

# La prise de décision affective chez l'enfant

Arnaud Roy, Céline Lancelot

DANS **REVUE DE NEUROPSYCHOLOGIE** 2013/2 Volume 5 , PAGES 106 À 118  
ÉDITIONS **JLE**

ISSN 2101-6739

DOI 10.1684/nrp.2013.0260

Date de mise en ligne : 13/08/2013

Article disponible en ligne à l'adresse

<https://stm.cairn.info/revue-de-neuropsychologie-2013-2-page-106?lang=fr>



Découvrir le sommaire de ce numéro, suivre la revue par email, s'abonner...  
Scannez ce QR Code pour accéder à la page de ce numéro sur Cairn.info.



**Distribution électronique Cairn.info pour JLE.**

Vous avez l'autorisation de reproduire cet article dans les limites des conditions d'utilisation de Cairn.info ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Détails et conditions sur [Cairn.info/copyright](http:// Cairn.info/copyright).

Sauf dispositions légales contraires, les usages numériques à des fins pédagogiques des présentes ressources sont soumises à l'autorisation de l'Éditeur ou, le cas échéant, de l'organisme de gestion collective habilité à cet effet. Il en est ainsi notamment en France avec le CFC qui est l'organisme agréé en la matière.

# La prise de décision affective chez l'enfant

## *Affective decision-making in children*

Arnaud Roy<sup>1,2</sup>, Céline Lancelot<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universités Angers-Nantes, faculté des lettres, langues et sciences humaines, laboratoire de psychologie des Pays de la Loire, LUNAM, EA4638, 11, boulevard Lavoisier, 49045 Angers cedex 01, France  
<arnaud.roy@univ-angers.fr>

<sup>2</sup> CHU de Nantes, hôpital Mère-Enfant, Centre de compétence nantais de neurofibromatose, Centre référent du langage, unité pédiatrique des troubles d'apprentissage, 44093 Nantes Cedex 1, France

Pour citer cet article : Roy A, Lancelot C. La prise de décision affective chez l'enfant. *Rev Neuropsychol* 2013 ; 5 (2) : 106-18  
doi:10.1684/nrp.2013.0260

### Résumé

Les capacités de prise de décision affective (PDA), telles qu'elles sont évaluées à travers l'Iowa Gambling Task (IGT), constituent un domaine de recherche pour lequel l'émergence des travaux a connu un essor récent auprès de la population pédiatrique, en lien avec les enjeux théoriques et cliniques qui en découlent. Dans ce contexte, différentes adaptations de l'épreuve originale de l'IGT ont proliféré sur la base de modifications ergonomiques et procédurales visant à rendre la tâche accessible aux enfants (les plus jeunes en particulier), mais aussi à manipuler certains paramètres susceptibles d'expliquer le comportement tels que la fréquence ou l'amplitude des pertes. L'utilisation de ces outils, qui sont déclinés dans la première partie de cet article de synthèse, a permis de mettre en évidence un développement à la fois précoce et prolongé de la PDA au décours de l'enfance. Il peut être partiellement rapproché du comportement des patients adultes cérébrolésés. Par ailleurs, l'émergence progressive des capacités de PDA semble conditionnée par certains facteurs, tels que le genre ou les habiletés de verbalisation, et se manifeste par des patterns de réponse qui pourraient être spécifiques de l'enfance. Ces éléments développementaux et théoriques sont résumés dans la deuxième partie de l'article, qui examine également les arguments favorisant l'idée prédominante, bien que controversée, que la PDA et les aspects cognitifs des fonctions exécutives n'entretiennent pas de relations étroites au décours du développement. Cette question sera prolongée dans la dernière partie de l'article, à travers les arguments issus de différents contextes cliniques pour lesquels un développement atypique de la PDA a été décrit. Si elles alimentent l'hypothèse d'une atteinte congénitale ou acquise sous-jacente des circuits fronto-sous-corticaux, les manifestations associées à une perturbation de la PDA ainsi que leurs liens avec la symptomatologie dysexécutive observée chez l'enfant restent à délimiter plus précisément.

**Mots clés :** fonctions exécutives • enfant • cognition sociale • développement • cortex préfrontal

### Abstract

*Affective decision-making (ADM) as it is assessed through the Iowa Gambling Task (IGT) is an area of research for which growing studies have recently emerged within the pediatric setting, in relation to theoretical and clinical issues arising from there. In this context, various adaptations of the original IGT have been proposed on the basis of ergonomic and procedural changes to make the task easier to perform for children, in particular for the younger. The aim was also to manipulate some task parameters that might explain the behavior such as the frequency and the magnitude of the losses. In the first part of this review, the main available adjustments of the IGT, which have been used with children together with their differences regarding the classic form of the task, are presented. Developmental studies based on these tools have highlighted both early and protracted improvement of ADM throughout childhood and adolescence, which has been partially related to the behavior of brain-damaged adults. Moreover, the gradual emergence of ADM skills seems to be contingent upon a number of factors, such as sex or verbalization abilities, and it is characterized by patterns of response that may be specific to childhood. These developmental and theoretical issues are summarized in the second part of the paper, which also examines the relationship between ADM and cognitive aspects of executive function (known as "cold" executive processes). Although controversial, the predominant view*

**Correspondance :**  
A. Roy

based on several empirical findings is that ADM and cold executive function are relatively independent from one another over the course of development. This question will be extended in the last part of the review, according to the data reported in different clinical contexts for which an atypical development of ADM has been more or less clearly identified. If they are consistent with the hypothesis of a congenital or acquired impairment of the underlying fronto-sub-cortical networks, clinical manifestations associated with ADM deficit as well as their links with the dysexecutive features observed in children remain to be specified.

**Key words:** executive function • child • social cognition • development • prefrontal cortex

## ■ Introduction

Dans le prolongement des travaux engagés depuis les années 1990 chez l'adulte cérébrolésé, les aspects affectifs des fonctions exécutives (FE) font l'objet d'un intérêt croissant en neuropsychologie de l'enfant. Par contraste avec le versant cognitif (*cold*) des FE, associé aux régions dorsolatérales du cortex préfrontal et traditionnellement évalué à partir de tâches relativement abstraites et décontextualisées, le registre affectif (*hot*) des FE renvoie aux situations présentant une consonance émotionnelle et motivationnelle particulière, en lien avec les régions préfrontales ventromédianes et orbitaires [1]. La prise de décision à propos d'événements aux conséquences émotionnelles significatives (prise de décision affective [PDA]) constitue l'un des processus principaux en lien avec la composante affective des FE, laquelle s'imbrique plus globalement dans la thématique de la cognition sociale. L'intérêt récent pour ce domaine chez l'enfant est perceptible à travers le nombre croissant de publications scientifiques depuis la dernière décennie (une dizaine d'articles entre 2001 et 2005, et plus du double entre 2006 et 2009 : pour une revue, voir [2]), bien que la littérature reste nettement moins prolifique que chez l'adulte, en particulier au plan clinique.

La PDA est essentielle à l'adaptation sociale de l'individu au sens où elle implique la capacité de choisir entre plusieurs alternatives en compétition qui requièrent une analyse des risques et des bénéfices respectifs, ainsi que l'estimation de leurs conséquences à court, moyen et long termes, et de fait, une analyse des risques compte tenu du caractère incertain du résultat. La perturbation de ce processus, qui transiterait par les marqueurs somatiques, sortes de signal émotionnel impulsé par le système nerveux autonome sous une forme positive ou négative et orientant les choix [3], a été supposée à partir d'une série de travaux conduits auprès d'adultes porteurs de lésions du cortex préfrontal ventromédian [4]. La perturbation de la PDA se manifeste alors par une forte préférence pour des profits immédiats et une sensibilité réduite aux conséquences futures, positives ou négatives, renvoyant ainsi à une forme de « myopie pour le futur ». L'essor des travaux dans divers contextes étiologiques et *via* l'imagerie cérébrale a, en outre, mis en évidence que la PDA dépendrait de manière plus large des circuits frontaux et pas seulement

des régions ventromédianes, impliquant en particulier le cortex préfrontal dorsolatéral, le cortex cingulaire antérieur et plusieurs structures sous-corticales dont l'hippocampe et l'amygdale (voir les autres articles consacrés à l'adulte dans ce numéro spécial).

Le statut développemental particulier du lobe frontal, et plus globalement des circuits fronto-sous-corticaux, dont la maturation ontogénétique et phylogénétique est la plus longue du cerveau, contribue légitimement à supposer, à l'instar des aspects cognitifs des FE, que la PDA est caractérisée par un développement prolongé tout au long de l'enfance et que les plus jeunes sont susceptibles de présenter des comportements proches des patients frontaux. Par ailleurs, le risque de vulnérabilité précoce qui caractérise plus particulièrement le lobe frontal et ses réseaux suggère une fragilité potentielle des FE et, de fait, de la PDA dans divers contextes pédiatriques affectant ces réseaux, d'autant plus sollicités à mesure que les exigences d'autonomie et l'intégration sociale se complexifient avec l'avancée en âge (pour une revue, voir [5]). En outre, si la PDA est considérée comme relevant des aspects affectifs des FE, la question de ses liens mutuels avec les FE dites cognitives telles que la planification, l'inhibition, la flexibilité mentale ou la mémoire de travail, est d'autant plus légitime que les réseaux frontaux respectivement impliqués dans ces deux versants sont susceptibles de relever d'un seul et même système fonctionnant probablement de concert dans la plupart des situations de la vie quotidienne [6].

