

Des petits corps mal connus

Depuis 1992, les découvertes se succèdent à un rythme effréné : environ 200 objets transneptuniens ont déjà été observés depuis 1992. Cette moisson résulte de l'utilisation de caméras à capteurs CCD montées sur les grands télescopes internationaux. Cependant, la plupart de ces corps n'ont été observés qu'une fois et ils ne seront probablement jamais observés à nouveau. La détermination de leur orbite est compromise, car elle nécessiterait plusieurs années d'observation. En trois ans, de tels objets parcourent environ un centième d'orbite, soit le strict minimum pour la détermination d'une orbite approximative. De surcroît, il faut que l'objet soit observé chaque année lors de son passage à l'opposition (lorsque l'objet et le Soleil sont opposés dans le ciel), ce qui nécessite une coopération entre tous les groupes d'observateurs.

Brett Gladman, de l'Observatoire de la Côte d'Azur collabore avec des astronomes de l'Université de Toronto dans un programme de recherche et de suivi d'objets transneptuniens. De nouvelles techniques d'observation et de traitement des données leur ont permis de découvrir l'objet le plus lointain (62 unités astronomiques lors de son observation) et l'objet le plus petit (15 kilomètres de dimension).

Le nombre d'objets lointains bien connus étant très restreint, les conclusions sur le Système solaire externe restent spéculatives. Ainsi, plusieurs équipes travaillent sur des scénarios différents de celui présenté dans l'article de R. Malhotra. Sous l'impulsion d'Alessandro Morbidelli, le groupe de mécanique céleste de l'Observatoire de la Côte d'Azur a imaginé que de gros planétésimaux (certains d'une taille au moins équivalente à celle de Mars) se forment en même temps que les planètes géantes. À la fin de la formation des planètes géantes, le gaz qui était dans le Système solaire commence à se dissiper. La dynamique gravitationnelle n'est alors plus amortie par le gaz environnant et l'orbite des gros planétésimaux

est très perturbée par les planètes géantes : en quelques millions ou dizaines de millions d'années, ils auraient été éjectés du Système solaire. Au cours de cette éjection, les gros planétésimaux traversent les ceintures de petits corps et les perturbent. De nombreux petits corps sont éjectés du Système solaire ; les survivants sont sur des orbites excentriques et inclinées.

Un tel modèle explique d'une façon unifiée les caractéristiques dynamiques et physiques connues, pour la ceinture des astéroïdes, et supposées, pour la ceinture de Kuiper. Contrairement à celui de R. Malhotra, ce modèle prévoit que tous les petits corps au-delà de Neptune sont entraînés sur des orbites excentriques et inclinées, pas seulement ceux qui sont sur des orbites résonantes.

Le grand nombre d'objets sur des orbites résonantes, point clef du modèle de R. Malhotra, pourrait n'être qu'un effet de sélection des observations, qui sont le plus souvent effectuées dans des directions où les corps en résonances dominent ; de plus, les responsables du Centre pour les petites planètes de Cambridge, chargés de la détermination des orbites, ont la fâcheuse manie d'attribuer une orbite résonante à tout corps pour lequel les données orbitales manquent...

Le mécanisme de capture des orbites résonantes fonctionne uniquement lorsqu'il n'y a plus de gros planétésimaux dans le Système solaire. Aussi, l'évolution du Système solaire s'est probablement déroulée en deux phases : une perturbation des petits corps, due pour l'essentiel à la présence de planétésimaux massifs, puis, lorsque ces planétésimaux ont été éjectés, une période de migration de Neptune qui a capturé certains corps en résonance, enrichissant les orbites résonantes. Toutefois, comme les orbites initiales des objets transneptuniens n'étaient vraisemblablement par circulaires, leur excentricité actuelle ne permet pas de déduire la distance de migration.

