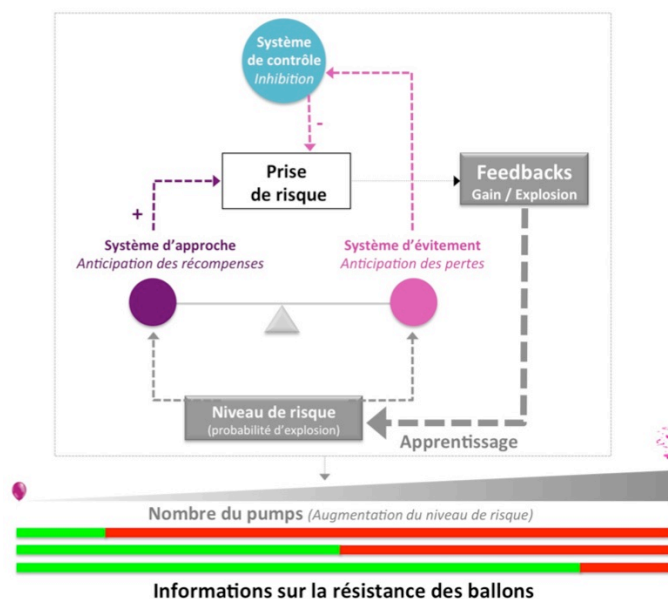
Par ailleurs, la validité de l'hypothèse de Tymula et al. (2012) repose sur la trajectoire développementale de l'aversion à l'ambiguïté. Les auteurs constatent en effet que les adolescents de 12-17 ans acceptent plus facilement les options ambiguës que les adultes. Toutefois, cette augmentation de la tolérance face à l'ambiguïté à l'adolescence reste peu explorée et l'étendue des âges considérés dans cette étude (i.e. 12 à 17 ans) pourrait selon nous masquer une mise en place progressive de cette stratégie aversive au cours de l'adolescence (De Neys & Vanderputte, 2011). Dans un deuxième temps, nous souhaitons ainsi appréhender plus finement la trajectoire développementale de l'aversion à l'ambiguïté grâce à l'adaptation du paradoxe princeps d'Ellsberg (1961) à la sortie de l'enfance, l'adolescence et l'âge adulte. Si comme nous l'envisageons, l'ambiguïté constitue une stratégie intuitive et émotionnelle apparaissant progressivement au début de l'adolescence, les adolescents devraient être aussi aversifs que les adultes face aux situations ambiguës. Cette deuxième étude contribuera donc à mieux cerner l'origine des difficultés d'apprentissage dans l'ambiguïté mis en évidence chez les adolescents en confirmant, ou en invalidant, l'hypothèse d'un attrait plus important pour l'ambiguïté comme facteur explicatif de leur engagement dans des prises de risque.

En outre l'évaluation des risques dans la vie quotidienne ne s'opère pas seulement dans le cadre d'un choix entre deux options mais aussi dans la gestion d'un engagement croissant dans une conduite à risque. Dans ce cadre, l'étude des comportements d'exploration selon le niveau d'information lors d'une tâche évaluant spécifiquement l'engagement dans la prise de risque semble nécessaire. A notre connaissance, seule la *Balloon Analogue Risk Task* (BART) permet d'évaluer la prise de risque dans le cadre de situation d'ambiguïté, en mesurant un comportement de prise de risque pour lequel le risque est récompensé jusqu'à un certain point mais au delà, s'accompagne de conséquences négatives. En effet, pour gagner un maximum de points, les participants doivent gonfler autant qu'ils le souhaitent un ensemble de ballons au seuil d'explosion variable sachant qu'une explosion conduit à la perte des points collectés. Nous avons dès lors décidé de centrer la méthodologie de notre troisième étude sur une adaptation de cette tâche que nous présenterons à des adolescents et des adultes et pour laquelle nous distinguerons trois types de ballons de résistances distinctes (i.e. résistance faible, résistance moyenne et résistance forte). Cette manipulation apparaît pertinente à double titre.

Premièrement, elle nous permet de contraster une version dite « informé » dans laquelle le participant dispose d'indices explicites sur le niveau de risque des ballons et une version dite « non-informé » pour laquelle cette information n'est pas directement disponible mais nécessite d'être inférée sur la base des *feedbacks* reçus au cours de la tâche. Sur la base de notre modélisation des processus cognitifs engagés dans le BART (cf. chapitre 3), une distinction fondamentale peut être avancée entre ces deux versions. Selon les travaux d'Antonio Damasio et son équipe (Bechara & Damasio, 2005; Damasio et al., 1994) un mécanisme d'apprentissage guidé par les émotions suscitées par la réception de *feedbacks* positifs ou négatifs permettrait à l'individu de pallier au manque d'information caractéristique des situations d'ambiguïté. Aussi, nous pouvons déjà envisager une implication plus importante du mécanisme d'apprentissage faisant suite à la réception d'un gain ou à une explosion dans la version « informé » par rapport à la condition « non-informé » (cf. Figure 38).

Cette troisième étude nous permettra donc de confirmer l'inscription de la prise de risque des adolescents dans des situations associées à un manque d'information. Si l'augmentation de la prise de risque des adolescents se limite à des situations ambiguës, alors les différences développementales devraient être circonscrites à la condition « non-informé ».

## Situations avec informations sur la résistance des ballons



## Situations sans informations sur la résistance des ballons

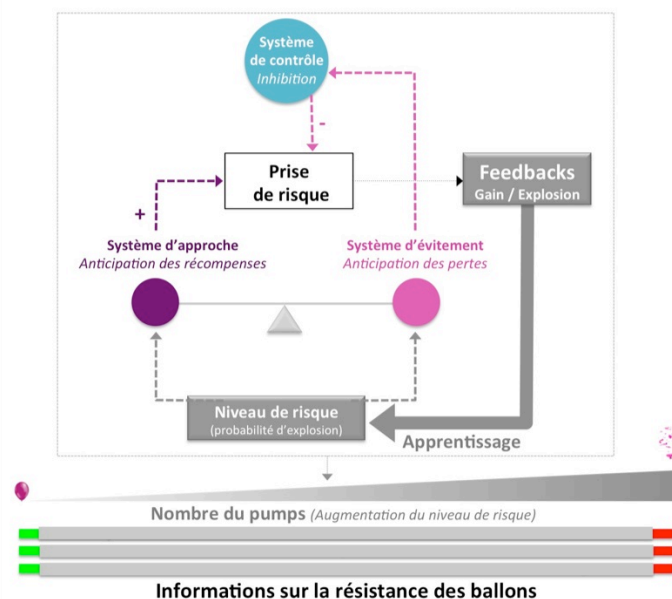


Figure 38 : Modélisation des processus cognitifs impliqués dans la BART selon le niveau d'information sur la résistance des ballons. En accord avec la théorie des marqueurs somatiques (Bechara et al., 1994; Damasio et al., 1996), un mécanisme d'apprentissage basé sur le ressenti émotionnel associé à la réception de feedbacks serait davantage engagé dans une condition « non-informé » que lorsque des indices sur le niveau de risque des ballons sont directement disponibles.

Deuxièmement, la distinction de trois types de ballons permet d'avancer des prédictions développementales distinctes pour la version « non-informé » selon les deux hypothèses explicatives proposées dans la littérature (cf. Figure 39). 1) Si comme le suggèrent les études antérieures (Hsu et al., 2005; Pulford & Colman, 2007b), notre première étude confirme l'inscription de l'aversion à l'ambiguïté dans un système émotionnel conduisant à l'évitement d'une option caractérisée par un manque d'information, la réduction de cette stratégie pendant l'adolescence devrait se traduire par un poids moins important du système d'évitement par rapport aux adultes. Chez les adultes, la présence d'une forte aversion face à l'ambiguïté de la situation contribuerait à accentuer le poids du système d'évitement, limitant ainsi leur engagement dans le risque. A l'inverse, en accord avec les conclusions de Tymula et al. (2012), la balance entre les systèmes d'approche et d'évitement chez les adolescents en faveur de l'anticipation des gains maximiserait la prise de risque de ces derniers, indépendamment de la résistance des ballons. 2) En revanche, l'hypothèse d'un défaut d'apprentissage basé sur l'intégration de *feedbacks* chez les adolescents (van Duijvenvoorde et al., 2012) suppose une altération spécifique du processus d'apprentissage nécessaire à l'appréhension des niveaux de risque associés aux différents types de ballons. Plutôt qu'une prise de risque globalement accentuée, les adolescents devraient présenter un défaut d'ajustement de la prise de risque à la résistance des ballons, à

savoir une prise de risque trop importante pour les ballons à faible résistance et au contraire une prise de risque réduite pour les ballons à résistance forte.

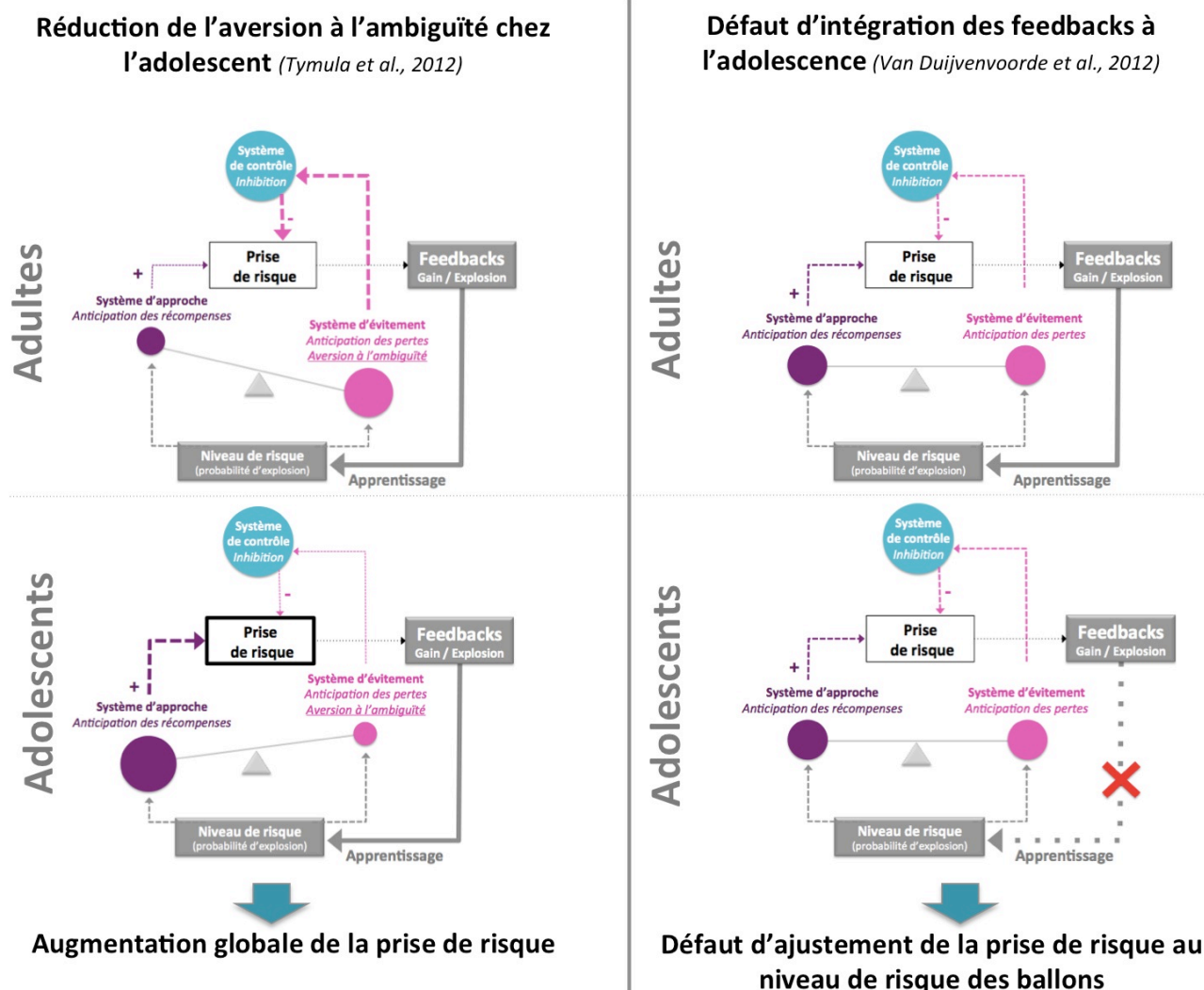


Figure 39 : Modélisations des hypothèses développementales basées sur les propositions de Tymula et al. (2012) et van Duijvenvoorde et al. (2012). Selon l'hypothèse d'une réduction de l'aversion à l'ambiguïté chez les adolescents (Tymula et al., 2012), la bascule en faveur du système d'approche favoriserait une augmentation globale de la prise de risque des adolescents par rapport aux adultes. Selon l'hypothèse de van Duijvenvoorde et al. (2012), les adolescents présenteraient un défaut spécifique au niveau du mécanisme d'apprentissage basé sur l'intégration des feedbacks et nécessaire à l'évaluation du niveau de risque des ballons. Ce défaut d'apprentissage se traduirait ainsi par un défaut d'ajustement de leur prise de risque à la résistance des ballons plutôt qu'à une augmentation globale de la prise de risque.

Ainsi, la réunion de ces trois premières études contribuera à une meilleure compréhension des processus impliqués dans la prise de risque au cours du développement, en précisant l'origine de la difficulté des adolescents à faire des choix adaptés en situation d'ambiguïté.

D'autre part, un deuxième pan de la littérature, initialement basée sur l'observation des circonstances d'apparition des conduites à risque quotidiennes, souligne un rôle central

du contexte socio-émotionnel sur la prise de risque des adolescents (Steinberg, 2008). L'adolescence a très largement été décrite comme une période associée à une sensibilité accrue face aux facteurs psychosociaux (Albert & Steinberg, 2011; Blakemore & Mills, 2014; Casey et al., 2008; Steinberg, 2008) qui s'illustre par une augmentation de la prise de risque en présence des pairs (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Smith, Chein, et al., 2014; Weigard et al., 2014) ou sous l'influence de leurs avis et opinions (Cavalca et al., 2013; Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013). Toutefois, la nature de cette influence sociale sur les comportements à risque des adolescents reste peu explorée. L'étude de l'influence des pairs reste souvent focalisée sur leur rôle négatif sans laisser place à l'éventualité d'un impact positif de leurs interventions. Enfin, si la connaissance du niveau de risque d'une option apparaît décisive pour comprendre le développement de la prise de décision (van Duijvenvoorde et al., 2012), le lien entre le niveau d'informations liées aux probabilités caractérisant la situation et l'influence sociale a également été largement négligé dans la littérature. En effet, aucune étude à ce jour ne permet réellement d'évaluer l'impact du niveau d'incertitude sur le poids de l'influence des pairs à travers une comparaison directe entre des situations de prise de décision à risque et de prise de décision sous ambiguïté.

Aussi, le deuxième enjeu majeur de ce travail sera de clarifier l'impact respectif d'une influence sociale risquée ou prudente sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque, en distinguant des situations pour lesquelles ils disposent d'informations sur le niveau de risque et des situations associées à une manque d'information. Pour cela, nous proposerons dans une quatrième étude d'investiguer une nouvelle forme d'influence sociale : l'expérience des pairs. Selon nous, l'expérience des pairs pourrait représenter un contexte social spécifique en fournissant à l'individu une information de nature sociale susceptible d'impacter ses choix. L'existence de difficultés d'apprentissage chez les adolescents dans des situations de prise de décision sous ambiguïté (Cassotti et al., 2014; van Duijvenvoorde et al., 2012, 2013) nous conduit à envisager que les adolescents, plus à même de rechercher une source d'information extérieure dans leur environnement social, seraient davantage sensibles à l'expérience de leurs pairs en l'absence d'informations explicites sur le niveau de risque. Ainsi, l'étude 4 répondra à trois principaux objectifs : 1) Clarifier l'impact de l'expérience passée des pairs sur la prise de risque des adolescents, 2) distinguer l'impact d'une influence sociale positive ou négative et enfin 3) clarifier le lien entre le niveau d'information concernant le risque et l'influence des pairs. Pour cela, nous adapterons à nouveau notre version de la BART (Lejuez et al., 2002) afin de mesurer l'engagement des adolescents dans le risque en manipulant l'information sociale (i.e. pas d'influence, expérience prudente des pairs, expérience risquée des pairs) et le niveau d'information disponible sur les probabilités d'explosion des ballons.

Pour conclure, ce travail de thèse contribuera à une meilleure compréhension du phénomène de prise de risque à l'adolescence en précisant l'impact du niveau de connaissance concernant les risques associés à une conduite et l'influence d'une l'information de nature sociale sur l'engagement dans la prise de risque au cours du développement.

# **Partie Expérimentale**

## Etude

## 1

# L'aversion à l'ambiguïté influence-t-elle l'effet du cadre de présentation ?

*Argument en faveur de la prise de compte du niveau d'incertitude dans le choix des individus*

Osmont, A., Cassotti, M., Agogué, M., Houdé, O., & Moutier, S. (2014). Does ambiguity aversion influence the framing effect during decision making? *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(2), 572–577.

Les adultes présentent une tendance systématique à éviter les options ambiguës qui se caractérisent par un manque d'information sur le niveau de risque associé. Ce phénomène d'aversion à l'ambiguïté constitue l'un des biais décisionnels les plus emblématiques dans la littérature de la prise de décision. Les choix des individus étant fortement dépendants du format de présentation des options (en termes de gain ou de perte), l'objectif de cette étude était d'examiner comment l'aversion à l'ambiguïté pouvait influencer l'effet du cadre de présentation dans la prise de décision. Nous avons pour cela élaboré une nouvelle tâche de prise de décision financière impliquant la manipulation conjointe du cadre de présentation (gain versus perte) et du niveau d'incertitude (risque versus ambiguïté). Trente-sept participants ont ainsi effectué une série de choix entre une option sûre et une roue de la fortune illustrant des probabilités soit clairement définies, soit ambiguës. Nos résultats confirment la puissance de l'aversion à l'ambiguïté. Si les décisions des sujets restent largement influencées par la façon de présenter les options en termes de gain ou de perte, on observe cependant un basculement des choix préférentiels des individus d'un effet du cadre bidirectionnel en condition risque vers un effet du cadre unidirectionnel en condition d'ambiguïté (i.e. préférence pour l'option sûre plus marquée en cadre de gain qu'en cadre de perte). Cette recherche souligne ainsi l'importance de considérer le niveau d'incertitude afin de rendre compte pleinement des stratégies décisionnelles des individus.



## INTRODUCTION

Dans la plupart des situations de la vie quotidienne, l'individu effectue des choix alors même que les informations sur les probabilités et les enjeux associés à chacune des options ne sont pas nécessairement disponibles. Classiquement, les auteurs s'accordent pour distinguer des situations de prise de décision sous ambiguïté de la prise de décision à risque pour laquelle l'individu dispose d'indices explicites sur le niveau de risque et sur les conséquences probables de l'ensemble des alternatives possibles (Ho et al., 2002; Hsu et al., 2005; Loewenstein et al., 2008; Rubaltelli, Rumiati, & Slovic, 2010; Tymula et al., 2012). Par exemple, dans le cadre d'une décision thérapeutique, un patient pourrait d'une part être amené à accepter ou non un traitement ayant 70% de chances de succès (i.e. situation de prise de décision à risque) ou bien à décider s'il accepte un traitement expérimental pour lequel les chances de succès sont inconnues (i.e. situation de prise de décision sous ambiguïté).

Comme nous l'avons vu dans l'introduction théorique de cette thèse, les travaux de ces trois dernières décennies ont souligné l'insuffisance de l'approche normative pour témoigner de la complexité du raisonnement humain à travers la mise en exergue de transgressions systématiques des règles dictées par l'axiomatique de l'approche rationnelle dans ces deux types de prise de décision (Cassotti et al., 2012; De Martino et al., 2006; Kahneman & Frederick, 2007; De Neys, 2012). Le phénomène d'aversion à l'ambiguïté constitue l'un des biais décisionnels les plus emblématiques du domaine de la prise de décision sous ambiguïté en conduisant les individus à éviter de façon systématique toute option associée à un manque d'information (Ellsberg, 1961; Keren & Gerritsen, 1999; Pulford & Colman, 2007b). Initialement illustrée par le paradigme ingénieux d'Ellsberg (1961) qui révéla l'existence de conduites paradoxales du point de vue de la théorie de la prise de décision rationnelle (Savage 1954), l'aversion à l'ambiguïté conduit par exemple les individus à rejeter systématiquement une urne ambiguë au profit d'une urne risquée dont le contenu est clairement identifié. Notons que ce phénomène d'aversion à l'ambiguïté a par la suite été répliqué à travers d'autres paradigmes (Hsu et al., 2005; Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; Levy et al., 2010; Pulford & Colman, 2007b; Tymula et al., 2012), y compris dans des situations pour lesquelles l'option ambiguë apparaît plus avantageuse du point de vue de l'espérance mathématique (Keren & Gerritsen, 1999).

Afin de rendre compte de tels biais décisionnels, les théories du double processus ont postulé l'existence de deux systèmes de pensée : un système dit heuristique-intuitif (système 1) et un système dit analytique et délibéré (système 2). De telles déviations par rapport aux

modèles normatifs pourraient dès lors s'expliquer par la dominance d'une stratégie intuitive au détriment de la stratégie analytique plus couteuse (De Neys, 2006a, 2006b; Evans, 2003, 2010; Kahneman & Frederick, 2007; De Neys, 2012). Selon nous, l'aversion à l'ambiguïté pourrait alors constituer un réel biais d'origine émotionnelle inscrit dans une interaction entre ces deux types de stratégies : l'analyse rationnelle de la situation (système 2) et la stratégie heuristique consistant à considérer un manque d'information comme dangereux (système 1). En accord avec l'hypothèse d'une heuristique affective, les travaux de neuro-imagerie soulignent l'implication de régions émotionnelles telles que l'amygdale et le cortex OF dans la détection du niveau d'ambiguïté (Hsu et al., 2005; voir aussi Levy et al., 2010). Ces résultats attestent de l'existence d'un réseau de détection de l'ambiguïté qui permettrait à l'organisme d'être alerté du manque d'information et du caractère potentiellement dangereux de situations à haut niveau d'incertitude. Par ailleurs, les études comportementales confirment la nature émotionnelle de ce biais (Pulford & Colman, 2007b; Rubaltelli et al., 2010). Alors que des prédictions basées sur une explication purement cognitive de l'aversion à l'ambiguïté supposent une augmentation de ce phénomène avec le nombre de configurations imaginables, Pulford et Colman (2007b) ne relèvent aucun effet de la taille de l'urne sur la force de l'aversion à l'ambiguïté.

Bien que l'ensemble de ces études suggère que l'aversion à l'ambiguïté constitue un biais d'ordre émotionnel particulièrement robuste, peu d'études ont examiné son influence sur un autre biais décisionnel emblématique : l'effet du cadre de présentation. Ceci semble regrettable sachant que de très nombreuses études dans le domaine de la prise de décision à risque ont démontré que les choix des individus reposaient sur la présentation des options en termes de gain ou de perte (De Martino et al., 2006; Kahneman & Tversky, 1984; A. Tversky & Kahneman, 1981; Wang, 1996; Zheng et al., 2010). Classiquement, l'effet du cadre de présentation mène les individus à préférer des options incertaines lorsqu'elles sont présentées en termes de perte et des options sûres présentées en termes de gain (cf. chapitre 2 pour une revue plus détaillée).

Tout comme l'aversion à l'ambiguïté, l'effet du cadre résulte de la manifestation d'une heuristique intuitive et affective inscrite dans le système 1. Selon Kahneman & Frederick (2007), cette heuristique affective reposerait sur le caractère attractif d'un gain et particulièrement aversif d'une perte, conduisant respectivement l'individu à accepter ou rejeter l'option sûre de façon automatique. Les études de neuro-imagerie et les travaux réalisés auprès de patients cérébro-lésés ont par la suite permis de mettre en évidence l'implication de régions sous-tendant des processus émotionnels dans l'apparition de ce biais. A travers une tâche de prise de décision financière en IRMf, De Martino et son équipe révèlent une supériorité de l'activité des régions impliquées dans les processus émotionnels

(i.e. amygdale) pour les réponses en accord avec l'effet du cadre (De Martino et al., 2006) et une augmentation de la réactivité électrodermale lors d'une présentation des options en termes de perte par rapport à une présentation en termes de gain pourtant équivalente (De Martino et al., 2008). Par ailleurs, les patients avec lésion amygdalienne présentent une aversion aux pertes financières réduites (De Martino et al., 2010). Enfin, l'influence d'une induction émotionnelle sur cet effet du cadre supporte l'explication de ce biais par les modèles du double processus : l'exposition à un amorçage émotionnel positif conduit à la suppression de l'effet du cadre suite à une réduction de l'aversion aux pertes (Cassotti et al., 2012) alors que l'induction d'émotions négatives incidentes (i.e. peur et colère) conduit à des modulations spécifiques de l'aversion au risque dans le cadre de gain (Habib et al., 2015).

Les études ayant examiné l'impact de l'aversion à l'ambiguïté sur les effets de cadrage restent rares et avancent des résultats contradictoires. A travers le célèbre problème de la grippe asiatique initialement proposé par Tversky & Kahneman (1981), Reyna (2012) a récemment démontré la persistance de l'effet du cadre de présentation en l'absence d'informations probabilistes. De même, certaines études révèlent un effet de réflexion se traduisant par une aversion à l'ambiguïté plus importante dans le domaine des gains que dans le domaine des pertes. Plus précisément, lorsqu'ils sont confrontés au choix entre un produit bien défini et un produit ambigu, les consommateurs sont aversifs face à l'ambiguïté dans le domaine des gains et au contraire attirés par le produit ambigu dans le domaine des pertes (Ho et al., 2002; Kahn & Sarin, 1988). Au contraire, certaines études reportent une absence d'effet du signe (i. e. gain versus perte) sur l'aversion à l'ambiguïté en montrant une tendance à éviter l'option ambiguë dans le domaine des gains comme dans le domaine des pertes lors d'une adaptation du paradoxe d'Ellsberg (Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; voir aussi Smith, Dickhaut, McCabe, & Pardo, 2002).

Ainsi, tout l'enjeu de la première étude de cette thèse est de préciser l'influence du niveau d'information sur les choix des individus en clarifiant l'impact potentiel de l'aversion à l'ambiguïté sur l'un des biais les plus emblématiques de la prise de décision, l'effet du cadre de présentation. Pour cela, nous avons conçu une nouvelle tâche de prise de décision financière impliquant le choix entre une option sûre et une roue de la fortune, en manipulant le niveau d'incertitude associé à la roue. Comme dans la tâche de De Martino et al. (2006) l'option sûre est présentée en termes de gain ou de perte. Alors que dans la condition risque la roue de la fortune représente clairement les probabilités de gain et de perte, cette information est masquée par un cache gris dans la condition ambiguïté.

En accord avec les théories du double processus, nous avançons l'hypothèse d'une aversion à l'ambiguïté plus marquée dans le cadre de gain, l'attractivité d'un gain sûr et le

caractère aversif de l'option ambiguë conduisant de façon conjointe à préférer l'option sûre. Cependant, les modèles du double processus prédisent l'apparition d'un conflit entre l'aversion à l'ambiguïté et l'aversion aux pertes lorsque l'option sûre est présentée en termes de perte. Ainsi, deux prédictions opposées peuvent être avancées concernant l'impact de l'aversion à l'ambiguïté sur l'effet d'une présentation en termes de perte des options. 1) Si l'ambiguïté de la roue de la fortune se traduit par une réponse aversive plus importante que l'éventualité d'une perte certaine, alors les participants devraient éviter la roue ambiguë quel que soit le cadre de présentation. 2) Au contraire, si la perspective d'une roue associée à une incertitude maximale ne suffit pas à moduler l'effet du cadre, alors les participants devraient préférer la roue de la fortune dans le cadre de perte en condition de risque comme en condition d'ambiguïté.

## MÉTHODE

### Participants

Trente-sept femmes âgées de 19 à 24 ans [ $M \pm SD$  :  $20.5 \pm 1.34$ ] ont participé à cette recherche. Les participants, recrutés au sein de l'Université Paris Descartes, ne possédaient aucune connaissance particulière concernant les études sur le raisonnement et la prise de décision. En échange de leur participation, ces derniers recevaient des points leur permettant de valider l'unité d'enseignement d'initiation au travail de recherche.

### Procédure et matériel

Une tâche informatisée de prise de décision financière adaptée des travaux de De Martino et al. (2006) et Stanton et al. (2011) a été présentée à l'ensemble des participants. Les participants complétaient la tâche de façon individuelle dans une pièce calme et isolée, pendant une durée d'environ trente minutes. Afin de s'assurer d'une bonne compréhension de la tâche, les participants recevaient des instructions verbales sur le déroulement de l'épreuve et étaient familiarisés à des exemples d'items illustrant les différentes situations susceptibles d'être rencontrées. Il leur était également précisé qu'aucun *feedback* sur l'issue de leurs choix ne leur serait restitué au cours de la tâche. La tâche était décomposée en deux blocs de 24 essais, chacun offrant ainsi l'opportunité aux participants de faire une pause au milieu de la tâche.

Au début de chaque essai, les participants recevaient une somme d'argent initiale (e.g. « tu reçois 50€ ») illustrée pendant 2500 millisecondes par un billet de Monopoly. Les

participants devaient ensuite effectuer un choix entre deux options simultanément affichées à l'écran jusqu'à la réponse du sujet : une option sûre (i.e. permettant de conserver une partie de la somme de départ) et une option risquée d'espérance mathématique équivalente (i.e. permettant de remettre en jeu l'intégralité de la somme) (cf. Figure 40). Chacun des essais était présenté soit en termes de gain, soit en termes de perte, ces deux présentations étant strictement équivalentes d'un point de vue mathématique. Dans la condition gain, l'option sûre permettait de conserver une partie de la somme de départ (e.g. « tu gardes 25€ »), alors que dans la condition perte, l'option sûre renvoyait à la perte certaine d'une partie de la somme de départ (e.g. « tu perds 25€ »). Quelle que soit la condition de formulation, l'option risquée était représentée par une roue de la fortune reflétant les probabilités de gagner (cases bleues) ou de perdre (cases roses) l'intégralité de la somme de départ (e.g. 50% de chance de garder les 50€ et 50% de chance de perdre les 50€). Trois sommes de départ (10, 30 et 50€), ainsi que trois probabilités reflétant la part de la somme de départ conservée dans l'option sûre (30%, 50%, 70%) ont été utilisées.

Enfin la manipulation du niveau d'incertitude a été ajoutée dans cette adaptation : deux niveaux d'incertitude de l'option à risque étaient distingués. Pour la moitié des items (i.e. condition risque), la roue de la fortune laissait apparaître les probabilités de perdre ou de garder l'intégralité de la somme de départ, alors que pour l'autre moitié (i.e. condition ambiguë), un cache gris recouvrait la roue de la fortune masquant ainsi les probabilités de gain et de perte associées. Trente-six items cibles ont ainsi été construits au croisement de ces quatre facteurs manipulés en intra-sujets : les 3 sommes de départ (10, 30, 50€), les 3 parts de la somme de départ potentiellement conservées (30%, 50%, 70%), les 2 formulations (Gain, Perte) et les 2 niveaux d'incertitude de l'option risquée (Risque, Ambiguïté).

Des items contrôles ont également été inclus afin de vérifier l'engagement des participants dans la tâche et leur capacité à opter pour les alternatives avantageuses. Dans ces essais, les valeurs espérées de l'option sûre et de l'option risquée n'étaient plus équivalentes, permettant ainsi de distinguer les choix avantageux des choix désavantageux. Bien entendu, ces derniers n'étaient réalisés que dans le cadre de la condition risque, la condition ambiguë ne permettant pas, par définition, d'évaluer le caractère avantageux de la roue de la fortune. Dans la moitié des essais contrôles l'option risquée était avantageuse (i.e. choix entre une option risquée associée à une probabilité de gain de 90% et une option sûre correspondant à la moitié de la somme de départ) et désavantageuse pour l'autre moitié (i.e. choix entre une option risquée associée à une probabilité de gain de 10% et une option sûre correspondant à la moitié de la somme de départ). La combinaison des 2 cadres de présentation (gain versus perte), des 3 sommes de départ (10, 30, 50€) et des deux

probabilités de gain associées à l'option risquée (avantageuse soit 90% versus désavantageuse soit 10%) nous a donc amenés à la construction de 12 items contrôlés.

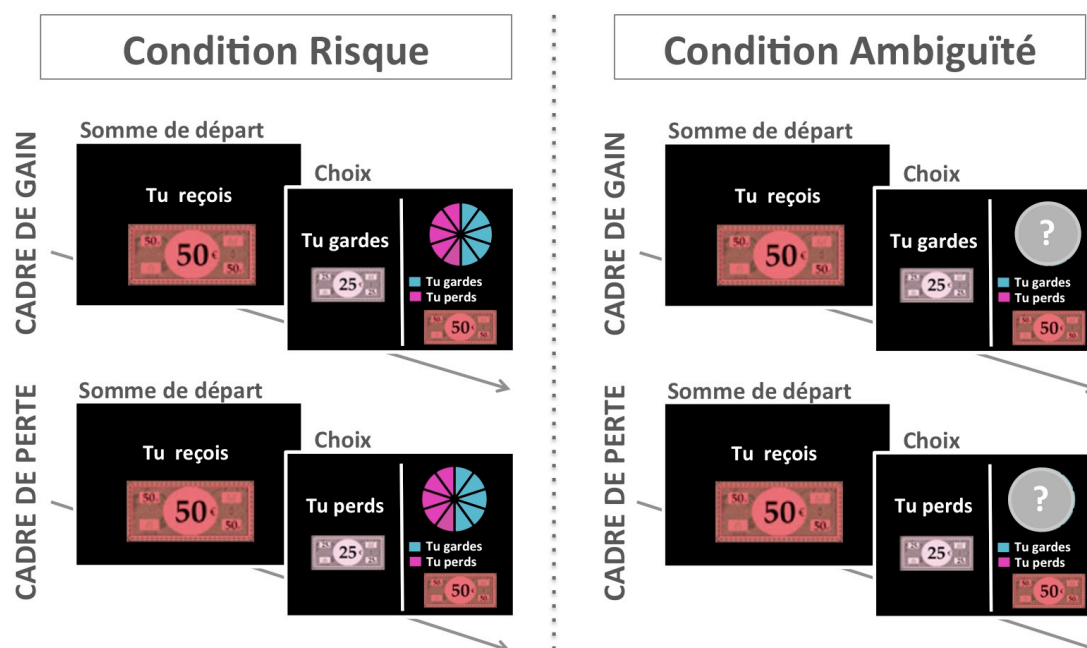


Figure 40 : Déroulement d'un essai : exemples de choix entre l'option sûre et l'option risquée, présentés en version gain et en version perte, en condition risque et en condition ambiguë. L'option sûre permet soit de garder (version gain) soit de perdre (version perte) une partie de la somme de façon certaine. Les deux versions (gain versus perte) sont mathématiquement équivalentes et les options sûres et risquées possèdent la même valeur espérée. L'option risquée correspond à une roue de la fortune dans laquelle le niveau de risque est représenté par la proportion de cases mauves et bleues (condition risque), ou n'est pas connue (condition ambiguë).

L'ensemble des 48 essais était proposé à chacun des participants dans un ordre pseudo-randomisé, deux items équivalents (perte versus gain) ne pouvant pas être présentés de façon consécutive.

## RÉSULTATS

### Effet du cadre selon le niveau d'incertitude et la part de la somme de départ potentiellement conservée

Afin de déterminer si le nombre de choix de la roue de la fortune variait selon le niveau d'incertitude, le cadre de présentation et la part de la somme de départ potentiellement préservée, nous avons réalisé une analyse de variance à mesures répétées (ANOVA) sur le nombre de choix de la roue, avec les 2 niveaux d'incertitude (Risque versus Ambiguïté), les 2 cadres de présentation (Gain versus Perte) et les 3 parts de la somme de départ (30% ; 50% ; 70%) comme facteurs intra-sujets.

Dans un premier temps, l'ANOVA révèle un effet principal du cadre de présentation,  $F(1,36) = 60.18, p < .001, \eta_p^2 = .63$ , indiquant que les participants choisissent plus souvent la roue de la fortune lorsque le problème est formulé en termes de perte qu'en termes de gain  $F(2,120) = 1073.14, p < .001, \eta_p^2 = .94$  [ $M (\%) \pm SD$  : Perte :  $50.3 \pm 18.52$  ; Gain :  $32.28 \pm 17.06$ ]. De même, l'ANOVA révèle un effet principal du niveau d'incertitude,  $F(1,36) = 9.68, p < .01, \eta_p^2 = .21$ , tel que la roue de la fortune est plus souvent choisie dans la condition à risque que dans la condition ambiguë [ $M (\%) \pm SD$  : Risque :  $46.09 \pm 21.03$ ; Ambiguïté :  $36.48 \pm 16.38$ ].

De façon intéressante, l'interaction entre le cadre et le niveau d'ambiguïté ne parvient pas à atteindre le seuil de significativité,  $F(1,36) = 2.05, p = .16, \eta_p^2 = .05$ , révélant ainsi la persistance de l'effet du cadre de présentation quel que soit le niveau d'incertitude. Pour supporter l'existence de l'effet du cadre dans la condition risque comme dans la condition ambiguë, nous avons analysé le nombre de choix de la roue dans les cadres de gain et de perte pour les niveaux d'incertitude. Cette analyse complémentaire révèle que les participants choisissent davantage la roue pour la version perte que pour la version gain dans la condition risque,  $t(36) = 5.95, p < .001, d = 1.98$  [ $M (\%) \pm SD$  : Perte :  $56.7 \pm 20.75$  ; Gain :  $35.4 \pm 26.3$ ] comme dans la condition ambiguë,  $t(36) = 5.04, p < .001, d = 1.68$  [ $M (\%) \pm SD$  : Perte :  $43.8 \pm 20.94$  ; Gain :  $29.1 \pm 16$ ]. Afin de préciser la direction des préférences selon le cadre et le niveau d'incertitude, nous avons ensuite réalisé des tests  $t$  avec 50% comme valeur de référence, correspondant par définition à la neutralité des choix (i.e. point d'indifférence entre l'option sûre et la roue de la fortune) (cf. Figure 41A). Dans la condition Risque, les participants présentent une préférence pour l'option sûre dans la version Gain,  $t(36) = 3.37, p < .001, d = 1.12$  et une préférence pour la roue de la fortune pour la version Perte,  $t(36) = 1.98, p < .05, d = .66$ . Au contraire, dans la condition Ambiguïté, les participants préfèrent l'option sûre quel que soit le cadre de présentation [Gain :  $t(36) = 7.93, p < .001$  ; Perte :  $t(36) = 1.79, p < .05$ ].

Par ailleurs, l'ANOVA révèle une interaction croisée entre le niveau d'ambiguïté et la part de la somme de départ conservée dans l'option sûre,  $F(2,72) = 85.16, p < .001, \eta_p^2 = .70$ . Les analyses post-hoc (i.e. valeurs de  $p$  corrigée par Bonferroni) suggèrent que dans la condition Risque, les participants choisissent plus souvent la roue de la fortune lorsque l'option sûre correspond à 70% de la somme de départ que pour 50%,  $t(36) = 3.87, p < .01, d = 1.29$ , ou 30%,  $t(36) = 3.17, p < .05, d = 1.06$  [ $M (\%) \pm SD$  : 70% :  $60.36 \pm 36.46$  ; 50% :  $39.18 \pm 33.26$  ; 30% :  $38.73 \pm 36.19$ ]. A l'inverse, le nombre de choix de la roue dans la condition Ambiguïté diminue avec l'augmentation la part de la somme de départ conservée dans l'option sûre : les participants choisissent plus souvent la roue de la fortune lorsque l'option

sûre correspond à 70% de la somme de départ que pour 50%,  $t(36) = 3.95, p < .01, d = 1.32$ , ou 30%,  $t(36) = 14.7, p < .001, d = 4.90$  [ $M (\%) \pm SD$  : 70% :  $10.36 \pm 22.01$  ; 50% :  $22.97 \pm 28.09$  ; 30% :  $76.12 \pm 29.98$ ] (cf. Figure 41B). Enfin l'ANOVA ne révèle d'interaction ni entre le cadre et la part de la somme de départ conservée dans l'option sûre,  $F < 1$ , ni d'interaction triple entre le cadre, le niveau d'incertitude et la part de la somme de départ conservée dans l'option sûre,  $F(2,72) = 1.12, p = .33$  ns,  $\eta_p^2 = .05$ .

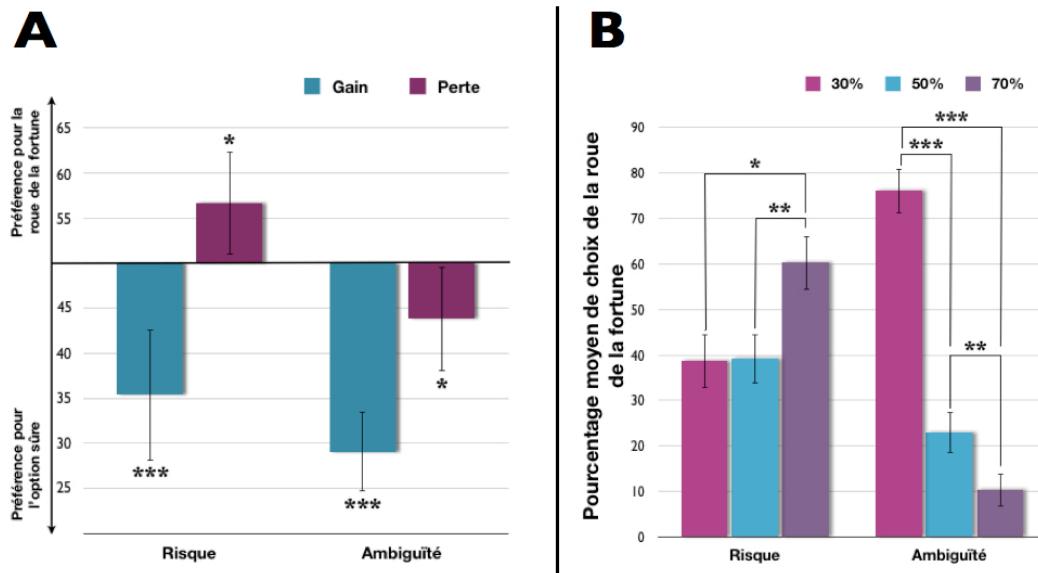


Figure 41 : A) Pourcentage d'essais dans lesquels les participants choisissent la roue de la fortune selon le cadre (gain versus perte) et le niveau d'incertitude (risque versus ambiguïté). Dans la condition risque, les sujets présentent un effet du cadre classique en étant aversifs au risque en version gain et preneurs de risque en version perte. Dans la condition ambiguë en revanche, les sujets présentent une aversion au risque quelque soit le cadre de présentation B) Pourcentage d'essais dans lesquels les participants choisissent la roue de la fortune selon le niveau d'incertitude (risque versus ambiguïté) et la part de la somme de départ conservée dans l'option sûre (30, 50 et 70%). Alors que le nombre de choix risqué est supérieur pour les fortes probabilités de gain en condition risque, la prise de risque diminue avec l'espérance mathématique de l'option sûre dans la version ambiguë. Les barres d'erreurs correspondent à un intervalle de confiance de 95%. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$  ; \*\*\*  $p < .001$ .

## Analyse des essais contrôles

Afin de vérifier l'engagement des participants dans la tâche, et leur capacité à opter pour les alternatives avantageuses, nous avons étudié leurs réponses préférentielles sur les essais contrôles dans lesquels les valeurs espérées de l'option sûre et de l'option risquée n'étaient plus équivalentes. Nous avons ainsi pu distinguer les choix risqués avantageux des choix désavantageux. Lorsque le choix risqué est avantageux (i.e. 90% de chances de garder l'intégralité de la somme de départ), la totalité des participants optent majoritairement pour l'option risquée [ $M \pm SD$  sur 6 choix risqués :  $5.84 \pm .50$ ] alors qu'ils choisissent majoritairement l'option sûre [ $M \pm SD$  sur 6 choix risqués :  $.19 \pm .40$ ] pour les items dans lesquels l'option risquée est désavantageuse (i.e. 10% de chances de garder l'intégralité de la somme de départ). Ils choisissent ainsi plus souvent l'option risquée lorsqu'elle est avantageuse que lorsqu'elle s'avère désavantageuse,  $t(37) = 50.85, p < .001, d = 16.72$ .