Afin de rendre compte des données relatives à la PDA chez l'enfant, nous proposons dans un premier temps une brève description des principales tâches existantes dans la littérature qui sont utilisées pour évaluer la PDA auprès de cette population, en fonction de l'âge et par comparaison avec la méthodologie existante chez l'adulte. Les données empiriques ainsi que les propositions théoriques associées permettant d'approcher le développement normal de la PDA au décours de l'enfance sont présentées dans un deuxième temps, en distinguant son émergence chez le jeune enfant, puis à la période scolaire et à l'adolescence, avant de revenir sur ses liens potentiels avec le versant cognitif des FE. La dernière partie traitera du développement atypique de la PDA, qui a été jusqu'à présent essentiellement étudié dans le contexte de la psychopathologie.

## ■ Évaluation de la prise de décision affective chez l'enfant

L'épreuve la plus utilisée dans la littérature pour évaluer la PDA chez l'adulte est l'Iowa Gambling Task (IGT), développée dans le cadre des travaux initiaux chez les patients cérébrolésés pour simuler les situations de PDA dans la vie quotidienne à travers le caractère imprévisible des récompenses et des sanctions qu'elle met en scène [4]. Ce test est classiquement considéré comme impliquant une PDA sous ambiguïtés, dans la mesure où pour gagner un maximum d'argent, le sujet doit être capable d'identifier et de sélectionner des tas de cartes avantageux au fur et à mesure des tirages, sans savoir initialement qu'il existe des tas avantageux et désavantageux. Les tas désavantageux apportent des gains immédiats importants mais à long terme désastreux, contrairement aux tas avantageux, pour lesquels les gains immédiats sont plus faibles mais plus importants à long terme. La PDA sous risques, associée classiquement au Game of Dice Task où les règles et l'étendue des gains et des pertes sont explicitement décrites et visualisées, ne sera pas abordée dans cette revue de questions, dans la mesure où les adaptations – sporadiques – correspondantes chez l'enfant s'éloignent singulièrement de la structure de l'IGT et qu'elles sont focalisées sur des thématiques différentes (bien que reliées), telles que la prise de risque.

Les paradigmes mis en place pour évaluer la PDA chez l'enfant sont relativement variés mais restent calqués de manière globale sur le principe de l'IGT, avec une dizaine de versions différentes qui s'apparentent plus ou moins à la tâche originale développée chez l'adulte, dans l'optique de la simplifier et de l'adapter aux particularités de la population pédiatrique.

### ■ Iowa Gambling Task et ses variantes proches

La tâche classique élaborée par Bechara *et al.* [4] ainsi que des versions apparentées proposant de légères modifications représentent le paradigme le plus utilisé. Les ajustements proposés concernent la quantité de gains et de pertes induits par les choix du sujet, ou l'échelle de valeur qui leur est associée. Les travaux basés sur l'IGT ou ses variantes très proches sont exclusivement consacrés à des enfants d'âge scolaire, le plus souvent des adolescents et plus particulièrement dans le contexte d'études cliniques (par exemple, [7, 8]). Une version informatisée apparentée à l'IGT a également été opérationnalisée [9], visant une ergonomie plus ludique et une durée moindre, afin d'étudier la PDA auprès de patients d'âge scolaire, mais aussi auprès de jeunes enfants tout-venant (par exemple, [10]). Dans cette adaptation constituée uniquement de 36 tirages, des images d'ours et de tigres illustrent respectivement la quantité de gains et de pertes, formalisés par des jetons.

Dans certaines études, les modifications proposées sont plus marquées, afin de garantir une meilleure compréhension de l'épreuve, de limiter les artefacts liés à d'autres troubles neuropsychologiques associés et de favoriser l'investissement de l'enfant. Des aménagements de ce type ont par exemple été proposés dans une étude consacrée à la PDA chez les enfants cérébrolésés [11]. Les modifications par rapport à la version originale de l'IGT incluaient, outre une présentation informatisée, un feed-back relatif à la somme d'argent nette gagnée ou perdue après chaque essai (pour éviter de solliciter le calcul mental) et l'affichage à l'écran d'une barre rouge ou verte indiquant la quantité d'argent gagnée ou perdue (doublé d'une annonce de l'examineur), la réduction des échelles de valeur (par 400 en regard de l'IGT, pour que les gains/pertes aient plus de sens pour l'enfant), l'attribution de couleurs différentes aux quatre paquets de cartes pour faciliter leur distinction et leur mémorisation, ou encore une incitation de l'enfant en lui donnant deux dollars au début de la tâche et en l'autorisant à garder l'argent gagné au décours des essais.

Enfin, plusieurs modifications expérimentales ont été proposées dans d'autres versions de l'IGT, destinées à tester les hypothèses relatives à l'effet de certains facteurs sur le développement normal ou pathologique des performances. Une tâche de ce type a par exemple été récemment proposée auprès d'enfants présentant des troubles attentionnels avec hyperactivité afin d'évaluer l'impact respectif de la fréquence et de l'amplitude des pertes sur leur comportement de PDA [12]. Dans cette optique, deux conditions expérimentales visaient à augmenter artificiellement, à mesure de l'épreuve, les pertes associées aux tas de cartes désavantageux sur chacune de ces variables (voir [13], pour un autre type de manipulation expérimentale sur la fréquence des pertes auprès des enfants tout-venant à partir de la Soochow Gambling Task). Dans une autre perspective cherchant à appréhender séparément l'effet des feed-back positifs et négatifs associés aux tas avantageux et désavantageux, une version modifiée (informatisée) de l'IGT impose aux sujets de prendre une décision de type « je joue » ou « je passe » pour chacun des quatre tas de cartes dans un ordre pseudo-randomisé, procédure limitant par ailleurs la variabilité interindividuelle des stratégies de recherche [14].

### ■ Children's Gambling Task

Dans le souci d'adapter l'IGT aux enfants, Kerr et Zelazo [6] ont élaboré le Children's Gambling Task (CGT), essentiellement utilisé pour étudier le développement normal de la PDA chez les jeunes enfants [15-17] et, plus rarement, dans le contexte clinique [18]. Cette version simplifiée de la tâche originale se limite à deux tas de cartes (avantageux *versus* désavantageux) et 50 tirages, avec pour objectif de gagner le plus de bonbons possible. Afin de fournir une valence plus concrète à la nature du renforcement

(par opposition à sa nature relativement symbolique chez l'adulte), les gains (les bonbons) sont représentés dans la partie supérieure des cartes par un ou deux *smileys* souriants (qui représentent le nombre de bonbons gagnés) alors que des *smileys* tristes (symbolisant les bonbons perdus) apparaissent dans la partie inférieure.

Conformément à l'IGT, le nombre de bonbons gagnés est constant selon les tas tandis que le nombre de bonbons perdus varie : on gagne un bonbon et on en perd au maximum un pour le tas avantageux alors que le gain du tas désavantageux est de deux bonbons pour une perte variable et imprévisible de zéro, quatre, cinq ou six bonbons. Le verso des cartes de chaque tas est constitué de deux types de motifs (des rayures ou des pois de couleur noire sur fond blanc) qui peuvent être contrebalancés au niveau des tas correspondants (avantageux *versus* désavantageux) et de leur emplacement (à droite ou à gauche de l'enfant). On fournit à l'enfant dix bonbons en début d'épreuve, qui sont disposés dans un tube destiné à collecter les bonbons gagnés (et duquel les bonbons perdus sont retirés à mesure des essais par l'examineur).

### ■ Hungry Donkey Task

La Hungry Donkey Task (HDT, [19]) est une tâche calquée sur l'IGT qui a été utilisée auprès d'enfants d'âge scolaire et en particulier avec des adolescents [20-22], sans application clinique pour le moment à notre connaissance. Dans cette adaptation ludique et informatisée qui se veut pro-sociale, il s'agit pour l'enfant d'aider un âne, positionné sous quatre portes (A, B, C et D) à gagner le plus de pommes possible en choisissant à chacun des 100 essais l'une de ces portes qui abrite un nombre variable de pommes. Le nombre de pommes gagnées est identique au décours des essais (quatre pour les portes A et B, deux pour les portes C et D) alors que le nombre de pommes perdues varie (8 à 12 pour la porte A, 50 pour la porte B, entre 1 et 3 pour la porte C et 10 pour la porte D), de même que la fréquence des pertes (50 % des essais pour les portes A et C contre 10 % des essais pour les portes B et D).

À l'instar de l'IGT, deux portes (A et B) se révèlent plus désavantageuses sur le long terme (perte nette de dix pommes), avec une probabilité de perte fréquente mais de faible amplitude pour l'une (A) et le pattern opposé pour l'autre (B) ; par contraste, les autres portes (C et D) sont plus avantageuses (gain net de dix pommes), la probabilité de pommes perdues étant fréquente mais de faible amplitude (C) ou peu fréquente mais de plus grande amplitude (D). Les gains et les pertes sont constamment représentés au bas de l'écran à l'aide d'une barre horizontale, dont la progression colorée en vert ou en rouge traduit l'augmentation proportionnelle des pommes gagnées ou perdues. À l'instar de l'adulte, une version alternative de l'épreuve consiste à inverser la proportion des pertes et des gains.