Jean-Marc PETIT, Observatoire de la Côte d'Azur, Nice

atteigne le bord interne du disque, à quelques rayons stellaires seulement de l'étoile. Enfin, le troisième mécanisme est la diffusion des planètes, qui se seraient formées sur des orbites trop proches les unes des autres pour assurer une stabilité à long terme ou qui auraient migré vers de telles orbites. Si l'issue de ce scénario reste imprévisible, il devrait néanmoins conduire à des orbites très excentriques. Le hasard pourrait, dans certains cas, placer une des planètes dispersées sur une orbite excentrique, dont le point le plus proche de l'étoile serait si proche de cette dernière que les effets de marées finiraient par circulariser l'orbite ; l'autre planète serait déplacée vers une orbite excentrique éloignée. Chacun de ces mécanismes peut rendre compte de toute une variété de rayons orbitaux et d'excentricités orbitales pour les planètes survivantes.

Ces idées ne sont pas un simple ajustement de la théorie classique de formation des planètes. Elles remettent en cause l'opinion répandue qui voudrait que les disques protoplanétaires entourant des étoiles de type solaire évoluent en des systèmes planétaires semblables au nôtre. En réalité, la plupart des planètes pourraient naître dans des configurations instables, de sorte qu'une migration planétaire ultérieure donnerait des résultats très variés, selon les propriétés initiales du disque. Seules de nouvelles observations et des avancées théoriques permettront d'élucider la relation entre les planètes extrasolaires nouvellement découvertes et les planètes de notre Système solaire. Néanmoins, les astronomes sont maintenant convaincus que les planètes peuvent changer d'orbite de façon radicale.

Renu MALHOTRA travaille au Laboratoire Lunaire et planétaire de l'Université de l'Arizona.

Ivars PETERSON, *Le chaos dans le Système solaire*, Collection Sciences d'avenir, Pour la Science, 1995.

Geoffrey W. MARCY et R. Paul BUTLER, *Detection of Extrasolar Giant Planets*, in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, vol. 36, pp. 57-98, 1998.

Renu MALHOTRA et al., *Dynamics of the Kuiper Belt*, in *Protostars and Planets IV*, sous la direction de V. Mannings et al., University of Arizona Press (à paraître).

Le développement moral des enfants

WILLIAM DAMON

Les enfants ont un sens aigu du bien et du mal. Ils ont également besoin de s'engager pour leurs idéaux. Les parents peuvent les y aider.

Les journaux et les télévisions rapportent périodiquement des cas de saccages d'écoles, d'attaques d'enseignants ou d'élèves, de parricides, de persécutions, d'extorsions, de trafics de drogues, de jeux clandestins, de viols ou de fraudes perpétrés par des enfants. Aucun milieu social n'est épargné : des jeunes issus de la classe moyenne terrorisaient récemment un quartier fréquenté de Paris, s'attribuant des points pour chacune de leurs actions antisociales. Le roman de William Golding *Sa Majesté des Mouches*, où de jeunes écoliers, livrés à eux-mêmes sur une île déserte, retournent à la barbarie, semble être une prophétie inquiétante.

Pourtant, l'arbre ne doit pas cacher la forêt : la plupart des enfants se conforment aux règles de leur société, ils sont honnêtes, gentils, francs et respectueux. Beaucoup, même, se dévouent à des causes sociales et participent à des travaux d'intérêt public. Par exemple, les psychologues ont bien analysé le cas de Ruby, une fillette noire américaine qui abattit la barrière raciale, dans les années 1960 : chaque jour, elle entrait dans une école uniquement fréquentée par des Blancs et elle priait pour la rédemption de ceux qui l'insultaient. Dans son combat pour un monde plus juste, Ruby faisait preuve de volonté, de courage, d'honneur et de résistance morale.

Tous les enfants naissent avec des prédispositions morales : certaines réactions innées les prédisposent à agir selon des règles éthiques. Par exemple, les nourrissons pleurent lorsqu'ils entendent d'autres bébés pleurer, ils expriment des signes de

plaisir quand ils écoutent des sons joyeux, tels des gazouillis d'oiseaux ou des rires. Dès l'âge de deux ans, de nombreux enfants consolent les adultes qu'ils voient tristes, même si le réconfort n'est pas toujours adapté : un enfant de deux ou trois ans offrira son objet transitionnel à sa mère lorsqu'elle est contrariée.