## DISCUSSION

Tout l'enjeu de cette étude était de préciser l'influence du niveau d'information sur les choix des individus en clarifiant l'impact potentiel de l'aversion à l'ambiguïté sur l'effet du cadre de présentation. Notre étude dévoile deux principaux résultats : 1) Quel que soit le cadre de présentation, les participants montrent une nette préférence pour l'option sûre lorsqu'elle est opposée à une roue de la fortune ambiguë. 2) Toutefois, si l'effet du cadre persiste quel que soit le niveau d'incertitude, l'ambiguïté de la roue conduit à un basculement des choix préférentiels des individus, d'un effet du cadre bidirectionnel en condition risque vers un effet du cadre unidirectionnel en condition d'ambiguïté.

En accord avec de nombreuses études, les participants sont aversifs face à l'ambiguïté : ils choisissent moins souvent la roue de la fortune dans la condition ambiguïté que dans la condition risque (Camerer & Weber, 1992; Ellsberg, 1996; Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; Pulford & Colman, 2007b). Ce premier résultat confirme que les adultes préfèrent une situation clairement définie à une option ambiguë qui pourrait pourtant être plus avantageuse. Le manque d'information semble évoquer une réponse émotionnelle conduisant l'individu à rejeter automatiquement une option ambiguë.

Par ailleurs, nos données répliquent l'impact de la présentation en termes de gain ou de perte en soulignant l'émergence d'un effet du cadre de présentation dans la prise de décision à risque (Cassotti et al., 2012; De Martino et al., 2006; Kahneman & Tversky, 1984; Tversky & Kahneman, 1981). Lorsque les sujets disposent d'informations sur les probabilités, ils sont aversifs aux risques en version gain et preneurs de risque en version perte, présentant ainsi un effet du cadre classique. À l'inverse, quand les probabilités associées à la roue de la fortune sont masquées, les participants montrent à première vue une aversion à l'ambiguïté quel que soit le cadre, préférant l'option sûre pour le cadre de perte comme pour le cadre de gain. Ce résultat paraît en accord avec les études antérieures attestant d'une aversion à l'ambiguïté dans le domaine des gains comme dans le domaine des pertes (Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; Smith et al., 2002).

Pour autant, malgré l'existence d'une aversion à l'ambiguïté quel que soit le cadre, la présentation en termes de gain ou de perte affecte également les choix des participants dans la condition ambiguïté. En effet, l'absence d'interaction entre le cadre et le niveau d'incertitude souligne l'existence d'un effet du cadre de présentation en condition risque comme en condition ambiguïté. Ainsi, même en l'absence d'information sur les probabilités associées, le nombre de choix de la roue de la fortune connaît une augmentation entre les

cadres de perte et de gain comparable à celle de la condition risque. Cette sensibilité au cadre de présentation dans les situations ambiguës rejoint les conclusions de Reyna (2012) confirmant la préservation de l'effet du cadre malgré le retrait de l'information probabiliste (voir aussi Ho et al., 2002; Kahn & Sarin, 1988).

Cependant, notre recherche étend les résultats antérieurs en précisant la forme de cet effet du cadre selon le niveau d'incertitude. L'étude des déviations par rapport à une valeur de référence correspondant à la neutralité face au risque, nous a en effet permis d'examiner de façon plus approfondie les différents profils de réponse en fonction du niveau d'ambiguïté et du cadre de présentation. Alors que les participants présentent un effet du cadre bidirectionnel dans la condition risque (i.e. aversion au risque en version gain et propension au risque en version perte), ils présentent un effet du cadre unidirectionnel dans la condition ambiguïté démontrant une bascule vers une position plus extrême, sans renversement des préférences (i.e. préférence plus forte pour l'option sûre en cadre de gain comparé au cadre de perte). En accord avec les perspectives des modèles du double processus, ce basculement d'un effet du cadre bidirectionnel à un effet du cadre unidirectionnel suggère que l'aversion à l'ambiguïté induise une tendance générale à éviter une option associée à un manque d'information en la considérant comme une issue particulièrement aversive. De plus, la perspective d'une perte sûre déclencherait une réponse émotionnelle forte conduisant l'individu à choisir l'option certaine moins souvent en dépit de sa confrontation à une option ambiguë.

Une interprétation alternative pourrait cependant être avancée. La persistance d'un effet du cadre dans des situations où le degré d'incertitude est maximal pourrait suggérer que les participants infèrent les probabilités précédemment rencontrées sur les roues de la fortune en condition risque dès lors qu'ils font face aux essais comportant une ambiguïté. Toutefois, l'interaction croisée entre le niveau d'ambiguïté et la part de la somme de départ potentiellement conservée dans l'option sûre atteste de la mise en place de stratégies décisionnelles distinctes entre les conditions risque et ambiguïté. Alors que les participants préfèrent l'option risquée pour des probabilités de gain importantes dans la condition à risque, la proportion de choix risqués diminue considérablement avec la part de la somme de départ conservée dans l'option sûre en condition ambiguë. Or, l'équivalence mathématique de l'option sûre et de la roue de la fortune implique que la part de la somme de départ proposée dans l'option sûre soit équivalente à la probabilité de gain de la roue sur un plan mathématique. Ainsi, cette interaction conteste l'éventualité d'une inférence des probabilités précédemment rencontrées sur les roues de la fortune lors de l'apparition d'une ambiguïté.

De façon regrettable, la présente étude se restreint à des situations de choix entre une option sûre et une roue de la fortune totalement ambiguë. Or, les situations de prise de décision rencontrées dans la vie quotidienne n'impliquent pas nécessairement l'absence totale d'informations probabilités mais plus souvent un manque partiel d'information. Des situations d'ambiguïté partielle ayant été introduites dans la littérature (e.g. estimation d'une plage de probabilités potentielles) (Levy et al., 2010; Tymula et al., 2012), de futures investigations semblent nécessaires pour évaluer l'impact d'une ambiguïté partielle sur l'effet du cadre de présentation.

En conclusion, notre étude souligne la robustesse de l'effet d'aversion à l'ambiguïté. Bien que les choix des individus soient sensibles à l'effet du cadre de présentation quel que soit le niveau d'incertitude, la conclusion d'une persistance de l'effet du cadre en condition ambiguë doit être nuancée : si l'aversion à l'ambiguïté ne suffit pas à neutraliser l'effet du cadre, elle conduit toutefois à un basculement des choix préférentiels des individus, d'un effet du cadre bidirectionnel en condition risque vers un effet du cadre unidirectionnel en condition d'ambiguïté. A travers l'exemple emblématique de l'effet du cadre, cette recherche appuie la nécessité de considérer l'impact incontournable du niveau d'incertitude sur les stratégies décisionnelles des individus.

Etude

2

a & b

# Développement des comportements d'exploration spontanée de l'inconnu :

*Evidence d'une aversion à l'ambiguïté similaire chez les adolescents et les adultes*

Osmont, A., Houdé, O., Moutier, S. & Cassotti, M (En préparation). Do adolescents show a greater tolerance of ambiguity? Development of ambiguity aversion using the Ellsberg paradox.

*L'aversion à l'ambiguïté, qui conduit l'individu à rejeter systématiquement les situations associées à un manque d'information, constitue l'un des biais les plus documentés dans le domaine de la prise de décision. Bien qu'une réduction de l'aversion à l'ambiguïté pendant l'adolescence ait récemment été avancée pour rendre compte de l'augmentation des conduites à risque caractéristiques de cette période, la trajectoire développementale fine de ce phénomène reste une question en suspens. Afin de mieux comprendre l'origine de la prise de risque des adolescents, tout l'enjeu de cette étude était d'étudier la mise en place de l'aversion à l'ambiguïté au cours du développement. Deux études ont ainsi été réalisées auprès de 304 enfants, adolescents et jeunes adultes ayant complété une adaptation de l'étude princeps d'Ellsberg. Notre première étude suggère que les adolescents apparaissent aussi aversifs que les adultes face à une situation d'ambiguïté totale. Seuls les enfants présentent un nombre de choix ambigus plus important que les adultes, reflétant une diminution avec l'âge du nombre de réponses en accord avec les principes logiques de Savage plutôt qu'une réelle préférence pour les situations ambiguës. Par ailleurs, la deuxième étude vient conforter la présence d'une aversion à l'ambiguïté aussi marquée chez les adolescents que chez les adultes y compris dans des situations d'ambiguïté partielle. La réunion de ces deux études contribue à définir l'aversion à l'ambiguïté comme une stratégie intuitive apparaissant progressivement au début de l'adolescence et conduit à remettre en question l'attrait des adolescents pour l'ambiguïté comme facteur explicatif de leur engagement dans des prises de risque ambiguës.*

Au quotidien, la plupart de nos choix sont associés à des conséquences incertaines. Si notre connaissance des probabilités relatives à chacune des options représente un indice essentiel pour guider nos décisions, de telles informations permettant une prise de décision avec évaluation des risques sont rarement disponibles. En effet, les situations de prise de décision les plus fréquentes sont généralement effectuées dans un contexte où l'évaluation des risques est impossible et sont alors qualifiées d'ambigües. Les comportements d'exploration spontanée face à l'inconnu constituent donc un domaine d'étude incontournable supportant l'existence d'une tendance systématique de l'individu à préférer une situation clairement définie par des probabilités à une situation ambiguë pourtant susceptible de s'avérer avantageuse (Ellsberg, 1961 ; Hsu et al., 2005; Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; Levy et al., 2010; Osmont et al., 2014; Pulford & Colman, 2007a, 2007b). Toutefois, si cet effet a souvent été reproduit chez l'adulte, sa trajectoire développementale reste une question en suspend. Ceci est d'autant plus regrettable que l'hypothèse d'une réduction de l'aversion à l'ambiguïté pendant l'adolescence a récemment été avancée pour rendre compte de l'augmentation des conduites à risque caractéristiques de cette période (Tymula et al., 2012). Afin de mieux comprendre l'origine de la prise de risque des adolescents, tout l'enjeu de cette étude est d'étudier la mise en place de cette stratégie d'aversion à l'ambiguïté au cours du développement.

---

## Etude 2a

### **Développement des comportements d'exploration spontanée de l'inconnu dans le cadre d'une ambiguïté totale**

---

#### **INTRODUCTION**

Imaginez que dans le cadre d'une décision thérapeutique, les médecins vous proposent une alternative entre deux traitements médicaux : un traitement A associé à 45% de chance de succès (situation à risque), et un traitement expérimental B pour lequel les chances de succès sont inconnues (situation ambiguë). Le phénomène d'aversion à l'ambiguïté conduira une majorité d'entre nous à préférer le traitement A au traitement B, qui pourrait néanmoins s'avérer plus efficace que le premier. La nature « irrationnelle » de cette préférence systématique a été démontrée par Ellsberg (1961) en réponse à une approche purement rationnelle de la prise de décision selon laquelle l'individu, face à une alternative ambiguë, attribuerait aux différents événements des probabilités subjectives basées sur la

représentation qu'il se fait de la situation (Loewenstein et al., 2008; Pulford & Colman, 2007b). Rappelons qu'Ellsberg parvint à réfuter cette idée d'une attribution de probabilités subjectives grâce à un paradigme ingénieux consistant à présenter deux urnes se distinguant sur leur niveau d'incertitude : l'urne I contenant 100 boules rouges ou noires dans des proportions inconnues (situation ambiguë) et l'urne II contenant exactement 50 boules rouges et 50 noires (situation à risque). Recevant 100\$ s'ils tiraient au hasard une boule de la couleur demandée, les participants devaient alors choisir entre les deux urnes pour tirer une boule au hasard. D'après le principe d'invariance des théories normatives de la décision, préférer l'urne II (situation à risque) à l'urne I (situation ambiguë) pour tirer une boule rouge, revient à attribuer à la couleur rouge une probabilité inférieure à 50% dans l'urne I (i.e. : moins de 50 boules rouges dans l'urne I donc plus de 50 boules noires). Si les boules noires deviennent gagnantes, il devient alors logique de préférer à l'inverse l'urne I (situation ambiguë) à l'urne II (situation à risque). Or, la plupart des participants préfère l'urne risquée à l'urne ambiguë quelle que soit la couleur gagnante témoignant ainsi d'une tendance systématique à préférer une situation risquée à une situation ambiguë.

Bien que de nombreuses recherches aient été dévouées à la confirmation de la robustesse de cet effet (Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; Osmont et al., 2014; Smith et al., 2002) ainsi qu'à la mise en évidence de sa nature émotionnelle (Hsu et al., 2005; Osmont et al., 2014; Pulford & Colman, 2007b), aucune à notre connaissance n'a déterminé sa trajectoire développementale de l'enfance à l'âge adulte. Quelques études ont évalué le degré de tolérance face à l'ambiguïté à différents âges du développement. Harrington, Block, & Block (1978) relèvent par exemple l'existence précoce d'une intolérance à l'ambiguïté dès l'âge de 3 ans et demi en utilisant des situations d'exploration et un index d'anxiété face à un environnement non prévisible et peu structuré. Pour autant, le lien direct entre le degré de tolérance à l'ambiguïté et l'aversion à effectuer un choix ambigu reste discutable. Il nous semble essentiel de différencier la tolérance à l'ambiguïté de la préférence pour une option ambiguë. Tester l'aversion à l'ambiguïté d'un individu revient à lui proposer une option ambiguë opposée à une option risquée ou sûre. Il semble dès lors envisageable pour un individu de tolérer l'ambiguïté d'une situation sans pour autant la préférer à une proposition plus clairement définie.

A ce jour, une seule étude a spécifiquement testé l'existence de l'aversion à l'ambiguïté chez des adolescents âgés de 12 à 17 ans (Tymula et al., 2012). Les auteurs relèvent une aversion à l'ambiguïté moins marquée que chez les adultes. En effet, les adolescents comparés aux adultes présentent une plus forte tendance à accepter une option ambiguë, leur degré d'aversion à l'ambiguïté ne semblant pas influencé par le niveau d'ambiguïté de la

situation. Ces résultats conduisent les auteurs à avancer l'hypothèse d'un lien entre le profil développemental de l'aversion à l'ambiguïté et le phénomène de prise de risque rencontré chez les adolescents. La plus grande tolérance des adolescents face aux situations associées à des conséquences ambiguës pourrait rendre compte de leur engagement exacerbé dans des conduites à risque en favorisant l'exploration de leur environnement, mécanisme d'apprentissage essentiel à cette période. Toutefois, le constat d'une augmentation de la tolérance face à l'ambiguïté à l'adolescence restant peu exploré, il nous semble essentiel de confirmer et de préciser la trajectoire de ce biais décisionnel. Notons par ailleurs que l'évaluation de l'aversion à l'ambiguïté dans l'étude de Tymula et al. (2012) n'est pas strictement comparable au phénomène décrit par Ellsberg (1961). Alors que la tâche princeps des urnes implique l'opposition d'une option ambiguë et d'une option risquée, leur étude repose sur la comparaison d'une option sûre et d'une option associée à un manque d'information. Enfin, l'étendue des âges considérés dans le groupe d'adolescents (i.e. 12 à 17 ans) ne permet pas d'exclure des distinctions plus fines entre des pré-adolescents et des adolescents plus avancés.

Tout l'objectif de notre étude est ainsi d'obtenir une mesure claire d'aversion à l'ambiguïté au cours du développement grâce à l'adaptation de l'étude princeps d'Ellsberg (1961) de la sortie de l'enfance, jusqu'à l'adolescence et l'âge adulte. Trois hypothèses concernant la trajectoire développementale peuvent être avancées sur la base des différents modèles du développement cognitifs présentés dans l'introduction de cette thèse. 1) Premièrement, les modèles traditionnels décrivant le développement de l'enfant comme le passage progressif d'une pensée intuitive à une pensée logique (Piaget & Inhelder, 1974; 1996) suggèrent une diminution avec l'âge de la sensibilité aux biais décisionnels tels que l'aversion à l'ambiguïté. 2) A l'inverse, selon les modèles postulant le développement conjoint des systèmes intuitif (système 1) et analytique (système 2) (De Neys & Vanderputte, 2011; Houdé, 2013, 2014; Jacobs & Potenza, 1991; Reyna, 2012; Reyna & Ellis, 1994), l'hypothèse d'une mise en place progressive de l'aversion à l'ambiguïté avec l'âge peut également être avancée. Les compétences logico-mathématiques nécessaires à la résolution de cette tâche (i.e. intuition des probabilités et compréhension de la notion de hasard) étant acquise à la sortie de l'enfance (Acredolo et al., 1989; Kuzmak & Gelman, 1986; Schlottmann, 2001), les pré-adolescents pourraient s'avérer moins aversifs à l'ambiguïté que les adultes en raison d'une absence de réponse automatique face au manque d'information, heuristique susceptible de court-circuiter l'analyse logique de la situation. 3) Enfin, l'hypothèse d'une plus grande tolérance des adolescents face à l'ambiguïté pour rendre compte de leurs prises de risque (Tymula et al., 2012) suggère un développement de l'aversion à l'ambiguïté selon une courbe en « U », caractérisée par un niveau minimal au milieu de l'adolescence.

## MÉTHODE

### Participants

Quatre-vingt dix participants ont été recrutés pour cette première étude : un groupe de 30 enfants âgés de 10-11 ans scolarisés en classe de CM2 d'une école primaire de la région parisienne [ $M \pm SD$  :  $10.26 \pm .45$ , dont 16 filles], un groupe de 30 adolescents de 14-16 ans scolarisés en classe de 3<sup>e</sup> dans un collège de la région parisienne [ $M \pm SD$  :  $14.3 \pm .59$ , dont 15 filles] et un groupe de 30 jeunes adultes de 20-25 ans recrutés au sein de l'Institut de Psychologie de l'Université Paris Descartes [ $M \pm SD$  :  $20.93 \pm 1.98$ , dont 14 filles]. Le tableau 2 récapitule les caractéristiques de la population pour chaque groupe d'âge. Les analyses statistiques ne révèlent aucune différence significative concernant la répartition des genres entre les trois groupes d'âge,  $\chi^2_{(2)} = .27$ ,  $p = .88$  ns. Les participants ne possèdent aucune connaissance particulière concernant les études sur le raisonnement et la prise de décision. Une autorisation parentale était préalablement signée par le tuteur légal de chaque participant mineur.

*Tableau 2 : Distribution et caractérisation de l'échantillon dans les 3 groupes d'âges.*

	<i>N</i>	<i>Femme (Homme)</i>	<i>Age (Moyenne <math>\pm</math> Ecart-type)</i>
<b>Adolescents 10-11 ans</b>	30	16 (14)	$10.26 \pm .45$
<b>Adolescents 14-16 ans</b>	30	15 (15)	$14.3 \pm .59$
<b>Adultes 20-25 ans</b>	30	14 (16)	$20.93 \pm 1.98$

### Procédure et matériel

Une tâche de prise de décision sous ambiguïté adaptée de la tâche des urnes d'Ellsberg (1961) a été présentée à l'ensemble des participants. Deux modifications majeures ont été apportées à la tâche originale afin de l'adapter aux enfants. Tout d'abord, contrairement à la tâche papier-crayon d'Ellsberg (1961), les participants étaient placés devant des urnes réelles et répondaient à l'écrit aux questions posées. Par ailleurs, l'absence d'impact de la taille des urnes ayant été démontrée dans la littérature (Pulford & Colman, 2007b), le nombre total de boules dans chaque urne a été réduit de 100 à 10 pour s'adapter aux compétences logico-mathématiques des enfants.

Chaque participant était placé devant deux urnes cylindriques opaques d'un diamètre de 11 centimètres et d'une hauteur de 18 centimètres, contenant des boules vertes et rouges de 25 millimètres de diamètre. Les informations suivantes étaient ensuite données



oralement aux participants : « l'urne A contient exactement 5 boules rouges et 5 boules vertes (situation à risque) et l'urne B contient 10 boules rouges ou vertes dans des proportions inconnues (situation ambiguë). Toutes les distributions de boules rouges et vertes sont possibles dans l'urne B. L'urne B peut contenir de 0 à 10 boules rouges et de 0 à 10 boules vertes, sachant que la somme des boules rouges et vertes est égale à 10 » (cf. Figure 42)

Dans un premier temps, les participants devaient parier sur l'une des deux urnes pour tirer au sort une boule, sachant que les rouges sont les boules gagnantes : « sachant que tu gagnes 10 euros si une boule rouge est tirée au hasard, avec quelle urne préfères-tu jouer ? ». Les participants devaient entourer l'urne de leur choix dont le contenu était rappelé à l'écrit sur la feuille de réponse. Des justifications concernant leurs réponses étaient ensuite demandées afin de vérifier leur compréhension des consignes et de mieux comprendre les stratégies mises en jeu (estimation de probabilités dans l'urne ambiguë, évitement de l'inconnu, réponses au hasard). Enfin, les participants devaient indiquer à quel point ils étaient sûrs de leurs réponses sur une échelle de confiance en 7 points (i.e. 1 : pas du tout sûr ; 7 : tout à fait sûr). Dans un deuxième temps et après avoir explicitement précisé aux participants que le contenu des urnes restait inchangé, ces derniers devaient à nouveau parier sur l'une des deux urnes pour le tirage sachant que les vertes devenaient les boules gagnantes : « sachant que tu gagnes maintenant 10 euros si une boule verte est tirée au hasard, avec quelle urne préfères-tu jouer ? ». La procédure de réponse était strictement la même que pour le premier tirage mais les participants devaient également indiquer leur représentation du contenu des urnes : « Quel est selon toi le contenu des deux urnes ? ». L'ordre de présentation des deux urnes était par ailleurs contrebalancé : Pour la moitié des participants, l'urne A correspondait à l'urne risquée et pour l'autre moitié à l'urne ambiguë.

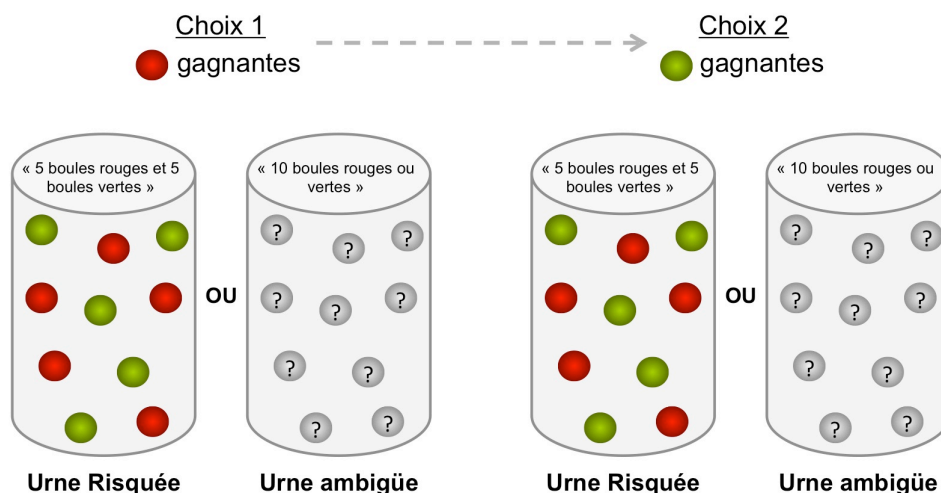


Figure 42 : Dispositif expérimental : deux urnes sont présentées aux participants : l'urne A (risque) contenant 5 boules vertes et 5 boules rouges, et l'urne B (ambiguïté) contenant 10 boules rouges ou vertes dans une proportion indéterminée.

Le renversement de consigne (e.g. boules rouges puis boules vertes gagnantes) permettait ici de tester la présence d'une aversion à l'ambiguïté dans les réponses des participants. La préférence pour l'urne risquée lorsque les boules rouges sont gagnantes implique une estimation du nombre de boules rouges dans l'urne ambiguë inférieure à 5 (soit un nombre de boules vertes supérieur à 5 dans l'urne B). Ainsi, 3 profils de réponses peuvent être distingués. 1) Une persistance de la préférence pour l'urne risquée malgré le renversement de la consigne (Risqué-Risqué) révèle l'expression d'une stratégie d'aversion à l'ambiguïté. 2) Au contraire, le choix répété de l'urne ambiguë (Ambigu-Ambigu) dans les deux tirages suggère une propension pour les situations ambiguës. Enfin, des choix distincts entre les deux tirages (Ambigu-Risqué ou Risqué-Ambigu) rejoignent la logique prédite par les modèles normatifs, ne signant ni une tendance à éviter ni une tendance à préférer l'ambiguïté, mais suggérant une capacité à attribuer des probabilités subjectives à l'ambiguïté.

## RÉSULTATS

### Analyse de la répartition des choix risqués versus ambigus

Dans un premier temps nous avons testé la distribution du nombre de réponses risquées versus ambiguës selon l'âge pour le premier choix des participants (i.e. avant le renversement de consigne) (cf. tableau 3).

*Tableau 3 : Proportions de choix risqués versus ambigus (Nombre total et Pourcentage) dans les 3 groupes d'âge.*

<i>N (%)</i>	<b>N</b>	<b>Choix risqués</b>	<b>Choix ambigus</b>
Enfants 10-11 ans	30	15 (50%)	15 (50%)
Adolescents 14-16 ans	30	25 (83.33%)	5 (16.67%)
Adultes 20-25 ans	30	25 (83.33%)	5 (16.67%)

Cette analyse révèle une distribution des choix risqués versus ambigus différente dans les trois groupes d'âge,  $\chi^2_{(2)} = 11.08$ ,  $p = .003$ . La distribution des choix risqués versus ambigus ne diffère pas entre les adolescents et les adultes,  $\chi^2_{(1)} = 0$ ,  $p = 1$  ns. Cependant, les enfants présentent une préférence pour l'urne risquée par rapport à l'urne ambiguë moins marquée que les adolescents,  $\chi^2_{(1)} = 7.5$ ,  $p = .006$ , et les adultes,  $\chi^2_{(1)} = 7.5$ ,  $p = .006$ . En effet, les adolescents,  $\chi^2_{(1)} = 7.5$ ,  $p = .006$ , et les adultes,  $\chi^2_{(1)} = 7.5$ ,  $p = .006$ , font plus de choix risqués que de choix ambigus alors que cette différence n'est pas significative chez les enfants,  $\chi^2_{(1)} = 0$ ,  $p = 1$  ns.

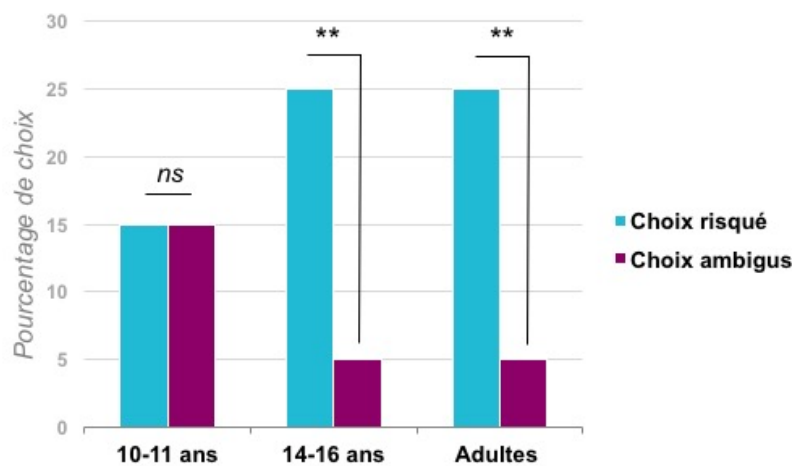


Figure 43 : Pourcentage de choix risqués vs ambiguës selon et l'âge (pour le choix 1).

### Analyse des profils de réponses

Nous avons ensuite calculé pour chaque groupe d'âge le nombre de participants dont les réponses correspondent aux quatre profils établis sur la base des deux choix consécutifs: 1) un profil d'aversion à l'ambiguïté (i.e. Risqué-Risqué), 2) un profil de propension pour l'ambiguïté (i.e. Ambigu-Ambigu), 3) un profil en accord avec la bascule prédite par la logique de Savage et correctement justifié (i.e. Ambigu-Risqué ou Risqué-Ambigu justifié en évoquant l'hypothèse d'une même couleur dominante pour les deux choix) et enfin 4) un profil en accord avec la bascule prédite par la logique de Savage mais sans justification correcte (i.e. Ambigu-Risqué ou Risqué-Ambigu non justifié) (cf. tableau4).

La distribution des effectifs dans les quatre profils de réponses diffère selon l'âge [ $p = .003$ , *test exact de Fisher*]. Les choix des enfants se distribuent différemment de ceux des adolescents [ $p = .05$ , *test exact de Fisher*] et des adultes [ $p < .001$ , *test exact de Fisher*]. En revanche, la distribution des profils de réponse n'est pas différente entre les adolescents et les adultes [ $p = .54$  ns, *test exact de Fisher*].

Tableau 4 : Nombre de participants (effectif et pourcentage) répondant en accord avec chacun des profils dans les 3 groupes d'âges.

Effectif (%)	N	Profil Aversion Risqué-Risqué	Profil Propension Ambigu-Ambigu	Profil Logique Justifiés A-R ou R-A	Profil Logique non justifié A-R ou R-A
Enfants 10-11 ans	30	11 (36.67%)	6 (20%)	3 (10%)	10 (33.33%)
Adolescents 14-16 ans	30	21 (70%)	5 (16.67%)	–	4 (13.33%)
Adultes 20-25 ans	30	24 (80%)	5 (16.67%)	–	1 (3.33%)

Afin de caractériser ces différences, nous avons comparé les effectifs entre les trois groupes d'âge pour chacun des profils de réponse. Alors que les enfants sont moins nombreux à présenter un profil d'aversion à l'ambiguïté que les adolescents [ $p = .02$ , *test exact de Fisher*] et que les adultes [ $p < .001$ , *test exact de Fisher*], aucune différence significative n'apparaît entre les adolescents et les adultes [ $p = .55$  ns, *test exact de Fisher*]. Les analyses ne révèlent en revanche aucune différence développementale concernant les réponses témoignant d'une propension face à l'ambiguïté [ $p = 1$  ns, *test exact de Fisher*]. Enfin, bien que nombre de participants donnant une réponse logique accompagnée d'une justification correcte ne dépende pas de l'âge des participants [ $p = .10$  ns, *test exact de Fisher*], le nombre total de réponses logiques varie entre les 3 groupes [ $p < .001$ , *test exact de Fisher*]. De façon surprenante, les enfants sont plus nombreux à proposer des réponses en accord avec les principes logiques que les adolescents [ $p = .02$ , *test exact de Fisher*] et les adultes [ $p < .001$ , *test exact de Fisher*] alors que ces deux derniers groupes ne diffèrent pas entre eux [ $p = .35$  ns, *test exact de Fisher*]. Cependant, seulement 10% des enfants donnent une réponse logique correctement justifiée.

### Analyse des échelles de confiance

Afin d'examiner la confiance des enfants, des adolescents et des adultes selon leur choix (i.e. urne ambiguë versus urne risquée) nous avons réalisé deux ANOVAs sur les scores de confiance du premier et du deuxième choix avec les deux types de réponse (risque/ambiguïté) et l'âge comme facteurs catégoriels. Pour le choix 1 comme pour le choix 2, l'ANOVA révèle un effet de type de choix [Choix 1 :  $F(1,84) = 6.10$ ,  $p = .01$ ,  $\eta_p^2 = .07$  ; Choix 2 :  $F(1,84) = 6.70$ ,  $p = .01$ ,  $\eta_p^2 = .001$ ] tel que la confiance associée aux choix ambigus [ $M \pm SD$  : Choix 1 :  $4 \pm .32$  ; Choix 2 :  $3.99 \pm .30$ ] est inférieure à celle des choix risqués [ $M \pm SD$  : Choix 1 :  $4.91 \pm .18$  ; Choix 2 :  $4.91 \pm .18$ ]. En revanche l'ANOVA ne révèle pas d'effet de l'âge [Choix 1 :  $F < 1$  ; Choix 2 :  $F < 1$ ] ni d'interaction entre l'âge et le type de choix [Choix 1 :  $F < 1$  ; Choix 2 :  $F < 1$ ].

## DISCUSSION

Visant à étudier de la mise en place de l'aversion à l'ambiguïté au cours du développement, cette première étude souligne deux principaux résultats : 1) Les adolescents apparaissent aussi aversifs que les adultes face aux options ambiguës. 2) Seuls les enfants présentent un nombre de choix ambigus plus important que les adultes. 3) Cette

augmentation reflète une diminution avec l'âge du nombre de réponses en accord avec les principes logiques plutôt qu'une réelle préférence pour les situations ambiguës.

Dans un premier temps, nos données rejoignent une vaste littérature en confirmant l'existence d'une aversion à l'ambiguïté massive chez l'adulte (Ellsberg, 1961 ; Hsu et al., 2005; Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; Levy et al., 2010; Osmont et al., 2014; Pulford & Colman, 2007a, 2007b). En effet, dans cette adaptation du paradoxe d'Ellsberg (1961) les adultes choisissent dans 82% des cas l'urne clairement définie par des probabilités au détriment de l'urne ambiguë. Par ailleurs, notre étude confirme que cette préférence suffit à les conduire vers une stratégie en contradiction avec les principes de la logique formelle puisque 80% des adultes persistent sur le choix de l'urne ambiguë malgré le renversement de la consigne.

De façon plus novatrice, la présente étude nous renseigne sur la trajectoire développementale de ce biais décisionnel en suggérant une aversion moins marquée chez les enfants de 10-11 ans que chez les adolescents et les adultes. En effet, les enfants présentent 58% de choix risqués contre 78% et 82% pour les adolescents et les adultes, et sont seulement 37% à présenter un profil de réponse en accord avec l'aversion à l'ambiguïté (i.e. rejet de l'option ambiguë quelle que soit la couleur gagnante). Pour autant, les enfants ne présentent pas de réelle attirance pour les situations ambiguës : seulement 20% d'entre eux présentent une préférence persistante pour l'urne ambiguë contre 17% pour les adolescents et les adultes. Étonnement, la diminution du nombre d'enfants présentant un profil d'aversion à l'ambiguïté se reporte sur les profils de réponse en accord avec la logique malgré la rareté des justifications pleinement satisfaisantes. En effet, les réponses logiques sont dominantes chez les enfants (43%) alors qu'elles restent très rares chez les adolescents (13%) et les adultes (3%). Ce résultat contre-intuitif est en contradiction avec les conceptions classiques du développement de l'intelligence qui supposent une augmentation progressive des capacités logico-mathématiques et une tendance croissante à favoriser les processus analytiques avec l'âge (Kokis, Macpherson, Toplak, West, & Stanovich, 2002; Piaget & Inhelder, 1974; 1996). Selon nous, l'une des hypothèses explicatives envisageables s'inscrit dans les modélisations du double processus qui supposent le développement conjoint de deux systèmes : la construction de nouvelles compétences logico-mathématiques (système 2 logique/analytique) associée à une augmentation du nombre de stratégies heuristiques disponibles (système 1 intuitif/heuristique) (De Neys & Vanderputte, 2011; Houdé, 2013; Jacobs & Potenza, 1991). Dans la même perspective, la *Fuzzy trace theory* (Reyna, 1995, 2012; Reyna & Ellis, 1994) explique l'augmentation de la sensibilité au cadre de présentation des options avec l'âge par une augmentation du nombre et de la fréquence d'utilisation des stratégies intuitives en parallèle du développement des compétences logico-

mathématiques. Ainsi, les réponses logiques des enfants pourraient refléter l'absence de la stratégie intuitive consistant à rejeter systématiquement une option ambiguë et venant court-circuiter l'analyse rationnelle de la situation. Au contraire, la dominance de cette stratégie d'aversion à l'ambiguïté chez les adolescents et les adultes impliquerait la gestion de la compétition entre ces deux systèmes. Notons que d'autres soutiennent également le développement progressif de stratégies intuitives au cours du développement (De Neys & Vanderputte, 2011; Jacobs & Potenza, 1991). A travers une tâche de jugement de probabilités, De Neys et Vanderputte (2011) soulignent de meilleures performances chez les enfants de 5 ans que chez les enfants de 8 ans dans le cadre de situations de conflit entre deux stratégies heuristiques et probabilistes. Pour les auteurs, cette diminution des performances avec l'âge en situation de conflit doit être envisagée comme une augmentation de la nécessité de résister à l'utilisation de stratégies heuristiques de plus en plus dominantes (i.e. multiplication de conceptions stéréotypées) et non comme une réduction des compétences logiques. Cependant, dans notre étude, une telle conclusion reste discutable dans la mesure où une explication alternative découlant de la procédure expérimentale peut facilement être avancée. En effet, au vu de la rareté des justifications correctes, nous ne pouvons écarter que l'augmentation des réponses en accord avec la logique de Savage chez les enfants reflète une simple tendance à aller dans le sens des réponses qu'ils pensent correspondre aux attentes de l'expérimentateur.

Avant tout, la question de la spécificité du comportement des adolescents face à l'ambiguïté représente un enjeu décisif dans la compréhension des conduites à risque caractéristiques de cette période et apparaît ainsi fondamentale dans le cadre de ce travail de thèse. Rappelons que selon de Tymula et al. (2012), le constat d'une aversion à l'ambiguïté réduite à l'adolescence contribue à favoriser leur engagement dans des situations impliquant des risques indéterminés. Pourtant, nos résultats ne rejoignent pas cette hypothèse mais révèlent une aversion à l'ambiguïté aussi prononcée chez les adolescents que chez les adultes. Aucune différence développementale n'est identifiée entre ces deux groupes d'âge concernant le nombre de choix ambigus et la distribution des profils de réponse.

A première vue, ces résultats nous conduisent à rejeter l'hypothèse d'une plus grande tolérance à l'ambiguïté chez les adolescents. Cependant, notre étude se limite à des situations d'ambiguïté totale alors que l'étude de Tymula et al. (2012), implique la manipulation d'un gradient d'ambiguïtés partielles. Dès lors, l'introduction d'un gradient d'ambiguïté dans notre procédure semble essentielle pour éliminer l'éventualité d'une spécificité des adolescents restreinte aux situations d'ambiguïté partielle.

## **Etude 2b**

# **Impact du niveau d'ambiguïté sur les comportements d'exploration spontanée de l'inconnu au cours du développement**

## **INTRODUCTION**

Les résultats de l'Etude 1 semblent remettre en question l'hypothèse d'une aversion à l'ambiguïté réduite chez les adolescents expliquant leur engagement exacerbé dans des conduites à risque (Tymula et al., 2012). Comme nous venons de l'évoquer, une différence méthodologique décisive apparaît entre notre étude et celle de Tymula et al. (2012). Alors que l'étude 2a implique la confrontation d'une option risquée et d'une option totalement ambiguë, Tymula et al. (2012) ont manipulé le niveau d'ambiguïté des options mais seulement dans le cadre d'une ambiguïté partielle (i.e. ensemble plus ou moins étendu de probabilités envisageables). Ainsi, les adolescents pourraient être plus tolérants face à des situations d'ambiguïté partielle mais aussi aversifs que les adultes dans des situations d'ambiguïté totale. Notons que les résultats de Tymula et al. (2012) suggèrent que l'augmentation du niveau d'ambiguïté des options entraîne une augmentation de l'aversion à l'ambiguïté des adultes alors que les adolescents ne semblent pas sensibles au niveau d'ambiguïté.

Ainsi, l'objectif de cette deuxième étude est de préciser le comportement des adolescents face à une ambiguïté de niveau variable en adaptant à nouveau la tâche des urnes de Ellsberg (1961). Cette manipulation nous paraît d'autant plus importante que les situations d'ambiguïté partielle sont présentes dans la vie quotidienne au même titre que les situations d'ambiguïté totale. Si la prise de risque des adolescents résulte bien d'une aversion à l'ambiguïté moins marquée à cet âge, alors ces derniers devraient présenter moins de réponses aversives face aux situations d'ambiguïté partielle et ce quel que soit le niveau d'ambiguïté alors que les adultes devraient être d'autant plus aversifs que le niveau d'ambiguïté augmente (Tymula et al., 2012). Au contraire, si comme le présume l'étude 2a, l'aversion à l'ambiguïté constitue une stratégie intuitive d'ores et déjà installée à l'adolescence, aucun effet de l'âge ne devrait être constaté concernant le nombre de réponses aversives selon le gradient d'ambiguïté.

## MÉTHODE

### Participants

Deux cent quatorze participants ont été recrutés dans cette deuxième étude : un groupe de 101 adolescents de 13-15 ans scolarisés en classe de 4<sup>e</sup> dans un collège de la région parisienne [ $M \pm SD$  :  $13.36 \pm .64$ , dont 66 filles] et un groupe de 113 jeunes adultes de 19-25 ans recrutés au sein de l'Institut de Psychologie de l'Université Paris Descartes [ $M \pm SD$  :  $20.66 \pm 1.81$ , dont 85 filles]. Les participants étaient aléatoirement assignés à l'une des 5 conditions expérimentales. Le tableau 5 récapitule la distribution des âges et des genres dans chacune des cinq conditions. Les analyses statistiques ne révèlent aucune différence significative concernant la répartition des genres entre les deux groupes d'âge,  $\chi^2_{(1)} = 2.05$ ,  $p < .15$  ns, ni entre les 5 conditions expérimentales chez les adolescents,  $\chi^2_{(4)} = 1.95$ ,  $p > .50$  ns, et les adultes,  $\chi^2_{(4)} = .89$ ,  $p > .90$  ns. Les participants ne possèdent aucune connaissance particulière concernant les études sur le raisonnement et la prise de décision. Une autorisation parentale était préalablement signée par le tuteur légal de chaque participant mineur.

*Tableau 5 : Distribution et caractérisation de l'échantillon dans les 5 conditions expérimentales*

	Condition	N	Femme (Homme)	Age (Moyenne $\pm$ Ecart-type)
<b>Adolescents 13-15 ans</b>  N = 101	<b>A = 100%</b>	22	16 (6)	13.77 $\pm$ .62
	<b>A = 80%</b>	20	14 (6)	13.1 $\pm$ .31
	<b>A = 60%</b>	23	14 (9)	13.26 $\pm$ .54
	<b>A = 40%</b>	16	11 (5)	13.25 $\pm$ .44
	<b>A = 20%</b>	20	11 (9)	13.35 $\pm$ .48
<b>Adultes 19-25 ans</b>  N = 113	<b>A = 100%</b>	23	18 (5)	20.39 $\pm$ 1.77
	<b>A = 80%</b>	23	16 (7)	21 $\pm$ 1.91
	<b>A = 60%</b>	23	18 (5)	20.75 $\pm$ 2.16
	<b>A = 40%</b>	23	18 (5)	20.77 $\pm$ 1.66
	<b>A = 20%</b>	21	15 (6)	20.71 $\pm$ 1.65

### Procédure et matériel

La procédure expérimentale reste strictement équivalente à l'étude 2a à l'exception de la manipulation du niveau d'ambiguïté de l'Urne B. Les sujets étaient aléatoirement assignés à l'une des cinq conditions suivantes : ambiguïté totale (i.e. 10 boules de couleur indéterminée), ambiguïté partielle de 80% (i.e. 8 boules de couleur indéterminée sur 10), ambiguïté partielle de 60% (i.e. 6 boules de couleur indéterminée sur 10), ambiguïté



partielle de 40% (i.e. 4 boules de couleur indéterminée sur 10) et ambiguïté partielle de 20% (i.e. 2 boules de couleur indéterminée sur 10). Dans la condition d'ambiguïté totale, la consigne donnée aux participants était exactement la même que pour l'étude 2a. Pour les 4 conditions d'ambiguïté partielle, seule la description du contenu de l'urne B différait (cf. Figure 44) : A = 80% : « L'urne B contient 1 boule rouge, 1 boule verte et 8 boules rouges ou vertes dans une proportion inconnue » ; A = 60% : « L'urne B contient 2 boules rouges, 2 boules vertes et 6 boules rouges ou vertes dans une proportion inconnue » ; A = 40% : « L'urne B contient 3 boules rouges, 3 boules vertes et 4 boules rouges ou vertes dans une proportion inconnue » et A = 20% : « L'urne B contient 4 boules rouges, 4 boules vertes et 2 boules rouges ou vertes dans une proportion inconnue ».