## ■ Repères développementaux et modélisation neuropsychologique

### ■ Développement pendant la période préscolaire

L'émergence des capacités de PDA chez les tout-petits a connu un essor déterminant au milieu des années 2000, en particulier à partir du travail précurseur de Kerr et Zelazo [6]. Ces auteurs ont montré, à l'aide du CGT, un développement rapide de la PDA entre trois et quatre ans ; les enfants de trois ans réalisent moins de choix avantageux et plus de choix désavantageux, au-delà du seuil du hasard, sans amélioration à mesure des essais, à l'inverse des enfants de quatre ans. Chez ces derniers, l'orientation des choix vers le tas de cartes avantageux se précise plus particulièrement lors des trois derniers blocs de l'épreuve (autrement dit, les 30 derniers tirages sur les 50 proposés).

Selon Kerr et Zelazo [6], l'immaturation fonctionnelle du cortex préfrontal, notamment ventromédian et orbitaire, expliquerait que les trois ans échouent à développer les marqueurs somatiques (tels que conceptualisés par Damasio [31]) associés aux paquets désavantageux. Une autre hypothèse explicative – qui ne s'oppose pas forcément à la précédente – s'appuie sur la théorie du contrôle et de la complexité cognitive [23], incitant à suggérer que les enfants de trois ans ne parviendraient pas à formuler une règle de plus haut niveau intégrant la considération de deux dimensions contradictoires (gains/pertes associés aux choix avantageux/désavantageux). Une étude réalisée à l'aide d'une version simplifiée du CGT [24] tend à confirmer cette théorie, en montrant que les enfants de trois à cinq ans évitent les cartes du tas désavantageux pour sélectionner préférentiellement celles du tas avantageux, dès lors que la sélection correcte ne dépend que de l'information relative aux gains (pertes identiques dans les deux tas) ou aux pertes (gains analogues). Dans un registre similaire, les résultats d'une autre étude [15] montrent que la réduction de la difficulté que représente l'apprentissage de l'échelle des gains/pertes, à partir d'une modification du CGT qui augmente la fréquence et l'amplitude des pertes du paquet désavantageux, constitue une base explicative du développement de la PDA chez les jeunes enfants.

D'autres travaux ont confirmé une progression dynamique de la PDA similaire à celle mise en évidence par Kerr et Zelazo [6] avec le CGT auprès de jeunes enfants entre trois et quatre ans [15, 16], ainsi qu'entre trois et cinq ans [17]. L'utilisation d'une autre version de l'IGT adaptée aux préscolaires ([9] ; voir section précédente) a également montré une amélioration des capacités de PDA entre trois ans et demi et quatre ans et demi, ainsi qu'entre quatre ans et demi et cinq ans [10, 25].

La multiplication des travaux dans ce courant de recherche tend à montrer que plusieurs facteurs seraient susceptibles d'avoir un impact sur le développement de la PDA pendant la période préscolaire. C'est le cas du genre, puisque des différences dans les stratégies de réponse entre

garçons et filles ont été identifiées à cet âge [10]. L'effet de ce facteur reste néanmoins controversé car si les petites filles afficheraient des aptitudes de PDA plus efficaces selon certains résultats [26], cette différence n'est que partiellement retrouvée par d'autres ([16] : supériorité des filles à trois ans non retrouvée à quatre ans) et d'autres encore montrent que garçons et filles ne se comportent pas différemment [6, 17].

Par ailleurs, il a été montré, à l'aide de la version de l'IGT développée par l'équipe de Garon [9], que l'utilisation de symboles et la verbalisation amélioreraient significativement les performances de PDA chez les préscolaires [25]. Dans cette étude, le fait de « labelliser » avec l'enfant les tas de cartes comme « bons » ou « mauvais » améliorerait les performances des enfants de quatre ans et demi, ce qui n'était pas le cas des enfants plus jeunes (trois ans et demi). En revanche, ces derniers étaient significativement aidés lorsque des symboles représentant les notions de « bons » (image d'un ours) et de « mauvais » (image d'un tigre) étaient placés – par l'enfant – près de chacun des tas de cartes (mais uniquement lorsqu'ils parvenaient à les verbaliser correctement comme tels). Sur la base de ces résultats, les auteurs ont émis l'hypothèse qu'il existait une interaction entre le développement des capacités de PDA et celui de la perception consciente et de l'utilisation de symboles au cours de la période préscolaire. Dans le même ordre d'idées, une relation significative a été mise en évidence entre les performances au CGT et la connaissance que l'enfant parvient à verbaliser à propos de la tâche à partir de quatre ans, suggérant ainsi l'importance du savoir déclaratif à cet âge précis qui correspond au pic développemental décrit précédemment pour la PDA [16].

Enfin, la personnalité, et plus précisément le tempérament des enfants, a été rapprochée du développement de la PDA au cours de la période préscolaire, en particulier auprès d'enfants âgés de trois ans et demi à quatre ans et demi [27]. En effet, les enfants caractérisés par une forte extraversion tendent à choisir plus souvent les cartes du tas désavantageux, et ce relativement tôt dans la tâche. De plus, la sensibilité à la frustration et les difficultés pour réguler les émotions négatives (telles que la colère) contribuent de manière déterminante à prédire l'orientation des choix de l'enfant vers les choix désavantageux (offrant des récompenses immédiates plus importantes) dans le dernier bloc de l'épreuve.

### ■ De l'âge scolaire à l'adulte

Plusieurs arguments favorisent l'idée que les capacités de PDA poursuivent leur développement actif à l'issue de la phase préscolaire, avec une période de progression prolongée qui s'étend au-delà de l'adolescence. Des progrès continus dans la capacité à considérer les conséquences futures et à ne pas être influencé par les perspectives immédiates ont ainsi été mis en évidence entre six et 25 ans à partir du HDT [19]. Ce travail précurseur a montré que les enfants de six à 12 ans ont encore une forte prédisposition pour les choix désavantageux, même si, à

l'instar des adultes, les pertes occasionnées les amènent immédiatement à changer de tas de cartes. Par contraste, les adolescents (13-15 ans) réalisent davantage de choix avantageux que leurs cadets, mais la proportion de choix désavantageux reste accrue en regard des performances à l'âge adulte.

Des changements développementaux similaires illustrant une progression qui se poursuit jusqu'à la fin de l'adolescence ont été relevés dans d'autres travaux [7, 14, 21, 28]. À l'aide d'une version proche de l'IGT adulte, il a ainsi été observé que la courbe d'apprentissage illustrant l'orientation progressive vers des choix avantageux était plus rapide chez les adolescents de 14 à 17 ans par comparaison avec les enfants plus jeunes (sans toutefois atteindre le niveau relevé chez l'adulte), au sens où cette orientation survenait plus tôt au décours des tirages et permettait une meilleure performance dans la seconde moitié de la tâche [7]. La même tendance a été retrouvée à l'HDT chez les 16 à 18 ans en regard des plus jeunes (huit à dix ans et 12 à 14 ans), à travers l'augmentation du nombre de choix avantageux à mesure des blocs, sans que le niveau des adolescents plus âgés atteigne celui observé chez l'adulte [21]. Plus récemment, un développement lent et prolongé des capacités de PDA a été retrouvé auprès d'une cohorte de 102 enfants âgés de huit et 15 ans (IGT classique), les adolescents les plus âgés (14-15 ans) étant les seuls qui apprenaient à orienter leurs choix vers les tas avantageux au cours des 20 derniers essais [28]. Ces effets développementaux ont été confirmés dans une étude réalisée auprès de 901 sujets âgés de 10 à 30 ans [14], à l'aide d'une version modifiée de l'IGT (voir section précédente). Un pic développemental était observé vers 14 ans, âge à partir duquel les performances étaient comparables à celles des adultes pour les 20 derniers essais de l'épreuve.

Outre ces changements développementaux, un pattern de réponse particulier a été identifié chez les enfants d'âge scolaire, suggérant que la PDA à cette période est biaisée par le fait qu'ils accordent plus d'importance à la fréquence des pertes qu'à leur amplitude [20-22, 29]. Crone et van der Molen [21] ont ainsi relevé que la sélection des cartes par les adolescents ne s'effectuait pas au hasard et démontrait une préférence pour les tas de cartes induisant une sanction peu fréquente (y compris d'amplitude élevée), par comparaison avec ceux dont la sélection occasionne une perte fréquente (même de plus faible amplitude). Cette sensibilité plus importante à la fréquence des pertes qu'à leur amplitude tend à conditionner les choix et donc la performance des plus jeunes entre 6 et 9 ans [22] mais se retrouve aussi entre 13 et 15 ans [29], puis chez les plus âgés (16-18 ans) bien que de manière moins marquée ([21] ; mais voir [7] pour des résultats différents). Cette préférence pour les options associées à une punition peu fréquente n'est pas retrouvée chez l'adulte, suggérant qu'une forme de tolérance psychologique à la perte, immature à l'âge scolaire, participe à la facilitation de l'apprentissage des caractéristiques de chaque option et conditionne la capacité à choisir de façon avantageuse [13].