Toutefois, la capacité pour ressentir les émotions des autres peut régresser au point que les enfants se livrent à des actes extrêmement cruels. À un policier qui lui demandait comment il avait pu blesser une femme de 83 ans pendant un vol, un adolescent a répondu : «Qu'est-ce que ça peut me faire? Je ne suis pas elle.» Bien que la disposition émotionnelle à aider soit présente, les moyens d'aider les autres doivent être acquis et affinés à travers l'expérience sociale.

L'analyse scientifique du développement moral doit expliquer ces deux aspects : le bon comme le mauvais. Pourquoi la plupart des enfants se conduisent-ils de manière morale, parfois de façon exceptionnelle, même lorsque ce comportement nuit à leur intérêt immédiat? Pourquoi certains enfants s'écartent-ils de la norme, mettant en danger les autres et eux-mêmes? Comment un enfant devient-il moral et pourquoi le reste-t-il, ou non, toute sa vie?

Parfois, les études des psychologues confirment simplement les observations et les intuitions des parents. Cependant, parfois aussi, ces derniers sont induits en erreur par leur subjectivité, par des informations parcellaires ou par le sensationnalisme des médias. Par exemple, certains blâment des événements triviaux, tel

un concert, parce qu'ils l'associent à des comportements dangereux, telle la toxicomanie. Ou encore, les parents compensent leurs propres problèmes, qu'ils attribuent à une éducation stricte, en élevant leurs enfants de façon excessivement permissive. Dans un domaine aussi contesté que celui de la morale des enfants, seule une démarche scientifique systématique peut éviter les analyses superficielles propices à la répétition des erreurs pédagogiques.

La généalogie de la morale

La recherche sur le développement moral, souvent très médiatisée, a proposé trois types de théories. Selon certaines, la biologie et l'hérédité sont principalement à l'origine des comportements moraux ; pour d'autres, l'expérience et l'influence sociale sont primordiales ; pour d'autres enfin, le développement intellectuel est essentiel. Ces différentes théories s'accordent toutefois sur l'absence d'un déterminisme unique au comportement moral ou immoral. Par exemple, les films violents ou les jeux de guerre sur ordinateur peuvent faire basculer certains enfants vers la délinquance, tandis que d'autres y restent insensibles. L'analyse scientifique doit prendre en compte la complexité et la diversité des vies des enfants.

1. LES ENFANTS, dès leur plus jeune âge, ont une vie morale très développée (entraide, partage, agressivité, compassion...). Les psychologues qui souhaitent comprendre un comportement doivent éviter de trop simplifier et ainsi de ne pas tenir compte de sa complexité.



Photo: The Image Works



Photo: The Image Works



Photo: The Image Works



Photo: The Image Works

Selon les théories biologiques dites nativistes, la moralité humaine résulte de dispositions émotionnelles innées de l'espèce humaine. Martin Hoffman, de l'Université de New York, Colwyn Trevarthen, de l'Université d'Édimbourg, et Nancy Eisenberg, de l'Université de l'Arizona, ont montré que les bébés ressentent les émotions des autres dès qu'ils reconnaissent leur existence ; on a observé de tels comportements dès la première semaine après la naissance. La honte, la culpabilité et l'indignation apparaissent également très tôt : les jeunes enfants sont souvent outrés par la violation des attentes sociales, telle une infraction aux règles de leur jeu favori.

Ces dispositions sont universelles : elles ont été retrouvées chez des nourrissons ougandais, américains, européens et israéliens. Partout dans le monde, les enfants naissent avec de l'affection pour leurs proches et de l'aversion envers les comportements inhumains ou injustes. Les différences dans le déclenchement et l'expression de ces réactions n'émergent que plus tard, lorsque les enfants ont été exposés aux systèmes de valeur particuliers de leur culture.