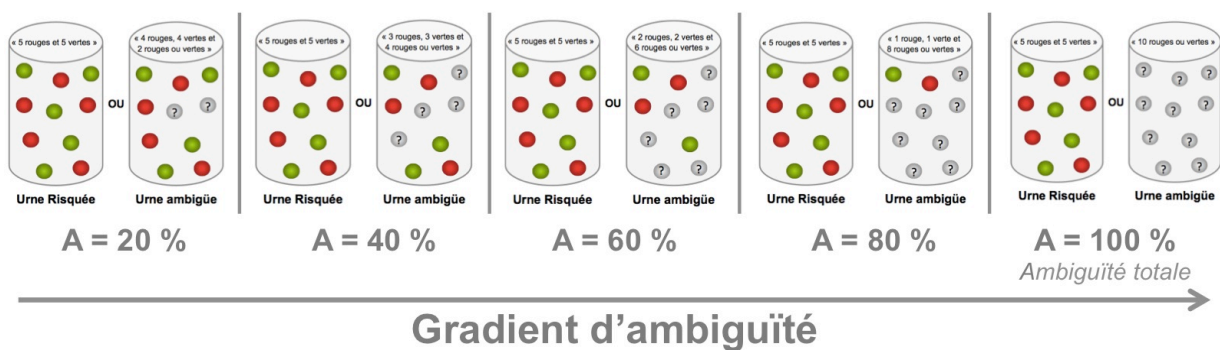


Figure 44 : Description du contenu des urnes (i.e. risquée et ambiguë) dans les 5 niveaux d'ambiguïté.

## RÉSULTATS

### Analyse de la répartition des choix risqués versus ambigus (Choix 1)

Pour chaque niveau d'ambiguïté, nous avons testé la distribution du nombre de choix initiaux risqués versus ambigus selon l'âge (cf. tableau 6). Cette analyse ne révèle aucune différence dans la distribution des choix des adolescents et des adultes quel que soit le niveau d'ambiguïté [A = 20% :  $\chi^2_{(1)} = .09$ ,  $p = .77$  ns ; A = 40% :  $\chi^2_{(1)} = .06$ ,  $p = .81$  ns ; A = 60% :  $\chi^2_{(1)} = 2.42$ ,  $p = .12$  ns ; A = 80% :  $\chi^2_{(1)} = .61$ ,  $p = .43$  ns ; A = 100% :  $\chi^2_{(1)} = 2.22$ ,  $p = .14$  ns]. En effet, les adolescents comme les adultes font plus de choix risqués que de choix ambigus [Adolescents :  $\chi^2_{(1)} = 20.19$ ,  $p < .001$  ; 80.20% risqués versus 19.80% ambigus ; Adultes :  $\chi^2_{(1)} = 14.54$ ,  $p < .001$  ; 75.73% risqués versus 24.27% ambigus] et cette répartition ne semble modulée par le niveau d'ambiguïté dans aucun des groupes d'âge [Adolescents :  $\chi^2_{(4)} = 2.43$ ,  $p = .66$  ; Adultes :  $\chi^2_{(4)} = 3.58$ ,  $p = .47$ ].

Tableau 6: Proportions de choix initiaux risqués versus ambigus (Nombre total et Pourcentage) dans les 5 niveaux d'ambiguïté et pour les 2 groupes d'âge.

N (%)	A = 20 %		A = 40 %		A = 60 %		A = 80 %		A = 100 %	
	Choix risqués	Choix ambigus	Choix risqués	Choix ambigus	Choix risqués	Choix ambigus	Choix risqués	Choix ambigus	Choix risqués	Choix ambigus
Adolescents	16 (80%)	4 (20%)	12 (75%)	4 (25%)	17 (73.91%)	6 (26.09%)	16 (80%)	4 (20%)	20 (90.91%)	2 (9.09%)
Adultes	16 (76.19%)	5 (23.81%)	18 (78.26%)	5 (21.74%)	21 (91.30%)	2 (8.70%)	16 (69.57%)	7 (30.43%)	17 (73.91%)	6 (26.09%)

### Analyse des profils de réponses

Comme dans l'étude 2a, nous avons calculé pour chaque groupe d'âge le nombre de participants dont les réponses correspondent aux quatre profils établis sur la base des deux choix consécutifs: 1) un profil d'aversion à l'ambiguïté (i.e. Risqué-Risqué), 2) un profil de propension pour l'ambiguïté (i.e. Ambigu-Ambigu), 3) un profil en accord avec la bascule prédite par la logique de Savage et correctement justifié (i.e. Ambigu-Risqué ou Risqué-Ambigu justifié en évoquant l'hypothèse d'une même couleur dominante pour les deux choix) et enfin 4) un profil en accord avec la bascule prédite par la logique mais sans justification correcte (i.e. Ambigu-Risqué ou Risqué-Ambigu non justifié) (cf. tableau 7).

Tableau 7 : Nombre de participants (effectif et pourcentage) répondant en accord avec chacun des profils dans les 3 groupes d'âges.

	Condition	N	Profil Aversion Risqué-Risqué	Profil Propension Ambigu-Ambigu	Profil Logique Justifiés A-R ou R-A	Profil Logique non justifié A-R ou R-A
<b>Adolescents</b>  N = 101	<b>A = 100%</b>	22	17 (77.27%)	—	1 (4.55%)	4 (18.18%)
	<b>A = 80%</b>	20	16 (80%)	1 (5%)	2 (10%)	1 (5%)
	<b>A = 60%</b>	23	17 (76.91%)	4 (17.39%)	1 (4.35%)	1 (4.35%)
	<b>A = 40%</b>	16	10 (62.5%)	3 (18.75%)	2 (12.5%)	1 (6.25%)
	<b>A = 20%</b>	20	15 (75%)	2 (10%)	2 (10%)	1 (5%)
<b>Adultes</b>  N = 113	<b>A = 100%</b>	23	17 (73.91%)	5 (21.74%)	1 (4.35%)	—
	<b>A = 80%</b>	23	18 (78.26%)	4 (17.39%)	—	1 (4.35%)
	<b>A = 60%</b>	23	20 (86.96%)	2 (8.70%)	1 (4.35%)	—
	<b>A = 40%</b>	23	18 (78.26%)	4 (17.39%)	—	1 (4.35%)
	<b>A = 20%</b>	21	17 (80.95%)	3 (14.29%)	—	1 (4.76%)

La distribution des effectifs dans les quatre profils de réponses diffère selon l'âge [ $p = .04$ , *test exact de Fisher*]. Afin de caractériser ces différences, nous avons comparé les effectifs entre les deux groupes d'âge pour chacun des profils de réponse. Pour les profils témoignant d'une aversion et d'une propension à l'ambiguïté, aucune différence significative n'apparaît entre les adolescents et les adultes [Profil aversif :  $p = .32$  ns, Profil de propension :  $p = .30$  ns,

*test exact de Fisher*]. En outre, contrairement aux réponses logiques non justifiées [ $p = .12$  ns, *test exact de Fisher*], le nombre total de réponses logiques accompagnées de justifications correctes est plus important chez les adolescents que chez les adultes [ $p = .05$ , *test exact de Fisher*]. Enfin, la répartition des effectifs dans les quatre profils de réponses ne semble modulée par le niveau d'ambiguïté ni chez les adolescents [ $p = .57$  ns, *test exact de Fisher*], ni chez les adultes [ $p = .94$  ns, *test exact de Fisher*].

### Analyse des échelles de confiance

Afin d'examiner la confiance des adolescents et des adultes selon leur choix (i.e. urne ambiguë versus urne risquée) et le niveau d'ambiguïté, nous avons réalisé deux ANOVA sur les scores de confiance du premier et du deuxième choix avec les deux types de réponse (risque/ambiguïté), le niveau d'ambiguïté ( $A = 20\%$  ;  $A = 40\%$  ;  $A = 60\%$  ;  $A = 80\%$  et  $A = 100\%$ ) et l'âge (adolescents/adultes) comme facteurs catégoriels. Pour le choix 1 comme pour le choix 2 l'ANOVA ne révèle pas d'effet du type de choix [Choix 1 :  $F(1,194) = 1.80$ ,  $p = .18$ ,  $\eta_p^2 = .01$  ; Choix 2 :  $F(1,194) = 2.83$ ,  $p = .09$ ,  $\eta_p^2 = .01$ ], du niveau d'ambiguïté [Choix 1 :  $F < 1$  ; Choix 2 :  $F < 1$ ], ni d'interaction entre l'âge et le niveau d'ambiguïté [Choix 1 :  $F(4,194) = 1.17$ ,  $p = .33$ ,  $\eta_p^2 = .02$  ; Choix 2 :  $F(4,194) = 1.59$ ,  $p = .18$ ,  $\eta_p^2 = .02$ ], l'âge et le type de choix [Choix 1 :  $F < 1$  ; Choix 2 :  $F < 1$ ], le niveau d'ambiguïté et le type de choix [Choix 1 :  $F < 1$  ; Choix 2 :  $F < 1$ ], ni d'interaction triple [Choix 1 :  $F < 1$  ; Choix 2 :  $F < 1$ ]. En revanche, les analyses révèlent un effet principale de l'âge pour le deuxième choix [ $F(1,194) = 8.31$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .041$ ] et une tendance pour le choix 1 [ $F(1,194) = 3.05$ ,  $p = .08$ ,  $\eta_p^2 = .016$ ] tel que les scores de confiance des adultes [ $M \pm SD$  : Choix 1 :  $4.75 \pm .15$  ; Choix 2 :  $4.74 \pm .14$ ] sont supérieurs à ceux des adolescents [ $M \pm SD$  : Choix 1 :  $4.37 \pm .16$  ; Choix 2 :  $4.12 \pm .16$ ].

## DISCUSSION

L'objectif de cette deuxième étude était de tester la généralisation du constat d'une aversion à l'ambiguïté similaire entre les adolescents et les adultes à des situations d'ambiguïté partielle. Les résultats viennent conforter celle de la première étude en ne révélant aucune différence développementale sur le nombre de choix ambigus quel que soit le niveau d'incertitude et en confirmant l'absence de sensibilité aux gradient d'incertitude chez les adolescents comme chez les adultes. Même pour les situations d'ambiguïté minimale, les deux groupes de participants présentent une forte tendance à favoriser les options clairement définies par des probabilités (i.e. ambiguïté de 20% : adolescents : 82% de choix risqués ; adultes : 79% de choix risqués). De même, le nombre de participant

présentant un profil d'aversion et de propension à l'ambiguïté ne diffère pas entre les adolescents et les adultes.

Notre étude est donc en contradiction avec les travaux de Tymula et al. (2012) qui suggéraient une spécificité du comportement de l'adolescent face à l'ambiguïté des situations de prise de décision. Face à un choix entre une option sûre et une option associée à des probabilités partiellement masquées, les adolescents présentaient une tendance plus importante que les adultes à choisir des options ambiguës et cette tendance ne semblait pas modulée par le niveau d'ambiguïté. Au contraire, le nombre de choix sûrs augmentait avec le degré d'ambiguïté de la situation chez les adultes (Tymula et al., 2012). Selon nous, outre les spécificités méthodologiques, ces divergences peuvent être attribuées aux âges considérés. Comme le suggère notre première étude, la tendance à éviter les situations associées à un manque d'information s'installerait progressivement au début de l'adolescence et serait encore peu marquée à la sortie de l'enfance. Dès lors, étant donnée l'étendue très large des âges considérés dans le groupe d'adolescents (i.e. 12 à 17 ans), la réduction de l'aversion à l'ambiguïté observée à l'adolescence dans l'étude de Tymula et al. (2012) pourrait être circonscrite aux participants les plus jeunes. Enfin, une limite doit être avancée concernant l'échantillon de notre étude 2b. Bien que la répartition des genres ne diffère pas entre nos différentes conditions expérimentales et nos deux groupes d'âge, notre échantillon se caractérise par une majorité de femmes. Si à notre connaissance aucune spécificité liée au genre n'a été avancée dans la littérature, nous ne pouvons exclure l'implication de ce déséquilibre dans les divergences entre nos résultats et la littérature.

## CONCLUSION

La réunion de ces deux études contribue à définir l'aversion à l'ambiguïté comme une stratégie intuitive apparaissant progressivement au début de l'adolescence et conduisant les individus à rejeter de façon systématique les options associées à un manque d'information. Par ailleurs, elle souligne un résultat essentiel dans le cadre de ce travail de thèse : contrairement aux conclusions avancées dans la littérature (Tymula et al., 2012), les adolescents semblent aussi aversifs que les adultes face aux situations ambiguës. Ces deux études nous conduisent ainsi à remettre en question l'attrait des adolescents pour l'ambiguïté comme facteur explicatif de leur engagement dans des prises de risque ambiguës. L'étude des comportements d'exploration de situations ambiguës dans le cadre d'une tâche évaluant spécifiquement l'engagement dans la prise de risque semble ainsi essentielle à la compréhension des processus sous-tendant les conduites à risque des adolescents.

## Impact du niveau d'information sur la prise de risque à l'adolescence :

*Argument en faveur d'une difficulté spécifique à inférer le niveau de risque des options sur la base de leur propre expérience*

Osmont, A., Bouhours, L., Moutier, S., Simon, G., Houdé, O. & Cassotti, M. (under review). How does the information level regarding risk influence adolescent risk-taking engagement? *Journal of Behavioral Decision-Making*.

*De nombreuses études suggèrent que les adolescents parviennent à opter pour des choix avantageux lorsqu'ils détiennent les informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque. Pour autant, ces derniers peinent à faire des choix adaptés en l'absence de telles informations sur le risque. Malgré ces résultats contrastés, peu d'études renseignent sur l'impact du niveau d'information sur la prise de risque des adolescents à travers une comparaison directe entre des situations dites informées et non informées. Afin de clarifier l'impact du niveau d'information sur l'engagement dans des conduites à risque, 87 adolescents de 14-16 ans et jeunes ont complété une nouvelle adaptation de la BART dans laquelle ils devaient collecter un maximum de points en gonflant des ballons de résistance variable tout en évitant de les faire exploser. En outre, cette adaptation implique la manipulation du niveau d'information disponible en contrastant une condition « informé » et une condition « non-informé » nécessitant d'inférer le niveau de résistance des ballons sur la base des feedbacks reçus. Nos résultats démontrent que la disponibilité des informations concernant le niveau de risque suffit aux adolescents pour se montrer aussi performants que les adultes à l'issue du jeu. Toutefois, les adolescents de 14-16 ans présentent des difficultés à ajuster leur prise de risque à la résistance des ballons. Ainsi, notre étude suggère que la prise de risque exacerbée des adolescents résulterait davantage d'un déficit d'apprentissage basé sur les feedbacks, plutôt que d'une tendance générale à explorer les situations risquées ambiguës.*

## INTRODUCTION

L'adolescence est souvent associée à une probabilité accrue d'engagement dans des conduites à risque quotidiennes comme l'abus d'alcool, la conduite automobile dangereuse ou encore les relations sexuelles non protégées (Casey et al., 2008 ; Galvan et al., 2007; Spear, 2000; Steinberg, 2008; Steinberg & Monahan, 2007). Alors que la plupart des programmes de prévention consiste à transmettre des informations sur les risques de ces conduites et leurs conséquences négatives potentielles (Reyna & Farley, 2006), à notre connaissance peu d'études se sont directement intéressées à l'impact du niveau d'information concernant les risques sur la prise de risque des adolescents. Si les études suggèrent que les adolescents parviennent à faire des choix avantageux quand ils reçoivent des informations explicites sur le risque (Reyna & Farley, 2006), ils semblent toutefois présenter des difficultés de prise de décision en l'absence de telles informations (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2011; Crone & van der Molen, 2007). Ainsi, l'objectif de cette étude est d'examiner directement l'impact potentiel du niveau d'information sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque.

De nombreux travaux de psychologie expérimentale ont souligné l'existence de capacités de prise de décision comparables chez les adolescents et les adultes lorsque les informations sur le niveau de risque et les conséquences potentielles d'un choix sont directement disponibles (Falk & Wilkening, 1998; Reyna & Farley, 2006; Schlottmann, 2001; Van Leijenhorst et al., 2008). Par exemple, dès l'âge de 8 ans, les enfants sont capables au même titre que les adultes de considérer de façon conjointe les probabilités et les enjeux dans des situations de prise de décision (van Leijenhorst et al., 2008). A l'inverse, les adolescents présentent des difficultés à choisir parmi des options avantageuses et désavantageuses en l'absence de ces informations. A travers différentes adaptations de *Iowa Gambling Task*, de nombreuses études ont relevé un fort attrait des adolescents pour des options désavantageuses alors que les adultes parviennent à opter pour les options avantageuses au cours de la tâche (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2011; Crone & van der Molen, 2004; Crone & van der Molen, 2007; Hooper, Luciana, Conklin, & Yarger, 2004; Overman et al., 2004).

La réunion de ces études suggère que les adolescents sont capables d'estimer les probabilités et d'évaluer les conséquences potentielles d'un choix mais qu'ils rencontrent des difficultés à considérer et intégrer ces deux dimensions dès lors que ces informations ne

sont pas directement disponibles mais nécessitent d'être inférées sur la base de leur expérience.

Dans un ensemble d'études comportementales, van Duijvenvoorde et son équipe ont directement cherché à caractériser l'impact du niveau d'information sur la capacité des adolescents à faire des choix avantageux en contrastant par exemple les performances de participants âgés de 7 à 29 ans dans deux versions d'une tâche de prise de décision impliquant la réception de *feedbacks* : une version « informé » et une version « non-informé » (van Duijvenvoorde, Jansen, Bredman, & Huizenga, 2012). Dans une version « informé » de la *Gambling Game*, adaptée de l'*Iowa Gambling Task*, les participants recevaient comme consigne de collecter un maximum de points en sélectionnant à chaque essai une machine parmi quatre possibles, A, B, C et D. Comme dans la version classique de l'IGT, les quatre machines se distinguent sur l'ampleur des gains ainsi que sur l'ampleur et la fréquence des pertes, de façon à ce que les participants doivent éviter les machines désavantageuses à long terme (A et B) et opter pour les machines avantageuses pourtant moins attractives (C et D). Contrairement à la version « informé », ces 3 dimensions ne sont pas disponibles dans la version « non-informé », les participants devant les inférer progressivement sur la base des *feedbacks* obtenus au long de la tâche. Alors que tous les groupes d'âge montrent une préférence pour les machines avantageuses dans la condition « informé », les participants ne parviennent pas à opter pour les choix avantageux jusqu'à l'âge de 12 ans dans la condition « non-informé ». Les auteurs suggèrent alors que les capacités de mémoire de travail et de mémoire à long terme constitueraient des processus critiques dans l'apprentissage sur la base des *feedbacks* nécessaires dans la condition « non-informé » (van Duijvenvoorde et al., 2010; voir aussi van Duijvenvoorde et al., 2012).

Pour autant, une interprétation alternative face au défaut d'apprentissage observé en absence d'informations directement disponibles dans l'étude de van Duijvenvoorde et al. (2012) et dans les études précédentes utilisant l'IGT, pourrait résider dans l'hypothèse d'une plus grande tolérance des adolescents face à l'ambiguïté. Comme nous l'avons évoqué dans l'étude 2, une étude récente a en effet démontré que les adolescents s'avéraient moins aversifs à l'ambiguïté que les adultes, explorant plus fréquemment les options associées à un manque d'information (Tymula et al., 2012). En outre, d'autres arguments rejoignent cette hypothèse en révélant une tendance des adolescents à explorer plus spontanément les différentes options dans l'IGT, ce qui se traduit par une augmentation des stratégies consistant à changer d'option suite à un gain ou suite à une perte (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2011).

Bien que les résultats émanant de ces études soulignent le rôle du niveau d'information sur la prise de décision des adolescents, ces dernières ne permettent pas de déterminer si les adolescents présentent une difficulté à apprendre sur la base des *feedbacks* ou s'ils présentent une plus grande tolérance face à l'exploration de l'ambiguïté. Cette étude vise donc à étendre les précédentes investigations pour clarifier l'influence du niveau d'information sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque, en isolant un d'apprentissage sous-optimal d'une exploration accrue des situations ambiguës.

Ainsi, nous avons conçu une nouvelle adaptation de la *Balloon Analogue Risk Task* (Lejuez et al., 2002) inspirée de la *Balloon Emotional Learning Task* (Humphreys et al., 2013) en impliquant la manipulation du niveau d'information à travers deux conditions : une condition « informé » pour laquelle le niveau de risque est directement disponible et une condition « non-informé » pour laquelle le niveau de risque doit être inféré sur la base de l'expérience acquise au cours de la tâche. La BART fut initialement conçue pour mesurer la prise de risque des adolescents (Lejuez, Aklin, Zvolensky, et al., 2003) et des adultes (Lejuez, Aklin, Jones, et al., 2003; Lejuez et al., 2002). De nombreuses études ont ainsi confirmé que les performances à la BART étaient significativement liées aux autoévaluations d'engagement dans des conduites à risque quotidiennes (Cavalca et al., 2013; Dean, Sugar, Hellemann, & London, 2011; Lejuez, Aklin, Jones, et al., 2003; Lejuez, Aklin, Zvolensky, et al., 2003). Dans cette tâche, l'objectif des participants consiste à récolter un maximum de points en gonflant trois types de ballons aux seuils d'explosion variables (i.e. ballons à faible/moyenne/forte résistance). Ils peuvent alors sauver les points collectés à tout moment sachant que ces derniers seront perdus en cas d'explosion du ballon. La BART implique dès lors la mesure d'un comportement de prise de risque pour lequel, comme dans la plupart des situations quotidiennes, le risque est récompensé jusqu'à un certain point mais au delà s'accompagne de conséquences négatives.

La manipulation conjointe du niveau d'information (i.e. information versus absence d'information sur le niveau de risque des ballons) et du niveau de résistance des ballons nous permet ici d'avancer des prédictions distinctes selon les deux hypothèses explicatives de la prise de risque à l'adolescence précédemment évoquées. Si les adolescents présentent une plus grande tolérance face à l'exploration de situations ambiguës (Tymula et al., 2012), alors ils devraient présenter une augmentation de prise de risque en condition « non-informé » par rapport aux adultes quelle que soit la résistance des ballons. Au contraire, s'ils rencontrent des difficultés à inférer le niveau de risque associé au ballons sur la base des *feedbacks* dans la condition « non-informé », les adolescents devraient gonfler et exploser plus de ballons à faible résistance que les adultes et au contraire moins gonfler les ballons les plus résistants.



## MÉTHODE

### Participants

Quatre-vingt sept participants ont été recrutés pour la présente étude : un groupe de 45 adolescents de 14-16 ans scolarisés en classe de 3<sup>e</sup> dans un collège de Chartres et un collège de la région parisienne [ $M \pm SD$  :  $14.71 \pm .69$ , dont 25 filles] et un groupe de 42 jeunes adultes de 20-25 ans recrutés au sein de l'Université Paris Descartes [ $M \pm SD$  :  $21.86 \pm 1.53$ , dont 23 filles]. Une autorisation parentale était préalablement signée par le tuteur légal de chaque participant mineur. Chaque participant était aléatoirement assigné à l'une des deux conditions expérimentales : une condition « informé » et une condition « non-informé ». Le tableau 8 présente la distribution des âges et des genres dans chaque condition expérimentale et chaque groupe d'âge. Les analyses statistiques ne révèlent aucune différence significative concernant la répartition des genres dans les différents groupes,  $\chi^2_{(3)} = 1.84$ ,  $p = .61$  ns, ni de différence d'âge entre les conditions « informé » et « non-informé »,  $F < 1$ .

*Tableau 8 : Caractéristique et distribution de l'échantillon dans les 2 conditions expérimentales et les 2 groupes d'âge.*

	Condition	N	Femme (Homme)	Age (Moyenne $\pm$ Ecart-type)
<b>Adolescents 14-16 ans</b> N = 45	<b>Informé</b>	22	12 (10)	14.5 $\pm$ .07
	<b>Non-Informé</b>	23	8 (15)	14.9 $\pm$ .06
<b>Adultes 20-25 ans</b> N = 42	<b>Informé</b>	23	10 (13)	21.8 $\pm$ 1.6
	<b>Non-Informé</b>	19	9 (10)	21.9 $\pm$ 1.4

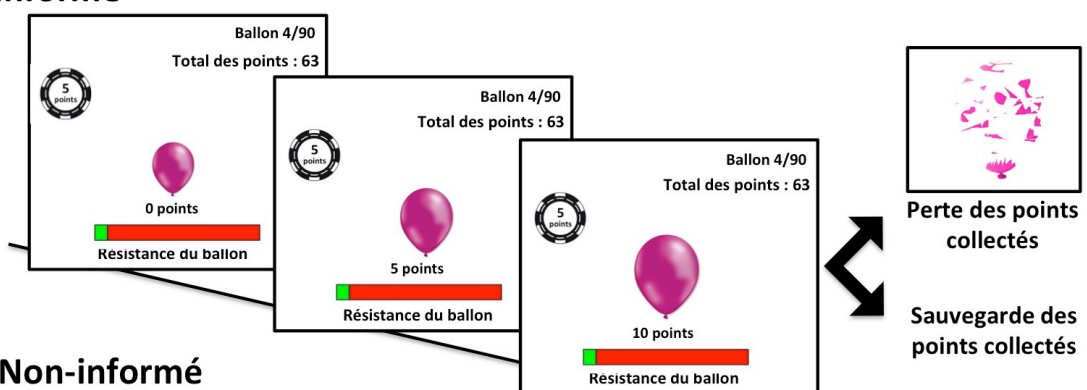
### Procédure et matériel

L'ensemble des participants a complété une nouvelle adaptation informatisée de la *Balloon Analogue Risk Task* (BART : Lejuez et al., 2002) et de la *Balloon Emotionnal Learning Task* (BELT : Humphreys et al., 2013). Cette adaptation a été conçue pour mesurer l'engagement dans la prise de risque en contrastant des situations avec informations sur le niveau de risque et des situations sans informations. Pour gagner le plus de points possibles, les participants doivent gonfler au maximum des ballons tout en évitant de les faire exploser.

Au début de chaque essai, un ballon est présenté au centre de l'écran (cf. Figure 45). Le participant est alors invité à gonfler ce ballon autant qu'il le souhaite pour gagner des jetons

de valeurs variables (i. e. 1, 5 et 10 points). Chaque clic gauche sur la souris entraîne une augmentation de la tâche du ballon et se voit récompensé par l'ajout d'un jeton supplémentaire (i.e. dont la valeur est inscrite à gauche de l'écran) dans une cagnotte temporaire. Le nombre de points collectés dans la cagnotte temporaire est inscrit en dessous de chaque ballon. Toutefois, le ballon peut exploser à tout moment. Si le participant gonfle le ballon au delà de son seuil d'explosion, l'explosion du ballon s'accompagne de la perte de l'ensemble des points collectés dans la cagnotte temporaire. Avant l'explosion, le participant peut alors choisir quand il le souhaite d'arrêter de gonfler le ballon en transférant les points de la cagnotte temporaire dans une banque définitive située en haut à droite de l'écran grâce à un clic droit. L'explosion d'un ballon ou le transfert des points dans la banque définitive conduit à l'apparition du ballon suivant. Au totale, 90 ballons de résistances variables sont présentés à chaque participant.

### Informé



### Non-informé

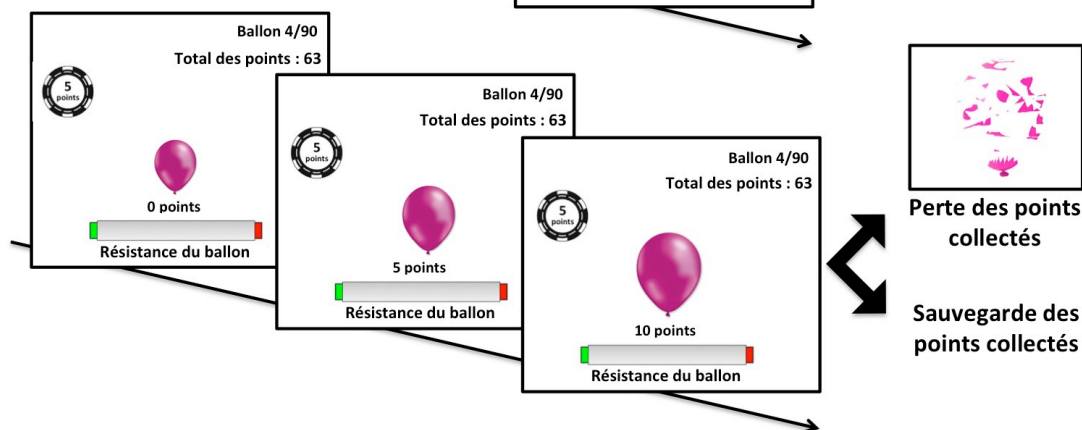


Figure 45 : Déroulement d'un essai dans les deux conditions expérimentales : condition « informé » et condition « non-informé ». Cet exemple correspond à un ballon de résistance faible associé à une récompense de 5 points par pression.

Comparé à la BART originale, nous avons manipulé le niveau de résistance des ballons. Trois couleurs (i.e. bleu, jaune et violet) ont été utilisées pour référer à trois niveaux distincts de résistance (i.e. résistance faible, résistance moyenne, résistance forte). Les ballons à résistance faible explosent aléatoirement entre 3 et 7 pressions, les ballons à

résistance moyenne entre 8 et 12 pressions et les ballons à résistance forte entre 13 et 17 pressions. Tous les participants étaient informés que chaque couleur référait à un niveau de résistance donné et la correspondance entre les couleurs et les niveaux de résistance étaient contrebalancés entre les participants.

Par ailleurs, deux niveaux d'information ont été manipulés. Dans la condition « informé », une jauge présentée en dessous de chaque ballon informait le participant sur le niveau de résistance du ballon (i.e. couleur rouge dominante pour les résistances faibles ; moitié rouge moitié vert pour les résistances moyennes et couleur verte dominante pour les résistances fortes). En utilisant la jauge, les participants n'avaient pas besoin d'inférer la correspondance entre les couleurs et les niveaux de résistance. Au contraire, dans la condition « non-informé », un cache gris venait masquer l'information portée par la jauge. Les participants devaient alors apprendre la correspondance entre les couleurs et les niveaux de résistance sur la base des *feedbacks* reçus au cours de la tâche.

Au total, 90 ballons étaient présentés. Les essais ont été distribués et ordonnés de façon randomisée au sein de 5 blocs en combinant les 3 niveaux de résistance (faible/moyenne/ forte) et les 3 ampleurs d'enjeux (1 / 5 / 10 points par pression).

## RÉSULTATS

Afin d'examiner l'engagement des participants dans la prise de risque au long de la tâche, nous avons focalisé nos analyses statistiques sur le nombre moyen de pressions (pumps), le nombre d'explosion et le nombre de points collectés en distinguant le début de la tâche (i.e. 18 premiers ballons ou 1er bloc) de la fin de la tâche (i.e. 18 derniers ballons ou 5e bloc). Ce contraste entre les premiers et les derniers essais de la tâche nous permet de distinguer les performances des participants avant apprentissage et après un apprentissage potentiel sur la base des *feedbacks*. Pour chacune de ces variables dépendantes, nous avons réalisé une analyse de variance à mesure répétée (ANOVA) avec l'âge (2 modalités : adolescents/adultes) et le niveau d'information (2 modalités : informé/non-informé) comme facteurs inter-sujets et la résistance du ballon (3 modalités : faible/moyenne/forte) comme facteurs intra-sujets.

## Analyse du nombre de pression (Pumps)

### Début du jeu : 18 premiers essais

L'ANOVA sur les 18 premiers essais révèle un effet principal du niveau de résistance indiquant une augmentation du nombre de pumps avec la résistance,  $F(2,166) = 209.81$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .72$ , mais pas d'effet principal du niveau d'information,  $F < 1$ . Par ailleurs, l'analyse ne montre pas d'effet principal de l'âge,  $F < 1$ , d'interaction entre l'âge et le niveau d'information,  $F < 1$ , d'interaction entre l'âge et la résistance,  $F < 1$ , ni d'interaction triple entre l'âge, la résistance et le niveau d'information,  $F(2,166) = 1.35$ ,  $p = .26$ ,  $\eta_p^2 = .02$ .

### Fin du jeu : 18 derniers essais

L'ANOVA sur les 18 derniers essais révèle un effet principal de la résistance,  $F(2,166) = 370.30$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .82$ , indiquant que le nombre de pumps augmente avec la résistance [ $M \pm SD$  : résistance faible :  $3.58 \pm 1.08$  ; résistance moyenne :  $7.08 \pm 1.53$  ; résistance forte :  $9.81 \pm 2.73$ ]. Cependant, nous ne relevons pas d'effet principal de l'âge,  $F(1,83) = 1.14$ ,  $p = .29$ ,  $\eta_p^2 = .01$ , ni du niveau d'information,  $F(1,83) = 1.57$ ,  $p = .21$ ,  $\eta_p^2 = .02$ . De façon intéressante, l'ANOVA révèle une interaction triple entre l'âge, la résistance et le niveau d'information,  $F(2,166) = 5.58$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .06$  (cf. Figure 46).

### Fin de la tâche (dernier bloc)

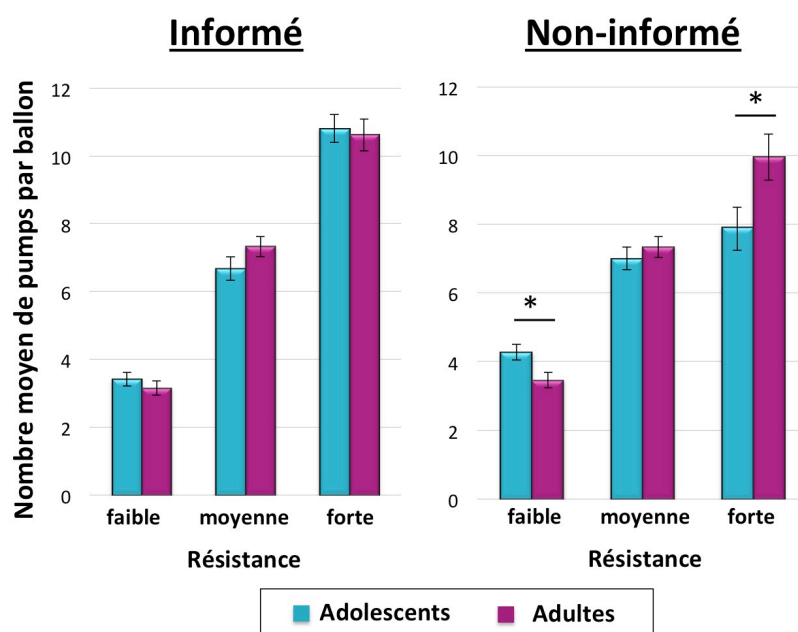


Figure 46: Nombre de pumps moyen par ballon à l'issue du jeu (18 derniers essais) selon la résistance et le niveau d'information. \*  $p < .05$

Afin de caractériser cette interaction triple, nous avons par la suite réalisé deux ANOVA séparées pour la condition « informé » et la condition « non-informé » avec l'âge

comme facteur inter-sujets et la résistance comme facteurs intra-sujets. Pour la condition « informé », l'ANOVA révèle un effet principal de la résistance,  $F(2,86) = 352.23$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .89$ , mais pas d'effet principal de l'âge,  $F < 1$ , ni d'interaction entre l'âge et la résistance,  $F(2,86) = 1.63$ ,  $p = .20$ ,  $\eta_p^2 = .04$ . Pour la condition « non-informé », on relève un effet principal de la résistance,  $F(2,80) = 96.27$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .71$ , mais pas d'effet principal de l'âge,  $F(1,40) = 1.44$ ,  $p = .24$ ,  $\eta_p^2 = 0$ . Cependant, l'ANOVA révèle une interaction entre l'âge et la résistance,  $F(2,80) = 7.46$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .16$ . Des test de  $t$  corrigés par Holm Bonferroni indiquent en effet que les adolescents gonflent plus les ballons à faible résistance que les adultes,  $t_{(40)} = 2.48$ ,  $p = .05$ ,  $d = .78$  [ $M \pm SD$  : Adolescents :  $4.27 \pm 1.09$  ; Adultes :  $3.46 \pm .99$ ] alors qu'ils gonflent moins les ballons à forte résistance que les adultes,  $t_{(40)} = 2.29$ ,  $p = .05$ ,  $d = .72$  [ $M \pm SD$  : Adolescents :  $7.91 \pm 2.83$  ; Adultes :  $9.96 \pm 2.94$ ]. Concernant les ballons à résistance moyenne, aucune différence développementale n'est relevée,  $t_{(40)} = .72$ ,  $p = .47$  ns [ $M \pm SD$  : Adolescents :  $6.99 \pm 1.65$  ; Adultes :  $7.33 \pm 1.34$ ].

### Synthèse de l'analyse des pumps

*L'effet développemental observé sur le nombre de pumps dépend du niveau d'information disponible. Dans la condition « informé », les adolescents comme les adultes ajustent le nombre de pumps à la résistance des ballons indiquée par la jauge. À l'inverse, dans la condition « non-informé », seuls les adultes ajustent le nombre de pumps dans la même mesure que dans la condition « informé ». Les adolescents, ne parviennent pas à ajuster les gonflements à la résistance des ballons à l'issue de la tâche (cf. Figure 46).*

## Analyse du nombre d'explosion

### Début du jeu : 18 premiers essais

L'ANOVA sur les 18 premiers essais indique un effet principal de la résistance,  $F(2,166) = 240.29$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .74$ , indiquant une diminution du nombre d'explosions avec l'augmentation de la résistance des ballons [ $M$  sur 6 ballons  $\pm SD$  : résistance faible :  $3.80 \pm 1.58$  ; résistance moyenne :  $1.51 \pm 1.18$  ; résistance forte :  $60 \pm .84$ ]. On relève également un effet principal du niveau d'information,  $F(1,83) = 8.86$ ,  $p < .01$ ,  $\eta_p^2 = .10$ , tel que les participants explosent plus de ballons dans la condition « non-informé » [ $M$  sur 6 ballons  $\pm SD$  :  $11.43 \pm 3.98$ ] comparé à la condition « informé » [ $M$  sur 6 ballons  $\pm SD$  :  $9.2 \pm 4.44$ ]. Par ailleurs, l'ANOVA ne révèle pas d'effet principal de l'âge,  $F(1,83) = 2.19$ ,  $p = .14$ ,  $\eta_p^2 = .03$ , ni d'interaction entre l'âge et le niveau d'information,  $F(1,83) = 2.42$ ,  $p = .12$ ,  $\eta_p^2 = .03$ , d'interaction entre l'âge et la résistance,  $F < 1$ , ni même d'interaction triple entre l'âge, le niveau d'information et la résistance,  $F(2,166) = 1.52$ ,  $p = .22$ ,  $\eta_p^2 = .02$ .

### Fin du jeu : 18 derniers essais

L'ANOVA sur les 18 derniers essais indique un effet principal de la résistance des ballons,  $F(2,166) = 46.65$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .36$ , tel que le nombre d'explosion diminue avec la résistance des ballons [ $M$  sur 6 ballons  $\pm SD$  :  $2.39 \pm 1.70$  ; résistance moyenne :  $1. \pm 1.23$  ; résistance forte :  $.68 \pm .84$ ] mais pas d'effet principal du niveau d'information,  $F(1,83) = 1.13$ ,  $p = .29$ ,  $\eta_p^2 = .01$ . En outre, on relève une interaction triple entre l'âge, la résistance et le niveau d'information,  $F(2,166) = 13.53$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .04$  (cf. Figure 47).

Afin de caractériser cette interaction triple, nous avons par la suite réalisé deux ANOVA séparées pour la condition « informé » et la condition « non-informé » avec l'âge comme facteur inter-sujets et la résistance comme facteurs intra-sujets. Dans la condition « informé », l'ANOVA indique un effet principal de la résistance,  $F(2,86) = 8.68$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .17$ , mais pas d'effet principal de l'âge,  $F < 1$ , ni d'interaction entre l'âge et la résistance,  $F < 1$ . Dans la condition « non-informé », l'ANOVA révèle un effet principal de la résistance,  $F(2,80) = 40.48$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .50$ , un effet principal de l'âge,  $F(1,40) = 4.03$ ,  $p = .05$ ,  $\eta_p^2 = .09$ , mais surtout une interaction entre l'âge et la résistance,  $F(2,80) = 7.86$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .16$ . Des tests de  $t$  corrigés par Holm Bonferroni indiquent que les adolescents explosent plus de ballons à faible résistance que les adultes,  $t_{(40)} = 3.17$ ,  $p = .008$ ,  $d = 1$  [ $M$  sur 6 ballons  $\pm SD$  : adolescents :  $3.78 \pm 1.93$  ; adultes :  $2.00 \pm 1.66$ ] alors qu'aucune différence développementale ne ressort pour les ballons à résistance moyenne,  $t_{(40)} = .15$ ,  $p = .88$  ns [ $M$  sur 6 ballons  $\pm SD$  : adolescents :  $1.26 \pm 1.42$  ; adultes :  $1.32 \pm .88$ ] ou les ballons à résistance forte  $t_{(40)} = .81$ ,  $p = .84$  ns [ $M$  sur 6 ballons  $\pm SD$  : adolescents :  $.34 \pm .71$  ; adultes :  $.52 \pm .70$ ].

### Fin de la tâche (dernier bloc)

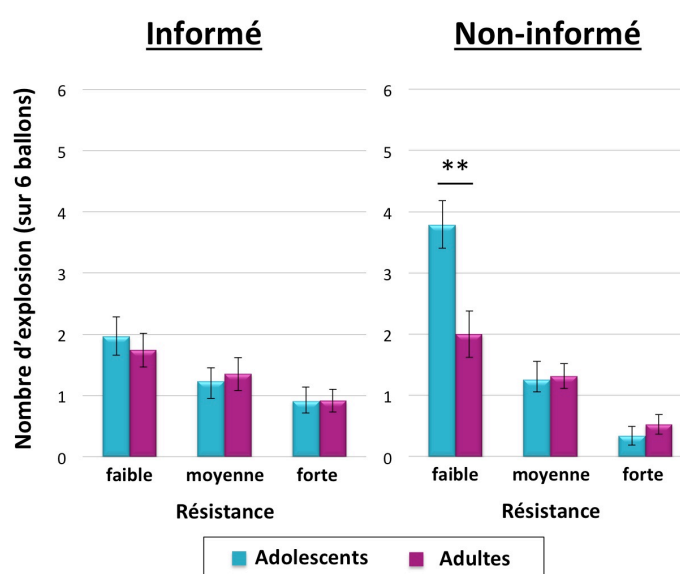


Figure 47 : Nombre moyen d'explosion à l'issue du jeu (18 derniers essais) selon la résistance et le niveau d'information. \*\*  $p < .01$

### Synthèse de l'analyse des explosions

*Dans la condition « informé » les adolescents et les adultes explosent autant de ballons tout au long de la tâche et quelle que soit la résistance du ballon. En revanche, des différences développementales apparaissent à la fin de la tâche en condition « non informé » : les adolescents explosent plus de ballons à faible résistance que les adultes (cf. Figure 46).*

## Analyse du nombre de points collectés

### Début du jeu : 18 premiers essais

L'ANOVA sur le nombre de points collectés dans les 18 premiers essais avec l'âge et le niveau d'information comme facteurs inter-sujets indique un effet principal du niveau d'information,  $F(1,83) = 4.73$ ,  $p < .05$ ,  $\eta_p^2 = .05$ , suggérant que les participants obtiennent plus de points dans la condition « informé » [ $M \pm SD$  :  $410.22 \pm 93.61$ ] que dans la condition « non-informé » [ $M \pm SD$  :  $367.05 \pm 83.07$ ]. Cependant, aucun effet de l'âge,  $F(1,83) = 1.99$ ,  $p = .16$ ,  $\eta_p^2 = .02$ , ni d'interaction entre l'âge et le niveau d'information,  $F < 1$ , ne sont relevés.