Une autre particularité dans le comportement de PDA des adolescents par comparaison avec les adultes a été identifiée récemment, à partir d'une version adaptée de l'IGT [14]. Une sensibilité accrue aux *feed-back* positifs (caractérisés par le fait de jouer de manière préférentielle avec les tas avantageux) prédominerait chez les adolescents, atteignant son paroxysme à la fin de cette période avant de décliner, alors que la sensibilité aux *feed-back* négatifs (éviter des tas désavantageux) ne deviendrait un comportement prépondérant qu'à l'âge adulte. La maturation préalable du système dédié à l'appétence (en lien avec le noyau *accumbens*) par rapport à celle du système de contrôle (orbitofrontal) rendrait compte de cette sensibilité accrue aux *feed-back* positifs (donc à la récompense) chez les adolescents, contribuant aussi à expliquer la recherche particulière des situations à risque en lien avec l'attrait pour les nouvelles expériences à cette période délicate de la vie.

L'ensemble de ces derniers résultats incite à suggérer que la combinaison maîtrisée de deux dimensions inhérentes à la réussite de la PDA (fréquence et amplitude des pertes ; récompenses et pertes potentielles liées à la prise de risque), à travers une règle de raisonnement intégratif de plus haut niveau, ne se produit pas avant le début de l'âge adulte. Ce constat n'est d'ailleurs pas sans rappeler la théorie de la complexité cognitive évoquée pour rendre compte de la progression observée chez les jeunes enfants (voir la section précédente). Il est intéressant de constater que cette sensibilité préférentielle des enfants et des adolescents pour les tas de cartes qui conduisent à des pertes peu fréquentes, indépendamment du caractère avantageux ou désavantageux de ces tas, n'a pas été constatée chez les adultes présentant des lésions préfrontales ventromédianes [4], ce qui pourrait signifier que les enfants résolvent la tâche de manière sensiblement différente [21]. Dans le même ordre d'idées, il a été montré que si les stratégies d'ajustement en fonction des résultats se développaient avec l'âge (poursuite du même choix après un gain et changement après une perte), les enfants et les adolescents présentaient davantage de difficultés à contrôler une tendance spontanée qui consistait à explorer les différents tas et à en changer après un gain [30].

Par ailleurs, le développement des habiletés de PDA chez l'enfant d'âge scolaire a été relié à l'amplitude des réponses végétatives (*via* l'enregistrement de la conductance cutanée et du rythme cardiaque) lors de la phase d'anticipation qui précède le choix à l'HDT, mais pas pendant celle qui suit le résultat de ce choix [21]. Plus précisément, le rythme cardiaque ralentissait et la réponse électrodermale augmentait de la même manière quel que soit l'âge des enfants lorsqu'ils étaient confrontés aux gains/pertes consécutifs à leur choix, confirmant que le traitement des résultats liés à leur décision tel qu'indiqué par les réponses physiologiques était correct. Le fait que cette réponse physiologique soit préservée mais qu'elle n'induit pas un ajustement contrôlé des choix sur les essais ultérieurs en cas de pertes importantes, en particulier chez les plus jeunes (8-14 ans), traduit une forme de dissociation

entre la réponse végétative, préservée et l'incapacité à utiliser cette information pour guider la PDA. Cette dissociation rappelle celle identifiée chez les patients porteurs de lésions préfrontales ventromédianes, qui échouent à réaliser des choix avantageux alors que leur réaction physiologique en réponse à la punition est normale [4], ce qui pourrait renvoyer à une dissociation développementale entre *knowing* et *doing*. En ce qui concerne les réponses électrodermales qui précèdent les choix de PDA dans cette étude, seuls les adolescents les plus âgés (16-18 ans) présentaient un pattern physiologique différentiel précédant leurs choix, caractérisé plus spécifiquement par une activation préalable accrue spécifiquement lors de la sélection de portes susceptibles d'entraîner de manière fréquente des pertes. Cette évolution des indices physiologiques à la fin de l'adolescence pourrait donc refléter les meilleures performances de PDA en regard des enfants plus jeunes, sans toutefois atteindre le pattern d'activation observé chez l'adulte.

Concernant l'effet du genre sur les capacités de PDA à l'âge scolaire et à l'adolescence, les résultats apparaissent plus convergents que pour la période préscolaire et tendent à indiquer une supériorité des performances chez les garçons [20, 21, 31] ; mais voir [14], pour des résultats différents). L'analyse de la conductance cutanée a montré que les filles présentaient un pattern d'activation plus élevé que les garçons pour les réponses à l'HDT précédant les choix dont le résultat induisait potentiellement des pertes plus fréquentes, et ce indépendamment du caractère avantageux/désavantageux des portes [21]. Ce résultat suggère que les filles évitent les choix comportant un risque de pertes fréquentes en réaction à des signaux physiologiques d'alerte ressentis de manière particulière. Plus globalement, les réseaux neuronaux et les stratégies cognitives mobilisés dans les tâches de PDA ne seraient pas identiques chez les garçons et les filles, à l'instar des données chez l'adulte, en particulier celles issues d'études d'imagerie fonctionnelle indiquant une activation différentielle des régions préfrontales chez les femmes et les hommes [21].

À l'instar des hypothèses explicatives avancées pour rendre compte de l'imaturité de la PDA chez les préscolaires, l'idée sous-jacente relative à ce développement « tardif » est que, contrairement aux adultes, les enfants ne tirent pas avantage des marqueurs somatiques ou que ceux-ci ne sont pas disponibles pour faciliter la sélection des options avantageuses [19, 21]. Parallèlement, la maturation structurelle et fonctionnelle particulièrement tardive des circuits préfrontaux, en particulier des régions ventromédianes, contribue à étayer le lent calendrier développemental qui semble caractériser la PDA, à l'image du développement global des FE (voir [5]). Dans ce contexte, certains auteurs n'hésitent pas à considérer que la difficulté manifestée par les enfants pour apprendre à orienter leurs choix vers les tas de cartes avantageux à l'IGT rappelle singulièrement le comportement des patients présentant des lésions ventromédianes/orbitaires et de l'amygdale, d'autant que les patterns d'activation neurophysiologique

sont similaires [21]. Pour autant, si les enfants, et en particulier les plus jeunes, partagent avec les patients adultes une certaine forme de « myopie pour le futur » à travers l'échec à anticiper les perspectives à plus long terme, les comportements et les stratégies de résolution sous-jacentes ne sont probablement pas superposables comme tend à le montrer l'importance particulière accordée à la fréquence des pertes chez les enfants.

### ■ **Prise de décision et fonctions exécutives au décours du développement typique**

La « classification » de l'IGT comme une mesure classique de la dimension affective des FE est basée sur les doubles dissociations initiales observées par Bechara *et al.* [4], témoignant d'un déficit de la mémoire de travail sans perturbation de l'IGT après des lésions dorsolatérales alors que des lésions ventromédianes engendraient le pattern inverse. Cette dichotomie a été remise en question, en particulier sur la base de travaux auprès des adultes cérébrolésés montrant que la PDA est conditionnée de manière interactive à la fois par les aspects ventraux et dorsaux du cortex préfrontal [32], renvoyant à un seul et un même système probablement engagé dans ses composantes multiples à travers les situations de vie quotidienne [6]. Par analogie chez l'enfant, a émergé l'idée que la progression observée dans les tâches de PDA – et les marqueurs physiologiques associés – ne serait pas exclusivement liée à la composante affective (et donc aux marqueurs somatiques qui guident la décision), mais aux interactions différentielles avec le développement des autres régions cérébrales fonctionnellement liées aux régions ventromédianes, en particulier les régions dorsolatérales sous-tendant les FE dites cognitives [21]. Cette idée apparaît en filigrane à travers la théorie de la complexité cognitive invoquée précédemment chez les préscolaires, ainsi que le raisonnement intégratif de haut niveau dont la maturité tardive amènerait l'enfant à se focaliser préférentiellement sur la fréquence des pertes (au détriment de leur amplitude) jusqu'au début de l'âge adulte.

Chez les enfants d'âge préscolaire, un lien significatif a été établi entre les versions adaptées de l'IGT et la tâche de gratification différée [17, 21], suggérant que les deux épreuves évalueraient de manière commune les FE dites « chaudes ». En revanche, les rares études de corrélation entre les tâches de PDA et diverses mesures exécutives de nature plus cognitive ne confirment pas clairement d'association entre ces deux aspects. Hongwanishkul *et al.* [17] ont ainsi mis en évidence, au sein de leur échantillon d'enfants âgés de trois à cinq ans, un lien significatif entre le CGT et la mémoire de travail (évaluée à partir de la Self-Ordered Pointing Task), suggérant que celle-ci interviendrait pour encoder, maintenir et traiter les résultats issus des choix précédents. Ce lien n'était cependant pas retrouvé pour la tâche de flexibilité cognitive utilisée par ailleurs (Dimensional Change Card Sort), incitant à supposer une relative indépendance entre PDA et FE « froides ». De même, les

auteurs n'ont pas identifié de corrélation significative entre le niveau d'intelligence verbale ou non verbale des enfants et leurs performances au CGT. Une autre étude réalisée auprès de jeunes enfants de trois à quatre ans a globalement montré que le développement des performances avec la même tâche de PDA (le CGT) était indépendant des changements développementaux relatifs au raisonnement inductif, au langage et – contrairement à l'étude précédente – la mémoire de travail [16].

