

Génétique et intelligence

ROBERT PLOMIN • JOHN DEFRIES

En analysant les disparités cognitives par des tests quantitatifs, les généticiens et les psychologues cherchent comment les gènes déterminent les aspects variés de l'intelligence.

Les diverses manifestations de ce que l'on nomme couramment intelligence varient selon les individus. Les différences entre individus, pour une même tâche, apparaissent en milieu scolaire, mais aussi dans les circonstances les plus variées de la vie quotidienne : dans l'utilisation du langage, dans la lecture d'une carte routière ou dans la mémorisation des numéros de téléphone. Ces disparités cognitives sont si évidentes qu'on oublie de s'interroger sur leur origine : pourquoi les individus sont-ils intellectuellement si différents ?

L'environnement semble souvent être à l'origine de ces écarts : nous serions ce que nous apprenons. Par exemple, puisque nous apprenons à parler après la naissance, certains ont soutenu que l'apprentissage serait responsable des différences de vocabulaire entre les individus. À son tour, l'apprentissage varierait selon l'environnement : il dépendrait des encouragements et des modèles parentaux, de la qualité de l'enseignement de la langue dispensé à l'école, etc.

Au début du siècle, les psychologues pensaient ainsi que l'environnement expliquait toutes les disparités cognitives. Aujourd'hui, ils ont une position plus nuancée : ils reconnaissent des interactions possibles entre l'inné et l'acquis dans le développement cognitif. Au cours des dernières décennies, des études génétiques ont précisé le rôle important de l'hérédité, sans diminuer l'influence des facteurs environnementaux, dans le façonnement des composantes de l'intellect. Les deux aspects sont intimement liés : des différences génétiques détermineraient la facilité avec laquelle les individus apprennent. Des neurobiologistes traquent donc les gènes qui participeraient aux fonctions cognitives.

Quels sont les rôles respectifs des gènes et de l'environnement sur des capacités cognitives telles que la maîtrise du langage ? Pour répondre à cette question, nous avons utilisé la génétique quantitative, une démarche statistique qui explore l'origine des variations entre les caractères individuels. Les données que nous avons utilisées étaient les résultats aux tests cognitifs qui avaient été proposés pendant des décennies à des jumeaux ou à des enfants adoptés. Les analyses ont révélé les contributions relatives de l'inné et de l'acquis dans l'apprentissage. Nous avons ainsi exploré les relations entre, d'une part, des facettes de l'intelligence, tel le raisonnement verbal ou spatial et, d'autre part, les fonctions cognitives normales et les dysfonctionnements, telle la dyslexie. La génétique moléculaire, qui identifie les gènes associés aux diverses capacités, révélera probablement, dans les prochaines années, les mécanismes biochimiques à la base de l'intelligence humaine. Les neurobiologistes espèrent que ces études génétiques permettront, à terme, de diminuer ou de prévenir les conséquences des troubles cognitifs.

Les capacités verbales et spatiales

L'idée d'une contribution génétique à l'intelligence inquiète parfois. Aussi doit-on d'abord examiner ce que serait exactement une influence génétique. Quand les généticiens parlent d'« hérédité », ils pensent à une mesure statistique de l'influence des gènes sur les différences cognitives entre les individus.

Les statisticiens utilisent la variance pour mesurer les différences entre les individus d'une population. L'hérédité correspond à la proportion de cette variance attribuable aux gènes.

Par exemple, quand un caractère est héritable à 50 pour cent, la moitié de la variance pour ce caractère est associée à l'hérédité. Ainsi l'hérédité décrit uniquement des différences entre les personnes ; elle ne dit rien de l'intelligence d'un individu donné. Toutefois, une hérédité élevée d'un caractère marque une forte influence des gènes sur ce caractère.

Les premières mesures d'hérédité, pour des capacités cognitives spécifiques, ont été effectuées dans les années 1970. La plus importante étude a été effectuée à Hawaii par des chercheurs des Universités de Hawaii et de Boulder, qui ont suivi plus de 1 000 familles, avec une attention particulière aux paires de frères et sœurs. Ces études ont révélé les corrélations (une mesure statistique de la ressemblance, comprise entre zéro et un) entre les membres d'une même famille, pour des tests d'aptitude verbale et spatiale.

Une corrélation nulle aurait indiqué que les résultats n'auraient pas été plus semblables que ceux de deux personnes sans lien de parenté. Au contraire, la corrélation aurait été égale à un si tous les membres des familles étudiées avaient eu les mêmes résultats. Toutefois, puisque les enfants ont en moyenne la moitié de leurs gènes en commun avec chacun de leurs parents et avec leurs frères et sœurs, la corrélation maximale entre leurs résultats aurait été seulement égale à 0,5 si l'aptitude aux tests avait été strictement déterminée par les gènes.

Les résultats ont montré que les capacités cognitives des membres d'une même famille sont plus corrélées que celles d'individus sans lien de parenté. Quelles sont les parts respectives des gènes et de l'environnement ? Les généticiens ont essayé de répondre à cette question en étudiant

des jumeaux et des enfants adoptés.

Très appréciées des généticiens du comportement, les études de jumeaux comparent les résultats aux tests cognitifs de vrais jumeaux (qui ont les mêmes gènes) à ceux de faux jumeaux (qui n'ont en commun que la moitié de leurs gènes environ). Si les gènes déterminent les capacités cognitives, les performances des vrais jumeaux devraient être plus semblables que celles des faux jumeaux. Les généticiens calculent l'héritabilité dans la population générale en doublant la dif-

férence des corrélations entre vrais et faux jumeaux.