### Fin du jeu : 18 derniers essais

L'ANOVA sur le nombre de points collectés dans les 18 derniers essais révèle un effet principal de l'âge,  $F(1,83) = 10.54$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .11$ , tel que les adolescents collectent moins de points que les adultes [ $M \pm SD$  : adolescents :  $482.69 \pm 116.04$  ; adultes :  $559.88 \pm 138.72$ ]. Par ailleurs, l'effet principal du niveau d'information s'approche de la significativité,  $F(1,83) = 3.59$ ,  $p = .06$ ,  $\eta_p^2 = .04$ , suggérant que les participants tendent à obtenir plus de points dans la condition « informé » [ $M \pm SD$  :  $544.33 \pm 90.15$ ] que dans la condition « non-informé » [ $M \pm SD$  :  $493.83 \pm 138.72$ ].

En outre, l'ANOVA indique une tendance à l'interaction entre l'âge et le niveau d'information,  $F(1,83) = 3.32$ ,  $p = .07$ ,  $\eta_p^2 = .04$ . Afin d'explorer l'impact du niveau d'information sur les points collectés selon l'âge, nous avons ensuite réalisé des tests de  $t$  avec une correction Holm Bonferroni pour chaque groupe d'âge. Les adultes obtiennent autant de points dans la condition « non-informé » [ $M \pm SD$  :  $558.95 \pm 127.62$ ] que dans la condition « informé » [ $M \pm SD$  :  $560.65 \pm 92.17$ ],  $t_{(83)} = 0$ ,  $p = .96$  ns. Au contraire, les adolescents collectent moins de points dans la condition « non-informé » [ $M \pm SD$  :  $440.04 \pm 125.91$ ] que dans la condition « informé » [ $M \pm SD$  :  $527.27 \pm 86.78$ ],  $t_{(83)} = 2.68$ ,  $p < .01$ ,  $d = .58$ . De même, alors qu'aucune différence n'apparaît entre les adolescents et les adultes dans la condition « informé »,  $t_{(83)} = 1.02$ ,  $p = .62$  ns [ $M \pm SD$  : adolescents :  $527.27 \pm 86.78$  ; adultes :  $560.65 \pm 92.17$ ], les adolescents ne parviennent pas à collecter autant de points que les

adultes dans la condition « non-informé »,  $t_{(83)} = 3.51$ ,  $p < .01$ ,  $d = .77$  [ $M \pm SD$  : adolescents :  $440.04 \pm 125.91$  ; adultes :  $558.95 \pm 127.62$ ] (cf. Figure 48).

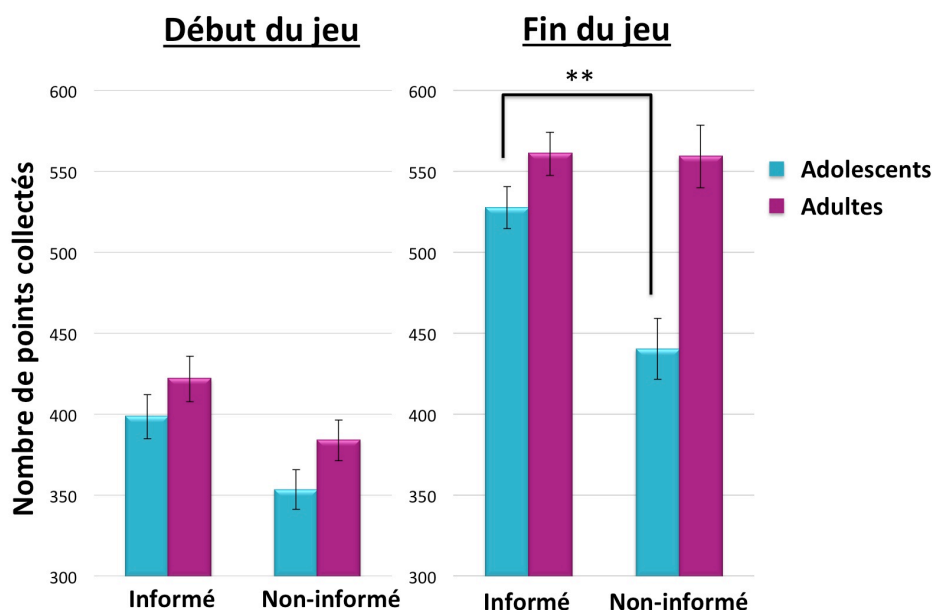


Figure 48 : Nombre moyen de points collectés selon le niveau d'information et l'âge sur les 18 premiers ballons (début de la tâche) et les 18 derniers ballons (fin de la tâche). \*\*  $p < .01$

### Synthèse de l'analyse des points

Aucun effet développemental sur le nombre de points collectés n'est relevé au début de la tâche. Toutefois, alors que les adultes parviennent à obtenir autant de points dans les deux conditions à l'issue de la tâche, les adolescents collectent moins de points dans la condition « non-informé » que dans la condition « informé » (cf. Figure 48).

## DISCUSSION

A travers la conception d'une nouvelle adaptation de la BART, tout l'objectif de notre étude était de clarifier l'impact potentiel de l'information concernant le niveau de risque sur les comportements de prise de risque à l'adolescence. Trois principaux résultats émanent de cette recherche : 1) La disponibilité d'informations concernant le niveau de risque associé à chaque ballon (i.e. condition « informé ») permet aux adolescents d'atteindre un niveau de performance similaire à celui des adultes à l'issue de la tâche. 2) À l'inverse, les adolescents ne parviennent pas à ajuster leur prise de risque à la résistance des ballons aussi bien que les adultes dans la condition « non-informé ». 3) Toutefois, cette différence développementale dans la condition « non-informé » ne résulte pas d'un excès global de prise de risque des adolescents indépendamment de la résistance des ballons.



Les résultats confirment dans un premier temps que les adolescents réussissent aussi bien la tâche que les adultes lorsqu'ils détiennent des informations sur le niveau de résistance des ballons. Dans la condition « informé », les adolescents comme les adultes parviennent à utiliser l'information fournie par la jauge pour ajuster le nombre de pumps et obtiennent ainsi des scores similaires à la fin de la tâche. Ce constat rejoint les études précédentes sur le développement de l'évaluation des probabilités dans le processus décisionnel. Les enfants et les adolescents sont déjà capables de faire des choix avantageux entre deux options caractérisées par différents enjeux et probabilités ainsi que d'estimer l'espérance mathématique des options (Falk & Wilkening, 1998; Schlottmann, 2001; van Leijenhorst et al., 2008).

Cependant le résultat majeur de cette étude repose sur l'apparition de différences développementales à l'issue du jeu dans la condition « non-informé ». En accord avec nos prédictions, les adultes parviennent à inférer la correspondance entre la couleur et la résistance des ballons sur la base des *feedbacks*. De ce fait, ils obtiennent à l'issue de la tâche des scores similaires quel que soit le niveau d'information disponible, confirmant ainsi les observations des études précédentes démontrant les capacités des adultes à apprendre progressivement à faire des choix avantageux dans des tâches dérivées de l'IGT (Aïte et al., 2012; Bechara et al., 1994; Cassotti et al., 2011; van Duijvenvoorde et al., 2012, 2013). En revanche, les adolescents présentent un déficit d'apprentissage sur la base des *feedbacks* en comparaison des adultes. Dans la condition « non-informé » les adolescents ne parviennent pas à ajuster leur réponse à la probabilité d'explosion des ballons. En effet, ils gonflent et explosent davantage les ballons à faible résistance par rapport aux adultes et à l'inverse gonflent moins les ballons à forte résistance, gagnant ainsi moins de points que les adultes à l'issue de la tâche. D'un côté, ce résultat rejoint les précédentes études suggérant un développement de la capacité à faire des choix avantageux sur le long terme jusqu'à la fin de l'adolescence (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2011; 2014; Crone & van der Molen, 2004; Crone & van der Molen, 2007; Crone et al., 2005; Hooper et al., 2004; Overman et al., 2004). D'un autre côté, l'incapacité des adolescents de 14-16 ans à inférer le niveau de risque des ballons à partir des *feedbacks* reçus peut sembler surprenante à la lumière des études précédentes suggérant des profils de choix avantageux dès l'âge de 12 ans en situation d'ambiguïté (van Duijvenvoorde et al., 2012). Au vu de la littérature soulignant un statut clé des pertes dans la prise de décision des adolescents (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2011), l'absence de pertes réelles dans notre adaptation (i.e. retrait des points collectés de la cagnotte permanente) pourrait rendre compte de ces divergences développementales.

Enfin, tout comme l'étude 2, nos résultats ne soutiennent pas l'hypothèse d'une diminution de l'aversion à l'ambiguïté conduisant les adolescents à explorer davantage les

situations risquées ambiguës (Tymula et al., 2012). Nos adolescents ne font pas preuve d'une prise de risque globalement accentuée dans la version « non-informé » de la BART. Au contraire, ils présentent une difficulté spécifique à ajuster leur prise de risque à la résistance des ballons en prenant plus de risques que les adultes lorsque le risque leur est défavorable (i.e. ballons à faible résistance) mais moins de risques lorsqu'une prise de risque s'avère avantageuse (i.e. ballons à résistance forte).

## CONCLUSION

Pour conclure, notre étude souligne le rôle clé du niveau d'information concernant les risques sur l'engagement des adolescents dans une prise de risque. Alors qu'ils sont capables de faire des choix adaptés lorsqu'ils détiennent des informations sur le niveau de risque, les adolescents présentent des difficultés à ajuster leurs choix à la probabilité d'occurrence d'une issue négative lorsque cette information n'est pas directement disponible mais nécessite d'être inférée à travers leur propre expérience. Par ailleurs, leurs performances inférieures à celles des adultes ne semblent pas refléter un excès global de prise de risque.

A la lumière de cette étude, des investigations supplémentaires semblent nécessaires pour comprendre l'origine d'une efficacité limitée des programmes de prévention visant à réduire l'engagement des adolescents dans des conduites à risque en les informant des issues négatives et de leurs probabilités d'occurrence (Reyna & Farley, 2006). Pour expliquer ce paradoxe, les études futures doivent selon nous s'attacher à préciser l'impact d'un contexte socio-émotionnel saillant sur la prise de risque en contrastant des situations avec et sans informations sur les risques encourus. En effet, comme le suggère le quatrième chapitre de cette thèse, une vaste littérature soutient un rôle clé du contexte socio-émotionnel dans la prise de risque à cette période (Cavalca et al., 2013; Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Haddad et al., 2014; O'Brien et al., 2011; Reynolds et al., 2013; Smith, Chein, et al., 2014; Teunissen et al., 2013) en indiquant que la présence, l'influence des pairs ou même la comparaison sociale impactent fortement l'engagement dans le risque des adolescents, et ce même lorsque les informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque sont disponibles (Smith, Chein, et al., 2014).

Etude

4

a &amp; b

## Influence de l'expérience des pairs et du niveau d'incertitude sur la prise de risque à l'adolescence

Osmont, A., Houdé, O., Moutier, S. & Cassotti, M. (En préparation). How does peers' experience influence adolescent risk-taking depending of the information level regarding risk ?

Deux études ont été menées afin de déterminer si l'expérience antérieure des pairs (risquée ou prudente) pouvaient respectivement favoriser ou réduire l'engagement des adolescents dans la prise de risque, en distinguant des situations pour lesquelles ils disposent d'informations sur le niveau de risque, de situations associées à une manque d'information. Grâce à la présentation d'une nouvelle version de la BART à un échantillon total de 164 adolescents de 14-16 ans, nous avons pu manipuler conjointement le niveau d'information disponible concernant le niveau de risque de chaque ballon ainsi que le type d'influence véhiculée par les pairs. Notre première étude révèle avant tout que les choix des adolescents semblent modulés par l'expérience des pairs uniquement en l'absence d'information explicite sur le niveau de risque associé à chaque ballon. Par ailleurs, nos résultats suggèrent un impact de l'expérience risquée des pairs limités à des situations associées à un niveau de risque faible. Au contraire, l'expérience prudente des pairs module fortement les choix des adolescents en diminuant leur engagement dans un comportement risqué. Notre deuxième étude souligne ce constat d'une influence positive des pairs en rapportant une diminution de la prise de risque face à l'expérience prudente de leurs camarades même lorsque cette information sociale s'oppose à leur connaissance des probabilités associées à la situation. La réunion de ces deux études met en exergue l'impact potentiellement positif de l'expérience des pairs qui semble jouer un rôle spécifique dans la prise de décision des adolescents en leur fournissant des informations de nature sociale, susceptibles de compenser leur difficulté d'apprentissage dans des situations d'ambiguïté. Cette hypothèse d'un apprentissage social à travers l'influence positive des pairs représente une issue décisive pour les programmes de prévention du risque auprès des jeunes.

Souvenez-vous de votre première cigarette ou de votre première consommation d'alcool. Il y a fort à parier que vous ne vous trouviez pas seul mais en présence de vos amis, à flâner après les cours ou pendant une soirée. Par ailleurs, il semble très probable que vous ayez bu ce premier verre d'alcool non pas uniquement parce que vos camarades étaient présents, mais avant tout en raison de leurs incitations incessantes. En effet, l'adolescence a été décrite comme un période associée à une forte sensibilité à l'environnement social (Albert & Steinberg, 2011; Blakemore & Mills, 2014; Casey et al., 2008; Steinberg, 2008) qui s'illustre par une augmentation de la prise de risque en présence des pairs (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Smith, Chein, et al., 2014; Weigard et al., 2014) ou dans le cas d'une confrontation à leurs avis et opinions (Cavalca et al., 2013; Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013). Cependant, la nature de cette influence sociale sur les comportements à risque des adolescents reste peu documentée. L'étude de l'influence des pairs reste souvent focalisée sur leur rôle négatif sans considérer une influence potentiellement positive de leur intervention sur les conduites à risque. Dans la situation suivante, l'influence des pairs peut par exemple revêtir différentes formes : ces derniers peuvent vous inciter en vous lançant un défi ou en vous encourageant à boire, partager avec vous leur expérience préalable en soulignant soit le plaisir et la sensation de liberté liée à l'état d'ivresse soit au contraire sur les conséquences négatives de leur dernière consommation excessive. Enfin, si la connaissance du niveau de risque d'une option semble décisive pour comprendre le développement de la prise de décision (van Duijvenvoorde et al., 2012), le lien entre le niveau d'informations objectives liées à la tâche et l'influence sociale a souvent été négligé dans la littérature. Ainsi, tout l'enjeu de cette étude est de déterminer si les choix antérieurs risqués ou prudents des pairs peuvent respectivement favoriser ou réduire l'engagement des adolescents dans la prise de risque, en distinguant des situations pour lesquelles ils disposent d'informations sur le niveau de risque et des situations associées à une manque d'information.

## Etude 4a

### **Influence de l'expérience des pairs sur la prise de risque des adolescents selon le niveau d'information**

## **INTRODUCTION**

L'adolescence est une période caractérisée par un engagement excessif dans des comportements risqués tels que l'abus d'alcool ou de substances illicites, la conduite en état d'ivresse, les comportements violents ou encore les conduites sexuelles à risque (Steinberg, 2008). Le contexte socio-émotionnel, en particulier l'influence sociale des pairs, peut sans aucun doute être avancé comme facteur clé pour appréhender cette spécificité de la prise de risque à l'adolescence (Blakemore & Mills, 2014; Casey et al., 2008; Habib et al., 2013). En effet, la plupart des conduites à risque ont lieu en présence du groupe de pairs qui semble constituer la source d'influence principale à cette période (Meyer & Anderson, 2000; Utech & Hoving, 1969). De nombreuses études comportementales et de neuro-imagerie rapportent un effet spécifique de la présence des pairs à l'adolescence qui se traduit par une augmentation de la sensibilité aux récompenses (O'Brien et al., 2011; Smith, Steinberg, et al., 2014; Weigard et al., 2014) et une augmentation des choix risqués (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Smith, Chein, et al., 2014). Pourtant, la nature précise de cette influence des pairs reste peu explorée. Au vu des divergences concernant les instructions communiquées aux pairs entre les différentes études, l'impact de la simple présence des pairs reste discutable. Deux études ont en effet démontré que la simple présence des pairs ne suffisait pas à augmenter le nombre de choix risqués des adolescents et des jeunes adultes dès lors que leur intervention était contrôlée (Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013).

La prise en compte de l'intervention des pairs semble essentielle. Au quotidien, les pairs ne sont pas simplement présents mais conseillent, encouragent, partagent leurs expériences préalables concernant des conduites à risques. Il apparaît peu probable que les adolescents soient seulement observateurs face à un ami confronté à une bouteille d'alcool fort, sans intervenir pour l'encourager à travers un défi ou jeu à boire. Les comportements risqués des pairs apparaissent comme un fort prédicteur de l'engagement des adolescents dans des conduites similaires (Beal et al., 2001; Varela & Pritchard, 2011), qu'il s'agisse de la consommation d'alcool, de drogues ou de tabac (Jackson et al., 2014; Maxwell, 2002; Moon,

Blakey, Boyas, Horton, & Kim, 2014; Teunissen et al., 2012, 2013), de relations sexuelles (Holman & Sillars, 2012), ou de la conduite automobile (Carter et al., 2014; Shepherd, Lane, Tapscott, & Gentile, 2011; Simons-Morton et al., 2011). Toutefois, les paradigmes expérimentaux visant à examiner l'influence directe du choix des pairs sont nécessaires pour distinguer la tendance des adolescents à se conformer aux comportements de leurs pairs d'une tendance à sélectionner des amis partageant le même attrait pour certaines conduites à risque (Brechwald, 2011; Maxwell, 2002).

Les travaux princeps de psychologie sociale sur le conformisme ont d'ores et déjà témoigné d'une forte tendance des adultes à se conformer aux jugements et décisions d'autres individus (Asch, 1956). Concernant les adolescents, Berndt (1979) décrit une trajectoire développementale du conformisme en « U inversé » avec un pic aux alentours de 14-15 ans. Plus récemment, plusieurs études ont confirmé que les adolescents et les jeunes adultes prennent plus de risque lorsqu'ils sont confrontés aux encouragements au risque de leurs pairs à travers des tâches de prise de décision à risque (Haddad et al., 2014) ou mesurant la prise de risque en situation d'ambiguïté (Cavalca et al., 2013; Reynolds et al., 2013). Cette littérature contribue fortement à préciser la nature de l'influence sociale à l'adolescence mais souligne essentiellement l'implication négative des pairs sur la prise de risque et la sensibilité aux récompenses. Pourtant, nous pouvons facilement imaginer que les pairs puissent jouer un rôle positif et être porteurs de messages préventifs concernant les conduites à risque quotidiennes (Maxwell, 2002). La disposition d'un adolescent à boire une quantité importante d'alcool fort serait-elle la même si l'absurdité et le manque d'intérêt de cette conduite étaient soulignés par certains de ses amis ?

Les travaux antérieurs ayant envisagé la possibilité d'un rôle positif des pairs ont abouti à des résultats contradictoires. D'un côté, Haddad et al. (2014) révèlent que contrairement aux adultes, les adolescents résistent aux conseils prudents de leurs pairs les encourageant à choisir l'option la plus sûre. À l'inverse, d'autres études supportent l'hypothèse d'un impact positif des pairs sur la prise de décision. Par exemple, les jeunes adultes sont plus nombreux à refuser de monter en voiture avec un conducteur alcoolisé lorsqu'ils sont accompagnés d'un autre individu refusant d'obtempérer (Powell & Drucker, 1997). De même, l'exposition à une norme sociale anti-alcool diminue la disposition des adolescents à consommer de l'alcool comparée à l'exposition à une norme pro-alcool (Teunissen et al., 2013). Enfin, les décisions prosociales d'adolescents de 12-14 ans augmentent sous une influence prosociale des pairs (i.e. stratégie favorisant les gains collectifs) mais diminuent sous une influence antisociale (i.e. stratégie favorisant les gains individuels) (van Hoorn et al., 2014). Ainsi, le premier objectif de cette étude consiste à

contraster l'impact d'une influence positive versus négative des pairs sur la prise de risque à l'adolescence.

Par ailleurs, nous proposons ici d'examiner une nouvelle forme d'influence sociale : plutôt que de tester l'influence de l'opinion de pairs réels ou virtuels, nous cherchons dans cette étude à explorer l'impact de l'expérience préalable des pairs dans une situation identique. Cette distinction prend sens à la lumière des théories de l'apprentissage social qui suggèrent que l'apprentissage repose sur l'observation des croyances, des expériences d'autrui et de leurs conséquences (Bandura, 1969; 1971; 1977). L'expérience des pairs pourrait dès lors constituer un contexte social spécifique en fournissant à l'individu une information de nature sociale pouvant directement influencer ses choix.

Enfin, étudier l'impact du niveau d'information concernant les risques d'une conduite nous paraît essentiel dans ce cadre. Bien que Smith et al. (2014) soulignent une augmentation de la prise de risque en présence de pairs malgré la disponibilité des probabilités associées aux différentes options, les difficultés d'apprentissage des adolescents dans des situations de prise de décision sous ambiguïté (Cassotti et al., 2014; van Duijvenvoorde et al., 2012, 2013) nous conduisent à envisager un impact de l'expérience des pairs plus marqués en l'absence d'informations explicites sur le niveau de risque. Présentant une difficulté à inférer ce type d'information sur la base des *feedbacks* dans des situations ambiguës, les adolescents pourraient être plus à même de rechercher une source d'information extérieure à travers leur environnement social.

Ainsi, cette étude répond à trois principaux objectifs : 1) Clarifier l'impact de l'expérience passée des pairs sur la prise de risque des adolescents, 2) distinguer l'impact d'une influence sociale positive (incitation à la prudence) et négative (incitation au risque) et 3) clarifier le lien entre le niveau d'informations concernant le risque et l'influence des pairs. Pour cela, nous avons conçu une nouvelle adaptation de la BART (Lejuez et al., 2002) permettant de mesurer l'engagement des adolescents dans le risque en manipulant l'information sociale (i.e. pas d'influence, expérience prudente des pairs, expérience risquée des pairs) et le niveau d'information disponible sur les probabilités de pertes. Comme dans la version classique de la BART, les participants étaient invités à gagner un maximum de points en gonflant des ballons dont le seuil d'explosion variait. Dans les conditions d'influence sociale, les participants pouvaient visualiser les choix préalables de trois camarades de classes. En réalité, les choix des pairs consistaient en une manipulation expérimentale permettant de véhiculer soit une incitation au risque, soit une incitation à la prudence. Sur la base des travaux antérieurs concernant la présence et l'influence des pairs (Chein et al., 2011; Reynolds et al., 2013), les adolescents devraient prendre plus de risques à

la BART lorsqu'ils sont confrontés au choix préalables risqués de leurs pairs. A l'inverse, l'expérience prudente des pairs devrait réduire leur engagement dans le risque, les conduisant à moins gonfler et exploser les ballons et donc à collecter plus de points à l'issue du jeu (van Hoorn, van Dijk, Meuwese, Rieffe, & Crone, 2014). Par ailleurs, la difficulté des adolescents à inférer les probabilités associées aux options sur la base de leur propre expérience dans des situations de prise de décision sous ambiguïté (Cassotti et al., 2014; van Duijvenvoorde et al., 2012, 2013) nous conduit à envisager un impact de l'expérience des pairs plus marqué en l'absence d'informations explicites sur le niveau de risque des ballons (i.e. condition « non-informé ») par rapport à des situations pour lesquelles ces informations sont directement disponibles (i.e. condition « informé »).

## MÉTHODE

### Participants

Cent trente-deux adolescents de 13-15 ans scolarisés en classe de 4<sup>e</sup> ont été recrutés dans trois collèges de la région parisienne ( $M = 13.51$  ans  $\pm .68$  dont 68 filles). Une autorisation parentale était préalablement signée par le tuteur légal de chaque participant. Les adolescents étaient aléatoirement assignés à l'une des six conditions expérimentales construite au croisement des deux niveaux d'information (i.e. Informé, Non-informé) et des trois types d'influence (i.e. Pas d'influence, Expérience prudente, Expérience Risquée). Le tableau 9 présente la distribution des âges et des genres dans chaque condition expérimentale. Les analyses statistiques n'indiquent aucune différence significative concernant la répartition des genres dans les différents groupes ( $p = .42$  ns, *test exact de Fisher*).

*Tableau 9 : Caractéristique et distribution de l'échantillon dans les 6 conditions expérimentales.*

Niveau d'information	Influence	N	Femme (Homme)	Age (Moyenne $\pm$ Ecart-type)
<b>Non-Informé</b>  N = 69	<b>Sans Influence</b>	23	14 (9)	13.82 $\pm$ .89
	<b>Prudence</b>	24	10 (14)	13.5 $\pm$ .59
	<b>Risque</b>	22	9 (13)	13.64 $\pm$ .73
<b>Informé</b>  N = 63	<b>Sans Influence</b>	29	14 (15)	13.31 $\pm$ .47
	<b>Prudence</b>	19	13 (6)	13.53 $\pm$ .70
	<b>Risque</b>	15	8 (7)	13.26 $\pm$ .59



## Procédure et matériel

L'ensemble des participants a complété une nouvelle adaptation informatisée de la *Balloon Analogue Risk Task* (BART : Lejuez et al., 2002) et de la *Balloon Emotionnal Learning Task* (BELT : Humphreys et al., 2013) permettant de manipuler le degré d'information disponible concernant le niveau de risque des ballons et de véhiculer une influence sociale risquée ou prudente (cf. Figure 49).

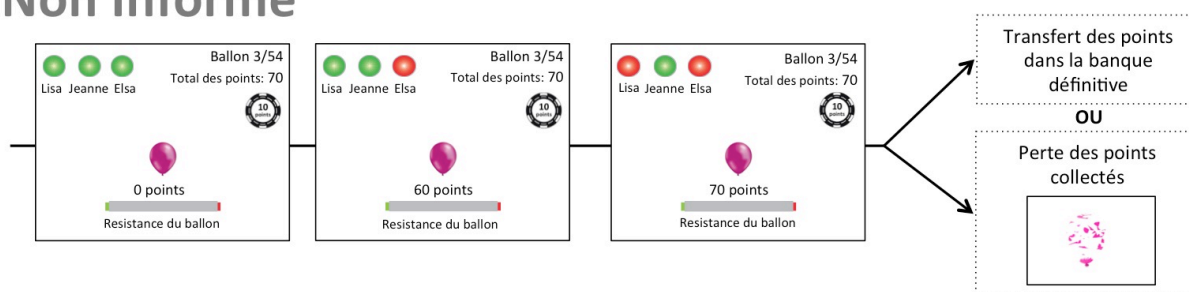
Dans cette version, chacun des 54 essais était initié par un ballon de petite taille présenté au centre de l'écran. Les participants étaient alors invités à gonfler le ballon afin de collecter un maximum de points. A chaque clic gauche, la taille du ballon augmentait et un jeton, dont la valeur était indiquée à l'écran (i.e. 1, 5 ou 10 points), était ajouté à une cagnotte temporaire située en dessous du ballon. Cependant, les ballons pouvaient exploser à tout moment, entraînant la perte des points collectés dans la cagnotte temporaire. Avant l'explosion, le participant pouvait choisir quand il le souhaitait d'arrêter de gonfler le ballon par un clic droit entraînant le transfert des points de la cagnotte temporaire dans une banque définitive située en haut à droite de l'écran. Une explosion ou le transfert des points conduisait à l'apparition du ballon suivant.

Comme dans l'étude 3, la distinction de trois types de ballons nous a permis de manipuler le niveau d'information disponible sur le niveau de risque des ballons. Trois couleurs (i.e. bleu, jaune et violet) ont été utilisées renvoyant respectivement à trois niveaux distincts de résistance : 18 ballons à résistance faible (i.e. explosion aléatoire entre 3 et 7 pressions), 18 ballons à résistance moyenne (i.e. explosion aléatoire entre 8 et 12 pressions), 18 ballons à résistance forte (i.e. explosion aléatoire entre 13 et 17 pressions). Dans la condition « informé », une jauge présentée en dessous de chaque ballon informait le participant sur le niveau de résistance du ballon (i.e. couleur rouge dominante pour les résistances faibles ; moitié rouge moitié vert pour les résistances moyennes et couleur verte dominante pour les résistances fortes). Au contraire, dans la condition « non-informé », un cache gris venait masquer l'information portée par la jauge. Les participants devaient alors apprendre la correspondance entre les couleurs et les niveaux de résistance sur la base des feedbacks reçus au cours de la tâche. Au total, 54 ballons étaient présentés : les essais ont été distribués et ordonnés de façon randomisée au sein de 3 blocs en combinant les 3 niveaux de résistance (faible/moyenne/forte) et les 3 ampleurs d'enjeux (1/ 5/ 10 points par pression).

L'intérêt principal de cette adaptation réside dans la manipulation de l'influence sociale véhiculée. Pour cela, les participants étaient affectés dans une des trois conditions d'influence sociale suivantes : l'absence d'influence sociale, une influence sociale à la prudence (i.e. expérience des pairs) et une influence sociale au risque (i.e. expérience risquée

des pairs). Dans ces deux dernières conditions, les adolescents recevaient des informations concernant les choix de trois camarades de classe de même sexe. Ils étaient en effet informés que des voyants leur permettraient de visualiser les réponses préalables de trois de leurs camarades de classe ayant précédemment complété la même tâche (i.e. avec les mêmes ballons dans le même ordre). Dans le coin supérieur gauche de l'écran, le nom de 3 camarades de classe ayant précédemment passé l'expérience était indiqué à l'écran et chacun associé à un voyant lumineux. Un voyant vert signifiait que ce camarade avait continué à gonfler le ballon à cette même étape du jeu. Au contraire, le passage à un voyant rouge indiquait au participant le moment où chacun des ses camarades avait décidé d'arrêter de gonfler le ballon pour sauver ses points.

## Non Informé



## Informé

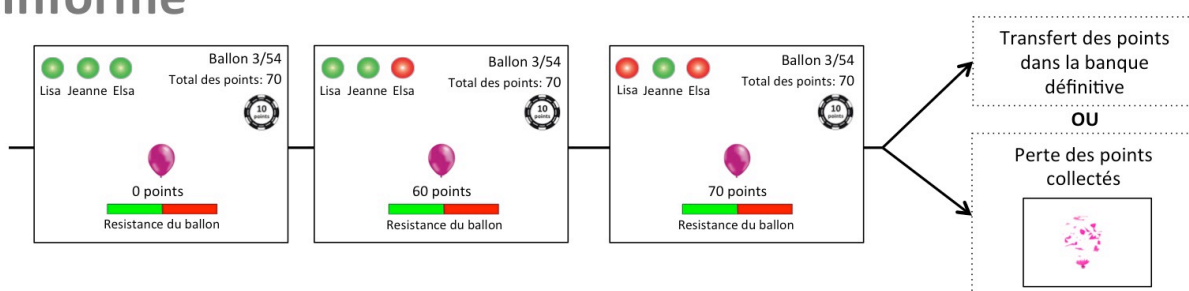


Figure 49 : Déroulement d'un essai correspondant à une influence à la prudence dans les deux conditions expérimentales : condition « informé » et condition « non-informé ». Les voyants rouges indiquent qu'Elsa a arrêté de gonfler le ballon après 6 pressions et Lisa après 7 pressions.

En réalité, les choix préalables des pairs constituaient une manipulation expérimentale destinée à véhiculer soit une incitation au risque, soit une incitation à la prudence. Dans la condition d'influence à la prudence, les voyants lumineux passaient au rouge en dessous du seuil d'explosion minimum de chaque niveau de résistance (i.e. pair 1 : après le seuil d'explosion minimum ; pair 2 : après le seuil d'explosion minimum moins 1 ; pair 3 : après le seuil d'explosion minimum moins 2). Ainsi, les trois camarades arrêtaient de gonfler le ballon après 1, 2 et 3 pressions pour les ballons à résistance faible, 6, 7, et 8 pressions pour les ballons à résistance moyenne et 11, 12 et 13 pressions pour les ballons à résistance forte. Sur une construction parallèle pour la condition d'influence au risque, les voyants lumineux passaient au rouge juste en dessous du seuil d'explosion maximal de chaque niveau de

résistance (i.e. pair 1 : après le seuil d'explosion maximal moins 2 ; pair 2 : après le seuil d'explosion maximal moins 1 ; pair 3 : après le seuil d'explosion maximal). Ainsi, les trois camarades arrêtaient de gonfler le ballon après 5, 6, et 7 pressions pour les ballons à résistance faible, 10, 11 et 12 pressions pour les ballons à résistance moyenne et 15, 16 et 17 pressions pour les ballons à résistance forte.

Enfin, après chacun des ballons (i.e. après une explosion ou après le transfert des points dans la banque définitive), les participants complétaient une échelle de Likert en 7 points en indiquant leur niveau de satisfaction concernant l'essai précédent. Cette échelle nous a permis d'évaluer le ressenti émotionnel des adolescents suite à un gain ou perte selon le niveau d'information et l'influence sociale véhiculée.

## RÉSULTATS

Afin d'examiner l'impact de l'expérience des pairs sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque selon le niveau d'information disponible, nous avons réalisé pour chacune de nos variables dépendantes (i.e. nombre de pumps par ballon, nombre d'explosion, nombre de points cumulés par ballon) une analyse de variance à mesure répétée (ANOVA) avec le type d'influence (3 modalités : sans influence/expérience prudente/expérience risquée) et le niveau d'information (2 modalités : informé/non-informé) comme facteurs inter-sujets et la résistance des ballons (3 modalités : faible/moyenne/forte) comme facteurs intra-sujets.

### Analyse du nombre de pression (Pumps)

L'ANOVA sur le nombre de pumps par ballon révèle une interaction triple entre le type d'influence, la résistance et le niveau d'information,  $F(4,252) = 5.31, p < .001, \eta_p^2 = .08$ . De ce fait, nous avons directement réalisé deux ANOVA séparées pour les conditions « informé » et « non-informé » avec le type d'influence comme facteur inter-sujets (3 modalités : sans influence/expérience prudente/expérience risquée) et la résistance comme facteurs intra-sujets (3 modalités : faible/moyenne /forte).

Dans la condition « informé », l'ANOVA révèle un effet principal de la résistance,  $F(2,120) = 1073.14, p < .001, \eta_p^2 = .94$  [ $M \pm SD$  : Résistance faible :  $3.39 \pm .54$  ; Résistance moyenne :  $7.58 \pm .98$  ; Résistance forte :  $11.67 \pm 1.62$ ], mais pas d'effet principal du type d'influence,  $F(2,60) = 1.40, p = .25$  ns,  $\eta_p^2 = .04$ , ni d'interaction entre le type d'influence et la résistance,  $F(4,120) = 1.80, p = .13$  ns,  $\eta_p^2 = .06$ .

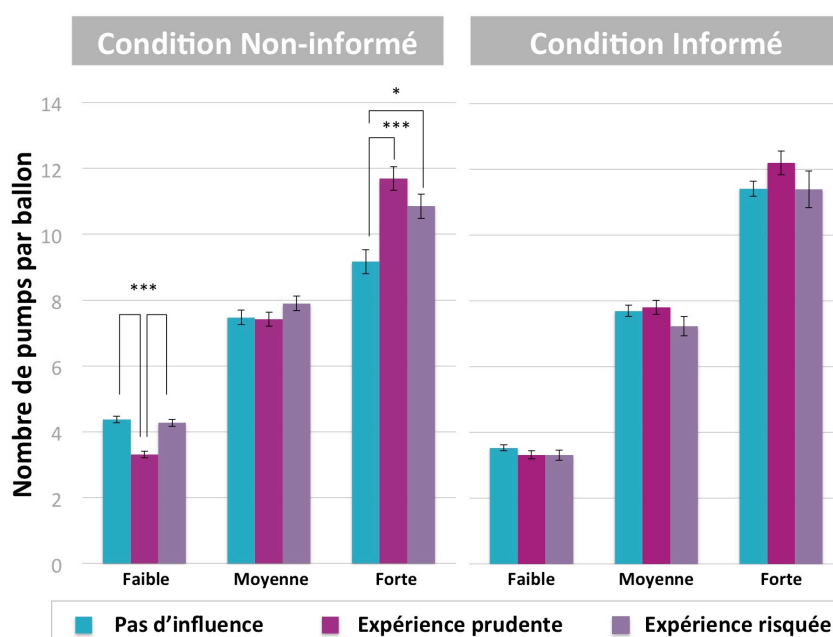


Figure 50 : Nombre de pumps par ballon dans la condition « non-informé » selon le type d'influence et la résistance des ballons. \*  $p < .05$  ; \*\*\*  $p < .001$

Dans la condition « non-informé » (cf. Figure 50), l'ANOVA révèle un effet principal de la résistance des ballons,  $F(2,132)=673.69$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .91$ , indiquant une augmentation du nombre de pumps avec la résistance [ $M \pm SD$  : Résistance faible :  $3.97 \pm .68$  ; Résistance moyenne :  $7.59 \pm 1.03$  ; Résistance forte :  $10.58 \pm 2.01$ ]. On note un effet principal du type d'influence,  $F(2,66)=3.84$ ,  $p = .02$ ,  $\eta_p^2 = .10$ , mais également une interaction entre le type d'influence et la résistance,  $F(4,132)=18.14$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .35$ . Afin de caractériser cette interaction, nous avons comparé deux à deux les différents types d'influence pour chaque niveau de résistance grâce à des tests  $t$  auquel nous avons appliqué une correction Holm Bonferroni. Ces analyses révèlent que les adolescents gonflent moins les ballons à faible résistance dans la condition de prudence qu'en l'absence d'influence,  $t_{(45)} = 6.69$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.99$ , et que dans la condition risque,  $t_{(44)} = 6.84$ ,  $p < .001$ ,  $d = 2.06$ , [ $M \pm SD$  : Sans influence :  $4.38 \pm .51$  ; Expérience prudente :  $3.31 \pm .58$  ; Expérience risquée :  $4.27 \pm .32$ ] mais aucune différence ne ressort entre l'absence d'influence et l'expérience au risque,  $t_{(43)} = .83$ ,  $p = .81$  ns. Pour les résistances moyennes, les tests  $t$  ne révèlent aucune différence entre les trois conditions [Pas d'influence versus Prudence :  $t_{(45)} = .19$ ,  $p = .84$  ns ; Pas d'influence versus Risque :  $t_{(44)} = -1.90$ ,  $p = .32$  ns ; Risque versus Prudence :  $t_{(43)} = 1.18$ ,  $p = .73$  ns ;  $M \pm SD$  : Sans influence :  $7.48 \pm 1.31$  ; Expérience prudente :  $7.41 \pm .59$  ; Expérience risquée :  $7.90 \pm 1.07$ ]. Enfin, les adolescents gonflent moins les ballons à résistance forte en absence d'influence que pour une influence à la prudence,  $t_{(45)} = 5.46$ ,  $p < .001$ , ou une influence au risque,  $t_{(44)} = 2.97$ ,  $p = .02$ ,  $d = .90$  [ $M \pm SD$  : Sans influence :  $9.16 \pm 1.78$  ; Expérience

prudente :  $11.69 \pm 1.37$  ; Expérience risquée :  $10.85 \pm 2.01$ ] alors qu'aucune différence ne ressort entre l'influence au risque et l'influence à la prudence,  $t_{(44)} = 1.67$ ,  $p = .41$  ns.

### Analyse du nombre d'explosion

L'ANOVA sur le nombre d'explosions révèle une interaction triple entre le type d'influence, la résistance et le niveau d'information,  $F(4,252) = 3.24$ ,  $p = .01$ ,  $\eta_p^2 = .05$ . Afin de caractériser cette interaction, nous avons réalisé deux ANOVA séparées pour les conditions « informé » et « non-informé » avec le type d'influence comme facteur inter-sujets (3 modalités : sans influence/expérience prudente/expérience risquée) et la résistance comme facteurs intra-sujets (3 modalités : faible/moyenne/forte).

Dans la condition « informé », l'ANOVA révèle un effet principal de la résistance,  $F(2,120) = 21.58$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .26$  [ $M \pm SD$  sur 18 ballons : Résistance faible :  $7.09 \pm 2.67$  ; Résistance moyenne :  $5.10 \pm 2.41$  ; Résistance forte :  $4.33 \pm 2.94$ ], mais pas d'effet principal du type d'influence,  $F(2,60) = 0.34$ ,  $p = .71$  ns,  $\eta_p^2 = .01$ , ni d'interaction entre le type d'influence et la résistance,  $F(4,120) = 1.51$ ,  $p = .20$  ns,  $\eta_p^2 = .04$ .

Dans la condition « non-informé » (cf. Figure 51), l'ANOVA révèle un effet principal de la résistance des ballons,  $F(2,132) = 1046.67$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .78$ , indiquant une diminution du nombre d'explosions avec la résistance des ballons [ $M \pm SD$  sur 18 ballons : Résistance faible :  $10.54 \pm 3.94$  ; Résistance moyenne :  $5.22 \pm 3.08$  ; Résistance forte :  $2.94 \pm 2.25$ ], un effet principal du type d'influence,  $F(2,66) = 17.02$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .34$ , mais également une interaction entre le type d'influence et la résistance,  $F(4,132) = 15.29$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .32$ . Pour caractériser cette interaction, nous avons comparé deux à deux les différents types d'influence pour chaque niveau de résistance grâce à des tests  $t$  avec une correction Holm Bonferroni. Pour les ballons à résistance faible, les adolescents explosent moins de ballons dans la condition de prudence qu'en l'absence d'influence,  $t_{(45)} = 6.71$ ,  $p < .001$ ,  $d = 2$ , et que dans la condition risque,  $t_{(44)} = 6.85$ ,  $p < .001$ ,  $d = 2.07$  [ $M \pm SD$  sur 18 ballons : Sans influence :  $13 \pm 3.41$  ; Expérience prudente :  $6.75 \pm 2.96$  ; Expérience risquée :  $11.86 \pm 1.93$ ] mais aucune différence ne ressort entre l'absence d'influence et l'expérience au risque,  $t_{(43)} = 1.36$ ,  $p = .18$  ns). Pour les résistances moyennes, les adolescents explosent également moins de ballons dans la condition de prudence qu'en l'absence d'influence,  $t_{(45)} = 3.13$ ,  $p = .02$ ,  $d = .93$ , et que dans la condition risque,  $t_{(44)} = 4.28$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.29$  [ $M \pm SD$  sur 18 ballons : Sans influence :  $5.96 \pm 3.60$  ; Expérience prudente :  $3.37 \pm 1.81$  ; Expérience risquée :  $6.32 \pm 2.78$ ] mais aucune différence ne ressort entre l'absence d'influence et l'expérience au risque,  $t_{(43)} = .37$ ,  $p = .71$  ns. Enfin, les adolescents explosent plus de ballons à résistance forte sous une influence au risque qu'en l'absence d'influence,  $t_{(43)} = 2.54$ ,  $p = .05$ ,  $d = .77$ , mais aucune

différence n'apparaît entre l'influence au risque et l'influence à la prudence,  $t_{(44)} = 1.85$ ,  $p = .35$  ns, ni entre l'absence d'influence et l'influence à la prudence,  $t_{(45)} = .81$ ,  $p = .85$  ns. [ $M \pm SD$  sur 18 ballons : Sans influence :  $2.22 \pm 2.11$  ; Expérience prudente :  $2.71 \pm 2.05$  ; Expérience risquée :  $3.91 \pm 2.35$ ].