Les travaux consacrés aux enfants d'âge scolaire et aux adolescents sont un peu plus nombreux. Certains résultats tendent à favoriser un lien au moins partiel entre les aspects cognitifs des FE et la PDA mesurée avec la version classique de l'IGT. C'est le cas de la recherche conduite par Lento et Elorinne [33], qui montrait une corrélation significative entre les persévérations au Wisconsin Card Sorting Test et la réussite à l'IGT chez des enfants âgés de 8 à 10 ans ; ce lien n'était en revanche pas significatif pour le niveau d'intelligence mesuré avec les matrices de Raven, contrairement à une autre étude conduite à partir des échelles de Wechsler [14]. Plus récemment, Prencepe *et al.* [28] ont mis en évidence chez un groupe d'enfants âgés de 8 à 15 ans que différents scores exécutifs cognitifs (Stroop, empan de chiffres) et affectifs (gratification différée et IGT) se regroupaient autour d'un seul et même modèle factoriel ; les analyses de corrélations partielles (avec contrôle de l'âge) confirmaient une association robuste entre l'IGT et le Stroop, tandis que le lien entre l'IGT et l'empan de chiffres était simplement caractérisé par une tendance. Selon les auteurs, ces résultats favorisent l'idée que des processus similaires organisés selon un continuum pourraient sous-tendre les FE « froides » et « chaudes ». Pour autant, les données indiquaient aussi que le développement des FE « chaudes » était plus tardif et plus lent que celui des FE « froides », confirmant certains résultats antérieurs [7].

Paradoxalement, la majorité des études consacrées à ce sujet n'ont pas retrouvé de lien significatif (malgré quelques tendances isolées) entre IGT et FE cognitives chez l'enfant d'âge scolaire et l'adolescent, que ce soit pour la mémoire de travail – évaluée à partir de l'empan de chiffres endroit et/ou envers – ou l'inhibition – mesurée par le Go/No-go et/ou le Stroop [7, 19, 34]. Le niveau d'intelligence évalué à partir des échelles de Wechsler ou les matrices de Raven dans certains de ces travaux n'était pas non plus corrélé aux performances de PDA [7, 19]. Plus récemment et dans le même ordre d'idées, il a été montré que les performances d'adolescents âgés de 13 à 15 ans à deux tâches de PDA affective et cognitive appariées n'étaient pas reliées [29].

### ■ **Données cliniques**

Des perturbations dans le développement de la PDA chez l'enfant ont été mises en évidence dans différentes populations cliniques, essentiellement dans le contexte de la psychopathologie infantile et des troubles du comportement en lien potentiel avec une atteinte des circuits

préfrontaux. La majorité des travaux ont été consacrés au trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDA/H) tandis que les autres concernent divers types de perturbation du comportement tels que les troubles des conduites, les conduites addictives, la dépression, les comportements d'automutilation, les conduites suicidaires, la schizophrénie, les troubles obsessionnels-compulsifs (TOC) ou les troubles envahissants du développement. Plus récemment, la PDA a été étudiée dans le contexte du traumatisme crânien et du syndrome d'alcoolisation fœtale.

### ■ Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité

Le TDA/H constitue une population clinique de prédilection dans le cadre des études sur la PDA chez l'enfant. L'idée que les enfants TDA/H soient davantage exposés à des comportements de PDA inadaptés dans la vie quotidienne a émergé ces dernières années, en lien avec les travaux ayant montré que ces patients présentent des troubles de la régulation comportementale et une impulsivité, qu'ils ont une propension à s'engager dans des activités plus risquées que leurs pairs et qu'ils tendent à montrer de grandes difficultés pour différer l'obtention d'une gratification du fait d'une forte appétence pour les récompenses immédiates (aversion pour le délai). Ces observations ont été formalisées à travers le modèle de Sonuga-Barke [35], qui distingue, d'une part, le dysfonctionnement exécutif – cognitif – classique chez ces enfants, caractérisé par un déficit central d'inhibition reposant sur les circuits fronto-sous-corticaux ventro- et dorsolatéraux et, d'autre part, une atteinte de la dimension motivationnelle en lien avec les réseaux préfrontaux ventromédians contribuant à l'expression des symptômes comportementaux (notamment l'aversion pour le délai). Cette dernière composante sous-tendrait la perturbation de la PDA chez l'enfant TDA/H.

L'hypothèse d'un déficit de PDA en lien avec cette modélisation neuropsychologique a été notamment formalisée dans une étude récente [8] qui a montré des difficultés de PDA à l'IGT chez un groupe de 44 patients TDA/H âgés de 13 à 18 ans, les patients orientant leurs choix de manière moins avantageuse à mesure des essais comparativement aux témoins, tout en reconnaissant *a posteriori* le caractère avantageux ou désavantageux des tas. Si les scores d'intelligence et de mémoire de travail verbale et visuospatiale des patients étaient également affaiblis, ils n'apparaissaient pas corrélés significativement à ceux de l'IGT (y compris chez les témoins), confirmant ainsi la dissociation supposée entre les voies exécutives et motivationnelles prévues par le modèle. La relation significative entre l'évaluation de la dimension hyperactivité/impulsivité par les parents et les performances des patients à l'IGT (association non retrouvée pour la dimension inattention) tendait par ailleurs à confirmer que les symptômes d'hyperactivité/impulsivité du TDA/H seraient en lien avec des troubles de la régulation motivationnelle alors que ceux d'inattention relèveraient des FE dites cognitives.

Ces données confirment les résultats préliminaires obtenus auprès d'un groupe de 33 adolescents âgés de 12 à 14 ans présentant un TDA/H ( $n=28$ ) ou des troubles des conduites, qui affichaient des performances de PDA plus mauvaises à l'IGT par rapport à celles des témoins sains, sans corrélation significative par ailleurs avec les déficits relevés chez ces patients au Wisconsin Card Sorting Test [36]. Dans le même ordre d'idées, des difficultés de PDA au CGT ont été objectivées en lien avec les symptômes d'hyperactivité/impulsivité relevés au sein d'un groupe de 63 enfants âgés en moyenne de sept ans et évoluant dans le cadre d'un milieu défavorisé [18]. De manière plus précise, une autre étude [12] basée sur différentes versions de l'IGT administrée à 23 enfants TDA/H (7 à 12 ans) a révélé que les patients, contrairement aux témoins, n'étaient pas en mesure d'adapter leur style de réponse même lorsque les pertes étaient expérimentalement augmentées en amplitude (maintien d'une préférence moindre pour les tas avantageux) ; ce comportement différentiel était en revanche estompé lorsque la fréquence des pertes était augmentée. Ces derniers résultats sont compatibles avec l'idée que les enfants TDA/H seraient sensibles à la fréquence des sanctions mais relativement indifférents quant à leur amplitude.

D'un point de vue physiologique, plusieurs travaux ont mis en évidence un pattern d'activation anormal du système nerveux autonome chez les enfants TDA/H lors de la réalisation de l'IGT. Luman *et al.* [12] ont par exemple montré que dans une condition où l'amplitude des pertes était accrue, les enfants TDA/H développaient une réponse électrodermale moindre en regard des témoins (et à l'inverse une accélération accrue du rythme cardiaque après un gain), témoignant d'une atteinte de l'activité sympathique après la phase de sélection, empêchant d'initier ensuite une stratégie de réponse alternative. De plus, les réponses électrodermales des patients tendaient à être supérieures après des tirages dont les résultats étaient favorables par opposition avec des résultats défavorables, alors que le pattern de réponse était opposé chez les témoins (lui-même conforme à celui de l'adulte), incitant à suggérer dans le TDA/H une différenciation anormale entre le « bon » et le « mauvais » [4]. Ce dernier résultat est à rapprocher des conclusions de Masunami *et al.* [37], qui ont également montré que le déficit de PDA dans le TDA/H résulterait d'une sensibilité aberrante à la récompense et à la punition (avec des résultats cependant partiellement concordants avec l'étude précédente, aucune différence dans les mesures de conductance cutanée n'étant cette fois retrouvée lorsque les patients reçoivent les gains ou les pertes). Enfin, le lien entre défaut de PDA et symptômes d'hyperactivité/impulsivité dans l'étude de Bubier et Drabick [18] décrite plus haut était médiatisé par une activation moindre du système nerveux autonome.

Par contraste avec l'ensemble des études précédentes, il convient de signaler que tous les travaux ne convergent pas vers un déficit de la PDA dans le TDA/H. Une étude menée auprès d'un échantillon de 20 patients TDA/H âgés

de 8 à 12 ans n'a ainsi pas confirmé de perturbation significative sur la base des scores au CGT [38]. Pour autant, les stratégies de changement dans la PDA tendaient à être différentes chez les enfants TDA/H, caractérisées par des patterns de réponses plus inconstants pour les choix désavantageux et des comportements de persévération. De plus, conformément aux résultats des études précédentes [8, 36], les performances au CGT n'étaient pas corrélées avec celles relevées en inhibition (*stop signal*).

Enfin, il a été montré que les troubles du comportement internalisé (anxiété et dépression) semblaient avoir un effet « protecteur » sur les difficultés de PDA éprouvées par les enfants TDA/H [9]. Les auteurs ont en effet montré que parmi 21 patients âgés entre 6 et 13 ans, ceux présentant un haut niveau d'anxiété/dépression ( $n=10$ ) se révélaient plus performants, suggérant que ce facteur favoriserait une forme de réduction de la prise de risque.