L'apprentissage intervient également : les normes et les valeurs comportementales s'acquièrent par l'observation, l'imitation et la récompense ; le comportement moral dépend

du contexte et varie indépendamment des croyances affichées. Dans les années 1920, Hugh Hartshorne et Mark May ont ainsi étudié les réactions des enfants qui ont l'occasion de tricher, et ils ont découvert que le comportement infantile est déterminé par leur estimation de la probabilité d'être pris. Ce comportement ne peut être déduit ni de leur conduite dans une situation antérieure, ni de leur connaissance de règles morales communes.

Une nouvelle analyse des données de Hartshorne et May a révélé que les plus jeunes trichaient plus souvent que les adolescents. Dans une faible proportion, la socialisation ou le développement mental restreignent peut-être la malhonnêteté.

Le développement intellectuel est au centre de la troisième théorie, qui indique que la vertu et le vice sont une question de choix conscient. Selon Jean Piaget et Lawrence Kohlberg, les auteurs de la théorie cognitive la plus connue, les croyances morales précoces des enfants sont orientées vers le pouvoir et l'autorité. Après un temps où la force prime sur le droit, les jeunes enfants découvrent que les règles sociales, définies par le groupe, sont renégociables, et que la réciprocité des relations est préférable à une soumission unilatérale. Kohlberg a proposé de décomposer la maturation du jugement moral en six étapes (voir l'encadré ci-contre).

La conscience contre le chocolat

Largement utilisée, l'échelle de Kohlberg souffre néanmoins de quelques défauts. La sixième étape, la plus évoluée, où la conception morale repose exclusivement sur des principes abstraits, est rarement atteinte. De surcroît, de nombreuses études (dont certaines ont été effectuées dans mon laboratoire) ont montré que les enfants sont bien plus moraux que ce qu'indiquent les premières étapes du modèle. Ils n'agissent pas simplement par peur de la punition : lorsqu'un camarade de jeu s'approprie une assiette de biscuits ou refuse de laisser la balançoire, on les entend souvent protester : «Ce n'est pas juste!» Parallèlement, les enfants partagent avec les autres, même quand leurs parents le leur interdisent. Les enfants de maternelle croient généralement au partage équitable des biens, et leurs

Les six étapes du discernement moral

En grandissant, les enfants et les jeunes adultes dépendent de moins en moins des influences extérieures et de plus en plus de croyances personnelles. Dans les années 1950, Lawrence Kohlberg a proposé un modèle de progression morale en six étapes, regroupées en trois niveaux. Ce modèle est fondé sur l'étude de 58 jeunes, interrogés régulièrement pendant 20 ans. On évaluait la maturité morale en analysant des justifications de leurs réponses (oui ou non)

à des dilemmes hypothétiques (par exemple, un époux a-t-il le droit de voler un médicament pour sa femme mourante?). À mesure que les jeunes grandissent, leur sens moral évolue. Aucun des jeunes étudiés n'a atteint la sixième étape. Malgré son efficacité, ce modèle reste insuffisant pour expliquer le comportement réel des individus : deux personnes au même stade de développement moral agissent parfois très différemment.

NIVEAU 1 : INTÉRÊT PERSONNEL

PREMIÈRE ÉTAPE PUNITION : "Je ne le fais pas, parce que je ne veux pas de punition."

DEUXIÈME ÉTAPE RÉCOMPENSE : "Je ne le fais pas, parce que je veux une récompense."

NIVEAU 2 : APPROBATION SOCIALE

TROISIÈME ÉTAPE RELATIONS INTERPERSONNELLES : "Je ne le fais pas, parce que je veux que les autres m'aiment."

QUATRIÈME ÉTAPE ORDRE SOCIAL : "Je ne le fais pas, parce que c'est illégal."

NIVEAU 3 : IDÉAUX ABSTRAITS

CINQUIÈME ÉTAPE CONTRAT SOCIAL : "Je ne le fais pas, parce que j'ai l'obligation de ne pas le faire."

SIXIÈME ÉTAPE DROITS UNIVERSELS : "Je ne le fais pas, parce que ce n'est pas juste, quoique les autres en disent."