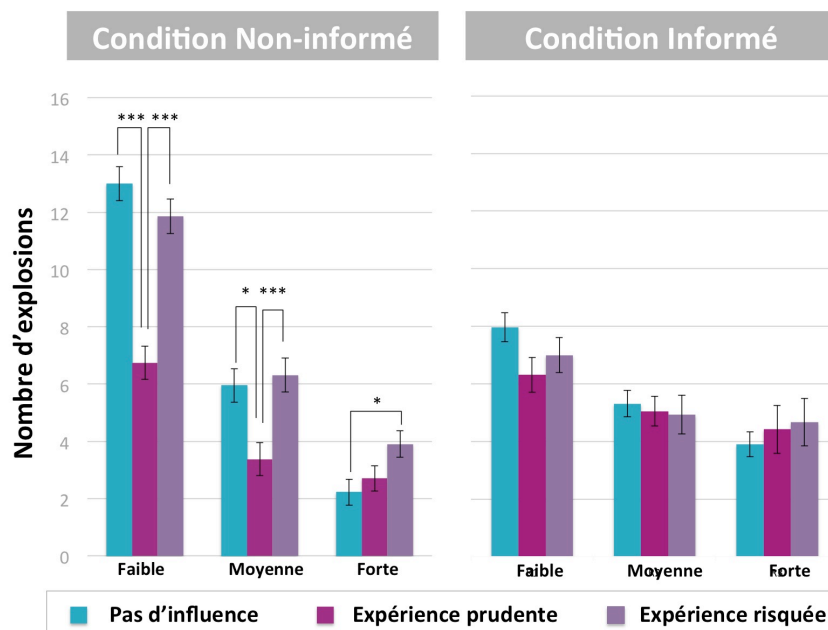


Figure 51 : Nombre d'explosion dans la condition « non-informé » selon le type d'influence et la résistance des ballons. \*  $p < .05$  ; \*\*\*  $p < .001$

## Analyse du nombre de points collectés

L'ANOVA sur le nombre de points collectés par ballon avec le type d'influence et le niveau d'information comme facteurs inter-sujets et la résistance des ballons comme facteurs intra-sujets révèle un effet principal de la résistance,  $F(2,126) = 1238.22$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .91$ , indiquant une augmentation du nombre de points collectés avec la résistance des ballons [ $M \pm SD$  : Résistance faible :  $9.24 \pm 3.13$  ; Résistance moyenne :  $26.54 \pm 5.55$  ; Résistance forte :  $43.40 \pm 9.08$ ], mais pas d'interaction entre la résistance et le type d'influence,  $F(4,252) = 1.33$ ,  $p = .26$  ns,  $\eta_p^2 = .02$ , ni d'interaction entre la résistance et le niveau d'information,  $F(2, 252) = .84$ ,  $p < .43$  ns,  $\eta_p^2 = 0$ . De plus, cette analyse révèle un effet principal marginal du niveau d'information,  $F(1,126) = 3.24$ ,  $p = .07$ ,  $\eta_p^2 = .03$ , suggérant un nombre de points collectés plus important en version « informé » qu'en version « non-informé » [ $M \pm SD$  : Informé :  $27.05 \pm 15.01$  ; Non informé :  $25.74 \pm 15.81$ ] et un effet principal du type d'influence,  $F(2,126) = 10.14$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .14$ , suggérant un nombre de points collectés plus important dans la condition prudence que dans les conditions risque  $t_{(78)} = 3.63$ ,  $p < .001$ ,  $d = .82$ , et sans influence  $t_{(93)} = 3.76$ ,  $p < .001$ ,  $d = .78$  [ $M \pm SD$  : Sans influence :  $25.12 \pm 15.10$  ; Prudence :  $28.68 \pm 16.43$  ; Risque :  $25.38 \pm 14.51$ ]. Bien que l'interaction

triple entre la résistance, le niveau d'information et le type d'influence ne soit pas significative,  $F(4,252) = .70$ ,  $p = .59$  ns,  $\eta_p^2 = .01$ , ces effets principaux semblent être modulés par une interaction significative entre le type d'influence et le niveau d'information,  $F(2,126) = 6.44$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .09$  (cf. Figure 52).

Afin de caractériser cette interaction, nous avons comparé deux à deux les différents types d'influence pour chaque niveau d'information grâce à des test  $t$  auxquels nous avons appliqué une correction Holm Bonferroni. Ces analyses révèlent que pour la version « non-informé », les adolescents gagnent plus de points dans la condition de prudence qu'en l'absence d'influence,  $t_{(45)} = 5.44$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.62$ , et que dans la condition risque,  $t_{(44)} = 4.15$ ,  $p < .001$ ,  $d = 1.15$  [ $M \pm SD$  : Sans influence :  $22.94 \pm 4.24$  ; Expérience prudente :  $29.57 \pm 4.11$  ; Expérience risquée :  $24.69 \pm 3.84$ ] mais aucune différence ne ressort entre l'absence d'influence et l'expérience au risque,  $t_{(43)} = 1.45$ ,  $p = .62$  ns). Au contraire, dans la version « informé », les test de  $t$  ne révèlent aucune différence entre les trois conditions [Pas d'influence versus Prudence :  $t_{(46)} = .42$ ,  $p = .67$  ns ; Pas d'influence versus Risque :  $t_{(42)} = 1.04$ ,  $p = .61$  ns ; Risque versus Prudence :  $t_{(32)} = -1.06$ ,  $p = .90$  ns ; [ $M \pm SD$  : Sans influence :  $27.29 \pm 3.31$  ; Expérience prudente :  $27.8 \pm 4.96$  ; Expérience risquée :  $26.06 \pm 4.52$ ].

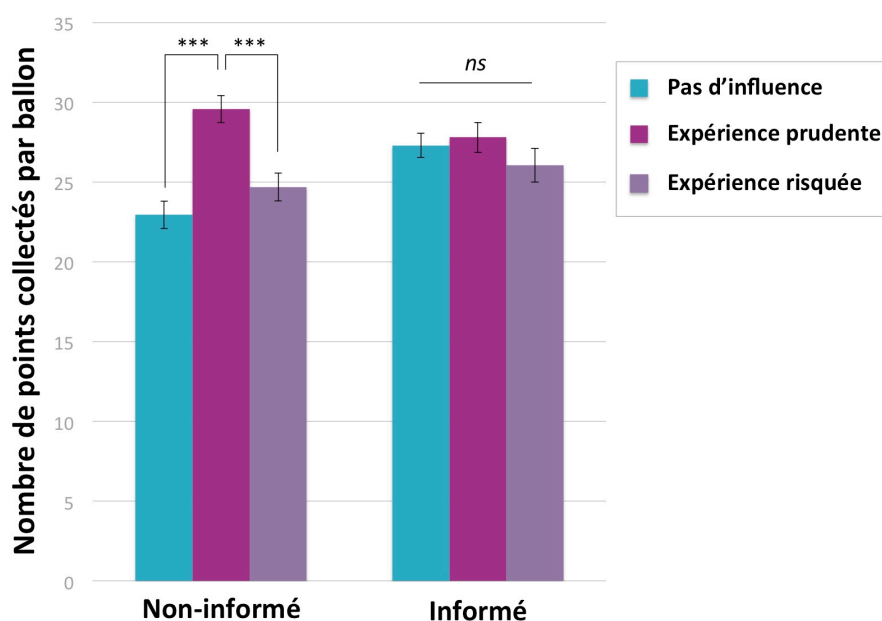


Figure 52 : Nombre de points collectés par ballon dans les conditions « non-informé » et « informé » selon le type d'influence. \*  $p < .05$  ; \*\*\*  $p < .001$

### Analyse des scores émotionnels

Nous avons également réalisé une ANOVA sur le score émotionnel rapporté après chaque essai avec le type d'influence (i.e. sans influence, prudence, risque) et le niveau d'information (i.e. informé, non-informé) comme facteurs inter-sujets et la l'issue de l'essai (i.e. gain, perte) comme facteurs intra-sujets. Cette analyse révèle un effet principal de l'issue,  $F(1,126) =$

704,521,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .85$ , indiquant un score émotionnel plus positif après un gain qu'après une perte [ $M \pm SD$  sur 7 : Gain :  $4.98 \pm .97$ ; Perte :  $2.17 \pm 1.32$ ], mais pas d'interaction entre l'issue et le niveau d'information,  $F(1,126) = 1.20$ ,  $p = .27$  ns,  $\eta_p^2 = .01$ , ni d'interaction entre l'issue et le type d'influence,  $F < 1$ , ni d'interaction triple entre l'issue, le type d'influence et le niveau d'information,  $F(2,126) = 2.34$ ,  $p = .10$  ns,  $\eta_p^2 = .03$ . Par ailleurs, cette analyse indique un effet principal du type d'influence,  $F(2,126) = 5.65$ ,  $p = .004$ ,  $\eta_p^2 = .08$ . Les participants rapportent un score émotionnel plus positif dans les conditions prudence,  $t_{(93)} = 3.92$ ,  $p < .001$ ,  $d = .81$ , et risque,  $t_{(87)} = 2.60$ ,  $p = .02$ ,  $d = .55$ , par rapport à l'absence d'influence [Test de t corrigés par Holm Bon Ferroni ;  $M \pm SD$  : Sans influence :  $3.62 \pm .75$  ; Prudence :  $4.38 \pm 1.14$  ; Risque :  $4.10 \pm 1.02$ ]. L'effet principal du niveau d'information,  $F < 1$ , et l'interaction entre le type d'influence et le niveau d'information,  $F < 1$ , ne sont pas significatifs.

## DISCUSSION

Notre objectif était de clarifier l'impact de l'influence sociale en déterminant si l'expérience prudente ou risquée des pairs entraînait une modulation de la prise de risque des adolescents, en distinguant des situations avec ou sans information sur le niveau de risque des options. Cette étude révèle trois principaux résultats : (1) L'expérience risquée des pairs n'a qu'un impact modéré sur la prise de risque : les adolescents prennent plus de risques lorsqu'ils sont confrontés à une incitation au risque uniquement pour les ballons à résistance forte (i.e. niveau de risque minimum). (2) Au contraire, l'expérience prudente des pairs module fortement les choix des adolescents en diminuant leur engagement dans un comportement risqué, les conduisant à collecter plus de points à l'issue du jeu. (3) Toutefois, les choix des adolescents semblent modulés par l'expérience des pairs uniquement en l'absence d'informations explicites sur le niveau de risque associé à chaque ballon.

En l'absence d'informations explicites sur le niveau de risque (i.e. condition non-informé), nos résultats ne révèlent qu'un effet modéré de l'influence au risque sur les choix des adolescents. En effet, les participants confrontés à l'expérience risquée de leurs pairs gonflent et explosent plus les ballons par rapport à une situation contrôle sans influence sociale seulement lorsque que le niveau de résistance du ballon est maximal. Ce constat semble contradictoire avec une vaste littérature démontrant une augmentation de la prise de risque en présence de pairs (Gardner & Steinberg, 2005; O'Brien et al., 2011) et face à l'encouragement des pairs (Cavalca et al., 2013; Cohen & Prinstein, 2006; Haddad et al.,



2014; Reynolds et al., 2013). Une première explication de ces divergences peut être avancée sur la base de notre manipulation expérimentale de l'expérience des pairs : en effet, l'influence véhiculée à travers le choix des pairs pourrait rester trop proche de la stratégie spontanée des participants. Nous pouvons toutefois écarter cette hypothèse puisque les participants de la condition contrôle (i.e. absence d'influence) décident d'arrêter de gonfler les ballons bien en deçà des réponses des pairs simulées dans la condition d'influence au risque. Par ailleurs, la limitation de l'effet d'une incitation au risque pour les ballons à résistance forte (i.e. pour lesquelles une prise de risque peut s'avérer adaptée) peut également suggérer que les adolescents aient besoin d'un sentiment de sécurité suffisant (i.e. un faible niveau de risque) pour suivre les choix risqués de leurs camarades. Cette hypothèse vient à nouveau remettre en cause le stéréotype d'un adolescent suivant aveuglément ses pairs dans leurs conduites à risque. Il faut sur ce point noter que d'autres études rejoignent ce constat. Premièrement, les études ayant précédemment relevé une augmentation de la prise de risque dans la BART suite à l'incitation des pairs impliquaient uniquement des ballons avec un seuil d'explosion potentiellement élevé (i.e. entre 1 et 128 pressions) (Cavalca et al., 2013; Reynolds et al., 2013). Par ailleurs, Yechiam, Druryan et Ert (2008) relèvent également une augmentation de la prise de risque avec le contexte social restreint aux faibles probabilités d'obtenir une perte.

En outre, notre étude souligne le rôle potentiellement positif des pairs sur la prise de risque des adolescents. Confrontés aux choix prudents de leurs camarades, les participants explosent moins de ballons et collectent plus de points que dans la condition contrôle ou lorsqu'ils sont confrontés à une incitation au risque. A première vue, les résultats obtenus pour les résistances fortes peuvent sembler incohérents avec cette conclusion. Comme pour une incitation au risque, les participants gonflent plus les ballons à résistance forte dans la condition prudence qu'en absence d'influence sociale. Toutefois, ce résultat paradoxal relève d'une limite dans la construction expérimentale des choix prudents des pairs qui découle d'un problème inhérent à la BART : les participants gonflent les ballons largement en deçà de la stratégie optimale (i.e. en dessous du nombre de pressions permettant un gain maximal à l'issue du jeu) (Lejuez et al., 2002; Pleskac, Wallsten, Wang, & Lejuez, 2008). De ce fait, notre manipulation de l'incitation à la prudence pour les ballons à résistance forte revêt le statut d'une incitation au risque, les choix prudents des pairs s'avérant plus risqués que la stratégie spontanée des participants (i.e. Les pairs arrêtent de gonfler les ballons après 11, 12 et 13 pressions dans la condition prudente alors que les participants du groupe contrôle appliquent en moyennes 9.16 pressions aux ballons à forte résistance).

Ainsi, l'influence des pairs peut également favoriser les choix prudents et améliorer les performances des adolescents de 14-16 ans. En accord avec ce résultat, les études

antérieures indiquent que l'exposition à une norme anti-alcool ou une norme prosociale entraîne respectivement une réduction de la disposition des adolescents à boire de l'alcool (Teunissen et al., 2012, 2013) et une augmentation de leur engagement dans des comportements prosociaux (van Hoorn et al., 2014). Il faut cependant souligner la contradiction entre notre étude et celle de Haddad et al. (2014) selon laquelle les adolescents résistent à l'influence prudente de leurs pairs. La nature de notre influence peut cependant expliquer cette divergence. Selon les auteurs, la résistance des adolescents refléterait leur tendance à percevoir l'avis prudent de leurs pairs comme une tentative de minimisation de leur score par compétitivité. La disponibilité de l'expérience des pairs ne laissant place à aucune stratégie intentionnelle de la part des pairs, cette explication ne peut être appliquée à notre étude.

Comme nous l'avons vu dans l'introduction de cette thèse, une explication courante de l'influence sociale dans la littérature suppose qu'un contexte socio-émotionnel saillant impacte la prise de risque des adolescents en modulant leur évaluation des coûts et bénéfices de leurs actes (Ernst, 2014; Gardner & Steinberg, 2005; O'Brien et al., 2011). De nombreuses études confirment en effet une augmentation de leur sensibilité aux récompenses en présence de pairs (Chein et al., 2011; O'Brien et al., 2011; Weigard et al., 2014). Un raisonnement similaire impliquerait qu'une influence sociale prudente réduise la prise de risque en diminuant la sensibilité aux récompenses et en augmentant la sensibilité aux pertes. Pourtant, Gilman, Curran, Calderon, Stoewckel et Evins (2014) montrent au contraire que l'expérience positive des pairs n'impacte pas la sensibilité aux récompenses chez le jeune adulte : alors que l'influence impulsive des pairs augmente la sensibilité pour les récompenses immédiates dans une tâche de récompenses différées, une influence non-impulsive (i.e. préférence pour une récompense différée plus importante) n'a pas d'effet sur le choix des individus. Dans notre tâche les échelles émotionnelles consécutives à chaque essai suggèrent que l'expérience des pairs affecte la prise de décision indépendamment d'une modulation du système de récompense (Helfinstein, Mumford, & Poldrack, 2014). En effet, les participants rapportent des scores plus positifs lorsqu'ils sont confrontés à une incitation au risque comme à la prudence et ce quelle que soit l'issue de leur choix (i.e. gain ou explosion du ballon). Cet effet pourrait davantage refléter une dilution de leur responsabilité plutôt qu'une modulation spécifique de leur sensibilité aux récompenses et aux pertes face à l'influence de leurs pairs.

L'information concernant les choix préalables des pairs pourrait dès lors agir comme un contexte social spécifique : contrairement à la présence des pairs, leur expérience fournit à l'individu une information de nature sociale pouvant directement le conduire à ajuster son comportement. Cette hypothèse d'une heuristique sociale (Helfinstein, Mumford, & Poldrack,

2014) peut notamment rendre compte de l'influence positive des pairs dans notre étude. Pour combler un déficit d'apprentissage sur la base de leur expérience des *feedbacks* (Cassotti et al., 2014; van Duijvenvoorde et al., 2012, 2013), les adolescents pourraient utiliser l'information présente dans leur environnement social pour orienter leurs choix. De cette façon, ils pourraient apprendre à identifier le comportement le plus approprié en examinant l'expérience de leurs pairs (Bandura, 1969 ; 1971 ; 1977).

L'absence de résultats significatifs concernant l'expérience des pairs dans la condition « informé » vient corroborer cette hypothèse. Lorsque la correspondance entre la couleur et la résistance des ballons est directement communiquée par la jauge, les adolescents ne semblent pas avoir recours à l'information sociale médiatisée par les voyants lumineux. Contrairement à la présence des pairs qui augmente la prise de risque des adolescents y compris lorsque les probabilités associées aux différentes options sont clairement définies (Smith et al., 2014), l'expérience des pairs pourrait favoriser l'apprentissage en palliant au manque d'information spécifique des situations ambiguës.

Il faut toutefois noter que notre étude se limite à des situations pour lesquelles l'information portée par la jauge et l'information sociale sont relativement cohérentes. Notre manipulation des choix des pairs, qu'il s'agisse des choix prudents ou des choix risqués, est en effet définie sur la base de l'étendue des seuils d'explosion propre à chaque type de ballon. Ainsi, l'information sociale ne rentrant pas en conflit avec leur compréhension des caractéristiques de la situation, les adolescents pourraient plus facilement ignorer l'expérience des pairs dès lors que cette dernière ne leur est pas indispensable pour résoudre la tâche. Aussi, l'objectif de la deuxième étude est d'examiner l'effet potentiel de l'expérience des pairs lorsqu'elle véhicule une information sociale en conflit avec l'information objective portée par la jauge.

## **Etude 4b**

# **Influence de l'expérience des pairs sur la prise de risque des adolescents dans le cadre d'un conflit entre l'information sociale et l'information sur le niveau de risque**

## **INTRODUCTION**

L'étude 4a démontre que les adolescents de 14-16 ans utilisent l'information sociale véhiculée par l'expérience des pairs, en particulier lors d'une incitation à la prudence, dès lors qu'ils ne disposent pas d'information sur le niveau de risque associé à la situation. En revanche, lorsqu'une indication objective sur le niveau de risque est présente à l'écran, la présentation des choix préalables de leurs camarades ne vient pas moduler leur prise de risque à la BART. Toutefois, cette première étude se limite à des situations pour lesquelles l'information sociale reste en adéquation avec l'information objective présentée et pourrait alors être facilement ignorée par les adolescents lorsqu'elle ne leur est pas indispensable pour résoudre la tâche. Nous avons cherché à examiner si l'influence des pairs pouvait amener les adolescents à suivre les réponses de leurs camarades lorsque ces dernières sont en contradiction totale avec les informations reçues sur le niveau de résistance des ballons.

L'objectif de la deuxième étude est ainsi de tester l'influence de l'expérience des pairs lorsqu'elle véhicule une information sociale en conflit avec l'information objective sur le niveau de risque de la situation. Pour cela, nous avons présenté à des adolescents de 13-14 ans, une adaptation de la BART similaire à l'étude 4a. Toutefois, l'influence des pairs était manipulée de façon à véhiculer une information sociale en conflit avec l'information sur la résistance des ballons portés par la jauge (i.e. expérience prudente pour les ballons à résistance forte et expérience risquée pour les ballons à faible résistance) ou au contraire en accord avec la résistance des ballons.

## MÉTHODE

### Participants

Trente-deux adolescents de 13-14 ans scolarisés en classe de 4<sup>e</sup> ont été recrutés dans un collège de la région parisienne ( $M = 13.19$  ans  $\pm .40$  dont 24 filles). Une autorisation parentale était préalablement signée par le tuteur légal de chaque participant. Les adolescents étaient aléatoirement assignés à l'une des deux conditions expérimentales suivantes : conflit (i.e. information sociale en accord avec les informations sur le niveau de risque) et non conflit (i.e. information sociale en conflit avec les informations sur le niveau de risque). Le tableau 10 présente la distribution des âges et des genres dans chaque condition expérimentale. Les analyses statistiques ne révèlent aucune différence significative concernant la répartition des genres dans les différents groupes ( $p = .68$  ns, *test exact de Fisher*).

*Tableau 10 : Caractéristique et distribution de l'échantillon dans les 6 conditions expérimentales.*

<i>Influence</i>	<i>N</i>	<i>Femme (Homme)</i>	<i>Age (Moyenne <math>\pm</math> Ecart-type)</i>
<b>Non Conflit</b>	19	15 (4)	13.16 $\pm$ .38
<b>Conflit</b>	13	9 (4)	13.23 $\pm$ .44

### Procédure et matériel

L'ensemble des participants a complété une adaptation informatisée de la *Balloon Analogue Risk Task* (BART : Lejuez et al., 2002) similaire à celle de l'étude 4a. Comme pour l'étude précédente, l'influence sociale était présentée aux participants comme reflétant les choix préalables de 3 camarades de classe ayant précédemment complété une tâche strictement identique, le prénom des trois pairs étant indiqués sous chacun des voyants. Cependant, l'influence des pairs était manipulée de façon à véhiculer une information sociale en accord (i.e. condition Non-conflit) ou en conflit avec l'information sur la résistance des ballons portée par la jauge (i.e. condition Conflit). Par ailleurs, le nombre total de ballons a été réduit dans cette version : 30 ballons étaient présentés : les essais ont été distribués et ordonnés de façon randomisée au sein de 2 blocs en combinant les 3 niveaux de résistance (faible / moyenne / forte) et seulement une ampleur d'enjeux (5 points par pression).

Contrairement à l'étude 4a, la manipulation de l'influence des pairs étant construite sur la base du seuil d'explosion moyen de chaque type de ballon (i.e. Résistance faible : seuil

d'explosion moyen = 5 ; Résistance moyenne : seuil d'explosion moyen = 10 ; Résistance forte : seuil d'explosion moyen = 15). Dans la condition de non conflit, les voyants lumineux passaient au rouge autour du seuil d'explosion moyen de chaque niveau de résistance (i.e. pair 1 : seuil d'explosion moyen - 1; pair 2 : seuil d'explosion moyen ; pair 3 : seuil d'explosion moyen + 1). Ainsi, les trois camarades arrêtaient de gonfler le ballon après 4, 5 et 6 pressions pour les ballons à résistance faible, 9, 10, et 11 pressions pour les ballons à résistance moyenne et 14, 15 et 16 pressions pour les ballons à résistance forte. Dans la condition de conflit entre l'information sociale et l'information de la jauge, les pairs présentaient des choix risqués pour les ballons à résistance faible (i.e. expérience des pairs basée sur le seuil d'explosion moyen des ballons à résistance forte) et des choix sûrs pour les ballons à résistance forte (i.e. expérience des pairs basée sur le seuil d'explosion moyen des ballons à résistance faible) : les trois camarades arrêtaient de gonfler le ballon après 14, 15 et 16 pressions pour les ballons à résistance faible et 4, 5 et 6 pressions pour les ballons à résistance forte. Afin d'assurer la crédibilité de l'influence sociale dans la condition de conflit, les choix des pairs concernant les ballons à résistance moyenne ne rentraient pas en conflit avec les informations fournies par la jauge : les trois camarades arrêtaient de gonfler les ballons après 9, 10, et 11 pressions pour les ballons à résistance moyenne.

Enfin, après chacun des ballons (i.e. après une explosion ou après le transfert des points dans la banque définitive), les participants complétaient une échelle de Likert en 7 points indiquant leur niveau de satisfaction concernant l'essai précédent.

## RÉSULTATS

Afin d'examiner l'impact d'une information sociale en conflit avec l'information objective portée par la jauge sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque, nous avons réalisé pour chacune de nos variables dépendantes (i.e. nombre de pumps par ballon, nombre d'explosions, nombre de points cumulés par ballons) une analyse de variance à mesure répétée (ANOVA) avec le type d'influence (2 modalités : conflit/non conflit) comme facteur inter-sujets et la résistance des ballons (3 modalités : faible/moyenne/forte) comme facteurs intra-sujets.

### Analyse du nombre de pressions (Pumps)

L'ANOVA sur le nombre de pumps par ballon révèle un effet principal de la résistance des ballons,  $F(2,60) = 542.44$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .95$ , indiquant une augmentation du nombre de pumps avec la résistance [ $M \pm SD$  : Résistance faible :  $3.64 \pm .56$  ; Résistance moyenne :  $7.61 \pm$

.90 ; Résistance forte :  $11.74 \pm 1.79$ ] et un effet principal du type d'influence,  $F(1,30) = 4.60$ ,  $p = .04$ ,  $\eta_p^2 = .13$  tels que les adolescents gonflent moins les ballons dans la condition conflit que dans la condition non conflit [ $M \pm SD$  : Conflit :  $7.35 \pm 3.33$  ; Non conflit :  $7.98 \pm 3.74$ ]. Toutefois, ces effets principaux sont modulés par une interaction entre la résistance et le type d'influence,  $F(2,60) = 4.57$ ,  $p = .01$ ,  $\eta_p^2 = .13$  (cf. Figure 53). Afin de caractériser cette interaction, nous avons comparé les deux types d'influence pour chaque niveau de résistance grâce à des tests  $t$  auxquels nous avons appliqué une correction Holm Bonferroni. Ces analyses ne révèlent pas de différences entre les conditions conflit et non conflit pour les ballons à résistance faible,  $t_{(30)} = 1.58$ ,  $p = .24$  ns [ $M \pm SD$  : Conflit :  $3.48 \pm .61$  ; Non conflit :  $3.79 \pm .75$ ] et résistance moyenne,  $t_{(30)} = .32$ ,  $p = .74$  ns [ $M \pm SD$  : Conflit :  $7.56 \pm .68$  ; Non conflit :  $7.67 \pm 1.04$ ]. Cependant, les adolescents gonflent moins les ballons à forte résistance dans la condition conflit que dans la condition non conflit,  $t_{(30)} = 2.48$ ,  $p = .05$ ,  $d = .91$  [ $M \pm SD$  : Conflit :  $11 \pm 1.91$  ; Non conflit :  $12.48 \pm 1.47$ ].

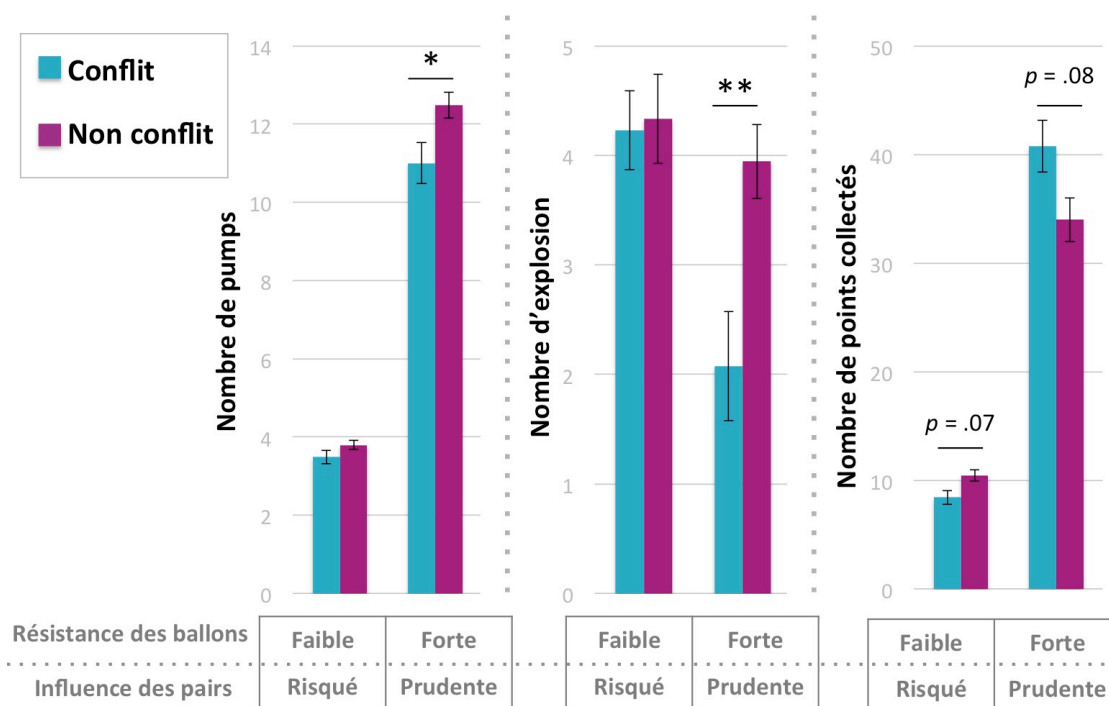


Figure 53 : Nombre de pumps, nombre d'explosion et nombre de points collectés selon la résistance des ballons et le type d'information sociale. Dans la condition de conflit, l'influence sociale est en désaccord avec l'information de la jauge sur la résistance des ballons (i.e. influence risquée pour les ballons à résistance faible et influence prudente pour les ballons à résistance forte). Dans la condition Non conflit, l'influence sociale est en accord avec l'information de la jauge sur la résistance des ballons. \*  $p < .05$  ; \*\*  $p < .01$

### Analyse du nombre d'explosions

L'ANOVA sur le nombre d'explosions révèle un effet principal de la résistance des ballons,  $F(2,60) = 8.67$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .22$ , indiquant une diminution du nombre d'explosions avec la résistance [ $M \pm SD$  sur 10 ballons : Résistance faible :  $4.33 \pm 1.58$ ; Résistance

moyenne :  $3.73 \pm 1.42$  ; Résistance forte :  $3.03 \pm 1.34$ ] mais pas d'effet principal du type d'influence,  $F(1,30) = 2.49$ ,  $p = .13$  ns,  $\eta_p^2 = .08$ . On note également une interaction entre la résistance et le type d'influence,  $F(2,60) = 6.19$ ,  $p = .004$ ,  $\eta_p^2 = .17$  (cf. Figure 53). Afin de caractériser cette interaction, nous avons comparé les deux types d'influence pour chaque niveau de résistance grâce à des tests  $t$  auxquels nous avons appliqué une correction Holm Bonferroni. Ces analyses ne révèlent pas de différences entre les conditions conflit et non conflit pour les ballons à résistance faible,  $t_{(30)} = .33$ ,  $p = 1$  ns [ $M \pm SD$  : Conflit :  $4.23 \pm .33$  ; Non conflit :  $4.42 \pm 1.77$ ] et résistance moyenne,  $t_{(30)} = .16$ ,  $p = .87$  ns [ $M \pm SD$  : Conflit :  $3.77 \pm 1.36$  ; Non conflit :  $3.68 \pm 1.49$ ]. Cependant, les adolescents explosent moins les ballons à forte résistance dans la condition conflit que dans la condition non conflit,  $t_{(30)} = 3.34$ ,  $p = .006$ ,  $d = 1.12$  [ $M \pm SD$  : Conflit :  $2.08 \pm 1.8$  ; Non conflit :  $4 \pm 1.45$ ].

### Analyse du nombre de points collectés

L'ANOVA sur le nombre de points collectés par ballon révèle un effet principal de la résistance des ballons,  $F(2,60) = 5273.86$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .90$ , indiquant une augmentation du nombre de points avec la résistance [ $M \pm SD$  : Résistance faible :  $9.30 \pm 2.40$  ; Résistance moyenne :  $21.75 \pm 4.28$  ; Résistance forte :  $37.31 \pm 8.99$ ] et un effet principal du type d'influence,  $F(1,30) = .87$ ,  $p = .36$ ,  $\eta_p^2 = .03$  tel que les adolescents gagnent plus de points dans la condition conflit que dans la condition non conflit [ $M \pm SD$  : Conflit :  $23.47 \pm 14.58$  ; Non conflit :  $22.09 \pm 11.17$ ]. Toutefois, ces effets principaux sont modulés par une interaction entre la résistance et le type d'influence,  $F(2,60) = 8.08$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .21$  (cf. Figure 53). Afin de caractériser cette interaction, nous avons comparé les deux types d'influence pour chaque niveau de résistance grâce à des tests  $t$  auquel nous avons appliqué une correction Holm Bonferroni. Ces analyses ne révèlent pas de différences entre les conditions conflit et non conflit pour les ballons à résistance moyenne,  $t_{(30)} = .66$ ,  $p = .51$  ns [ $M \pm SD$  : Conflit :  $21.23 \pm 4.17$  ; Non conflit :  $22.26 \pm 4.41$ ]. Cependant, les adolescents tendent à gagner moins de points en condition de conflit qu'en condition de non conflit pour les ballons à résistance faible,  $t_{(30)} = 2.16$ ,  $p = .07$ ,  $d = .79$  [ $M \pm SD$  : Conflit :  $8.42 \pm 2.3$  ; Non conflit :  $10.18 \pm 2.24$ ] et à gagner plus de points en condition de conflit qu'en condition de non conflit pour les ballons à résistance forte,  $t_{(30)} = 2.28$ ,  $p = .08$ ,  $d = .83$  [ $M \pm SD$  : Conflit :  $40.77 \pm 8.69$  ; Non conflit :  $33.84 \pm 8.27$ ].

### Analyse des scores émotionnels

Nous avons également réalisé une ANOVA sur le score émotionnel rapporté après chaque essai avec le type d'influence (i.e. conflit, non conflit) comme facteur inter-sujets et la



l'issue de l'essai (i.e. gain, perte) comme facteurs intra-sujets. L'ANOVA révèle un effet principal de l'issue,  $F(1,30) = 195.57$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .87$ , indiquant un score émotionnel plus positif après un gain qu'après une perte [ $M \pm SD$  sur 7 : Gain :  $4.97 \pm 1.10$ ; Perte :  $1.79 \pm 1.05$ ], mais pas d'effet principal du type d'influence,  $F < 1$ , ni d'interaction entre l'issue et le type d'influence,  $F < 1$ .

## DISCUSSION

Cette deuxième étude révèle deux principaux résultats : (1) Lorsque les pairs véhiculent une influence au risque en conflit avec l'indication d'une résistance faible des ballons, les choix des adolescents ne semblent pas modulés par l'expérience de leurs pairs. (2) À l'inverse, une influence prudente en conflit avec l'indication d'une résistance forte des ballons entraîne une diminution de la prise de risque à la BART.

En effet, la présence d'une information sociale conflictuelle avec le niveau de risque indicé à l'écran influence fortement la prise de risque des adolescents uniquement pour les ballons à résistance forte. Pour les ballons à résistance faible, l'influence des pairs conflictuelle n'entraîne aucune modulation des choix des participants alors que pour les ballons à résistance forte, les adolescents gonflent et explosent moins les ballons dans la condition de conflit que dans la condition de non conflit, parvenant ainsi à cumuler plus de points à l'issue du jeu. Ces résultats rejoignent ceux de la première étude. Ici, les ballons à résistance forte et les ballons à résistance faible ne se distinguent pas seulement par leur niveau de risque mais s'associent par construction expérimentale à des types d'influence distinctes : une influence sociale conflictuelle se traduit ici par une incitation au risque pour les ballons à faible résistance et au contraire une incitation à la prudence pour les ballons à résistance forte. Dans la continuité de l'étude 4a, nos données témoignent de l'influence potentiellement positive des pairs évoquée dans la littérature (Teunissen et al., 2012, 2013; van Hoorn et al., 2014) et ce même lorsque cette information sociale s'oppose à leur connaissance des probabilités associées à la situation.

Par ailleurs, la diminution de la prise de risque face à l'expérience prudente des pairs apparaît d'autant plus surprenante que les résultats de l'étude 4a suggèrent une modulation des choix des adolescents par l'expérience des pairs limitée aux situations « non-informé ». Si les adolescents ne semblent pas considérer l'information sociale lorsqu'ils détiennent les informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque, ces derniers semblent influencés par l'expérience de leurs pairs dès lors qu'un conflit important entre ces deux types

d'information apparaît. Ainsi, l'expérience prudente des pairs pourrait constituer un signal d'alerte conduisant les adolescents à limiter leur prise de risque.

En revanche, nos résultats remettent également en question l'augmentation de la prise de risque des adolescents soumis aux incitations de leurs pairs, pourtant largement étayée dans la littérature (Cavalca et al., 2013; Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013). Selon nous, l'impact limité de l'incitation au risque dans ces deux études témoigne de la nature spécifique de l'expérience des pairs. Contrairement à la présence (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Smith, Chein, et al., 2014) ou l'incitation de pairs observateurs (Cavalca et al., 2013; Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013), la disponibilité de l'expérience des pairs exclut la possibilité d'un jugement de leur part concernant les choix du participant. Si comme nous l'avons suggéré dans l'introduction théorique de cette thèse, l'augmentation de la prise de risque permet à l'adolescent d'optimiser son statut social à travers la valorisation de ce comportement par le groupe de pairs, cette opportunité est absente dans notre manipulation de l'expérience préalable des pairs. La disposition des pairs à observer les choix de l'individu pourrait être déterminante quant à l'augmentation de la prise de risque en contexte social. Enfin, la manipulation d'une incitation au risque se limitant à des probabilités d'explosion élevées, notre étude ne nous permet pas d'exclure l'impact éventuel d'une incitation au risque conflictuelle pour des niveaux de risque plus faibles (cf. étude 4a) (Yechiam, Druryan, & Ert, 2008).

## CONCLUSION

La réunion de ces deux études vient compléter la littérature en soulignant l'impact potentiellement positif de l'expérience des pairs sur les conduites à risque des adolescents. En l'absence d'information sur le niveau de risque des ballons, les adolescents prennent moins de risque dans la BART lorsqu'ils sont confrontés aux réponses prudentes de leurs camarades et parviennent ainsi à gagner plus de points à l'issue du jeu. Étonnement, l'influence risquée des pairs semble avoir un impact plus limité sur les choix des adolescents : la prise de risque des adolescents augmente avec l'expérience risquée des pairs seulement pour des niveaux de risque faibles. Par ailleurs, cette recherche souligne la nécessité de considérer l'impact d'une information concernant le niveau de risque sur l'influence des pairs. Alors que les adolescents ne semblent pas considérer l'information sociale lorsqu'ils détiennent les informations nécessaires à l'évaluation du niveau de risque, leur prise de risque diminue dès lors que l'expérience prudente des pairs s'éloigne de

l'information disponible sur la résistance des ballons. Ainsi, l'effet de l'expérience prudente des pairs pourrait jouer le rôle d'un signal d'alerte régulant à la baisse la prise de risque des adolescents, y compris dans des situations de conflit entre l'information sociale et les informations objectives sur le niveau de risque.

Selon nous, ces divergences avec la littérature reposent sur la nature spécifique de l'expérience des pairs. En effet, ces deux études mettent en exergue l'impact d'un nouveau type d'influence qui semble jouer un rôle spécifique dans la prise de décision des adolescents en leur fournissant des informations de nature sociale venant compenser leur difficultés d'apprentissage dans des situations ambiguës et en signalant le danger potentiel d'une prise de risque.

Cette hypothèse représente une issue décisive pour les programmes de prévention du risque. Au delà d'une réduction de l'incitation au risque au sein des groupes de jeunes, les campagnes de prévention pourraient dès lors tirer avantage de l'influence sociale positive des pairs. De précédentes études confirmant que les normes sociales modifient fortement les comportements des adolescents (Teunissen et al., 2013), des messages préventifs portés par les jeunes eux mêmes pourraient jouer un rôle régulateur sur les normes sociales associées aux conduites à risque quotidiennes. Notons que Maxwell (2002) supporte des recommandations similaires en indiquant que le comportement d'un ami peut non seulement réduire l'initiation d'une conduite à risque spécifique chez les jeunes mais également favoriser leur désengagement de cette conduite.

# **Discussion Générale**

---

## Synthèse des contributions expérimentales de cette thèse

---

L'objectif général de cette thèse était de mieux comprendre l'origine et les facteurs influençant l'engagement des adolescents dans la prise de risque. Actuellement, les modèles neurocognitifs permettent de dépasser le stéréotype d'un adolescent irrationnel (Casey, Getz, & Galvan, 2008; Ersnt, Pine, & Hardin, 2006). Plutôt qu'une absence de compétences logiques relatives à la considération du niveau de risque d'une situation, la prise de risque exacerbée des adolescents résulterait d'une hypersensibilité face aux stimuli émotionnels et sociaux, associée à une immaturité des processus de contrôle cognitif nécessaires à leur régulation. Néanmoins, comme nous l'avons évoqué dans l'introduction de cette thèse, ces modélisations ne prennent pas suffisamment en compte le niveau d'information sur les risques associés à une situation, un facteur pourtant déterminant dans la prise de risque au cours du développement. Ainsi, ce travail visait à caractériser, au moyen de 4 études expérimentales, 1) l'influence du niveau d'information concernant les risques d'une situation et 2) l'influence du contexte socio-émotionnel sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque.

La revue de littérature présentée dans les chapitres 2 et 3 de cette thèse laisse clairement entrevoir des trajectoires développementales distinctes entre les capacités de prise de décision à risque et de prise de décision sous ambiguïté. Les études impliquant des informations probabilistes et des enjeux clairement définis ont largement témoigné des compétences précoces d'intégration de ces deux dimensions chez l'enfant et l'adolescent (Schlottmann, 2001; van Leijenhorst et al., 2008). À l'inverse lorsque les informations caractérisant les options ne sont pas explicitement fournies aux individus, les capacités de prise de décision évoluent de façon plus lente jusqu'à la fin de l'adolescence (Aïte et al., 2012; Cassotti et al., 2014; Crone & van der Molen, 2004; Overman et al., 2004). Aussi, dans la mesure où la plupart des situations quotidiennes de prise de risque impliquent une absence d'information sur le niveau de risque, nos trois premières études visaient en premier lieu à comprendre l'origine de cette difficulté qu'ont les adolescents à prendre des décisions optimales en situation d'ambiguïté. Pour cela, nous avons notamment cherché à départager deux hypothèses récemment avancées dans la littérature. 1) Selon Tymula et al. (2012), le pic de prise de risque observé pendant l'adolescence reflèterait une plus grande tolérance à l'ambiguïté qui favoriserait une exploration de l'inconnu ou plus exactement l'orientation vers des options associées à un manque d'information. 2) En parallèle van Duijvenvoorde et al.

(2012) proposent que cette prise de risque exacerbée émane d'une difficulté à apprendre sur la base des feedbacks.

En réponse à l'hypothèse d'une aversion à l'ambiguïté réduite pendant l'adolescence (Tymula et al., 2012), nous avons dans une première étude cherché à préciser l'influence du niveau d'information sur les choix de jeunes adultes en examinant l'impact potentiel de l'aversion à l'ambiguïté sur l'un des biais les plus emblématiques de la prise de décision. Les choix des individus étant fortement dépendants du format de présentation des options en termes de gain ou de perte, tout l'enjeu de cette étude était d'examiner comment l'aversion à l'ambiguïté pouvait influencer l'effet du cadre dans la prise de décision. Au final, nos résultats soulignent la robustesse de l'aversion à l'ambiguïté (Camerer & Weber, 1992; Ellsberg, 1961; Inukai & Takahashi, 2009; Keren & Gerritsen, 1999; Pulford & Colman, 2007b). En effet, quel que soit le cadre de présentation, les participants choisissaient plus souvent une option risquée qu'une option ambiguë. Cependant, bien que l'effet du cadre persiste dans les situations ambiguës, notre recherche amène des éléments nouveaux, à savoir l'existence d'une modulation de la forme de cet effet par le niveau d'incertitude. Plus précisément, l'analyse des déviations par rapport à une valeur de référence, correspondant à la neutralité face au risque, nous a non seulement permis de confirmer un effet du cadre bidirectionnel dans la condition risque (i.e. aversion au risque en version gain et propension au risque en version perte) mais également de suggérer un effet du cadre unidirectionnel dans la condition ambiguïté. En effet, les jeunes adultes adoptaient une position plus extrême dans le cadre de gain mais sans renversement de leurs préférences (i.e. préférence plus forte pour l'option sûre en cadre de gain comparé au cadre de perte). En accord avec les perspectives des modèles du double processus (De Neys, 2006a, 2006b; Evans, 2003, 2010; Kahneman & Frederick, 2007; De Neys, 2012), cette modulation de l'effet du cadre de présentation suggère que l'aversion à l'ambiguïté induise une tendance massive à éviter une option ambiguë en la considérant comme une issue particulièrement aversive. En conclusion, cette première étude confirme la robustesse de l'effet d'aversion à l'ambiguïté et souligne son inscription dans un système général d'évitement conduisant l'individu à rejeter une situation potentiellement dangereuse ou associée à un manque d'information (Hsu et al., 2005; Pulford & Colman, 2007b).