### ■ Troubles des conduites et comportement d'addiction

Si les difficultés de PDA dans le contexte du TDA/H sont clairement démontrées, plusieurs interrogations persistent quant à l'influence des troubles associés à cette pathologie, et notamment les troubles des conduites, sur les comportements déviants pouvant caractériser ces enfants. Plus particulièrement, la question se pose à savoir si des difficultés de PDA peuvent s'observer chez des enfants manifestant des comportements déviants (troubles des conduites, comportements psychopathiques), et ce indépendamment de la présence de TDA/H. En effet, la majorité des études réalisées dans ce contexte ont confronté des enfants ou des adolescents souffrant de TDA/H associé ou non à des troubles des conduites au paradigme de l'IGT (voir par exemple, [36]) et très peu d'études ont examiné l'impact spécifique des troubles des conduites ou des tendances psychopathiques sur les performances aux épreuves de PDA de type IGT [39-42]. Ainsi, les adolescents présentant des tendances psychopathiques manifestent des difficultés lors des tâches de PDA sous ambiguïté [40] se caractérisant principalement par une sélection accrue dans les tas désavantageux au cours des trois derniers blocs de l'IGT, et ce de manière prépondérante chez les enfants les plus jeunes [39]. Toutefois, les populations cliniques examinées dans ces études regroupent différentes sous-catégories de troubles telles que l'insensibilité affective ou la violence instrumentale, annihilant toute tentative d'explication des perturbations de PDA au regard des mécanismes cognitifs et affectifs potentiellement impliqués. En effet, les caractéristiques cliniques et fonctionnelles peuvent être variables selon le sous-type de troubles des conduites considéré et l'appréhension globale en termes d'entité nosographique risque de masquer certaines difficultés et de conduire à des résultats contradictoires. Dans ce sens, Schutter *et al.* [42] ont récemment suggéré que les adolescents souffrant de troubles des conduites (tous

types confondus) se comportaient comme les témoins à l'épreuve de l'IGT et dans le même temps Hobson *et al.* [41] démontraient que les adolescents atteints de troubles des conduites de type oppositionnel avec provocation effectuaient plus de choix désavantageux que les participants témoins. L'ensemble de ces résultats témoigne de la nécessité de s'appuyer sur les profils cliniques des patients souffrant de ces difficultés comportementales extrêmes et de prendre en considération l'ensemble des comorbidités en vue de faciliter la compréhension des mécanismes sous-jacents à ces troubles.

Outre la comorbidité avec le TDA/H, les patients souffrant de troubles des conduites manifestent une propension à développer des conduites addictives, qui peuvent modifier les schémas de PDA. Ainsi, parmi les patients souffrant de troubles des conduites, seuls ceux présentant une addiction à une substance (sans que le type de substance consommée ne soit précisé dans l'étude) semblent effectuer plus de choix désavantageux à l'IGT [42]. Afin de tenter de spécifier l'impact du type de substance consommée sur les capacités de PDA, plusieurs recherches se sont proposées d'examiner l'effet de la consommation d'alcool [31, 43] et de la nicotine [44] chez les adolescents. L'ensemble des travaux s'accorde sur une prise de risque plus importante chez les consommateurs réguliers se traduisant par une augmentation des choix désavantageux au cours de l'épreuve [31, 43, 44]. Afin de préciser la nature des difficultés comportementales manifestées, Johnson *et al.* [43] ont proposé aux consommateurs d'alcool une version alternative de l'IGT qui consiste à présenter les pertes immédiatement suivies des gains. Confrontés à cette version, les adolescents souffrant d'une addiction à l'alcool ne se distinguent plus des consommateurs occasionnels ou des abstinents. L'ensemble de ces résultats plaide en faveur d'une hypersensibilité aux récompenses élevées et réfute l'hypothèse d'une insensibilité aux conséquences futures dans le contexte de l'addiction. Cette hypothèse d'une hypersensibilité aux renforcements immédiats a également été proposée dans le contexte des troubles des conduites alimentaires à travers une étude examinant les capacités de PDA chez des adolescents obèses ou en surcharge pondérale [45]. Les résultats mettent en exergue une fréquence élevée de choix désavantageux au cours des trois derniers blocs de l'IGT chez les patients obèses ou en situation de surcharge pondérale. En outre, les capacités de PDA évaluées dans cette population ne semblent pas être reliées aux compétences intellectuelles ni aux capacités exécutives dites cognitives. Toutefois, ces données doivent être considérées avec précaution puisque le niveau socioéconomique des participants n'a pas été contrôlé et que les différents groupes n'ont pas été appariés en termes d'âge.

### ■ Autres pathologies psychiatriques

Bien qu'exploré de manière plus anecdotique, un déficit de la PDA a été identifié dans d'autres contextes

psychiatriques à travers l'IGT et ses variantes adaptées à l'enfant. La dépression, l'automutilation et des conduites suicidaires ont été en particulier étudiées. En dépit de la prévalence des comportements d'automutilation et des conduites suicidaires dans le contexte de la psychiatrie infantile et des risques encourus par ces adolescents lors de leur passage à l'acte, force est de constater que les mécanismes de PDA sous-jacents à ces difficultés ont été peu abordés dans la littérature. À l'instar d'une association naïve entre les mécanismes de PDA et leurs difficultés comportementales, il s'avère que les patients manifestant des comportements d'automutilation ne présentent pas de difficultés lors de la réalisation de l'IGT [46, 47] alors que les adolescents ayant tenté de se suicider obtiennent des performances déficitaires se caractérisant par une augmentation des choix désavantageux au cours des derniers blocs de l'épreuve [48]. Toutefois, ces adolescents manifestaient des perturbations de la sphère émotionnelle plus marquées que les témoins, interrogeant dès lors sur un potentiel effet confondant (dépression *versus* conduites suicidaires). Bien qu'à notre connaissance, aucune étude n'ait exploré cette relation, une étude a été conduite chez des adolescents souffrant de dépression majeure [49]. Dans ce contexte, un effet du genre des patients a pu être observé sur les choix effectués lors de la passation de l'IGT. Ainsi, les filles déprimées effectuent plus de sélection dans les tas avantageux que les adolescentes non déprimées alors que le profil inverse a été relevé chez les garçons, renforçant et étendant au contexte psychiatrique l'hypothèse selon laquelle les filles manifestent des comportements d'évitement face aux situations risquées, confirmant ainsi les résultats observés dans le cadre du TDAH [9]. En outre, ces difficultés de PDA ne semblent pas être liées à la sévérité de la dépression, à la présence d'une comorbidité anxieuse ou aux capacités d'inhibition et d'attention soutenue.

Afin d'apporter un éclairage nouveau sur les difficultés sociales manifestées dans le contexte de l'autisme, l'équipe d'Haïfa [50, 51] a exploré les capacités de PDA, en utilisant une version informatisée de l'IGT chez des enfants souffrant d'autisme de haut niveau ou manifestant un syndrome d'Asperger, supposant que les perturbations sociales pouvaient relever de facteurs motivationnels. Comparativement aux participants témoins, les patients souffrant de troubles autistiques effectuent des choix désavantageux, et ce plus particulièrement au cours des 50 derniers essais. Toutefois, le comportement des patients est perturbé dès le début de la tâche de PDA avec une alternance quasi systématique de leurs choix. Ainsi, et ce contrairement aux sujets sains, les patients changent de tas à chaque essai, et ce, que la sélection effectuée s'avère gagnante ou perdante alors que les témoins modifient principalement leur choix de tirage lorsqu'ils viennent de subir une perte. Afin de tenter de départager l'hypothèse selon laquelle le comportement des patients serait lié à la difficulté de l'IGT de celle supposant que ce mode de réponse traduit un comportement inadapté, Yechiam *et al.* [51] ont élaboré

des versions simplifiées de l'IGT, reposant sur deux choix alternatifs, variant sur les contingences de renforcement qui peuvent être plus ou moins simples à découvrir. Confrontés à cette version simplifiée de l'IGT, les patients se comportent comme les témoins, suggérant que leur comportement atypique émerge seulement lorsque la PDA est complexe et nécessite la prise en considération simultanée de plusieurs facteurs.

Par ailleurs, alors que la littérature s'accorde sur l'implication des régions ventromédianes dans les processus de PDA et qu'un dysfonctionnement structurel de ces régions ait pu être démontré chez les adolescents schizophrènes [52], force est de constater que les capacités de PDA ont fait l'objet d'un nombre limité d'investigations dans le cadre de cette pathologie. À notre connaissance, seule l'étude de Kester *et al.* [53] s'est saisie de cette question en démontrant une altération des capacités de PDA chez les adolescents souffrant de schizophrénie. Confrontés à une version informatique de l'IGT, ces adolescents effectuent plus de choix désavantageux que les témoins et ce, plus spécifiquement, au cours des 40 derniers essais de la tâche. Ces résultats ne semblent pas dépendants de l'âge des participants ni de la présence de comorbidité avec le TDAH, relevée chez sept patients sur les 15 examinés. Si des difficultés de flexibilité mentale – évaluée par le Wisconsin Card Sorting Test – ont également pu être relevées chez les patients, elles n'apparaissent pas corrélées significativement à ceux de l'IGT (y compris chez les témoins).

Enfin, s'appuyant sur l'hypothèse d'un dysfonctionnement du circuit de la récompense chez les patients souffrant de TOC, Kodaira *et al.* [54] ont confronté des adolescents, âgés entre dix et 15 ans, souffrant de cette pathologie à la version classique de l'IGT. Comparativement aux participants témoins, appariés sur l'âge, le genre et le niveau d'intelligence, les patients effectuent globalement autant de choix désavantageux. Toutefois, l'analyse bloc par bloc révèle une modification du comportement des patients au cours de l'épreuve se caractérisant par une augmentation significative des choix désavantageux au cours des 20 derniers essais, sans que pour autant ces difficultés puissent être mises en relation avec les capacités de flexibilité – évaluée par le Wisconsin Card Sorting Test – ou les aptitudes intellectuelles. Toutefois, ces résultats doivent être considérés avec précaution, puisque la consigne transmise aux participants spécifiait qu'un cadeau leur serait offert en cas de gain final supérieur à 300 000 yens. Considérant, d'une part, la fréquence de la comorbidité entre les TOC sévères et les syndromes de type anxiété sociale [55] et, d'autre part, la relation suggérée entre les comportements interpersonnels relevant des dimensions dominant-soumis et l'anxiété sociale [56], nous ne pouvons pas exclure que cette information supplémentaire ait conduit les patients à modifier leur comportement en augmentant les prises de risque au cours des derniers essais, traduisant potentiellement une vulnérabilité de ces populations à la pression sociale.

## Traumatisme crânien et syndrome d'alcoolisation fœtale

À notre connaissance, seules deux études ont été réalisées dans le cadre de pathologies cérébrales acquises chez l'enfant, auprès de jeunes traumatisés crâniens. La première de ces études [11] concernait 11 enfants ayant présenté un TC modéré à sévère au minimum un an auparavant, à qui était administrée une version modifiée de l'IGT. Les résultats montraient que les performances de PDA des enfants présentant des lésions au niveau de l'amygdale ( $n=9$ ) étaient inférieures à celles des patients porteurs de lésions ventromédianes ( $n=2$ ), en termes de sélection accrue de cartes dans les tas désavantageux. Outre le très faible effectif de patients, la sévérité du TC différait de manière importante entre les deux groupes, limitant la généralisation des résultats. La seconde étude [57] comportait un échantillon beaucoup plus conséquent de 71 enfants de sept à 17 ans au moment de leur TC (modéré à sévère), dont les performances à l'IGT (version similaire à l'étude précitée) étaient évaluées dans le mois suivant le TC puis à trois, 12, 18 et 24 mois de distance et comparées avec 64 patients témoins (blessures orthopédiques sans atteinte cérébrale). Les enfants TC présentaient des performances inférieures aux témoins lors la ligne de base initiale et lors des évaluations ultérieures, avec cependant une courbe de progression similaire, témoignant d'une limitation des progrès développementaux attendus et donc d'un déficit persistant des capacités de PDA. De plus, les progrès longitudinaux des enfants TC étaient les plus importants au cours des 12 premiers mois, période où la récupération cérébrale est considérée comme la plus active, après quoi les performances avaient tendance à stagner.

Une perturbation des capacités de PDA a également été récemment objectivée chez les enfants victimes du syndrome d'alcoolisation fœtale [58], dont le phénotype cognitif est caractérisé entre autres par un fléchissement intellectuel (avec risque important de retard mental), une symptomatologie de type TDA/H et des troubles des FE, en lien avec l'effet neurotoxique de l'alcool pendant la grossesse. Dans cette étude, les auteurs ont montré un déficit des performances à l'IGT (version classique) chez un groupe de 31 enfants âgés de huit à 17 ans porteurs de ce syndrome en regard d'enfants témoins. Ce déficit se manifestait par un déclin du score de réussite au décours des essais, ainsi que par une absence d'amélioration des performances avec l'âge, contrairement aux témoins.

## Conclusion

Depuis une dizaine d'années, les travaux consacrés à la PDA chez l'enfant ont proliféré de manière exponentielle, à l'image des multiples versions de l'IGT ayant fait l'objet d'adaptations spécifiques à cette population. Dans le champ du développement typique, il est désormais établi que les capacités de PDA observent une progression pré-

coce (à l'âge préscolaire) mais particulièrement prolongée (jusqu'au début de l'âge adulte), qui peut être rapprochée de la maturité très tardive des réseaux préfrontaux et des marqueurs somatiques supposés orienter la PDA [6]. En ce sens, et par analogie avec les adultes porteurs de lésions ventromédianes, le comportement des jeunes enfants à l'IGT et les manifestations neurovégétatives qui s'y associent seraient caractéristiques d'une « myopie » pour le futur [21], quoique ce comportement ne semble pas superposable (sensibilité particulière des enfants à la fréquence des pertes). Ce phénomène se retrouve – bien qu'amoinché – chez les adolescents, ce qui n'est pas sans rappeler les comportements à risque et la forte appétence pour les récompenses pendant la période délicate que constitue l'adolescence [14, 28].

Parallèlement, la perturbation suspectée ou avérée des réseaux cérébraux fronto-sous-corticaux associée à différents contextes cliniques chez l'enfant, combinée au risque de vulnérabilité précoce qui caractérise ces circuits, a légitimement amené à supposer une perturbation de la PDA. Si cette hypothèse est largement confirmée dans le champ de plusieurs formes de psychopathologies infantiles, et en particulier dans le TDA/H, elle reste à étayer plus précisément pour plusieurs pathologies neurodéveloppementales et acquises pour lesquelles il existe un risque élevé d'atteinte des structures qui sous-tendent le fonctionnement exécutif (par exemple : traumatisme crânien, épilepsie, maladies neurogénétiques). Les enjeux cliniques sont considérables, d'autant qu'une perturbation plus globale de la cognition sociale est suspectée dans ces différents contextes cliniques, pour lesquels des troubles du comportement de type pseudopsychopathique ne sont pas rares [5].

Au plan théorique, la question des liens entre PDA et aspects dits cognitifs des FE continue de faire débat. Le développement plus tardif de la PDA [7, 28] contribue ainsi à alimenter l'idée que ces deux concepts ne se recouvrent pas totalement, idée largement supportée par une revue de la littérature récente [59] ainsi que par les données cliniques préliminaires chez l'enfant. Cependant, cette hypothèse reste controversée dans le développement typique (par exemple : [28]) et les travaux relatifs à ce lien demeurent globalement peu nombreux et discutables (aucune étude par exemple n'intègre une évaluation de l'ensemble des FE, lesquelles sont évaluées quasi-systématiquement par une tâche unique). De plus, le principe même de cette méthodologie reste discuté, puisque les liens minoritairement observés dans le cadre du développement normal ou de la pathologie pourraient correspondre, respectivement, à des effets liés à une progression développementale commune ou des déficits multiples [59]. Dans ce contexte et compte tenu de l'ensemble des données disponibles, il apparaît justifié de considérer que les mécanismes en jeu dans la PDA ne sont pas a priori *directement* tributaires des aspects froids des FE, ce qui ne signifie pas pour autant que l'on puisse exclure leur intervention. Cette perspective est compatible avec l'idée que ces deux aspects relèvent

plus globalement d'un seul et même système exécutif, dont le rôle fondamental est par définition de coordonner les aspects cognitifs et affectifs du comportement humain, afin de l'adapter aux contingences environnementales et internes. Une des alternatives pour contribuer à éclairer ces questions consiste à adopter une approche clinique classique basée sur la recherche de dissociations, en intégrant une exploration plus systématique à la fois des différents aspects dits « froids » des FE mais aussi des autres composants du registre affectif conceptuellement liés à la PDA,

tels que le traitement et la régulation des émotions, et ce à travers de différents contextes cliniques et étiologiques.

## Remerciements

Nous remercions le Pr Didier Le Gall pour ses conseils lors des discussions autour de la préparation de cet article.