Il convient de préciser que la validité de l'hypothèse de Tymula et al. (2012) repose avant tout sur la trajectoire développementale de ce phénomène d'aversion à l'ambiguïté. Ainsi, nos études 2a et 2b avaient pour objectif d'appréhender plus finement le développement de ce biais intuitif au moyen d'une adaptation du paradoxe proposé par Ellsberg (1961) chez les enfants, les adolescents et les adultes. En lien avec la littérature, plusieurs hypothèses pouvaient être avancées concernant l'évolution développementale de l'aversion à l'ambiguïté. Premièrement, les modèles linéaires décrivant le développement de l'enfant comme le passage

progressif d'une pensée intuitive à une pensée logique (Piaget & Inhelder, 1974; 1996) suggéraient une diminution avec l'âge de l'aversion à l'ambiguïté. Au contraire, les modèles du double processus, en faveur du développement conjoint des systèmes intuitif et analytique, prédisaient la mise en place progressive de l'aversion à l'ambiguïté avec l'âge (De Neys & Vanderputte, 2011; Houdé, 2013, 2014; Jacobs & Potenza, 1991; Reyna, 2012; Reyna & Ellis, 1994). Enfin, l'hypothèse d'une plus grande tolérance des adolescents face à l'ambiguïté comme origine de leur prise de risque exacerbée (Tymula et al., 2012) impliquait un développement de l'aversion à l'ambiguïté selon une courbe en « U », caractérisée par un niveau minimal au milieu de l'adolescence. Les résultats de l'étude 2a viennent réfuter cette dernière hypothèse en indiquant que (1) seuls les enfants de 10-11 ans présentent un nombre de choix ambigus plus important que les adultes, et que (2) les adolescents de 14-15 ans apparaissent aussi aversifs que les adultes face aux options ambiguës. En outre, notre étude 2b vient conforter ces résultats en ne révélant aucune différence développementale sur le nombre de choix ambigus quel que soit le niveau d'incertitude. Contrairement à l'étude de Tymula et al. (2012), les adolescents comme les adultes ne sont pas sensibles au gradient d'ambiguïté mais présentent un biais massif en faveur des options clairement définies, même dans le cas d'une ambiguïté minimale. De plus, il semble que la tendance à éviter les situations associées à un manque d'information soit encore peu marquée à la sortie de l'enfance pour s'installer progressivement au début de l'adolescence. Dès lors, étant donnée l'étendue très large (i.e. 12 à 17 ans) des âges considérés dans l'étude de Tymula et al. (2012), la réduction de l'aversion à l'ambiguïté qu'ils observent chez les adolescents pourrait reposer essentiellement sur les réponses des plus jeunes. La réunion des études 2a et 2b contribue donc à définir l'aversion à l'ambiguïté comme une stratégie intuitive apparaissant progressivement au début de l'adolescence et semble invalider l'attrait des adolescents pour l'ambiguïté comme facteur explicatif de leur engagement dans des prises de risque ambiguës.

Afin de généraliser ces conclusions dans le cadre spécifique de l'engagement des adolescents dans la prise de risque, tout l'enjeu de notre troisième étude était de clarifier l'impact du niveau d'information sur la prise de risque au cours du développement. Grâce à une nouvelle adaptation de la BART permettant la manipulation conjointe du niveau de risque et du niveau d'information disponible, nous avons pu avancer des prédictions développementales distinctes selon les deux hypothèses explicatives proposées dans la littérature. En effet, si les adolescents présentent une plus grande tolérance face à l'ambiguïté d'une situation (Tymula et al., 2012), ces derniers devraient prendre plus de risques que les adultes en l'absence d'information sur le niveau de risque. A l'inverse, l'hypothèse d'un défaut d'apprentissage basé sur l'intégration de feedbacks chez les adolescents (van Duijvenvoorde et al., 2012) supposait une altération spécifique du processus d'apprentissage nécessaire à

l'intégration du niveau de risque associé à chaque type de ballon. Plutôt qu'une prise de risque globalement accentuée, les adolescents devraient présenter un défaut d'ajustement de leur prise de risque à la résistance des ballons. Les résultats de cette étude confirment dans un premier temps que la disponibilité d'informations concernant le niveau de risque associé à chaque situation permet aux adolescents de 14-16 ans d'atteindre un niveau de performance similaire à celui des adultes. Ce premier constat rejoint les études précédentes révélant une intégration fine des enjeux et des probabilités d'une option dans le cadre de la prise de décision à risque dès la sortie de l'enfance (Falk & Wilkening, 1998; Schlottmann, 2001; van Leijenhorst et al., 2008). Cependant l'apport majeur de cette étude réside dans l'apparition de différences développementales dans la condition « non-informé ». En accord avec la littérature (Aïte et al., 2012; Bechara, Damasio, Damasio, & Anderson, 1994; Cassotti et al., 2014; Cassotti, Houdé, & Moutier, 2011; van Duijvenvoorde et al., 2012) et contrairement aux adultes, les adolescents ne parviennent pas à optimiser leurs performances dans la condition « non-informé ». Pour autant, ces derniers ne font pas preuve d'une prise de risque globalement accentuée mais présentent une difficulté spécifique à ajuster leur prise de risque à la résistance des ballons, prenant plus de risque que les adultes lorsque le risque leur est défavorable et à l'inverse moins de risque pour les ballons à forte résistance. Ces résultats supportent en conséquence l'hypothèse d'un déficit d'apprentissage basé sur les feedbacks (van Duijvenvoorde et al., 2012). Ainsi, nos trois premières études conduisent à attribuer la prise de risque exacerbée des adolescents à leur difficulté à apprendre de par leur expérience, plutôt qu'à une exploration plus poussée des situations ambiguës.

Face à ce constat et à l'importance du contexte social à l'adolescence (Blakemore & Mills, 2014; Steinberg, 2008), il nous a dès lors semblé essentiel d'envisager l'influence sociale comme une source d'information décisive pendant cette période. Ne parvenant pas à ajuster leur prise de risque sur la base de leur propre expérience, les adolescents pourraient être davantage sensibles à l'expérience de leurs pairs en l'absence d'informations explicites sur le niveau de risque d'une situation. Ainsi, l'étude 4 avait pour objectif de déterminer si l'expérience risquée ou prudente des pairs pouvait respectivement favoriser ou réduire l'engagement des adolescents dans la prise de risque, en distinguant des situations pour lesquelles ils disposaient d'informations sur le niveau de risque et des situations associées à un manque d'information. Premièrement, le constat d'un impact modéré de l'expérience risquée des pairs sur la prise de risque des adolescents de 13-15 ans constitue un premier résultat singulier vis à vis de la littérature. Bien que de nombreuses études suggèrent que la présence (Gardner & Steinberg, 2005; O'Brien et al., 2011) et l'influence des pairs (Cavalca et al., 2013; Cohen & Prinstein, 2006; Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013) se traduisent par une



augmentation de la prise de risque, cet effet se limite dans notre étude aux situations associées à un niveau de risque minimum. Ainsi, ce constat vient en premier lieu remettre en cause l'idée selon laquelle les adolescents suivraient aveuglément leurs pairs dans leurs prises de risque. Par ailleurs, alors que la plupart des études se sont focalisées sur l'impact néfaste des pairs (Cavalca et al., 2013; Chein, Albert, O'Brien, Uckert, & Steinberg, 2011; Gardner & Steinberg, 2005; Reynolds et al., 2013) ou suggèrent la résistance des adolescents face à une influence sociale prudente (Haddad et al., 2014), cette recherche met en exergue le rôle positif de l'expérience des pairs sur la prise de risque. En effet, la confrontation aux choix préalablement prudents de camarades de classe favorise les choix prudents et améliore ainsi les performances de prise de décision sous ambiguïté des adolescents. Enfin, cette étude souligne la nécessité de considérer le niveau d'incertitude comme modulateur de l'influence sociale. Lorsque la correspondance entre la couleur et la résistance des ballons est directement disponible, les adolescents ne semblent pas tenir compte des choix préalables de leurs camarades. Toutefois, bien que la prise de risque des adolescents ne soit modulée par l'expérience des pairs qu'en l'absence d'informations explicites sur le niveau de risque dans l'étude 4a, l'étude 4b étend ces résultats en montrant la robustesse de l'impact de l'expérience prudente des pairs dès lors qu'un fort conflit entre l'information sociale et les informations probabilistes apparaît. L'expérience prudente des pairs pourrait ainsi constituer un signal d'alerte entraînant une modulation à la baisse de la prise de risque des adolescents, y compris lorsque les informations antagonistes sur le niveau de risque sont disponibles.

## Apports de nos contributions expérimentales pour la conceptualisation théorique des conduites à risque à l'adolescence

En l'absence d'un contexte socio-émotionnel saillant, nos résultats s'accordent avec la littérature en attestant d'une difficulté des adolescents à faire des choix avantageux, circonscrite aux situations d'ambiguïté. En outre, nos contributions expérimentales viennent soutenir l'attribution de cette difficulté à un défaut d'apprentissage basé sur l'intégration de *feedbacks*.

D'autre part, l'un des apports majeurs de cette thèse consiste à démontrer que face à l'ambiguïté de la situation, les adolescents sont néanmoins capables d'utiliser l'information sociale disponible dans l'environnement afin de compenser leurs difficultés à apprendre à partir de leur propre expérience. La réduction de leur prise de risque lorsqu'ils sont confrontés à des pairs prudents les conduit à de meilleures performances à l'issue de la BART. De plus, les

adolescents, ne semblent répondre à l'expérience risquée de leurs pairs que lorsque la prise de risque s'avère avantageuse.

Des divergences certaines entre nos résultats et la littérature ne peuvent être occultées (cf. tableau 1). Comment expliquer le désaccord avec les études antérieures qui soulignent d'une part la résistance des adolescents face à l'influence prudente des pairs (Haddad et al., 2014) et d'autre part, un impact négatif de leurs incitations au risque (Cavalca et al., 2013; Haddad et al., 2014; Reynolds et al., 2013) voire de leur simple présence (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; A. R. Smith, Chein, et al., 2014; Yechiam et al., 2008) ? En outre, pourquoi l'impact de l'expérience des pairs semble-t-il se limiter aux situations « non informé » dans notre étude alors qu'une recherche récente témoigne d'une augmentation de la prise de risque des adolescents en présence de pairs en dépit de leur connaissance des probabilités (Smith, Chein et al., 2014) ? La confrontation de nos résultats aux données de la littérature nous a de ce fait conduits à envisager une modélisation plus intégrative des processus impliqués dans la prise de risque. Répondre à ces contradictions apparentes implique la prise en compte simultanée d'une balance entre la sensibilité aux récompenses et aux conséquences négatives (Ernst et al., 2005; Ernst, Hale, & O'Connell, 2014; Ernst et al., 2006), de l'implication de processus d'apprentissage basés sur une expérience préalable (Bechara, Damasio, Tranel, & Damasio, 2005; Bechara et al., 1994; van Duijvenvoorde et al., 2012; 2013), de l'impact du contexte socio-émotionnel (Chein et al., 2011; Steinberg, 2008) mais aussi de deux dimensions jusqu'alors sous-estimées : l'impact du niveau d'incertitude et la spécificité du contexte social envisagé. Selon nous, une explication de ces divergences pourrait résider dans la considération de contextes sociaux spécifiques modulant la prise de risque via des processus cognitifs distincts et par conséquent, dans des conditions d'incertitude particulières (cf. Figure 54).

D'une part, les contextes socio-émotionnels saillants largement représentés dans la littérature, tels que la présence ou les avis des pairs, entraîneraient une augmentation de la prise de risque via la modulation de la balance entre sensibilité aux récompenses et sensibilité aux pertes, en faveur de la considération des récompenses potentielles (Chein et al., 2011; Gardner & Steinberg, 2005; O'Brien et al., 2011; Smith, Steinberg, et al., 2014; Weigard et al., 2014). Si ce type de contexte amplifie la prise de risque indépendamment des processus d'apprentissage, l'impact de la présence et de l'influence des pairs quel que soit le niveau d'incertitude de la situation ne semble nullement surprenant.

En revanche, si comme nous l'avons envisagé à l'issue de notre quatrième étude, l'expérience des pairs constitue une heuristique sociale qui module la prise de risque des adolescents en fournissant une information sociale supplémentaire sur le niveau de risque

d'une situation (Helfinstein, Mumford, & Poldrack, 2014), alors l'impact des choix préalables des pairs pourrait être plus marqué dans les situations d'ambiguïté. En effet, un signal d'alerte généré par l'expérience prudente des pairs, notamment lorsque cette influence sociale s'oppose aux informations probabilistes présentes dans l'environnement ou en l'absence de telles informations, pourrait venir suppléer les processus d'apprentissage nécessaires à l'ajustement de leur prise de risque.

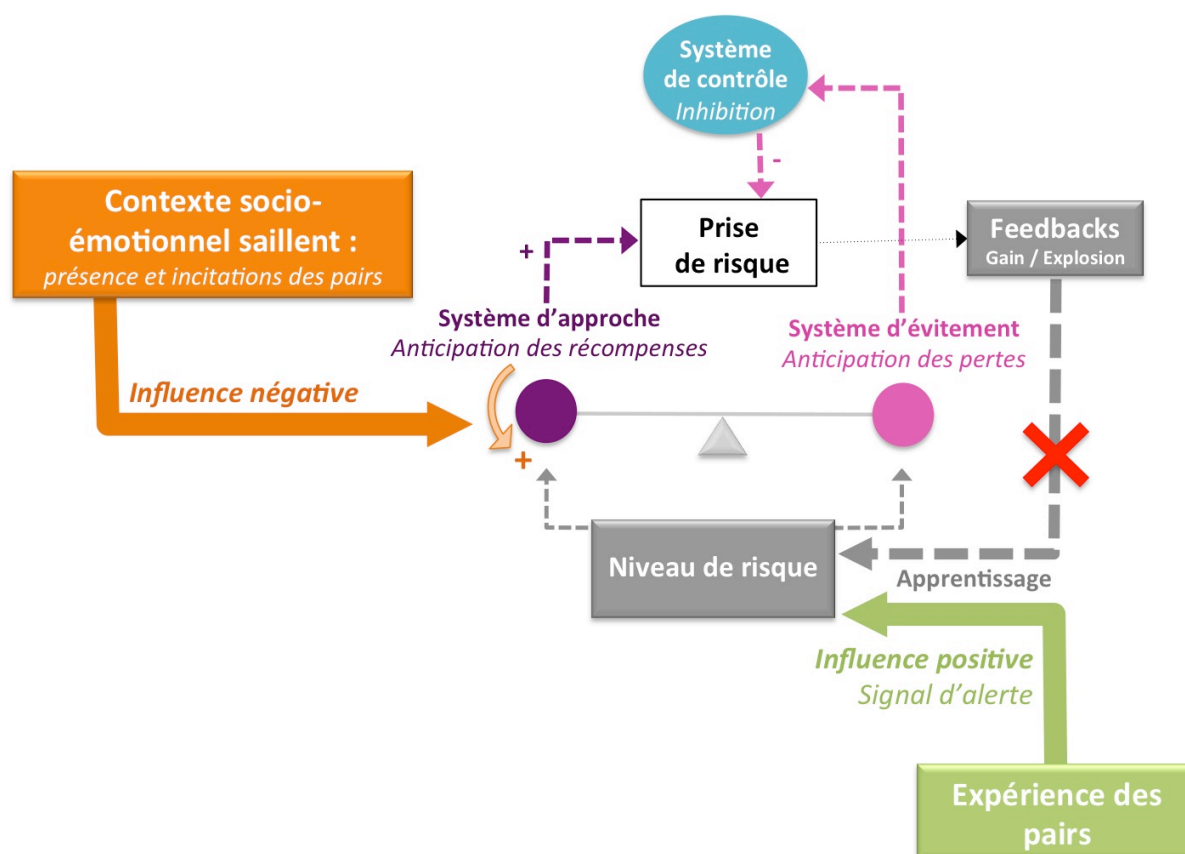


Figure 54 : Influence de contextes sociaux spécifiques sur les processus cognitifs impliqués dans la prise de risque chez les adolescents : Un contexte socio-émotionnel saillant (tel que la présence ou les incitations des pairs) pourrait favoriser la prise de risque des adolescents en augmentant le poids des récompenses potentielles. L'expérience prudente des pairs pourrait constituer un signal d'alerte quant au niveau de risque d'une situation. Ce signal serait dès lors responsable d'une réduction de la prise de risque des adolescents et ce particulièrement lorsque l'ambiguïté de la situation ne permet pas l'évaluation du niveau de risque réel.

## Quelles contributions pour la prévention du risque auprès des adolescents ?

A première vue, notre troisième étude suggère qu'une simple indication concernant le niveau de risque de la situation permet aux adolescents d'ajuster leur prise de risque aussi efficacement que les adultes. Néanmoins, une telle conclusion apparaît paradoxale au vu de l'efficacité limitée des campagnes de prévention visant à informer les adolescents des issues

négligentes de leurs choix et de leurs probabilités d'occurrence (Reyna & Farley, 2006). Toutefois, le constat d'une augmentation de la prise de risque en présence de pairs malgré la connaissance des probabilités associées aux options (Smith, Chein, et al., 2014) présume un bénéfice de telles informations limité à des situations exemptes de contexte socio-émotionnel saillant. La présence et l'incitation des pairs pourraient en effet venir neutraliser l'effet potentiel d'une information chiffrée en modulant à la hausse le poids des bénéfices potentiels au détriment de la considération des conséquences négatives associées. L'omniprésence de contextes socio-émotionnels saillants dans le quotidien des adolescents pourrait de ce fait expliquer l'efficacité partielle de telles interventions. S'interroger sur la nature des bénéfices motivant les adolescents pourrait représenter une piste de réflexion probante. Comme nous l'avons évoqué dans l'introduction, outre les sensations fortes liées à la prise de risque, la recherche de reconnaissance de la part du groupe de pairs pourrait constituer un bénéfice primordial pour l'adolescent. Si la satisfaction des pairs à travers l'adoption de conduites valorisées par le groupe représente une opportunité sociale, intervenir sur les normes véhiculées pourrait s'avérer constituer une approche plus efficace. En effet, tout comme elle induit une augmentation de la sensibilité aux récompenses immédiates chez les adolescents, la présence des pairs pourrait également jouer un rôle opposé en favorisant la prise en compte des enjeux à long terme chez des enfants de 6-7 ans (Nissan, 1976 ; 1977). En outre, certaines études confirment que l'exposition à une norme anti-alcool ou une norme prosociale peuvent respectivement entraîner une diminution de la disposition des adolescents à boire de l'alcool (Teunissen et al., 2012, 2013) et une augmentation de leur engagement dans des comportements prosociaux (van Hoorn et al., 2014).

Aussi, la mise en évidence d'une influence potentiellement positive des pairs dans notre quatrième étude représente une issue décisive pour les programmes de prévention du risque. Comme nous l'avons démontré, l'expérience prudente des pairs constituerait un signal d'alerte susceptible de moduler à la baisse la prise de risque des adolescents de 13-15 ans et ce même lorsqu'ils disposent d'informations indiquant un niveau de risque faible. Ainsi, les campagnes de prévention pourraient tirer parti d'une influence sociale positive en sollicitant les pairs comme porteurs de message de prudence à travers le récit de leur expérience. Notons que les recherches de Maxwell soutiennent également l'intérêt de telles recommandations en révélant que le comportement d'un ami constitue un bon prédicteur de l'initiation d'un adolescent à la consommation d'alcool ou de marijuana et favorise également son désengagement de la consommation d'alcool (Maxwell, 2002).

S'il semble illusoire de chercher à réduire le poids de l'avis des pairs pendant l'adolescence, placer ces derniers au cœur des campagnes de prévention pourrait à long terme participer au renversement des normes sociales et ainsi limiter la prise de risque au quotidien.

---

## Perspectives de recherche

---

Bien que la modélisation proposée à l'issue de cette thèse vise à préciser les processus engagés dans la prise de risque des adolescents, il reste encore à préciser plus finement les processus cognitifs directement impactés par la saillance du contexte socio-émotionnel. L'immaturation du contrôle cognitif à l'adolescence constituant un facteur central de la prise de risque selon les modélisations neuro-développementales actuelles (Casey et al., 2008; Ernst, 2014), l'influence du contexte socio-émotionnel sur le contrôle cognitif constitue notamment un enjeu décisif. D'un côté, l'étude de Chein et al. (2011) suggère que la présence de pairs module sélectivement l'activation des régions sous-tendant la sensibilité aux récompenses des adolescents. En effet, bien que l'activation du cortex PFL augmente linéairement avec l'âge, les activations de ces régions impliquées dans le contrôle cognitif ne sont pas affectées par le contexte socio-émotionnel. Si cette étude écarte l'hypothèse d'une modulation des capacités de contrôle cognitif par le contexte socio-émotionnel, ce constat n'a jusqu'alors pas été confirmé par des données comportementales. Néanmoins, dans le champ de la psychologie sociale, de récentes études viennent questionner cette conclusion chez l'adulte. En effet, les travaux menés par l'équipe de Pascal Huguet suggèrent une forte modulation du contrôle cognitif par le contexte social en relevant une diminution de l'effet d'interférence en présence de pairs dans une tâche de Stroop (Huguet et al., 1999; Sharma, Booth, Brown, & Huguet, 2010) alors même qu'un contexte d'évaluation sociale médiatisé par la présence d'un expérimentateur produit l'effet inverse (Belletier et al., 2015). Ainsi, examiner l'impact de contextes socio-émotionnels spécifiques sur le contrôle cognitif des adolescents apparaît décisif en vue de déterminer si ces divergences entre les résultats de Chein et al. (2011) et les travaux de l'équipe de Huguet relèvent de facteurs développementaux, et ainsi de mieux comprendre la prise de risque caractéristique de cette période.

En outre, le rôle de l'immaturation du contrôle cognitif dans la prise de risque des adolescents ne reposant que sur des données de neuro-imagerie (Chein et al., 2011), il nous paraît essentiel de confirmer le lien direct entre les capacités exécutives et la sensibilité des adolescents à l'influence sociale. La prise en compte récente des émotions au cœur des modélisations de la prise de décision conduit les auteurs à distinguer des fonctions exécutives « froides » impliquant des processus purement cognitifs et un contrôle exécutif « chaud » engagé dans la régulation de stimuli émotionnels (Kerr & Zelazo, 2004). La distinction des trajectoires développementales des fonctions exécutives « chaudes » et « froides » souligne la nécessité de préciser leur contribution respective dans la prise de risque des adolescents.

D'une part, les processus d'inhibition purement cognitive suivent un développement linéaire (Bunge, Dudukovic, Thomason, Vaidya, & Gabrieli, 2002; Durston et al., 2002; Liston et al., 2006). D'autre part, l'hypothèse d'un défaut spécifique de contrôle exécutif chaud chez les adolescents est soutenue par l'étude de Somerville et al. (2011). Grâce à une adaptation émotionnelle de la tâche du *Go-Nogo*, ces auteurs soulignent une augmentation du nombre d'erreurs sur les stimuli émotionnels propres aux adolescents, attestant ainsi de leur difficulté à mettre en place un contrôle inhibiteur efficace face à des stimuli à contenu émotionnel (Somerville et al., 2011 ; voir aussi Hare et al. 2008). Face à ce constat, examiner le lien entre la sensibilité des adolescents à l'influence sociale véhiculée par leurs pairs et leurs performances à des tâches mesurant spécifiquement les capacités d'inhibition cognitive et émotionnelle nous semble incontournable.

L'absence de comparaison développementale dans notre quatrième étude constitue selon nous la principale limite de cette thèse. La fin de l'adolescence étant très largement représentée dans la littérature, nous avons choisi de centrer notre échantillon sur le cœur de l'adolescence en sollicitant des participants âgés de 13 à 15 ans. Toutefois, sans comparaison directe à un groupe d'adulte dans cette dernière étude, nous ne sommes pas en mesure de conclure à l'existence d'une réelle spécificité de l'influence sociale pendant cette période. Tout comme les travaux emblématiques menés par Asch dans le champ de la psychologie sociale illustrent la sensibilité des adultes aux jugements perceptifs de leurs pairs (Asch, 1956), de récentes études suggèrent une sensibilité des jeunes adultes au contexte social comparable à celle des adolescents (Chung et al., 2015 ; Gilman et al., 2014 ; Haddad et al., 2014 ; Nawa et al., 2008 ; Yechiam et al., 2008). Par ailleurs, l'augmentation de la prise de risque propre aux adolescents en présence de leurs pairs (Chein et al., 2011 ; Gardner & Steinberg, 2005) pourrait refléter davantage une évolution avec l'âge des comportements valorisés par le groupe. L'évidence d'une réduction de la sensibilité aux récompenses immédiates chez les enfants en présence de leurs camarades (Nissan, 1976 ; 1977) et d'une diminution de la prise de risque des adultes face aux avis prudents de leurs pairs (Haddad et al., 2014) semble en effet soutenir cette hypothèse puisqu'elle s'oppose aux effets classiquement observés chez les adolescents.

Enfin, cette thèse tout comme les études antérieures éludent un ensemble de questions pourtant essentielles qui mériteraient de faire l'objet d'investigations plus approfondies. Comment les adolescents perçoivent et anticipent-ils l'influence sociale de leurs pairs ? Quelles sont les incitations spontanément véhiculées par les pairs ? Quels types d'expériences passées les adolescents sont-ils les plus à même de partager avec leurs camarades ? Bien que ces questions constituent le point de départ de l'étude de l'influence des pairs sur la prise de risque des adolescents, aucune recherche de psychologie expérimentale n'a à notre connaissance directement questionné le positionnement spontané des pairs face à

l'engagement d'un camarade dans une conduite à risque. S'éloigner de la standardisation d'un contexte social artificiel pour cibler les enjeux des futures recherches sur les incitations naturelles des pairs et la perception qu'en ont les adolescents, constituerait sans doute une étape essentielle pour mettre en application la richesse des contributions expérimentales du domaine.

# **Références**

## **bibliographiques**



- Acredolo, C., O'Connor, J., 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(4), 933–945. doi: 10.2307/1131034
- 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(2), 286–294. doi: 10.1016/j.jecp.2012.05.008
- Albert, D., & Steinberg, L. (2011). Judgment and Decision Making in Adolescence. *Journal of Research on Adolescence*, 21(1), 211–224. doi: 10.1111/j.1532-7795.2010.00724.x
- Allen, J. P., Porter, M. R., McFarland, F. C., Marsh, P., & McElhaney, K. B. (2005). The Two Faces Of Adolescents' Success With Peers: Adolescent Popularity, Social Adaptation, and Deviant Behavior. *Child Development*, 76(3), 747–760. doi: 10.1111/j.1467-8624.2005.00875.x
- Arnett, J. (1992). Reckless behavior in adolescence: A developmental perspective. *Developmental Review*, 12(4), 339–373. doi: 10.1016/0273-2297(92)90013-R
- Asch, S. E. (1956). Studies of independence and conformity: I. A minority of one against a unanimous majority. *Psychological Monographs: General and Applied*, 70(9), 1–70. doi: 10.1037/h0093718
- Bandura, A. (1969). Social-learning theory of identificatory processes. In D. A. Goslin (Ed.), *Handbook of socialization theory and research* (pp. 213-262). Chicago: Rand McNally.
- Bandura, A. (1971). *Social learning theory*. New York: General Learning Press.
- Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Oxford, England: Prentice-Hall.
- Beal, A. C., Ausiello, J., & Perrin, J. M. (2001). Social influences on health-risk behaviors among minority middle school students. *Journal of Adolescent Health*, 28(6), 474–480.
- 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., & Damasio, A. R. (2000). Emotion, Decision Making and the Orbitofrontal Cortex. *Cerebral Cortex*, 10(3), 295–307. doi: 10.1093/cercor/10.3.295
- 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. doi: 10.1016/0010-0277(94)90018-3
- 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), 5473–5481.
- Bechara, A., Damasio, H., Tranel, D., & Damasio, A. R. (1997). Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy. *Science*, 275(5304), 1293–1295.
- 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), 159–162. doi: 10.1016/j.tics.2005.02.002
- 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), 215–225.
- Bechara, A., Tranel, D., & Damasio, H. (2000). Characterization of the decision-making deficit of patients with ventromedial prefrontal cortex lesions. *Brain: A Journal of Neurology*, 123(11), 2189–2202. doi: 10.1093/brain/123.11.2189
- Belletier, C., Davranche, K., Tellier, I. S., Dumas, F., Vidal, F., Hasbroucq, T., & Huguet, P. (2015). Choking under monitoring pressure: being watched by the experimenter reduces executive attention. *Psychonomic Bulletin & Review*. doi: 10.3758/s13423-015-0804-9
- Berndt, T. J. (1979). Developmental changes in conformity to peers and parents. *Developmental Psychology*, 15(6), 608. doi: 10.1037/0012-1649.15.6.608
- Bernoulli, D. (1954). Exposition of a new theory on the measurement of risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 23–36.
- Berridge, K.C., Robinson, T.E. & Aldridge, J.W. (2009). Dissecting components of reward: “liking”, “wanting”, and learning. *Current Opinion in Pharmacology*, 9(1), 65–73. doi: 10.1016/j.coph.2008.12.014
- Betsch, T., & Lang, A. (2013). Utilization of probabilistic cues in the presence of irrelevant information: A comparison of risky choice in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(1), 108–125. doi: 10.1016/j.jecp.2012.11.003
- Beyth-Marom, R., Austin, L., Fischhoff, B., Palmgren, C., & Jacobs-Quadrel, M. (1993). Perceived consequences of risky behaviors: Adults and adolescents. *Developmental Psychology*, 29(3), 549–563. doi: 10.1037/0012-1649.29.3.549
- Bjork, J. M., Knutson, B., Fong, G. W., Caggiano, D. M., Bennett, S., M., & Hommer, D., W. (2004). Incentive-Elicited Brain Activation in Adolescents: Similarities and Differences from Young Adults. *Journal of Neuroscience*, 24(8), 1793–1802. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4862-03.2004
- Blakemore, S. J., Burnett, S., & Dahl, R. E. (2010). The role of puberty in the developing adolescent brain. *Human Brain Mapping*, 31(6), 926–933. doi: 10.1002/hbm.21052
- Blakemore, S. J., & Mills, K. L. (2014). Is Adolescence a Sensitive Period for Sociocultural Processing? *Annual Review of Psychology*, 65(1), 187–207. doi: 10.1146/annurev-psych-010213-115202
- Blakemore, S. J., & Robbins, T. W. (2012). Decision-making in the adolescent brain. *Nature Neuroscience*, 15(9), 1184–1191. doi: 10.1038/nn.3177
- Borst, G., Aïte, A., & Houdé, O. (2015). Inhibition of misleading heuristics as a core mechanism for typical cognitive development: evidence from behavioural and brain-imaging studies. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 57(2), 21–25. doi: 10.1111/dmcn.12688
- Borst, G., Pineau, A., Poirel, N., Cassotti, M., & Houdé, O. (2013). Inhibitory control efficiency

- in a Piaget-like class-inclusion task in school-age children and adults: A developmental negative priming study. *Developmental Psychology*, 49(7), 1366-1374. doi: 10.1037/a0029622.
- Borst, G., Simon, G., Vidal, J., & Houdé, O. (2013). Inhibitory control and visuospatial reversibility in Piaget's seminal number-conservation task: A high-density ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(920). doi:10.3389/fnhum.2013.00920.
- Brechwald, W. A. P., Mitchell J. (2011). Beyond Homophily: A Decade of Advances in Understanding Peer Influence Processes. *Journal of Research on Adolescence*, 21(1), 166-179. doi: 10.1111/j.1532-7795.2010.00721.x
- Breiter, H. C., Aharon, I., Kahneman, D., Dale, A., & Shizgal, P. (2001). Functional Imaging of Neural Responses to Expectancy and Experience of Monetary Gains and Losses. *Neuron*, 30(2), 619-639. doi: 10.1016/S0896-6273(01)00303-8
- 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.
- 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
- Cabantous, L., & Hilton, D. (2006). De l'aversion à l'ambiguïté aux attitudes face à l'ambiguïté: Les apports d'une perspective psychologique en économie. *Revue économique*, 57(2), 259. doi: 10.3917/reco.572.0259
- Cadet, B., & Chasseigne, G. (2009). Le jugement et la décision: repères historiques et notionnels. In Cadet, B., & Chasseigne, G. (Ed.), *Psychologie du jugement et de la décision: Des modèles aux applications*. (pp. 26-54). Bruxelles : De Boeck Université.
- Camerer, C., & Weber, M. (1992). Recent developments in modeling preferences: Uncertainty and ambiguity. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), 325-370. doi: 10.1007/BF00122575
- Carter, P. M., Bingham, C. R., Zakrajsek, J. S., Shope, J. T., & Sayer, T. B. (2014). Social Norms and Risk Perception: Predictors of Distracted Driving Behavior Among Novice Adolescent Drivers. *Journal of Adolescent Health*, 54(5), S32-S41. doi: 10.1016/j.jadohealth.2014.01.008
- Casey, B. J., Getz, S., & Galvan, A. (2008). The adolescent brain. *Developmental Review*, 28(1), 62-77. <http://doi.org/10.1016/j.dr.2007.08.003>
- Cassotti, M., Aïte, A., Osmont, A., Houdé, O., & Borst, G. (2014). What have we learned about the processes involved in the Iowa Gambling Task from developmental studies? *Frontiers in Psychology*, 5, 915. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00915
- 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), 926-931. 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), 400-411. 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), 378–384. 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(1-2), 163–166. doi:10.1016/j.drugalcdep.2012.09.020
- 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: Peer influence on risk taking. *Developmental Science*, 14(2), F1–F10. doi: 10.1111/j.1467-7687.2010.01035.x
- Chen, M., & Bargh, J.A. (1999). Consequences of Automatic Evaluation: Immediate Behavioural Predispositions to Approach or Avoid the Stimulus. *Personality and social psychology bulletin*, 25(2), 204–225. doi: 10.1177/0146167299025002007
- Chien, Y. C., Lin, C., & Worthley, J. (1996). Effect of framing on adolescents' decision making. *Perceptual and Motor Skills*, 83(3), 811–819. doi: 10.2466/pms.1996.83.3.811
- Christensen, S., & Morrongiello, B. A. (1997). The influence of peers on children's judgments about engaging in behaviors that threaten their safety. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 18(4), 547–562. doi:10.1016/S0193-3973(97)90028-9
- Chung, D., Christopoulos, G. I., King-Casas, B., Ball, S. B., & Chiu, P. H. (2015). Social signals of safety and risk confer utility and have asymmetric effects on observers' choices. *Nature Neuroscience*, 18(6), 912–916. doi: 10.1038/nn.4022
- Cohen, G. L., & Prinstein, M. J. (2006). Peer Contagion of Aggression and Health Risk Behavior Among Adolescent Males: An Experimental Investigation of Effects on Public Conduct and Private Attitudes. *Child Development*, 77(4), 967–983. doi: 10.1111/j.1467-8624.2006.00913.x
- Crone, E. A., Bullens, L., van der Plas, E. A., Kijlkuit, E. J., & Zelazo, P. D. (2008). Developmental changes and individual differences in risk and perspective taking in adolescence. *Development and Psychopathology*, 20(4), 1213–1229. doi: 10.1017/S0954579408000588
- Crone, E. A., Bunge, S., Latenstein, H., & van der Molen, M. (2005). Characterization of Children's Decision Making: Sensitivity to Punishment Frequency, Not Task Complexity. *Child Neuropsychology*, 11(3), 245–263. 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), 636–650. doi: 10.1038/nrn3313
- Crone, E. A., & van der Molen, M. (2004). Developmental Changes in Real Life Decision

- Making: Performance on a Gambling Task Previously Show to Depend on the Ventromedial Prefrontal Cortex. *Developmental Neuropsychology*, 25(3), 251–279.
- 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), 1288–1301. doi: 10.1111/j.1467-8624.2007.01066.x
- Csikszentmihalyi, M., Larson, R., & Prescott, S. (1977). The ecology of adolescent activity and experience. *Journal of Youth and Adolescence*, 6(3), 281–294. doi: 10.1007/BF02138940
- Dahl, R. E. (2004). Adolescent Brain Development: A Period of Vulnerabilities and Opportunities. Keynote Address. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1021(1), 1–22. doi: 10.1196/annals.1308.001
- Dahl, V., & van Zalk, M. (2014). Peer Networks and the Development of Illegal Political Behavior Among Adolescents. *Journal of Research on Adolescence*, 24(2), 399–409. doi: 10.1111/jora.12072
- Damasio, A. R. (1994). *L'erreur de Descartes: La raison des émotions*. Paris : Odile Jacob.
- Damasio, A. R., Everitt, B. J., & Bishop, D. (1996). The Somatic Marker Hypothesis and the Possible Functions of the Prefrontal Cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 351(1346), 1413–1420. doi: 10.1098/rstb.1996.0125
- 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. doi: 10.1126/science.8178168
- Dean, A. C., Sugar, C. A., Hellemann, G., & London, E. D. (2011). Is all risk bad? Young adult cigarette smokers fail to take adaptive risk in a laboratory decision-making test. *Psychopharmacology*, 215(4), 801–811. doi: 10.1007/s00213-011-2182-y
- Delgado, M. R., Locke, H. M., Stenger, V. A., & Fiez, J. A. (2003). Dorsal striatum responses to reward and punishment: effects of valence and magnitude manipulations. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 3(1), 27–38. doi: 10.1007/s00213-011-2182-y
- Delgado, M. R., Nystrom, L. E., Fissell, C., Noll, D. C., & Fiez, J. A. (2000). Tracking the Hemodynamic Responses to Reward and Punishment in the Striatum. *Journal of Neurophysiology*, 84(6), 3072–3077.
- De Martino, B., Camerer, C. F., & Adolphs, R. (2010). Amygdala damage eliminates monetary loss aversion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(8), 3788–3792. doi: 10.1073/pnas.0910230107
- De Martino, B., Harrison, N. A., Knafo, S., Bird, G., & Dolan, R. J. (2008). Explaining Enhanced Logical Consistency during Decision Making in Autism. *Journal of Neuroscience*, 28(42), 10746–10750. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2895-08.2008
- De Martino, B., Kumaran, D., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2006). Frames, Biases, and Rational Decision-Making in the Human Brain. *Science*, 313(5787), 684–687. doi: 10.1126/science.1128356
- De Neys, W. (2006a). Automatic-heuristic and executive-analytic processing during reasoning: Chronometric and dual-task considerations. *Quarterly Journal of*

- Experimental Psychology* (2006), 59(6), 1070–1100. [http: doi: 10.1080/02724980543000123](http://doi.org/10.1080/02724980543000123)
- De Neys, W. (2006b). Dual Processing in Reasoning Two Systems but One Reasoner. *Psychological Science*, 17(5), 428–433. doi: 10.1111/j.1467-9280.2006.01723.x
- De Neys, W. (2012). Bias and Conflict A Case for Logical Intuitions. *Perspectives on Psychological Science*, 7(1), 28–38. doi: 10.1177/1745691611429354
- De Neys, W., & Vanderputte, K. (2011). When less is not always more: Stereotype knowledge and reasoning development. *Developmental Psychology*, 47(2), 432–441. doi: 10.1037/a0021313
- Descartes, R. (1641). *Méditations métaphysiques. 6e Méditation*. Paris: Bibliothèque de la Pléiade, 2d Gallimard; 1953.
- Dumas, F., Huguet, P., & Ayme, E. (2005). Social Context Effects in the Stroop Task: When Knowledge of One's Relative Standing Makes a Difference. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, 16(2), 1–12.
- Dunn, B. D., Dalgleish, T., & Lawrence, A. D. (2006). The somatic marker hypothesis: a critical evaluation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30(2), 239–271. doi: 10.1016/j.neubiorev.2005.07.001
- Durston, S., Thomas, K. M., Yang, Y., Ulug, A. M., Zimmerman, R. D., & Casey, B. J. (2002). A neural basis for the development of inhibitory control. *Developmental Science*, 5(4), F9–F16. doi: 10.1111/1467-7687.00235
- Eaton, D. K., Kann, L., Kinchen, S., Shanklin, S., Flint, K. H., Hawkins, ... Wechsler, H. (2012). Youth risk behavior surveillance-United States, 2011. *Morbidity and Mortality Weekly Report. Surveillance Summaries*, 61(4), 1–162.
- Einhorn, H. J., & Hogarth, R. M. (1985). Ambiguity and uncertainty in probabilistic inference. *Psychological Review*, 92(4), 433–461. doi: 10.1037/0033-295X.92.4.433
- Ellsberg, D. (1961). Risk, Ambiguity, and the Savage Axioms. *The Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643–669. doi: 10.2307/1884324
- Ernst, M. (2014). The triadic model perspective for the study of adolescent motivated behavior. *Brain and Cognition*, 89, 104–111. doi: 10.1016/j.bandc.2014.01.006
- Ernst, M., Nelson, E. E., Jazbec, S., McClure, E. B., Monk, C. S., Leibenluft, E., ... Pine, D. S. (2005). Amygdala and nucleus accumbens in responses to receipt and omission of gains in adults and adolescents. *NeuroImage*, 25(4), 1279–1291. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.12.038
- Ernst, M., Nelson, E. E., McClure, E. B., Monk, C. S., Munson, S., Eshel, N., ... Pine, D. S. (2004). Choice selection and reward anticipation: an fMRI study. *Neuropsychologia*, 42(12), 1585–1597. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2004.05.011
- Ersnt, M., Pine, D. S., & Hardin, M. (2006). Triadic model of the neurobiology of motivated behavior in adolescence. *Psychological Medicine*, 36(3), 299–312. doi: 10.1017/S0033291705005891
- Ernst, M., Pine, D. S., & Hardin, M. (2009). Le modèle triadique des aspects neurobiologiques

- des comportements motivés à l'adolescence. *PSN-psychiatrie Sciences Humaines Neurosciences*, 7(3-4), 127-139. doi: 10.1007/s11836-009-0094-2
- Eshel, N., Nelson, E. E., Blair, 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), 1270-1279. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.004
- Evans, J. S. B. T. (2003). In two minds: dual-process accounts of reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(10), 454-459.
- Evans, J. S. B. T. (2010). Intuition and Reasoning: A Dual-Process Perspective. *Psychological Inquiry*, 21(4), 313-326. doi: 10.1080/1047840X.2010.521057
- Evans, J. S. 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
- Fagley, N. S. (1993). A note concerning reflection effects versus framing effects. *Psychological Bulletin*, 113(3), 451-452. doi: 10.1037/0033-2909.113.3.451
- Falk, R., & Wilkening, F. (1998). Children's construction of fair chances: adjusting probabilities. *Developmental Psychology*, 34(6), 1340.
- Fareri, D. S., & Delgado, M. R. (2014). Differential reward responses during competition against in- and out-of-network others. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 9(4), 412-420. doi: 10.1093/scan/nst006
- 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: Learning, Memory, and Cognition*, 35(3), 709-730. doi: 10.1037/a0014983
- Fishburne, P. M., Cisin, I. H., Abelson, H. I. (1980). *National survey on drug abuse: main findings, 1979*. Rockville, Maryland: National Institute on Drug Abuse, Office of Medical and Professional Affairs.
- Fox, C. R., & Tversky, A. (1995). Ambiguity Aversion and Comparative Ignorance. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(3), 585-603. doi: 10.2307/2946693
- 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
- Fukunaga, R., Brown, J. W., & Bogg, T. (2012). Decision making in the Balloon Analogue Risk Task (BART): Anterior cingulate cortex signals loss aversion but not the infrequency of risky choices. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 12(3), 479-490. doi: 10.3758/s13415-012-0102-1
- Furby, L., & Beyth-Marom, R. (1990). Risk Taking in Adolescence: A Decision-Making Perspective. *Developmental Review*, 12(1), 1-44. doi: 10.1016/0273-2297(92)90002-J
- Galvan, A. (2010). Adolescent Development of the Reward System. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4(6). doi: 10.3389/neuro.09.006.2010