## Liens d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucuns liens d'intérêts.

## Références

- Zelazo PD, Müller U. Executive functions in typical and atypical development. In : Goswami U, éd. *Handbook of childhood cognitive development*. Oxford : Blackwell, 2002, p. 445-69.
- Mata FG, Neves FS, Lage GM, et al. Neuropsychological assessment of the decision making process in children and adolescents: an integrative review of the literature. *Rev Psiquiatr Clin* 2011 ; 38 : 106-15.
- Damasio A. *L'erreur de Descartes*. Paris : Odile Jacob, 1995.
- Bechara A, Damasio AR, Damasio H, et al. Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition* 1994 ; 50 : 7-15.
- Roy A, Le Gall D, Roulin JL, et al. Les fonctions exécutives chez l'enfant : approche épistémologique et sémiologie clinique. *Rev Neuropsychol* 2012 ; 4 : 287-97.
- Kerr A, Zelazo PD. Development of "hot" executive function: the Children's Gambling Task. *Brain Cogn* 2004 ; 55 : 148-57.
- Hooper CJ, Luciana M, Conklin HM, et al. Adolescents' performance on the Iowa Gambling Task: implications for the development of decision-making and ventromedial prefrontal cortex. *Dev Psychol* 2004 ; 40 : 1148-58.
- Toplak ME, Jain U, Tannock R. Executive and motivational processes in adolescents with attention-deficit-hyperactivity disorder (ADHD). *Behav Brain Funct* 2005 ; 1 : 1-12.
- Garon N, Moore C, Waschbusch DA. Decision-making in children with ADHD only, ADHD-anxious/depressed, and control children using a child version of the Iowa Gambling Task. *J Atten Disord* 2006 ; 9 : 607-19.
- Garon N, Moore C. Developmental and gender differences in future-oriented decision-making during the preschool period. *Child Neuropsychol* 2007 ; 13 : 46-63.
- Hantman G, Scheibel RS, Li X, et al. Decision-making after brain traumatic injury in children: a preliminary study. *Neurocase* 2006 ; 12 : 247-51.
- Luman M, Oosterlaan J, Knol DL, et al. Decision-making in ADHD: sensitive to frequency but blind to the magnitude of penalty. *J Child Psychol Psychiatry* 2008 ; 49 : 712-22.
- Aïte A, Cassotti M, Rossi S, et al. Is human decision making under ambiguity guided by loss frequency regardless of the costs? A developmental study using the Soochow Gambling Task. *J Exp Child Psychol* 2012 ; 113 : 286-94.
- Cauffman E, Shulman E, Steinberg L, et al. Age differences in affective decision making as indexed by performance on the Iowa Gambling Task. *Dev Psychol* 2010 ; 46 : 193-207.
- Gao S, Wei Y, Bai J, et al. Young children's affective decision-making in a gambling task: does difficulty in learning the gain/loss schedule matter? *Cogn Dev* 2009 ; 24 : 183-91.
- Heilman RM, Miu AC, Benga O. Developmental and sex-related differences in preschoolers' affective decision making. *Child Neuropsychol* 2009 ; 15 : 73-84.
- Hongwanishkul D, Happaney KR, Lee WSC, et al. Assessment of hot and cool executive function in young children: age-related changes and individual differences. *Dev Neuropsychol* 2005 ; 28 : 617-44.
- Bubier JL, Drabick DAG. Affective decision-making and externalizing behaviors: the role of autonomic activity. *J Abnorm Child Psychol* 2008 ; 36 : 941-53.
- Crone EA, van der Molen MW. Developmental changes in real-life decision making: performance on a gambling task previously shown to depend on the ventromedial prefrontal cortex. *Dev Neuropsychol* 2004 ; 25 : 251-79.
- Crone EA, Bunge SA, Latenstein H, et al. Characterization of children's decision-making: sensitivity to punishment frequency, not task complexity. *Child Neuropsychol* 2005 ; 1 : 245-63.
- Crone EA, van der Molen MW. Development of decision making in school-aged children and adolescents: evidence from heart rate and skin conductance analysis. *Child Dev* 2007 ; 78 : 1288-301.
- Huizenga HM, Crone EA, Jansen BG. Decision-making in healthy children, adolescents and adults explained by the use of increasingly complex proportional reasoning rules. *Dev Sci* 2007 ; 10 : 814-25.
- Zelazo PD, Frye D. Cognitive complexity and control: II. The development of executive function in childhood. *Curr Dir Psychol Sci* 1998 ; 7 : 121-6.
- Bunch KM, Andrews G, Halford GS. Complexity effects on the Children's Gambling Task. *Cogn Dev* 2007 ; 22 : 376-83.
- Garon N, Moore C. Awareness and symbol use improves future-oriented decision making in preschoolers. *Dev Neuropsychol* 2007 ; 31 : 39-59.
- Garon N, Moore C. Complex decision-making in early childhood. *Brain Cogn* 2004 ; 55 : 158-70.
- Garon N, Moore C. Negative affectivity predicts individual differences in decision making for preschoolers. *J Genet Psychol* 2006 ; 67 : 443-62.
- Prencipe A, Kesek A, Cohen J, et al. Development of hot and cool executive function during the transition to adolescence. *J Exp Child Psychol* 2011 ; 108 : 621-37.
- van Duijvenvoorde ACK, Jansen BRJ, Visser I, et al. Affective and cognitive decision-making in adolescents. *Dev Neuropsychol* 2010 ; 35 : 539-54.
- Cassotti M, Houdé O, Moutier S. Developmental changes of win-stay and loss-shift strategies in decision making. *Child Neuropsychol* 2011 ; 17 : 400-11.
- Overman WH. Sex differences in early childhood, adolescence, and adulthood on cognitive tasks that rely on orbital prefrontal cortex. *Brain Cogn* 2004 ; 55 : 134-47.
- Manes F, Sahakian B, Clark L, et al. Decision-making processes following damage to the prefrontal cortex. *Brain* 2002 ; 125 : 624-39.
- Lehto JE, Elorinne E. Gambling as an executive function task. *Appl Neuropsychol* 2003 ; 10 : 234-8.
- Lamm C, Zelazo PD, Lewis MD. Neural correlates of cognitive control in childhood and adolescence: disentangling the contributions of age and executive function. *Neuropsychologia* 2006 ; 44 : 2139-48.
- Sonuga-Barke EJS. The dual pathway model of AD/HD: an elaboration of neuro-developmental characteristics. *Neurosci Biobehav R* 2003 ; 27 : 593-604.
- Ernst M, Grant SJ, London ED, et al. Decision making in adolescents with behavior disorders and adults with substance abuse. *Am J Psychiatry* 2003 ; 160 : 33-40.
- Masunami T, Okazaki S, Maekawa H. Decision-making patterns and sensitivity to reward and punishment in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Int J Psychophysiol* 2009 ; 72 : 283-8.

38. Geurts HM, van der Oord S, Crone EA. Hot and cool aspects of cognitive control in children with ADHD: decision-making and inhibition. *J Abnorm Child Psychol* 2006; 34: 813-24.
39. Blair RJR, Colledge E, Mitchell DGV. Somatic markers and response reversal: is there orbitofrontal cortex dysfunction in boys with psychopathic tendencies? *J Abnorm Child Psychol* 2001; 29: 499-511.
40. Gao Y, Baker LA, Raine A, et al. Brief report: interaction between social class and risk decision-making in children with psychopathic tendencies. *J Adolesc* 2009; 32: 409-14.
41. Hobson CW, Scott S, Rubia K. Investigation of cool and hot executive function in ODD/CD independently of ADHD. *J Child Psychol Psychiatry* 2011; 52: 1035-43.
42. Schutter DJLG, van Bokhoven I, Vanderschuren LJM, et al. Risky decision making in substance dependent adolescents with a disruptive behavior disorder. *J Abnorm Child Psychol* 2011; 39: 333-9.
43. Johnson CA, Xiao L, Palmer P, et al. Affective decision-making deficits, linked to a dysfunctional ventromedial prefrontal cortex, revealed in 10<sup>th</sup> grade Chinese adolescent binge drinkers. *Neuropsychologia* 2008; 46: 714-26.
44. Xiao L, Bechara A, Cen S, et al. Affective decision-making deficit, linked to a dysfunctional ventromedial prefrontal cortex, revealed in 10<sup>th</sup>-grade Chinese adolescent smokers. *Natl Inst Health* 2009; 15: 547-57.
45. Verdejo-Garcia A, Pérez-Exposito M, Schmidt-Rio-Valle J, et al. Selective alterations within executive functions in adolescents with excess weight. *Obesity* 2010; 18: 1572-8.
46. Janis IB, Nock MK. Are self-injurers impulsive? Results from two behavioral laboratory studies. *Psychiatry Res* 2009; 169: 261-7.
47. Oldershaw A, Grima E, Jollant F, et al. Decision making and problem solving in adolescents who deliberately self-harm. *Psychol Med* 2009; 39: 95-104.
48. Bridge JA, McBee-Strayer SM, Cannon EA, et al. Impaired decision-making in adolescent suicide attempters. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 2012; 51: 394-403.
49. Han G, Klimes-Dougan B, Jepsen S, et al. Selective neurocognitive impairments in adolescents with major depressive disorder. *J Adolesc* 2012; 35: 11-20.
50. Johnson SA, Yechiam E, Murphy RR, et al. Motivational processes and autonomic responsivity in Asperger's disorder: evidence from the Iowa Gambling Task. *J Int Neuropsychol Soc* 2006; 12: 668-76.
51. Yechiam E, Arshavsky O, Shamay-Tsoory SG, et al. Adapted to explore: reinforcement learning in autistic spectrum disorder. *Brain Cogn* 2009; 72: 317-24.
52. Kumra S, Ashtari M, McMeniman M, et al. Reduced frontal white matter integrity in early-onset schizophrenia: a preliminary study. *Biol Psychiatry* 2004; 55: 1138-45.
53. Kester HM, Sevy S, Yechiam E, et al. Decision-making impairments in adolescents with early-onset schizophrenia. *Schizophr Res* 2006; 8: 113-23.
54. Kodaira M, Iwadare Y, Ushijima H, et al. Poor performance on the Iowa Gambling Task in children with obsessive-compulsive disorder. *Ann Gen Psychiatry* 2012; 11: 1-6.
55. Schneier FR, Johnson J, Hornig CD, et al. Social phobia. Comorbidity and morbidity in an epidemiologic sample. *Arch Gen Psychiatry* 1992; 49: 282-8.
56. Ohman A. Of snakes and faces: an evolutionary perspective on the psychology of fear. *Scand J Psychol* 2009; 50: 543-52.
57. Schmidt AT, Hanten GR, Li X, et al. Decision making after pediatric traumatic brain injury: trajectory of recovery and relationship to age and gender. *Int J Dev Neurosci* 2012; 30: 225-30.
58. Kully-Martens K, Treit S, Pei J, et al. Affective decision-making on the Iowa Gambling Task in children and adolescents with fetal alcohol spectrum disorders. *J Int Neuropsychol Soc* 2013; 19: 137-44.
59. Toplak ME, Sarge GB, Benoit A, et al. Decision-making and cognitive abilities: a review of associations between Iowa Gambling Task performance, executive functions, and intelligence. *Clin Psychol Rev* 2010; 30: 562-81.