- 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. *Journal of Neuroscience*, 26(25), 6885–6892. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1062-06.2006
- Galvan, A., Hare, T. A., Voss, H., Glover, G., & Casey, B. J. (2007). Risk-taking and the adolescent brain: who is at risk? *Developmental Science*, 10(2), F8–F14. doi: 10.1111/j.1467-7687.2006.00579.x
- Galvan, A., Van Leijenhorst, L., & McGlennen, K. M. (2012). Considerations for imaging the adolescent brain. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(3), 293–302. doi: 10.1016/j.dcn.2012.02.002
- 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), 625–635. doi: 10.1037/0012-1649.41.4.625
- Geier, C. F., Terwilliger, R., Teslovich, T., Velanova, K., & Luna, B. (2010). Immaturities in reward processing and its influence on inhibitory control in adolescence. *Cerebral Cortex*, 20(7), 1613–1629. doi: 10.1093/cercor/bhp225
- Gilman, J. M., Curran, M. T., Calderon, V., Stoeckel, L. E., & Evins, A. E. (2014). Impulsive Social Influence Increases Impulsive Choices on a Temporal Discounting Task in Young Adults. *PLoS ONE*, 9(7), e101570. doi: 10.1371/journal.pone.0101570
- Godeau, E., Navarro, F., & Arnaud, C. (2012). *La santé des collégiens en France, 2010: données françaises de l'enquête internationale Health behaviour in school-aged children, HBSC*. Saint-Denis: Institut national de prévention et d'éducation pour la santé.
- Guyer, A. E., Monk, C. S., McClure-Tone, E. B., Nelson, E. E., Roberson-Nay, R., Adler, A. D., ... Ernst, M. (2008). A developmental examination of amygdala response to facial expressions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(9), 1565–1582. doi: 10.1162/jocn.2008.20114
- Habib, M., Borst, G., Poirel, N., Houdé, O., Moutier, S., & Cassotti, M. (2013). Socio-Emotional Context and Adolescents' Decision Making: The Experience of Regret and Relief After Social Comparison. *Journal of Research on Adolescence*, 25(1), 81-91. doi: 10.1111/jora.12092
- Habib, M., & Cassotti, M. (2015). Le temps des regrets : Comment le développement du regret influence-t-il la prise de décision à risque des enfants et des adolescents ? *L'année Psychologique* (in press).
- Habib, M., Cassotti, M., Borst, G., Simon, G., Pineau, A., Houdé, O., & Moutier, S. (2012). Counterfactually mediated emotions: a developmental study of regret and relief in a probabilistic gambling task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112(2), 265–274. doi: 10.1016/j.jecp.2012.01.007
- Habib, M., Cassotti, M., Moutier, S., Houdé, O., & Borst, G. (2015). Fear and anger have opposite effects on risk seeking in the gain frame. *Emotion Science*, 6 (253). doi: 10.3389/fpsyg.2015.00253
- Haddad, A. D. M., Harrison, F., Norman, T., & Lau, J. Y. F. (2014). Adolescent and adult risk-taking in virtual social contexts. *Frontiers in Psychology*, 18(5), 1476. doi:



10.3389/fpsyg.2014.01476

- Hardoon, K. K., & Derevensky, J. L. (2001). Social influences involved in children's gambling behavior. *Journal of Gambling Studies*, 17(3), 191–215.
- Hare, T. A., Camerer, C. F., & Rangel, A. (2009). Self-control in decision-making involves modulation of the vmPFC valuation system. *Science*, 324(5927), 646–648. doi: 10.1126/science.1168450
- 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), 927–934. doi: 10.1016/j.biopsych.2008.03.015
- Harrington, D. M., Block, J. H., & Block, J. (1978). Intolerance of ambiguity in preschool children: Psychometric considerations, behavioral manifestations, and parental correlates. *Developmental Psychology*, 14(3), 242–256. doi: 10.1037/0012-1649.14.3.242
- Heath, C., & Tversky, A. (1991). Preference and Belief: Ambiguity and Competence in Choice under Uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 4(1), 5–28.
- Helfinstein, S. M., Mumford, J. A., & Poldrack, R. A. (2014). If All Your Friends Jumped Off a Bridge: The Effect of Others' Actions on Engagement in and Recommendation of Risky Behaviors. *Journal of Experimental Psychology: General*. 144(1), 12–7. doi: 10.1037/xge0000043
- 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), 249–260. doi: 10.1037/1076-898X.9.4.249
- Ho, J. L., Keller, L. R., & Keltyka, P. (2002). Effects of outcome and probabilistic ambiguity on managerial choices. *Journal of Risk and Uncertainty*, 24(1), 47–74.
- Holman, A., & Sillars, A. (2012). Talk about “hooking up”: The Influence of College Student Social Networks on Nonrelationship Sex. *Health Communication*, 27(2), 205–216. doi: 10.1080/10410236.2011.575540
- 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), 1148–1158. doi: 10.1037/0012-1649.40.6.1148
- Houdé, O. (2000). Inhibition and cognitive development: object, number, categorization, and reasoning. *Cognitive Development*, 15(1), 63–73. doi: 10.1016/S0885-2014(00)00015-0
- Houdé, O. (2007). First insights on “neuropedagogy of reasoning.” *Thinking & Reasoning*, 13(2), 81–89. doi: 10.1080/13546780500450599
- Houdé, O. (2013). *La psychologie de l'enfant*. Paris : Presses universitaires de France.
- Houdé, O. (2014). *Le raisonnement*. Paris: Presses universitaires de France.
- Houdé, O., & Borst, G. (2015). Evidence for an inhibitory-control theory of the reasoning brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9 (148). doi: 10.3389/fnhum.2015.00148

- Houdé, O., Pineau, A., Leroux, G., Poirel, N., Perchey, G., Lanoë, C., Lubin, A., Turbelin, M.-R., Rossi, S., Simon, G., Delcroix, N., Lamberton, F., Vigneau, M., Wisniewski, G., Vicet, J.-R., & Mazoyer, B. (2011). Functional MRI study of Piaget's conservation-of-number task in preschool and school-age children: A neo-Piagetian approach. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110 (3), 332-346. doi: 10.1016/j.jecp.2011.04.008
- Houdé, O., Rossi, S., Lubin, A., & Joliot, M. (2010). Mapping numerical processing, reading, and executive functions in the developing brain: an fMRI meta-analysis of 52 studies including 842 children. *Developmental Science*, 13(6), 876-885. doi: 10.1111/j.1467-7687.2009.00938.x
- 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), 1680-1683. doi: 10.1126/science.1115327
- Huang, Y., & Wang, L. (2010). Sex differences in framing effects across task domain. *Personality and Individual Differences*, 48(5), 649-653. doi: 10.1016/j.paid.2010.01.005
- Huerre, P. (2001). L'histoire de l'adolescence : rôles et fonctions d'un artifice. *Journal français de psychiatrie*, 14(3), 6. doi: 10.3917/jfp.014.06
- Huguet, P., Dumas, F., & Monteil, J. M. (2004). Competing for a desired reward in the Stroop task: When attentional control is unconscious but effective versus conscious but ineffective. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 58(3), 153-167. doi: 10.1037/h0087441
- Huguet, P., Galvaing, M. P., Monteil, J. M., & Dumas, F. (1999). Social presence effects in the Stroop task: further evidence for an attentional view of social facilitation. *Journal of Personality and Social Psychology*, 77(5), 1011-1025.
- 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), 814-825. 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.org/10.1016/j.paid.2012.11.031
- Inukai, K., & Takahashi, T. (2009). Decision Under Ambiguity: Effects of Sign and Magnitude. *International Journal of Neuroscience*, 119(8), 1170-1178. doi: 10.1080/00207450802174472
- Jackson, D. N., Hourany, L., & Vidmar, N. J. (1972). A four-dimensional interpretation of risk taking. *Journal of Personality*, 40(3), 483-501. doi: 10.1111/j.1467-6494.1972.tb00075.x
- Jackson, K. M., Roberts, M. E., Colby, S. M., Barnett, N. P., Abar, C. C., & Merrill, J. E. (2014). Willingness to Drink as a Function of Peer Offers and Peer Norms in Early Adolescence. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*, 75(3), 404-414.
- Jacobs, J. E., & Potenza, M. (1991). The Use of Judgement Heuristics to Make Social and Object Decisions: A Developmental Perspective. *Child Development*, 62(1), 166-178. doi: 10.1111/j.1467-8624.1991.tb01522.x

- Jansen, B. R. J., van Duijvenvoorde, A. C. K., & Huizenga, H. M. (2012). Development of decision making: Sequential versus integrative rules. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(1), 87–100. doi: 10.1016/j.jecp.2011.07.006
- Jarcho, J. M., Benson, B. E., Guyer, A. E., Detloff, A. M., Pine, D. S., Leibenluft, E., & Ernst, M. (2012). Developmental effects of decision-making on sensitivity to reward: An fMRI study. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(4), 437–447. doi: 10.1016/j.dcn.2012.04.002
- Jonah, B. A. (1986). Accident risk and risk-taking behaviour among young drivers. *Accident Analysis and Prevention*, 18(4), 255–271.
- Kahn, B. E., & Sarin, R. K. (1988). Modeling Ambiguity in Decision Under Uncertainty. *The Journal of Consumer Research*, 15(2), 265–272.
- Kahn, I., Yeshurun, Y., Rotshtein, P., Fried, I., Ben-Bashat, D., & Hendler, T. (2002). The role of the amygdala in signaling prospective outcome of choice. *Neuron*, 33(6), 983–994. doi: 10.1016/S0896-6273(02)00626-8
- Kahneman, D. (2003). A perspective on judgment and choice: mapping bounded rationality. *The American Psychologist*, 58(9), 697–720. doi: 10.1037/0003-066X.58.9.697
- Kahneman, D., & Frederick, S. (2007). Frames and brains: elicitation and control of response tendencies. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(2), 45–46. doi: 10.1016/j.tics.2006.11.007
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decisions under risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1984). Choices, values, and frames. *American Psychologist*, 39(4), 341–350.
- Keren, G., & Gerritsen, L. E. (1999). On the robustness and possible accounts of ambiguity aversion. *Acta Psychologica*, 103(1), 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
- Knight, F. H. (1921). *Risk, Uncertainty, and Profit*. Boston: Houghton Mifflin.
- Knoch, D. (2006). Disruption of Right Prefrontal Cortex by Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Induces Risk-Taking Behavior. *Journal of Neuroscience*, 26(24), 6469–6472. doi: 10.1523/JNEUROSCI.0804-06.2006
- Knoll, L. J., Magis-Weinberg, L., Speekenbrink, M., & Blakemore, S. J. (2015). Social Influence on Risk Perception During Adolescence. *Psychological Science*, 26(5), 583–592. doi: 10.1177/0956797615569578
- Kokis, J. V., Macpherson, R., Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2002). Heuristic and analytic processing: Age trends and associations with cognitive ability and cognitive styles. *Journal of Experimental Child Psychology*, 83(1), 26–52.
- Kuzmak, S. D., & Gelman, R. (1986). Young Children’s Understanding of Random Phenomena. *Child Development*, 57(3), 559–566. doi: 10.2307/1130336

- Lang, P. J., Bradley, M. M., Cuthbert, B. N., & others. (1999). International affective picture system (IAPS): Instruction manual and affective ratings. *The Center for Research in Psychophysiology, University of Florida*.
- Larson, R. W., Richards, M. H., Moneta, G., Holmbeck, G., & Duckett, E. (1996). Changes in adolescents' daily interactions with their families from ages 10 to 18: Disengagement and transformation. *Developmental Psychology*, 32(4), 744–754. doi: 10.1037/0012-1649.32.4.744
- Leigh, B. C. (1999). Peril, chance, adventure: concepts of risk, alcohol use and risky behavior in young adults. *Addiction*, 94(3), 371–383. doi: 10.1080/09652149933865
- Lejuez, C. W., Aklin, W. M., Jones, H. A., Richards, J. B., Strong, D. R., Kahler, C. W., & Read, J. P. (2003). The balloon analogue risk task (BART) differentiates smokers and nonsmokers. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 11(1), 26–33. doi: 10.1037/1064-1297.11.1.26
- 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., ... Brown, R. A. (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
- Lerner, R. M., & Steinberg, L. D. (2009). *Handbook of adolescent psychology* (3rd ed). Hoboken (N.J.): J. Wiley & Sons.
- Levin, I. P., & Hart, S. S. (2003). Risk preferences in young children: early evidence of individual differences in reaction to potential gains and losses. *Journal of Behavioral Decision Making*, 16(5), 397–413. doi: 10.1002/bdm.453
- Levin, I. P., Hart, S. S., Weller, J. A., & Harshman, L. A. (2007). Stability of choices in a risky decision-making task: a 3-year longitudinal study with children and adults. *Journal of Behavioral Decision Making*, 20(3), 241–252. doi: 10.1002/bdm.552 Age-related differences in adaptive decision making: Sensitivity to expected value in risky choice
- Levin, I. P., Weller, J. A., Pederson, A. A., & Harshman, L. A. (2007).. *Judgment and Decision Making*, 2(4), 225–233.
- Levisalles, N. (2009). *L'ado (et le bonobo): essai sur un âge impossible*. Paris: Hachette littératures.
- 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), 1036–1047. doi: 10.1152/jn.00853.2009
- 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
- Loewenstein, G. F., Rick, S., & Cohen, J. D. (2008). Neuroeconomics. *Annual Review of*

- Psychology*, 59, 647–672. doi: 10.1146/annurev.psych.59.103006.093710
- Loewenstein, G. F., Weber, E. U., Hsee, C. K., & Welch, N. (2001). Risk as feelings. *Psychological Bulletin*, 127(2), 267–286.
- Lopes, L. L. (1994). Psychology and Economics: Perspectives on Risk, Cooperation, and the Marketplace. *Annual Review of Psychology*, 45(1), 197–227. doi: 10.1146/annurev.ps.45.020194.001213
- Ma, Q., Pei, G., & Wang, K. (2015). Influence of negative emotion on the framing effect: Evidence from event-related potentials. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*, 26(6), 325–332. doi: 10.1097/WNR.0000000000000346
- MacKinnon, D. P., Geiselman, R.E., & Woodward, J. A. (1985). The effects of effort on stroop interference. *Acta Psychologica*, 58(3), 225–35. doi: 10.1016/0001-6918(85)90022-8
- Marshall, W. A., & Tanner, J. M. (1969). Variations in pattern of pubertal changes in girls. *Archives of Disease in Childhood*, 44(235), 291–303. doi:10.1136/ad.44.235.291
- Maxwell, K. A. (2002). Friends: The role of peer influence across adolescent risk behaviors. *Journal of Youth and Adolescence*, 31(4), 267–277.
- Mayhew, A. C. D. (1986). Youth, alcohol and relative risk of crash involvement. *Accident Analysis and Prevention*, 18(4), 273–87. doi: 10.1016/0001-4575(86)90042-4
- May, J. C., Delgado, M. R., Dahl, R. E., Stenger, V. A., Ryan, N. D., Fiez, J. A., & Carter, C. S. (2004). Event-related functional magnetic resonance imaging of reward-related brain circuitry in children and adolescents. *Biological Psychiatry*, 55(4), 359–366. doi: 10.1016/j.biopsych.2003.11.008
- Mellers, B. A. (2000). Choice and the relative pleasure of consequences. *Psychological Bulletin*, 126(6), 910–924. doi: 10.1037/0033-2909.126.6.910
- Mellers, B. A., & McGraw, A. P. (2001). Anticipated emotions as guides to choice. *Current Directions in Psychological Science*, 10(6), 210–214.
- Mellers, B. A., Schwartz, A., Ho, K., & Ritov, I. (1997). Decision Affect Theory: Emotional Reactions to the Outcomes of Risky Options. *Psychological Science*, 8(6), 423–429. doi: 10.1111/j.1467-9280.1997.tb00455.x
- Mellers, B., Schwartz, A., & Ritov, I. (1999). Emotion-based choice. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128(3), 332–345. <http://doi.org/10.1037/0096-3445.128.3.332>
- Meyer, D. J. C., & Anderson, H. C. (2000). Preadolescent consumer conformity: A study of motivation for purchasing apparel. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 4(2), 173–181. doi: 10.1108/eb022588
- Millstein, S. G., & Halpern-Felsher, B. L. (2002). Judgments about Risk and Perceived Invulnerability in Adolescents and Young Adults. *Journal of Research on Adolescence*, 12(4), 399–422. doi: 10.1111/1532-7795.00039
- Mischel, W., & Metzner, R. (1962). Preference for delayed reward as a function of age, intelligence, and length of delay interval. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, 64(6), 425–431. doi: 10.1037/h0045046

- Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. I. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244(4907), 933–938. doi: 10.1126/science.2658056
- Moon, S. S., Blakey, J. M., Boyas, J., Horton, K., & Kim, Y. J. (2014). The Influence of Parental, Peer, and School Factors on Marijuana Use Among Native American Adolescents. *Journal of Social Service Research*, 40(2), 147–159. doi: 10.1080/01488376.2013.865578
- Moore, S., & Gullone, E. (1996). Predicting adolescent risk behavior using a personalized cost-benefit analysis. *Journal of Youth and Adolescence*, 25(3), 343–359. doi: 10.1007/BF01537389
- Monk, C. S., McClure, E. B., Nelson, E. E., Zarahn, E., Bilder, R. M., Leibenluft, E., ... Pine, D. S. (2003). Adolescent immaturity in attention-related brain engagement to emotional facial expressions. *NeuroImage*, 20(1), 420–428.
- Nawa, N. E., Nelson, E. E., Pine, D. S., & Ernst, M. (2008). Do you make a difference? Social context in a betting task. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 3(4), 367–376. doi: 10.1093/scan/nsn032
- Nisan, M. (1976). Delay of gratification in children: Personal versus group choices. *Child Development*, 47(1), 195–200. doi: 10.2307/1128299
- Nisan, M. (1977). Children's actual choices and their conception of the wise choice in a delay-of-gratification situation. *Child Development*, 48, 488–494. doi: 10.2307/1128644
- O'Brien, L., Albert, D., Chein, J., & Steinberg, L. (2011). Adolescents Prefer More Immediate Rewards When in the Presence of their Peers. *Journal of Research on Adolescence*, 21(4), 747–753. doi: 10.1111/j.1532-7795.2011.00738.x
- Osmont, A., Cassotti, M., Agogué, M., Houdé, O., & Moutier, S. (2014). Does ambiguity aversion influence the framing effect during decision making? *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(2), 572–577. doi: 10.3758/s13423-014-0688-0
- 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), 1838–1851. 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.
- Paulsen, D. J., Carter, R. M., Platt, M. L., Huettel, S. A., & Brannon, E. M. (2011). Neurocognitive development of risk aversion from early childhood to adulthood. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5, 178. doi: 10.3389/fnhum.2011.00178
- Paulsen, D. J., Platt, M. L., Huettel, S. A., & Brannon, E. M. (2011). Decision-Making Under Risk in Children, Adolescents, and Young Adults. *Frontiers in Psychology*, 2(72). doi: 10.3389/fpsyg.2011.00072
- Petersen, A. C., Crockett, L., Richards, M., & Boxer, A. (1988). A self-report measure of pubertal status: Reliability, validity, and initial norms. *Journal of Youth and Adolescence*, 17(2), 117–133. doi: 10.1007/BF01537962
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *La genèse de l'idée de hasard chez l'enfant* (2. éd). Paris:

Presses universitaires de France.

- Piaget, J., & Inhelder, B. (1996). *La Psychologie de l'enfant* (17e. éd). Paris: Presses universitaires de France.
- 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), 555–564. doi: 10.1037/a0014245
- Powell, J. L., & Drucker, A. D. (1997). The Role of Peer Conformity in the Decision to Ride with an Intoxicated Driver. *Journal of Alcohol and Drug Education*, 43(1), 1–7.
- Pulford, B. D. (2009). Is luck on my side? Optimism, pessimism, and ambiguity aversion. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(6), 1079–1087. doi: 10.1080/17470210802592113
- Pulford, B. D., & Colman, A. M. (2007a). Ambiguous games: Evidence for strategic ambiguity aversion. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(8), 1083–1100. doi: 10.1080/17470210600866354
- Pulford, B. D., & Colman, A. M. (2007b). Size Doesn't Really Matter. *Experimental Psychology*, 55(1), 31–37. doi: 10.1027/1618-3169.55.1.31
- Quadrel, M. J., Fischhoff, B., & Davis, W. (1993). Adolescent (in)vulnerability. *American Psychologist*, 48(2), 102–116. doi: 10.1037/0003-066X.48.2.102
- 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
- Reyna, V. F. (1995). Interference effects in memory and reasoning: A fuzzy-trace theory analysis. In Dempster, F. N., & Brainerd, C. J. (Ed.), *Interference and Inhibition in Cognition* (pp. 29–59). San Diego: Academic Press.
- Reyna, V. F. (2004). How People Make Decisions That Involve Risk A Dual-Processes Approach. *Current Directions in Psychological Science*, 13(2), 60–66. doi: 10.1111/j.0963-7214.2004.00275.x
- Reyna, V. F. (2012). A new intuitionism: Meaning, memory, and development in Fuzzy-Trace Theory. *Judgment and Decision Making*, 7(3), 332.
- Reyna, V. F., & Brainerd, C. J. (2011). Dual processes in decision making and developmental neuroscience: A fuzzy-trace model. *Developmental Review*, 31(2–3), 180–206. doi: 10.1016/j.dr.2011.07.004
- Reyna, V. F., & Ellis, S. C. (1994). Fuzzy-Trace Theory and Framing Effects in Children's Risky Decision Making. *Psychological Science*, 5(5), 275–279. doi: 10.1111/j.1467-9280.1994.tb00625.x
- Reyna, V. F., Estrada, S. M., DeMarinis, J. A., Myers, R. M., Stanis, J. M., & Mills, B. A. (2011). Neurobiological and memory models of risky decision making in adolescents versus young adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(5), 1125–1142. doi: 10.1037/a0023943

- 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), 1–44.
- Reynolds, E. K., MacPherson, L., Schwartz, S., Fox, N. A., & Lejuez, C. W. (2013). Analogue Study of Peer Influence on Risk-Taking Behavior in Older Adolescents. *Prevention Science*, 15(6), 842–849. doi: 10.1007/s11121-013-0439-x
- Rhodes, N., Pivik, K., & Sutton, M. (2015). Risky driving among young male drivers: The effects of mood and passengers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 28, 65–76. doi: 10.1016/j.trf.2014.11.005
- Rolison, J. J., Hanoch, Y., & Wood, S. (2012). Risky decision making in younger and older adults: The role of learning. *Psychology and Aging*, 27(1), 129–140. doi: 10.1037/a0024689
- Rossignon, C. (Producer), & Samueli, Y. (2003). *Jeux d'enfants* [Motion Picture]. France : Nord-Ouest Production.
- Rubaltelli, E., Rumati, R., & Slovic, S. (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
- Rubia, K., Smith, A. B., Woolley, J., Nosarti, C., Heyman, I., Taylor, E., & Brammer, M. (2006). Progressive increase of frontostriatal brain activation from childhood to adulthood during event-related tasks of cognitive control. *Human Brain Mapping*, 27(12), 973–993. doi: 10.1002/hbm.20237
- Savage, L. J. (1954). *Foundations of statistics*. Oxford, England: Wiley.
- Schlottmann, A. (2001). Children's probability intuitions: Understanding the expected value of complex gambles. *Child Development*, 72(1), 103–122.
- Schlottmann, A., & Tring, J. (2005). How Children Reason about Gains and Losses: Framing Effects in Judgement and Choice. *Swiss Journal of Psychology*, 64(3), 153–171. doi: 10.1024/1421-0185.64.3.153
- Sebastian, C., Viding, E., Williams, K. D., & Blakemore, S.J. (2010). Social brain development and the affective consequences of ostracism in adolescence. *Brain and Cognition*, 72(1), 134–145. doi: 10.1016/j.bandc.2009.06.008
- Sharma, D., Booth, R., Brown, R., & Huguet, P. (2010). Exploring the temporal dynamics of social facilitation in the Stroop task. *Psychonomic bulletin & review*, 17(1), 52–58. doi: 10.3758/PBR.17.1.52.
- Shepherd, J. L., Lane, D. J., Tapscott, R. L., & Gentile, D. A. (2011). Susceptible to social influence: Risky “driving” in response to peer pressure. *Journal of Applied Social Psychology*, 41(4), 773–797. doi: 10.1111/j.1559-1816.2011.00735.x
- Simons-Morton, B. G., Lerner, N., & Singer, J. (2005). The observed effects of teenage passengers on the risky driving behavior of teenage drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 37(6), 973–982. doi: 10.1016/j.aap.2005.04.014
- Simons-Morton, B. G., Ouimet, M. C., Zhang, Z., Klauer, S. E., Lee, S. E., Wang, J., ... Dingus, T. A. (2011). The Effect of Passengers and Risk-Taking Friends on Risky Driving and



- Crashes/Near Crashes Among Novice Teenagers. *Journal of Adolescent Health*, 49(6), 587–593. doi: 10.1016/j.jadohealth.2011.02.009
- Sip, K. E., Smith, D. V., Porcelli, A. J., Kar, K., & Delgado, M. R. (2015). Social closeness and feedback modulate susceptibility to the framing effect. *Social Neuroscience*, 10(1), 35–45. doi: 10.1080/17470919.2014.944316
- Sisk, C. L., & Zehr, J. L. (2005). Pubertal hormones organize the adolescent brain and behavior. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 26(3-4), 163–174. doi: 10.1016/j.yfrne.2005.10.003
- Slovic, P. (1964). Assessment of risk taking behavior. *Psychological Bulletin*, 61(3), 220–233. doi: 0.1037/h0043608
- Slovic, P. (1966). Risk-Taking in Children: Age and Sex Differences. *Child Development*, 37(1), 169–176. doi: 10.2307/1126437
- Smith, A. B., Halari, R., Giampetro, V., Brammer, M., & Rubia, K. (2011). Developmental effects of reward on sustained attention networks. *NeuroImage*, 56(3), 1693–1704. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.01.072
- Smith, A. R., Chein, J., & Steinberg, L. (2013). Impact of socio-emotional context, brain development, and pubertal maturation on adolescent risk-taking. *Hormones and Behavior*, 64(2), 323–332. doi: 10.1016/j.yhbeh.2013.03.006
- Smith, A. R., Chein, J., & Steinberg, L. (2014). Peers increase adolescent risk taking even when the probabilities of negative outcomes are known. *Developmental Psychology*, 50(5), 1564–1568. doi: 10.1037/a0035696
- Smith, A. R., Steinberg, L., Strang, N., & Chein, J. (2014). Age differences in the impact of peers on adolescents' and adults' neural response to reward. *Developmental Cognitive Neuroscience*. doi: 10.1016/j.dcn.2014.08.010
- 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), 1180–1187. doi: 10.1037/a0026342
- Smith, D. V., & Delgado, M. R. (2015). Social nudges: utility conferred from others. *Nature Neuroscience*, 18(6), 791–792. doi: 10.1038/nn.4031
- Smith, K., Dickhaut, J., McCabe, K., & Pardo, J. V. (2002). Neuronal Substrates for Choice Under Ambiguity, Risk, Gains, and Losses. *Management Science*, 48(6), 711–718. doi: 10.1287/mnsc.48.6.711.194
- Somerville, L. H., Hare, T., & Casey, B. (2011). Frontostriatal maturation predicts cognitive control failure to appetitive cues in adolescents. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(9), 2123–2134. 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), 124–133. doi: 10.1016/j.bandc.2009.07.003
- Spear, L. P. (2000). The adolescent brain and age-related behavioral manifestations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 24(4), 417–463.

- Spear, L. P. (2011). Rewards, aversions and affect in adolescence: Emerging convergences across laboratory animal and human data. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1(4), 390–403. doi: 10.1016/j.dcn.2011.08.001
- Stanton, S. J., Mullette-Gillman, O. A., McLaurin, R. E., Kuhn, C. M., LaBar, K. S., Platt, M. L., & Huettel, S. A. (2011). Low- and high-testosterone individuals exhibit decreased aversion to economic risk. *Psychological Science*, 22(4), 447–453. doi: 10.1177/0956797611401752
- Steelandt, S., Thierry, B., Broihanne, M.-H., & Dufour, V. (2012). The ability of children to delay gratification in an exchange task. *Cognition*, 122(3), 416–425. doi: 10.1016/j.cognition.2011.11.009
- Steinberg, L. (2007). Risk taking in adolescence: New perspectives from brain and behavioral science. *Current Directions in Psychological Science*, 16(2), 55–59. doi: 10.1111/j.1467-8721.2007.00475.x
- 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., Graham, S., O'Brien, L., Woolard, J., Cauffman, E., & Banich, M. (2009). Age differences in future orientation and delay discounting. *Child Development*, 80(1), 28–44. doi: 10.1111/j.1467-8624.2008.01244.x
- Steinberg, L., & Monahan, K. C. (2007). Age differences in resistance to peer influence. *Developmental Psychology*, 43(6), 1531–1543. doi: 10.1037/0012-1649.43.6.1531
- Talmi, D., Hurlemann, R., Patin, A., & Dolan, R. J. (2010). Framing effect following bilateral amygdala lesion. *Neuropsychologia*, 48(6), 1823–1827. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.03.005
- Tanner, J. M. (1962). *Growth at adolescence; with a general consideration of the effects of hereditary and environmental factors upon growth and maturation from birth to maturity*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Telzer, E. H., Ichien, N. T., & Qu, Y. (in press). Mothers know best: redirecting adolescent reward sensitivity toward safe behavior during risk taking. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*. doi: 10.1093/scan/nsv026
- Teunissen, H. A., Spijkerman, R., Cohen, G. L., Prinstein, M. J., Engels, R. C. M. E., & Scholte, R. H. J. (2013). An experimental study on the effects of peer drinking norms on adolescents' drinker prototypes. *Addictive Behaviors*, 39(1), 85–93. doi: 10.1016/j.addbeh.2013.08.034
- Teunissen, H. A., Spijkerman, R., Prinstein, M. J., Cohen, G. L., Engels, R. C. M. E., & Scholte, R. H. J. (2012). Adolescents' Conformity to Their Peers' Pro-Alcohol and Anti-Alcohol Norms: The Power of Popularity. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 36(7), 1257–1267. doi: 10.1111/j.1530-0277.2011.01728.x
- Tom, S. M., Fox, C. R., Trepel, C., & Poldrack, R. A. (2007). The neural basis of loss aversion in decision-making under risk. *Science*, 315(5811), 515–518. doi: 10.1126/science.1134239
- Tottenham, N., Tanaka, J. W., Leon, A. C., McCarry, T., Nurse, M., Hare, T. A., ... Nelson, C.

- (2009). The NimStim set of facial expressions: judgments from untrained research participants. *Psychiatry Research*, 168(3), 242–249. doi: 10.1016/j.psychres.2008.05.006
- Trautmann, S. T., Vieider, F. M., & Wakker, P. P. (2008). Causes of ambiguity aversion: Known versus unknown preferences. *Journal of Risk and Uncertainty*, 36(3), 225–243. <http://doi.org/10.1007/s11166-008-9038-9>
- Trepel, C., Fox, C. R., & Poldrack, R. A. (2005). Prospect theory on the brain? Toward a cognitive neuroscience of decision under risk. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 23(1), 34–50. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2005.01.016
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453–458. doi: 10.1126/science.7455683
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and Uncertainty*, 5(4), 297–323. doi: 10.1007/BF00122574
- 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*, 109(42), 17135–17140. doi: 10.1073/pnas.1207144109
- Utech, D. A., & Hoving, K. L. (1969). Parents and peers as competing influences in the decisions of children of differing ages. *The Journal of Social Psychology*, 78(2), 267–274. doi: 10.1080/00224545.1969.9922366
- van Duijvenvoorde, A. C. K., Huizenga, H. M., Somerville, L. H., Delgado, M. R., Powers, A., Weeda, W. D., ... Figner, B. (2015). Neural Correlates of Expected Risks and Returns in Risky Choice across Development. *The Journal of Neuroscience*, 35(4), 1549–1560. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1924-14.2015
- van Duijvenvoorde, A. C. K., Jansen, B. R. J., Bredman, J. C., & Huizenga, H. M. (2012). 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., Griffioen, E. S., Van der Molen, M. W., & Huizenga, H. M. (2013). Decomposing developmental differences in probabilistic feedback learning: A combined performance and heart-rate analysis. *Biological Psychology*, 93(1), 175–183. doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.01.006
- van Duijvenvoorde, A. C. K., Jansen, B. R., Visser, I., & Huizenga, H. M. (2010). Affective and cognitive decision-making in adolescents. *Developmental Neuropsychology*, 35(5), 539–554. doi: 10.1080/87565641.2010.494749.
- van Hoorn, J., van Dijk, E., Meuwese, R., Rieffe, C., & Crone, E. A. (2014). Peer Influence on Prosocial Behavior in Adolescence. *Journal of Research on Adolescence*. doi: 10.1111/jora.12173
- van Leijenhorst, L., Crone, E. A., & Bunge, S. A. (2006). Neural correlates of developmental differences in risk estimation and feedback processing. *Neuropsychologia*, 44(11), 2158–2170. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.002
- van Leijenhorst, L., Moor, B. G., 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), 345–355. 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), 179–196. doi: 10.1080/87565640701884287
- van Leijenhorst, L., Zanolie, K., Van Meel, C. S., Westenberg, P. M., Rombouts, S. A. R. B., & Crone, E. A. (2010). What Motivates the Adolescent? Brain Regions Mediating Reward Sensitivity across Adolescence. *Cerebral Cortex*, 20(1), 61–69. doi: 10.1093/cercor/bhp078
- Varela, A., & Pritchard, M., E. (2011). Peer Influence: Use of Alcohol, Tobacco, and Prescription Medications. *Journal of American College Health*, 59(8), 751–756. doi: 10.1080/07448481.2010.544346
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1947). *Theory of games and economic behavior* (2d rev. ed.). Princeton, NJ, US: Princeton University Press.
- Wang, X.T. (1996). Framing Effects: Dynamics and Task Domains. *Organizational behavior and human decision processes*, 68(2), 145–157. doi:10.1006/obhd.1996.0095
- Weigard, A., Chein, J., Albert, D., Smith, A., & Steinberg, L. (2014). Effects of anonymous peer observation on adolescents' preference for immediate rewards. *Developmental Science*, 17(1), 71–78. doi: 10.1111/desc.12099
- Weisbart, D. (Producer), & Ray, N. (1955). *Rebel Without a Cause* [Motion Picture]. United-States : Warner Bros. Pictures.
- Weller, J. A., Levin, I. P., & Denburg, N. L. (2011). Trajectory of risky decision making for potential gains and losses from ages 5 to 85. *Journal of Behavioral Decision Making*, 24(4), 331–344. doi: 10.1002/bdm.690
- Wolf, L. K., Wright, N. D., Kilford, E. J., Dolan, R. J., & Blakemore, S.-J. (2013). Developmental changes in effects of risk and valence on adolescent decision-making. *Cognitive Development*, 28(3), 290–299. doi: 10.1016/j.cogdev.2013.04.001
- Yechiam, E., Druryan, M., & Ert, E. (2008). Observing others' behavior and risk taking in decisions from experience. *Judgment and Decision Making*, 3(7), 493–500.
- Zelnik, M., & Kantner, J. F. (1980). Sexual activity, contraceptive use and pregnancy among metropolitan-area teenagers: 1971-1979. *Family Planning Perspectives*, 12(5), 230–231, 233–237.
- Zheng, H., Wang, X. T., & Zhu, L. (2010). Framing effects: Behavioral dynamics and neural basis. *Neuropsychologia*, 48(11), 3198–3204. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.06.031

# **Annexes**

## Annexe 1

### Développement de la quantification des probabilités : remise en question des conclusions Piagésiennes

Selon Piaget & Inhelder (1974), l'enfant n'acquiert une bonne compréhension des probabilités que vers l'âge de 11-12 ans. Or comme cela a pu être récemment démontré dans différents domaines de la cognition (Borst et al., 2015; Houdé, 2000), de nouvelles évidences attestent de compétences plus précoces que ce que Piaget avait pu définir. L'échec des enfants dans les problèmes utilisés par Piaget ne reflèterait pas un défaut de compétences logiques nécessaires à leur résolutions, mais l'existence de pièges dans la conception des situations proposées.

Dans le cadre de la compréhension de phénomènes aléatoires, Kuzmak & Gelman (1986) suggèrent que les observations de Piaget & Inhelder (1974) chez les enfants les plus jeunes trouvent d'autres sources d'explication qu'une incapacité à comprendre le phénomène de hasard. Selon eux, la non saillance des indications indiquant le caractère aléatoire de la situation, la focalisation sur les aspects déterministes des mécanismes utilisés ainsi que l'ambiguïté des questions posées à l'enfant (i.e. souvent comprises comme une incitation à deviner l'issue) expliquerait les difficultés rencontrées par les enfants les plus jeunes. Ainsi, à l'aide de deux dispositifs ingénieux, impliquant respectivement une situation aléatoire conduisant à une issue fortuite (tirage d'une bille dans une cage) et une situation déterministe conduisant à une issue prévisible (tirage d'une bille dans une rangée impliquant un ordre précis), Kuzmak & Gelman (1986) ont pu confirmer une compréhension plus précoce de la notion de hasard. Après avoir expérimenté les dispositifs (cf. Figure 55), chaque enfant devait indiquer et justifier s'il était en mesure de savoir quelle couleur allait être tirée. Cette étude suggère que dès l'âge de 4 ans, les enfants présentent une compréhension du caractère incertain et de la nature imprévisible des issues d'une situation aléatoire.

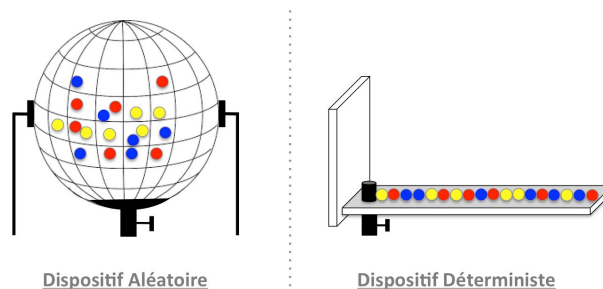


Figure 55 : Dispositifs utilisés dans l'étude de Kuzmak et Gelman (1986).

En outre, Acredolo, O'Connor, Banks et Horobin (1989) ont avancé l'hypothèse d'une capacité des enfants à considérer à la fois les deux dimensions dans leur évaluation probabiliste (i.e. numérateur et dénominateur) lorsque la tâche qui leur est présentée n'inclut pas de choix forcé. Ils ont ainsi proposé à des enfants de 7 à 11 une situation dans laquelle un petit insecte devait sauter dans un pot de fleur pour se nourrir. Or certains pots de fleur étant colonisés par des araignées, l'insecte devait éviter ces derniers. Plutôt qu'une tâche de choix forcé entre deux situations, les enfants avaient pour consigne d'estimer la satisfaction du petit insecte selon la combinaison de pots colonisés et non colonisés (cf. Figure 56). Cette estimation repose ainsi sur un jugement de probabilité impliquant l'estimation des chances de l'insecte de tomber sur une araignée, en se basant à la fois sur le rapport du nombre de pot infesté (i.e. 2 3 4 et 5) sur le nombre total de pots (i.e. 6, 8, 10). Face à cette situation d'évaluation, les enfants parviennent dès l'âge de 7 ans à intégrer à la fois le nombre de cas favorables et le nombre total. Pour autant, les auteurs notent que les enfants semblent parfois négliger le dénominateur et estimer plus positivement une configuration avec un nombre de pots favorables plus grand, par rapport à une configuration avec moins de pots favorables mais une probabilité identique (ex : meilleure évaluation de 5/10 que de 3/6).

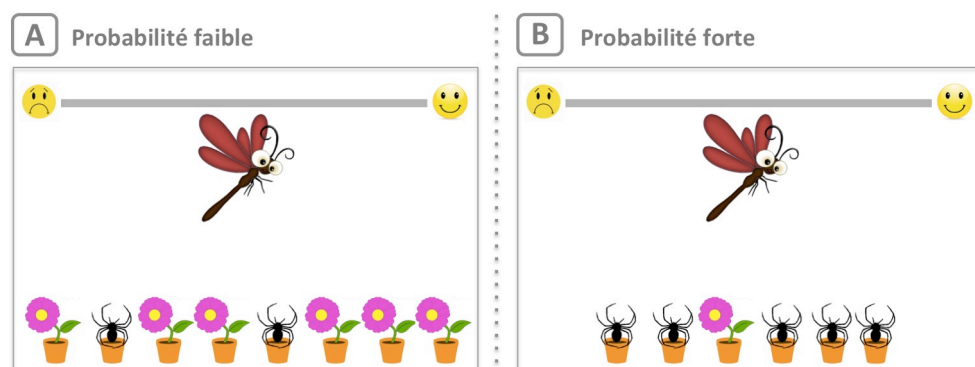


Figure 56 : Tâche proposée par Acredolo et al. (1989). L'enfant doit estimer la satisfaction d'un insecte qui souhaite se nourrir d'une fleur mais risque de tomber sur un pot colonisé par une araignée. Le nombre de pots colonisés ainsi que le nombre total de pots varie selon les essais. A) Exemple de situation de faible probabilité (2/8) de tomber sur une araignée. B) Exemple de situation de forte probabilité (5/6) de tomber sur une araignée.

Notons cependant que ces erreurs persistantes ne semblent pas refléter un défaut de jugement probabiliste à proprement dit mais plutôt une sensibilité des enfants face à l'interférence d'une situation. Pour vérifier cette hypothèse, Reyna (1995) a proposé à des enfants et des adultes de choisir parmi deux urnes opaques contenant deux modèles de jouets animaux (i.e. des vaches et des chevaux), celle qui lui permettrait le plus facilement de tirer une vache du premier coup. Deux types de situations étaient alors présentées aux participants : i) un choix entre deux urnes variant seulement dans le nombre d'éléments favorables pour lesquelles seule la détection du plus grand nombre de vaches suffit à déterminer l'urne la plus avantageuse (e.g. 10 animaux dont 7 vaches et 3 chevaux / 10

animaux dont 5 vaches et 5 chevaux) et ii) un choix entre deux urnes variant dans le nombre d'éléments favorables et le nombre total d'éléments, nécessitant ainsi la considération du rapport entre le nombre de vache et le nombre total de jouets (e.g. 10 animaux dont 5 vaches et 5 chevaux / 3 animaux dont 2 vaches et 1 cheval). Contrairement à la première situation, la deuxième implique une interférence dans la mesure où l'urne contenant le plus d'éléments favorables n'est pas l'urne avec la probabilité la plus avantageuse (cf. Figure 57).

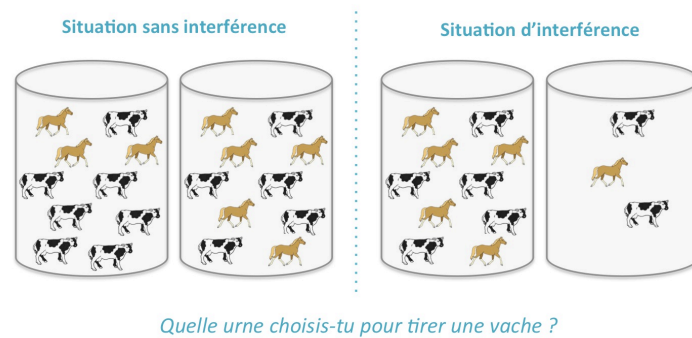


Figure 57 : Tâche de jugement de probabilité proposée par Reyna (1995). Dans la situation d'interférence, l'urne contenant le plus d'éléments favorables ne correspond pas à l'urne la plus avantageuse.

Alors que les enfants et les adultes parviennent parfaitement à déterminer l'urne la plus avantageuse dans les situations sans interférence, les enfants échouent à résister à l'interférence du plus grand nombre d'éléments favorables dans les situations d'interférence et commettent ainsi un plus grand nombre d'erreurs. Il est cependant important de noter que l'existence d'erreurs similaires chez certains adultes semble confirmer l'hypothèse d'une capacité à quantifier les probabilités chez les enfants malgré leur difficulté à résister à l'interférence de la collection la plus saillante.

En accord avec ce constat, une étude récente, utilisant la tâche de la chasse au trésor, a permis d'éprouver la capacité des enfants âgés de 6 à 13 ans à prioriser l'information probabiliste sur les informations non pertinentes d'une situation (Betsch & Lang, 2013). Selon ces auteurs, la dominance d'éléments non pertinents pourrait notamment expliquer la difficulté des enfants dans des tâches de choix forcés comme celles proposées par Piaget, en comparaison aux situations d'évaluation probabiliste. Après avoir désigné parmi un ensemble d'animaux celui qui serait son ami dans le jeu, l'enfant devait effectuer un choix entre deux maisons pour y découvrir des trésors, en s'aidant s'il le souhaitait des prédictions de deux animaux (dont celui désigné comme ami). Derrière la porte de chaque maison pouvait se trouver un trésor (issue positive) ou une araignée (issue négative). Dans une première phase, l'enfant découvrait le niveau de validité des prédictions de chaque animal (i.e. 83% de prédictions correctes pour l'un et 50% de prédictions correctes pour l'autre). Prioriser l'information probabiliste revient alors à suivre les prédictions de l'animal dont la validité est



la plus importante, qu'il s'agisse ou non de celui désigné comme ami pendant le jeu (information non pertinente pour la tâche) (cf. Figure 58).

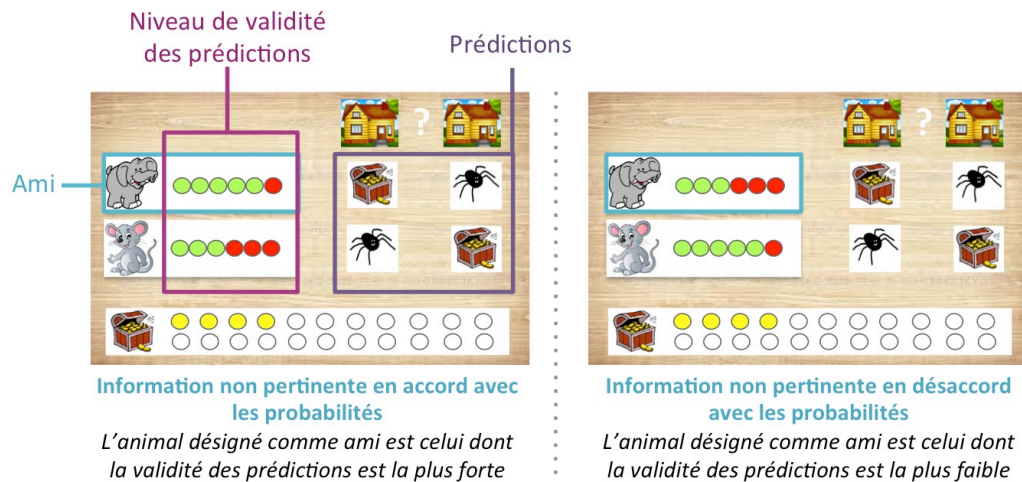


Figure 58 : Illustration du matériel utilisé dans l'étude de Betsch et Lang (2013).

Les résultats de cette étude relèvent une supériorité du statut de l'animal sur la validité de ces prédictions chez les enfants les plus jeunes. A 6 ans, la pertinence de leurs choix diminue lorsque l'animal qu'ils ont désigné comme leur ami est celui dont la validité des prédictions est la plus faible et augmente au contraire lorsque la validité de ces prédictions est la plus forte. Selon les auteurs, les erreurs des enfants ne relèvent pas d'un défaut d'intégration de l'information probabiliste mais d'une difficulté à prioriser cette information par rapport aux autres éléments non pertinents de la situation. Bien que les enfants soient capables d'évaluer les probabilités, leur capacité à prioriser l'information probabiliste serait plus tardive et se développerait jusqu'à l'âge de 9 ans.

Par ailleurs, il faut également préciser que si la quantification des probabilités dans des tâches de jugement semble plus précoce que la trajectoire développementale décrite par Piaget et Inhelder (1974), les enfants semblent rencontrer des difficultés à générer des probabilités équivalentes. Falk et Wilkening (1998) proposent à des enfants de 6 à 13 ans de compléter le contenu d'une urne pour parvenir à une équivalence avec une urne de référence contenant un certain nombre de perles gagnantes et de perles perdantes. Une fois l'urne complétée, l'expérimentateur pouvait choisir l'urne de son choix pour tirer une boule gagnante alors que l'enfant devait tirer dans l'urne restante, d'où sa nécessité de bien équilibrer le contenu des urnes. En accord avec les observations de Piaget et Inhelder (1974), les enfants les plus jeunes ne parviennent pas à saisir la notion de proportionnalité mais focalisent leur réponse sur une seule dimension du problème. Dans cette situation de génération de probabilités, seules les enfants de 13 ans parviennent à intégrer de façon systématique les différentes composantes dans le respect des règles de proportionnalité.

## Annexe 2

### La théorie des perspectives

#### De la valeur espérée à la fonction d'utilité

Selon les modèles normatifs de la prise de décision, le processus décisionnel se déroule en 5 étapes consécutives : 1) l'identification des différentes options, 2) des conséquences potentielles de ces options, 3) de leur degré de désirabilité, 4) de leur probabilité d'occurrence et enfin 5) la combinaison de ces éléments suivant l'application des règles décisionnelles que de nombreux théoriciens de la décision ont tenté de formuler (Furby & Beyth-Marom, 1990).

Comme nous venons de le voir, l'une des règles décisionnelles applicables par un être supposé « rationnel » pour maximiser son profit consiste à évaluer l'espérance mathématique des options, modélisée par la somme de chaque résultat potentiel multiplié par sa probabilité d'occurrence :

$$EV = v_1 p_1 + v_2 p_2 + \dots + v_n p_n$$

*(v étant le résultat potentiel et p sa probabilité associée)*

Bien qu'ils n'en aient pas initié la terminologie, c'est à Balise Pascal et Pierre Fermat que l'on attribue les fondements de la notion de probabilité dans une correspondance autour de l'analyse de situations probabilistes inaugurée entre ces deux mathématiciens lors de l'été 1654 (Chasseigne & Cadet, 2009; Trepel et al., 2005). Mais bien qu'elle ait inspiré de nombreux travaux visant à déterminer le développement de la capacité des individus à prendre des décisions adaptées, la notion de valeur espérée à aujourd'hui été dépassée pour mieux rendre compte des choix réels des individus. En effet, la maximisation des profits par l'estimation de la valeur espérée reste limitée dans la mesure où elle ne laisse pas la place aux différences interindividuelles et ne permet pas de rendre compte des biais décisionnels. Par exemple, la tendance systématique de l'être humain à préférer une option sûre à une option risquée pourtant équivalente voire plus avantageuse, ne trouve pas d'explication dans la simple considération de l'espérance mathématique des options.

Imaginez que vous soyez confronté au choix entre les deux options suivantes (Kahneman & Tversky, 1984) :

*85 % de chance de gagner 1000€ et donc 15 % de ne rien gagner*

*100% de chance de gagner 800€*

Dans cette situation, la majorité des individus préféreront l'option associée à une situation certaine (option B) plutôt que l'option risquée (option A). Pour autant, si l'on se réfère à leur espérance mathématique, l'option A s'avère plus avantageuse ( $EV = 0.85 * 1000 = 850\text{€}$ ) que l'option B ( $VE = 1 * 800 = 800\text{€}$ ).

Le concept d'utilité, introduit dans un essai par le mathématicien et physicien Jacques Bernoulli en 1738 (Bernoulli, 1954), permet de rendre compte de ce phénomène décisionnel massif d'aversion au risque. Selon Bernoulli, les individus ne baseraient pas leurs choix sur l'espérance mathématique mais sur la désirabilité ou l'utilité d'une option en la pondérant par sa probabilité d'occurrence. La notion valeur espérée subjective vient alors remplacer la notion de valeur espérée (Lopes, 1994). L'utilité espérée a été modélisée par la loi de diminution de l'utilité marginale qui décrit une fonction concave selon laquelle une différence constante entre deux valeurs diminue avec l'ampleur de ces valeurs : la différence entre un gain de 100 et de 150 € est ainsi perçue comme plus importante que la différence entre un gain de 1000 et de 1050 euros (Loewenstein et al., 2008) (cf. Figure 59).

Comme l'illustre la Figure 59, la concavité de la fonction d'utilité décrite par Bernoulli implique que l'utilité d'un résultat  $r$  pondéré par une probabilité de .50 soit inférieure à l'utilité d'un résultat deux fois inférieur à  $r$  (i.e.  $r/2$ ) obtenu avec certitude. La valeur espérée subjective attribuée à une option sûre consistant à gagner 50 euros est ainsi supérieure à l'utilité d'un gain de 100 euros associé à une probabilité d'occurrence de 50%.

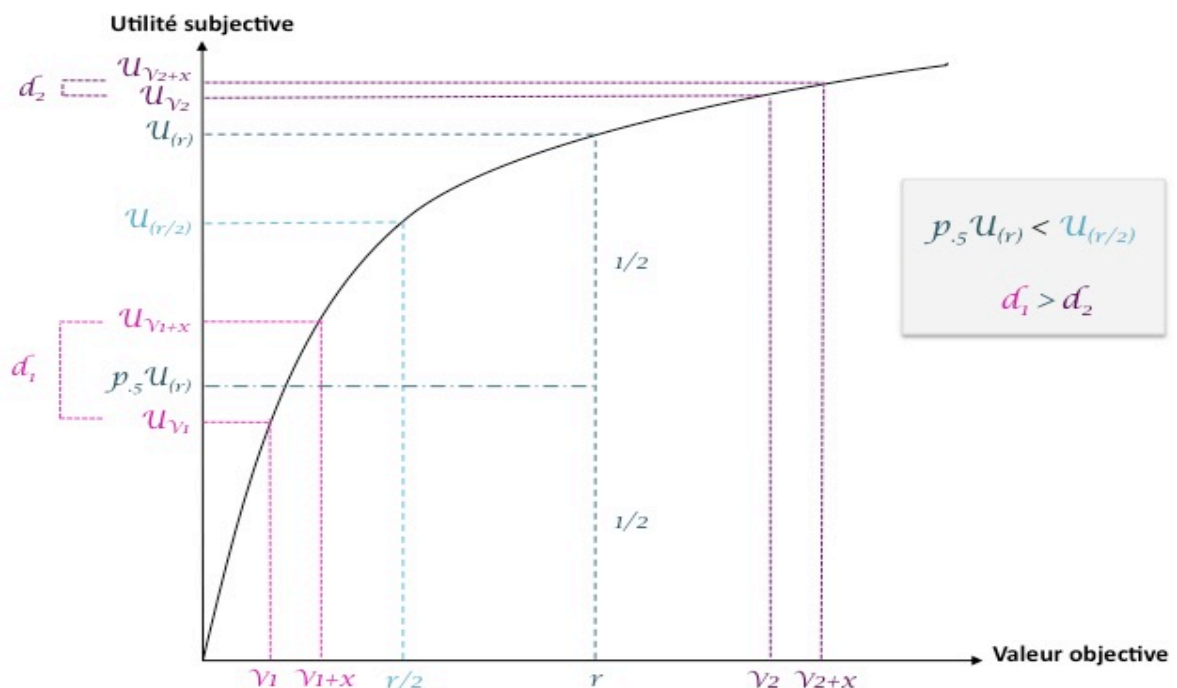


Figure 59 : Illustration de la loi de diminution de l'utilité marginale (Bernoulli, 1954). En rose : l'utilité subjective d'une différence constante  $x$  entre deux enjeux,  $V_1$  et  $V_2$ , diminue avec l'ampleur de ces enjeux. En bleu : l'utilité d'un résultat  $r$  pondéré par une probabilité de .50 est inférieure à l'utilité d'un résultat égal à la moitié de  $r$ .

## La théorie des perspectives

C'est dans le cadre d'un programme visant à identifier et modéliser les transgressions systématiques d'une « rationalité normative » que Daniel Kahneman et Amos Tversky ont élaboré la théorie la plus emblématique dans le domaine de la prise de décision sous incertitude, la théorie des perspectives (*prospect theory*), qui valut à Daniel Kahneman le prix Nobel d'économie en 2002 (Kahneman & Tversky, 1979, 1984; A. Tversky & Kahneman, 1981; Amos Tversky & Kahneman, 1992). Les enjeux d'une prise de décision à risque impliquant des récompenses mais également des conséquences négatives, la théorie des perspectives peut ainsi être perçue comme une extension de la fonction d'utilité décrite par Bernoulli (1954) permettant notamment de rendre compte de stratégies décisionnelles distinctes dans le domaine des gains et dans le domaine des pertes, mais aussi selon le niveau de probabilité des options.

Selon la théorie des perspectives, la valeur d'un résultat potentiel est multipliée par son poids décisionnel. Cette modélisation repose ainsi sur deux fonctions capitales : la fonction de pondération et la fonction de valeur.

### ➤ La fonction de pondération

La fonction de pondération se rapporte à la transformation de la probabilité d'occurrence d'une issue en pondération subjective de sa valeur. Cette fonction n'est pas linéaire dans le sens où elle n'est pas superposable avec la fonction de probabilité (cf. Figure 60). Elle décrit au contraire une tendance à surpondérer les événements de probabilité très faibles (favorisant ainsi une prise de risque et contribuant à la popularité des jeux de loterie ou de l'adhésion aux programme d'assurance), mais au contraire à sous-pondérer les événements dont la probabilité d'occurrence est forte (Kahneman & Tversky, 1979; Amos Tversky & Kahneman, 1992).

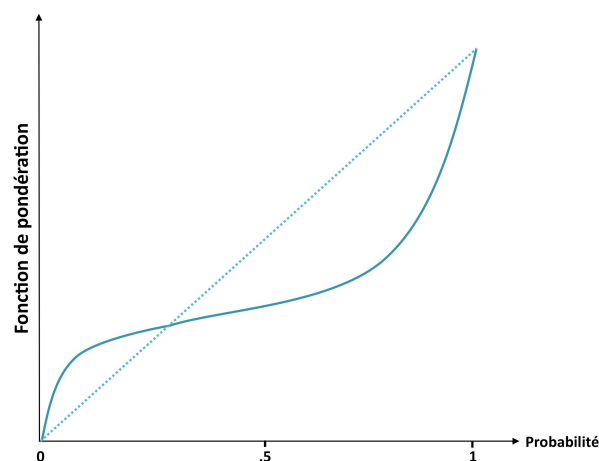


Figure 60 : Fonction de pondération décrite par Kahneman et Tversky (1979) dans le cadre de la Prospect theory.

### ➤ La fonction de valeur

La fonction de valeur constitue quant à elle une extension et une généralisation au domaine des pertes de la fonction d'utilité en modélisant la valeur subjective des gains et des pertes. Cette fonction répond à trois principales caractéristiques :

Premièrement, elle se définit par rapport à un point de référence : la perception d'un résultat se détermine sur la base d'un changement, d'une différence par rapport à un point de référence (variable selon la situation financière, le niveau d'attente de l'individu) et non sur la base d'une valeur absolue. Kahneman et Tversky (1979), illustrent ce point de référence par l'exemple du ressenti relatif de la température de l'eau. Imaginez vous plonger votre main dans un récipient contenant de l'eau tiède. Nul doute que l'eau vous paraîtra chaude si vous avez précédemment trempé votre main dans un récipient d'eau froide alors qu'elle vous aurait paru froide à la sortie d'un récipient d'eau chaude et ce malgré une température strictement identique. De la même manière, il est raisonnablement envisageable que la découverte fortuite d'un billet de 10 euros sur un trottoir n'entraîne pas une satisfaction aussi marquée chez un individu gagnant convenablement sa vie comparé à un individu plus jeune pour lequel cette valeur représente l'équivalent d'un mois d'argent de poche.

En accord avec le concept de point de référence, différentes études attestent que les attentes de l'individu viennent moduler l'évaluation d'un résultat (Mellers, 2000; Mellers & McGraw, 2001; Mellers, Schwartz, Ho, & Ritov, 1997; Mellers, Schwartz, & Ritov, 1999). En outre, une étude de neuro-imagerie apporte des arguments expérimentaux forts en faveur du point de référence en examinant la réponse neurale associée à l'anticipation et la réception de gains et de pertes (Breiter, Aharon, Kahneman, Dale, & Shizgal, 2001). Trois types de roues de la fortune (i.e. avantageuses, désavantageuses et intermédiaires) étaient présentées aux participants, selon lesquelles le statut du résultat nul (i.e. 0\$) différait : il constituait l'issue la plus favorable pour les roues désavantageuses, l'issue moyenne pour les roues intermédiaires et l'issue la plus défavorable pour les roues avantageuses (cf. Figure 61). En accord avec les prédictions de la théorie des perspectives, l'activité neuronale du NAcc et de l'amygdale sublenticulaire lors de la réception d'un résultat nul (0\$) est modulée par son statut relatif au sein de la roue de la fortune. Un résultat de 0\$ pourrait ainsi être perçu comme un gain dans les roues désavantageuses et comme une perte dans les roues avantageuses.

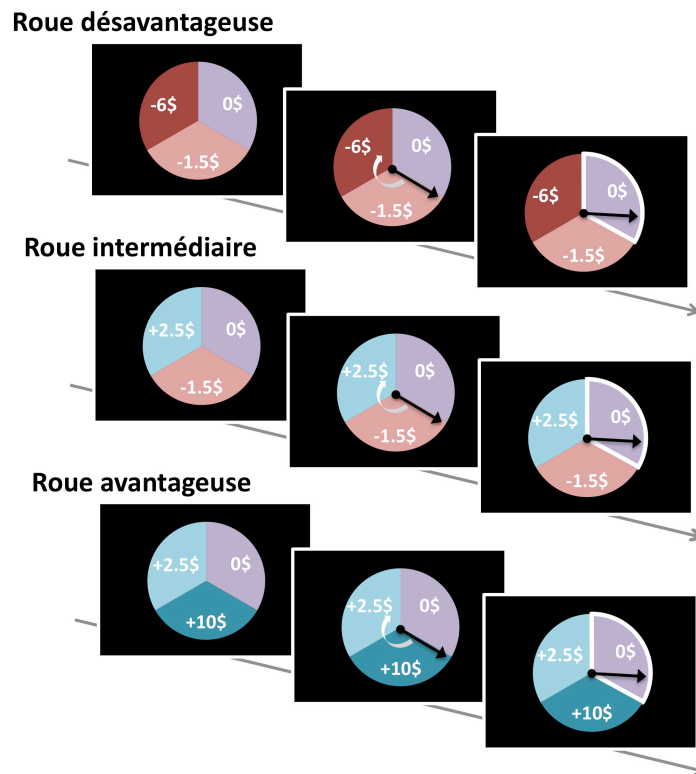


Figure 61 : Situations de prise de décision utilisées dans l'étude de Breiter et al. (2001). Alors que le résultat nul correspond à l'issue la plus favorable dans les roues désavantageuses, il correspond à l'issue la moins favorable dans les roues avantageuses.

Deuxièmement, dans la continuité des travaux de Bernoulli, les auteurs décrivent une fonction de valeur concave pour les gains et convexe pour les pertes à partir de ce point de référence (cf. Figure 62). Comme nous l'avons évoqué, la concavité de la fonction de valeur implique que la différence entre un gain de 100 et un gain de 150 € soit perçue comme plus importante que la différence entre un gain de 1000 et un gain de 1050 € (Loewenstein et al., 2008). De la même façon, cette conséquence s'applique à la convexité de la fonction de valeur pour les pertes, la différence entre une perte de 100 et une perte de 150 € étant ainsi perçue comme plus importante que la différence entre une perte de 1000 et une perte de 1050 €. Ainsi, tout comme la concavité de la courbe des gains entraîne une aversion au risque, la convexité de la valeur subjective des pertes explique quant à elle une propension au risque dans le domaine des pertes. Dans le cas du choix entre 85 % de chance de perdre 1000€ et donc 15 % de ne rien perdre ( $EV = -850€$ ) versus 100% de chance de perdre 800€ ( $EV = 800€$ ), la majorité des participants préféreront l'option risquée alors qu'il préféreraient au contraire une option sûre leur permettant de gagner 800€ à 85% de chance de gagner 1000€. La fonction de valeur permet ainsi de rendre compte de cette contradiction nommée effet de réflexion, selon lequel les préférences face au risque dépendent du signe des options : une aversion au risque dans le domaine des gains et une propension pour le risque dans le domaine des pertes (Fagley, 1993; Kahneman & Tversky, 1979).

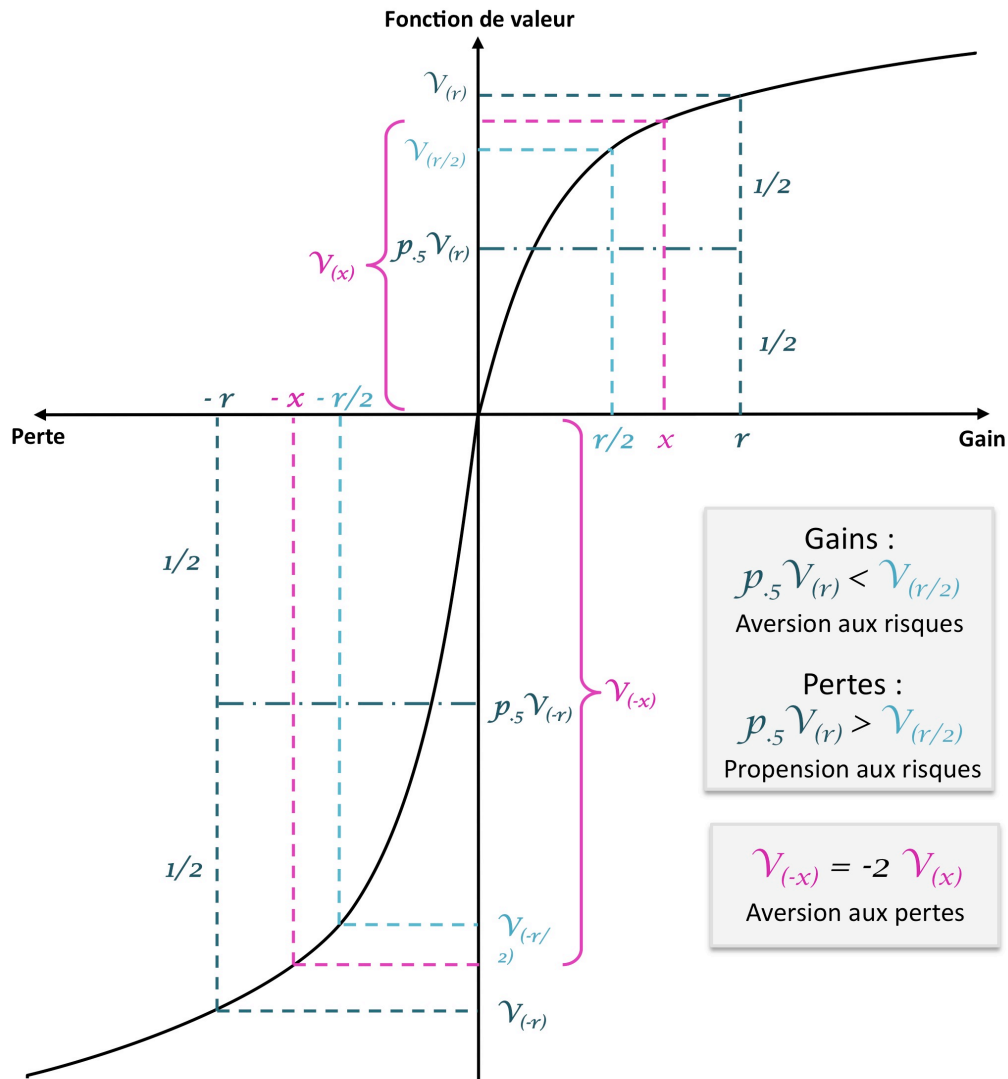


Figure 62 : Fonction de valeur décrite par Kahneman et Tversky (1979) dans le cadre de la Prospect theory. En bleu : Dans le domaine des gains, la concavité de la fonction de valeur implique une aversion aux risques dans la mesure où la valeur attribuée à un résultat  $r$  pondéré par une probabilité de .50 est inférieure à la valeur accordée à un résultat de  $r/2$ . Dans le domaine des pertes, la convexité de la fonction de valeur implique une propension pour le risque dans la mesure où la valeur attribuée à un résultat  $-r$  pondéré par une probabilité de .50 est moins négative que la valeur accordée à un résultat de  $-r/2$ . En rose : La pente de la fonction de valeur pour les pertes est plus raide que celle des gains, expliquant ainsi le phénomène d'aversion aux pertes.

Enfin, comme on peut le remarquer sur la Figure 62, la courbe décrivant la fonction de valeur dans le domaine des pertes est plus raide que dans le domaine des gains. Cette dernière caractéristique de la fonction de valeur née d'un constat massif dans le contexte décisionnel : l'aversion aux pertes. En effet, la majorité des individus refuseront de participer à un jeu offrant des chances égales de gagner 50 euros ou d'en perdre 50. L'impact psychologique d'une perte serait environ deux fois plus important qu'un gain (Kahneman & Tversky, 1979, 1984; Trepel et al., 2005), menant ainsi les individus à accepter une option risquée conduisant dans 50 % des cas à perdre 50 euros seulement si les 50% restant offre l'éventualité d'un gain au moins deux fois supérieur (Tom et al., 2007).



---

## **Annexe 3**

### **Le développement de l'effet de réflexion : Des choix distincts dans le domaine des gains et des pertes au cours du développement ?**

---

Bien que très souvent confondus dans la littérature, effet du cadre et effet de réflexion sont deux phénomènes bien distincts (Fagley, 1993). Le terme d'effet du cadre fait référence à l'apparition de choix divergents selon la manière dont les options sont présentées, et ce malgré une équivalence mathématique stricte entre ces deux présentations (e.g. garder 5 euros sur une somme de 10 euros ou perdre 5 euros sur une somme de 10 euros). L'effet de réflexion renvoie à des préférences opposées entre deux situations respectivement présentées comme un gain potentiel (e.g. choix entre deux options pour gagner 10 euros) ou une perte potentielle (e.g. choix entre deux options pour éviter de perdre 10 euros) sans pour autant impliquer d'équivalence entre ces deux situations. Si le développement de l'effet du cadre reste peu documenté dans la littérature (cf. chapitre 2, II, 2), d'autres études nous renseignent sur le développement de l'effet de réflexion questionnant l'existence de préférences distinctes pour obtenir un gain ou éviter une perte chez l'enfant.

A travers une série d'études comportementales, Levin et ses collaborateurs ont cherché à déterminer si les enfants présentaient comme les adultes un effet de réflexion prédit par la théorie des perspectives, à savoir un renversement de leurs préférences les conduisant à faire plus de choix risqués dans le domaine des pertes que dans le domaine des gains. Dans une première étude (Levin & Hart, 2003), deux boîtes représentant une option sûre et une option risquée étaient présentées à des enfants âgés de 4 et 5 ans. Dans le domaine des gains les enfants devaient choisir entre une boîte permettant par exemple de gagner de façon certaine un jouet (i.e. option sûre) et une boîte comportant des chances égales de gagner 2 jouets ou de n'en gagner aucun (i.e. option risquée). Dans le domaine des pertes, l'option sûre entraînait une perte certaine d'un jouet alors que l'option risquée permettait soit de ne perdre aucun jouet, soit d'en perdre 2. Bien qu'ils ne montrent pas de renversement à proprement dit comme c'était le cas chez l'adulte, les enfants comme les adultes font plus de choix risqués dans le domaine des pertes que dans le domaine des gains. Les enfants de 4 et 5 ans semblent de façon générale préférer l'option risquée, mais cette préférence est accentuée dans le domaine des gains. Par ailleurs, le suivi longitudinal sur 3 ans de ces mêmes enfants atteste de la stabilité de ce pattern (Levin, Hart, Weller, & Harshman, 2007).



Pour affiner ces résultats, les auteurs ont par la suite présenté à des enfants de 5-7 ans, 8-11 ans et à des adultes une méthodologie très similaire dans laquelle les options sûre et risquée, présentées soit en termes de perte soit en termes de gain, consistaient à dissimuler des récompenses sous des tasses (Levin, Weller, Pederson, & Harshman, 2007). Dans l'option sûre, toutes les tasses contenaient une pièce alors que dans l'option risquée, seules certaines tasses contenaient une récompense. La combinaison de différentes probabilités (.20, .33, .50) et de différents enjeux (2, 3 ou 5 jetons) permettaient de tester la capacité des enfants à ajuster leurs choix selon les différentes dimensions de la situation en distinguant des options risquées soit équivalentes, soit supérieures, soit inférieures à l'option sûre en termes de valeur espérée. Contrairement aux adultes qui présentent une prise de risque plus importante lorsque l'option risquée est avantageuse, les enfants les plus jeunes ne semblent pas ajuster leurs choix sur la base des probabilités associées à l'option risquée. Les enfants de 8-11 ans se situent quant à eux à un niveau intermédiaire, semblant capables d'utiliser les probabilités pour distinguer des choix avantageux et désavantageux seulement dans le domaine des gains. Ces résultats viennent ainsi nuancer la capacité à baser ses choix sur des enjeux et leur probabilité d'occurrence à la sortie de l'enfance (Slovic, 1966; Linda Van Leijenhorst et al., 2008). Toutefois, le caractère stimulant et ludique de l'option risquée par rapport à l'option sûre ne permet pas d'exclure que la propension des enfants pour les options risquées résulterait davantage de leur attractivité plutôt que d'une incapacité à évaluer les situations avantageuses à cet âge.

Néanmoins, il reste encore difficile de conclure à l'existence d'un renversement des préférences selon la valeur des enjeux dès l'enfance puisque la reprise de ce paradigme auprès d'un large échantillon de 734 participants âgés de 5 à 85 ans ne semble pas confirmer les résultats obtenus par Levin et Hart (2003) (Weller, Levin, & Denburg, 2011). En effet, cette dernière étude suggère que les enfants ne montrent pas de préférences distinctes dans le domaine des gains et des pertes. De plus, cette absence d'effet de réflexion chez les plus jeunes reflèterait une plus grande prise de risque pour obtenir un gain plus important plutôt qu'une modulation de la prise de risque dans le domaine des pertes.

Une limite doit toutefois être soulignée ici : l'ensemble de ces travaux restreint l'étude des différences développementales à la comparaison des enfants et des adultes, en écartant la période de l'adolescence.

---

## Annexe 4

### *La Fuzzy Trace Theory*

### *et son application à la prise de risque des adolescents*

---

A la suite de ses travaux soulignant l'apparition progressive de l'effet du cadre de présentation au cours du développement (cf. chapitre 2, II, 2), le modèle de la *fuzzy trace theory* a ainsi été proposé par Reyna & Ellis (1994). Selon ce modèle, les présentations mentales impliquées dans la prise de décision peuvent être décrites comme un continuum allant de représentations exactes, quantitatives dites « verbatim », jusqu'à des représentations intuitives de l'essence du problème, de son sens général, appelées « gist ». Mais contrairement aux modèles du double processus, la *fuzzy trace theory* souligne le rôle positif des représentations intuitives (Reyna & Brainerd, 2011). Dans une perspective développementale, ces représentations évoluent du « verbatim » vers le « gist ». Au cours du développement, l'individu favoriserait progressivement les stratégies intuitives au détriment des représentations quantitatives d'un problème (Reyna, 2004). Les enfants se réfèreraient principalement à des représentations mentales exactes et précises. Au contraire, les adultes baseraient en priorité leur raisonnement sur le sens général de la situation, sur leur intuition et ne se baseraient sur des représentations exactes et quantitatives que lorsque le « gist » ne leur permet pas une discrimination suffisante entre les options. Comme une étape intermédiaire, l'adolescence se caractériserait par l'utilisation fluctuante des deux types de représentations.

Selon la *Fuzzy trace theory*, l'effet du cadre reposerait sur la dominance de représentations qualitatives et intuitives du problème conduisant les participants à analyser l'option sûre présentée en termes de gain comme permettant d'éviter un gain nul et au contraire l'option risquée dans le cadre de perte comme la possibilité d'éviter de perdre quelque chose. L'apparition progressive de l'effet du cadre au cours du développement peut dès lors s'expliquer par l'augmentation avec l'âge des représentations qualitatives au détriment des représentations quantitatives et non par une plus grande rationalité des enfants à proprement dit.

## Le modèle de la *Fuzzy Trace Theory* appliqué à la prise de risque des adolescents

L'utilisation préférentielle des représentations exactes par les adolescents par rapport aux adultes prédite par la *fuzzy trace theory* fournit une nouvelle modélisation théorique de l'augmentation de la prise de risque à l'adolescence (Reyna, Wilhelms, McCormick, & Weldon, 2015). Dans le cadre d'une conduite à risque, les représentations « verbatim » consistent en une analyse précise du rapport risques/bénéfices. Or, la très faible probabilité d'occurrence des conséquences négatives associées à un engagement unique dans une conduite à risque est alors souvent négligée face à l'importance des bénéfices perçus. A l'inverse, les représentations basées sur l'essence du problème, « gist », correspondent à une analyse en tout ou rien (e.g. pas de risque vaut mieux qu'un risque faible ; une seule prise de risque suffit) focalisée sur les conséquences catastrophiques et conduisant au rejet de la prise de risque (Reyna et al., 2015) (cf. Figure 63).

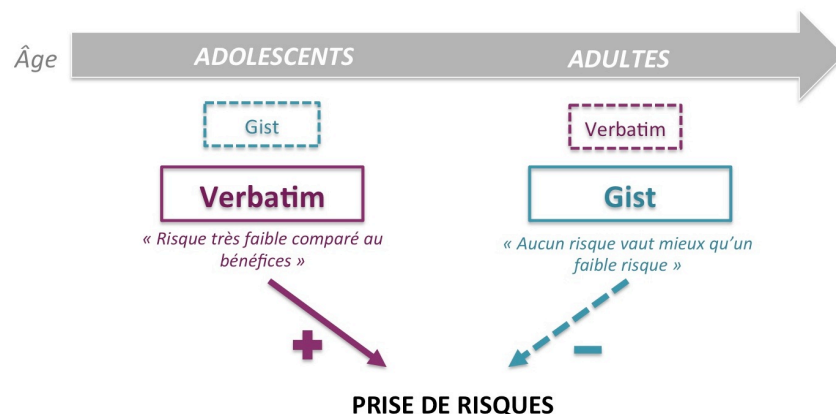


Figure 63 : Schéma explicatif de la prise de risque à l'adolescence par la *Fuzzy Trace Theory* (inspiré de Reyna et al., 2015). Les adolescents ont plus recours à des représentations exactes reposant sur une comparaison entre le risque et les bénéfices, qui les conduit souvent à s'engager dans une prise de risque. Au contraire, les adultes se réfèrent davantage à des représentations de l'essence du problème qui les conduisent à focaliser sur les issues catastrophiques de la conduite à risque.

Prenons l'exemple de l'engagement dans une relation sexuelle non protégée : une décision intuitive basée sur le « gist » conduira l'individu à focaliser sur les conséquences dramatiques (i.e. une seule imprudence peut suffire à la contamination) alors que l'analyse précise de la situation soulignera la très faible probabilité de contamination pour une relation unique par rapport aux bénéfices perçus. Ainsi, l'augmentation de la prise de risque chez les adolescents pourrait refléter leur tendance à favoriser des représentations « verbatim » dans l'analyse de situation décisionnelles (Reyna & Farley, 2006; Reyna & Mills, 2014; Reyna et al., 2015).

## **Annexe 5**

Osmont, A., Cassotti, M., Agogué, M., Houd  , O., & Moutier, S. (2014). Does ambiguity aversion influence the framing effect during decision making? *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(2), 572–577.

### **Abstract**

*Decision-makers present a systematic tendency to avoid ambiguous options for which the level of risk is unknown. This ambiguity aversion is one of the most striking decision-making biases. Given that human choices strongly depend on the options' presentation, the purpose of the present study was to examine whether ambiguity aversion influences the framing effect during decision making. We designed a new financial decision-making task involving the manipulation of both frame and uncertainty levels. Thirty-seven participants had to choose between a sure option and a gamble depicting either clear or ambiguous probabilities. The results revealed a clear preference for the sure option in the ambiguity condition regardless of frame. However, participants presented a framing effect in both the risk and ambiguity conditions. Indeed, the framing effect was bidirectional in the risk condition and unidirectional in the ambiguity condition given that it did not involve preference reversal but only a more extreme choice tendency.*

**Keywords :** *Ambiguity aversion · Framing effect · Loss aversion · Decision-making under*

---

## **Annexe 6**

Cassotti, M., Aïte, A., Osmont, A., Houdé, O., & Borst, G. (2014).  
What have we learned about the processes involved in the Iowa Gambling  
Task from developmental studies?  
*Frontiers in Psychology, 5*, 915.

---

### **Abstract**

*Developmental studies using the Iowa Gambling Task (IGT) or child-friendly adaptations of the IGT converged in showing that children and adolescents exhibit a strong bias in favor of disadvantageous choices whereas adults learn to decide advantageously during the course of the task. In the present article, we reviewed developmental studies that used the IGT or child-friendly adaptations of the IGT to show how these findings provide a better understanding of the processes involved in decision-making under uncertainty. For instance, developmental studies have underlined that until late adolescence, the dominant strategy is to focus only on the frequency of punishment and to choose among options with infrequent losses. Indeed, school-aged children and adolescents' choices in the IGT seem to be guided by the loss frequency leading them to fail in distinguishing between advantageous and disadvantageous options. In addition, recent developmental studies revealed that adults switch less often after losses than school-aged children and adolescents. These findings suggest that psychological tolerance to loss may facilitate learning the characteristics of each option, which in turn improves the ability to choose advantageously. In conclusion, developmental studies help us refine our understanding of decision-making.*

**Keywords :** Iowa Gambling Task . Emotion-based learning . Executive control . Inhibition

---

## Annexe 7

Osmont, A., Bouhours, L., Moutier, S., Simon, G., Houdé, O. & Cassotti, M. (under review).

How does the information level regarding risk influence adolescent risk-taking engagement? Journal of Behavioral Decision Making.

---

### ***Abstract***

*Many studies indicated that adolescents could make advantageous choices when they received explicit information but failed to choose advantageously when they were not informed about risk. However, few experimental studies have directly investigated the potential impact of information level on risk-taking engagement during adolescence. To examine whether information level influence risk-taking behaviors, adolescents and young adults performed a new adaptation of the Balloon Analogue Risk Task. They were required to cumulate most points as possible by inflating balloons associated with variable break points and by avoiding explosions. This adaptation involving a manipulation of the information level with two conditions: an “informed” condition and a “non informed” condition in which participants had to learn the matching between colors and resistances on the basis of feedbacks. Results showed that providing explicit information about the risk level allows adolescents to be as efficient as adults at the end of the game. In contrast adolescents failed to adjust risk-taking to the balloon resistance in the non-informed condition. Critically, results suggested that this failure reflects a specific impairment of feedback based learning ability.*

**Keywords :** Adolescent . Adult . Risk-taking . Information level . Learning . Balloon Analogue Risk Task

# Résumé

Afin de rendre compte de la spécificité des comportements à risque des adolescents, les modèles neurocognitifs récents ont proposé d'envisager la compétition entre deux systèmes caractérisés par des trajectoires développementales différentes : un système socio-émotionnel et un système de contrôle cognitif. En effet, l'engagement des adolescents dans des conduites à risque pourrait s'expliquer par une hypersensibilité émotionnelle exacerbée par des contextes sociaux saillants comme la présence de pairs, auquel s'ajoute une immaturité des processus de contrôle nécessaires à la régulation de ces émotions. Toutefois, l'ensemble de ces modèles négligent l'influence du niveau d'incertitude associées aux situations de prise de risque, alors même que les travaux de psychologie du développement témoignent de capacités différentes dans les situations de prise de décision à risque et les situations de prise de décision sous ambiguïté chez les adolescents. Ces derniers semblent en effet parfaitement capables d'intégrer les informations probabilistes et les enjeux associés aux différentes options, mais présentent des difficultés à décider avantageusement dès lors que ces informations ne sont plus directement disponibles mais doivent être inférées sur la base de leur propre expérience. Ainsi, l'objectif général de cette thèse consistait à examiner l'influence du niveau d'incertitude et du contexte social sur la prise de risque à l'adolescence.

Après avoir démontré dans une première étude que les adultes étaient massivement aversifs face aux situations associées à un manque d'informations probabilistes, nous avons examiné la trajectoire développementale fine de ce phénomène d'aversion à l'ambiguïté chez l'enfant, l'adolescent et l'adulte. Cette étude contribue à définir l'aversion à l'ambiguïté comme une stratégie intuitive apparaissant progressivement au début de l'adolescence, mais suggère une aversion à l'ambiguïté aussi marquée chez les adolescents de 14-16 ans que chez les adultes. Ensuite, notre troisième étude avait pour objectif de clarifier l'impact du niveau d'information sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque, à travers une comparaison directe entre des situations dites informées et non informées. Nos résultats démontrent que les adolescents présentent des difficultés à ajuster leurs réponses au niveau de risque dans les situations non-informées alors que la simple disponibilité d'indices concernant le niveau de risque les conduit à des performances similaires à celles des adultes. La réunion de nos trois premières études suggère ainsi que la prise de risque exacerbée des adolescents résulte davantage d'un déficit d'apprentissage basé sur les feedbacks, plutôt que d'une tendance générale à explorer les situations risquées ambiguës. Face à ce constat, la quatrième étude visait à clarifier l'impact d'une influence sociale risquée ou prudente sur l'engagement des adolescents dans la prise de risque selon le niveau d'incertitude de la situation. Cette dernière étude nous a ainsi permis de souligner l'influence positive de l'expérience des pairs sur les conduites à risque des adolescents et de mettre en exergue le rôle spécifique de l'expérience d'autrui comme une information de nature sociale susceptible de compenser leur difficulté à apprendre sur la base de leur propre expérience.

**Mots clés :** *Adolescence, Prise de risque, Prise de décision à risque, Prise de décision sous ambiguïté, Niveau d'incertitude, Aversion à l'ambiguïté, Information sociale, Influence des pairs.*

---

In order to account for the characteristics of risk-taking specific to adolescence, new neurocognitive models presuppose a competition between two systems with distinct developmental trajectories: an emotional system and a top-down control system. Indeed, heightened risk-taking in adolescence could result from increased emotional sensitivity in socio-emotional contexts, including the presence of peers, combined with immature control processes underlying emotional regulation. Unfortunately, these models ignore the potential impact of varying levels of uncertainty in risky situations, despite advances in developmental psychology that suggest adolescent's capacities differ between risky decision-making and decision-making under ambiguity. Although adolescents are fully competent at evaluating probabilities and entertaining outcome likelihoods, they fail to make advantageous choices when such information is not directly available but must be inferred from their own experience. Thus, the overall aim of this thesis is to examine the impact of both the information level regarding risks and of the social-emotional context on risk-taking during adolescence.

After showing in a first study that adults are largely ambiguity-averse in situations in which information is missing, we investigated the exact developmental trajectory of such ambiguity aversion in children, adolescents and adults. This second study characterizes ambiguity aversion as an affective strategy that gradually develops at the beginning of adolescence, while demonstrating that adolescents display an ambiguity aversion as much as adults. Then, study 3 aimed to clarify the influence of information level on adolescents' risk-taking behaviors by directly comparing informed and uninformed situations. Results showed that adolescents exhibit a suboptimal ability to adjust risk-taking to the risk level in the non-informed condition, but are efficient in making advantageous choices when explicit information is provided. Taken together, the first three studies suggest that heightened risk-taking in adolescence does not result from an increased ambiguity tolerance but rather from a specific impairment of feedback-based learning. Given adolescents' learning impairments in ambiguous situations, study 4 aimed to specify the impact of cautious or risky social influence on risk-taking behaviors, depending on the level of uncertainty. This final study underlies the potential positive influence of peers on risky behaviors. Peers' experiences could play a particular role by providing social information that is likely to balance the difficulties adolescents have learning from their own experience.

**Keywords:** *Adolescence, Risk-taking, Risky decision-making, Decision-making under ambiguity, Uncertainty level, Ambiguity aversion, Social information, Peers influence.*