L'adoption, d'autre part, regroupe dans un même environnement des individus qui ne sont pas génétiquement apparentés ou bien, à l'inverse, elle disperse dans des environnements familiaux différents des paires d'individus apparentés. Les corrélations entre ces paires indiquent les parts respectives de l'inné et de l'acquis dans la ressemblance familiale.

Les résultats des performances cognitives mesurées au cours des 30

dernières années de jumeaux étudiés dans quatre pays différents sont remarquablement concordants (voir la figure 3). De l'enfance à l'âge adulte, les corrélations entre vrais jumeaux sont bien supérieures à celles des faux jumeaux, pour les tests de capacité verbale et spatiale. En 1997, les équipes de Gerald McClearn, aux États-Unis, et de Stig Berg, en Suède, ont découvert que les ressemblances entre les vrais et les faux jumeaux persistent au cours du vieillissement. Contrairement à ce que supposaient les gérontologues, les



1. LES JUMEAUX sont fréquemment étudiés par les psychologues qui explorent les aptitudes cognitives. Des vrais jumeaux (*en haut*) et des faux (*en bas*) participent ici à un test d'aptitude spatiale : ils tentent de reconstruire un modèle à l'aide de pièces de puzzle. Dans ces

tests, les performances des vrais jumeaux (qui ont exactement les mêmes gènes) sont plus semblables que celles des faux (qui partagent environ la moitié de leurs gènes). Cette ressemblance indique une influence du patrimoine génétique sur les aptitudes spatiales.

David Kempfner, Gamma Liaison

différences génétiques ne s'amenuisent ni avec l'âge ni avec l'expérience. De surcroît, ces études indiquent que, dans la population générale, la génétique est responsable d'environ 60 pour cent de la variance pour les capacités verbales et d'environ 50 pour cent de la variance pour les capacités spatiales.

Les équipes de Thomas Bouchard, aux États-Unis, et de Nancy Pedersen, en Suède, ont montré que, chez les jumeaux séparés par l'adoption, l'héritabilité est aussi d'environ 50 pour cent pour les aptitudes verbales et spatiales.

Les études des jumeaux adoptés caractérisent remarquablement bien, d'une part, le rôle des gènes et de l'environnement dans le développement des aptitudes cognitives et, d'autre part, les liens possibles entre les diverses capacités cognitives. Depuis 1975, nous comparons les corrélations calculées entre plus de 200 enfants adoptés et leurs parents biologiques ou adoptifs, d'une part, et les corrélations pour un groupe de contrôle, composé d'enfants élevés par leurs parents biologiques, d'autre part (voir la figure 4).

Les conclusions sont surprenantes. Par exemple, pour les aptitudes verbales et spatiales, les corrélations entre les femmes et les enfants qu'elles ont abandonnés sont identiques à celles que l'on mesure entre les mères et les enfants élevés normalement. En revanche, les performances des enfants adoptés diffèrent de celles

de leurs parents adoptifs. Corroborée par un nombre grandissant de données, cette étude indique que les similarités entre les membres d'une famille ont essentiellement des bases génétiques, tandis que les disparités sont dues à l'environnement.

Notre étude révèle aussi l'augmentation de l'influence de la génétique au cours de l'enfance : vers l'âge de 16 ans, l'héritabilité devient égale à celle que l'on mesure chez l'adulte. Aux tests d'aptitude verbale et spatiale, la corrélation entre les parents biologiques et leurs enfants adoptés par d'autres avoisine 0,1 à l'âge de 3 ans ; elle triple à l'âge de 16 ans. Certaines transformations des fonctions cognitives sous contrôle génétique se déroulent au début de la scolarité, vers l'âge de 7 ans. À l'âge de 16 ans, les facteurs génétiques rendent compte de 50 pour cent de la variance pour l'aptitude verbale, et de 40 pour cent pour l'aptitude spatiale. Ces valeurs correspondent à celles qu'ont données des études des aptitudes cognitives spécifiques chez les jumeaux.

De l'aptitude à la réussite

Aujourd'hui, les neurosciences cognitives supposent que les divers processus cognitifs sont assurés par des centres distincts du cerveau. Selon ce «modèle modulaire», les diverses aptitudes cognitives devraient également avoir des causes génétiques indépen-

dantes. Par exemple, les gènes déterminant des aptitudes verbales ne devraient pas intervenir de manière importante dans les aptitudes spatiales.

Cependant, les psychologues ont trouvé une corrélation modérée entre certaines capacités cognitives, telles les aptitudes verbale et spatiale. De bonnes performances à des tests d'un type sont assorties de bons scores aux tests d'autres types.

Ainsi, les études génétiques des aptitudes cognitives ne confirment pas le modèle modulaire et montrent qu'au contraire les gènes sont responsables de la plupart des associations entre habiletés cognitives. Notre étude et celle de jumeaux à différents âges indiquent que la génétique détermine 70 pour cent de la corrélation entre aptitudes verbale et spatiale. Des gènes qui déterminent une aptitude cognitive particulière seront probablement associés à d'autres aptitudes cognitives.

Les recherches indiquent, de surcroît, que la réussite scolaire semble dépendre de ces gènes. Dans les années 1970, les psychologues américains John Loehlin et Robert Nichols ont fait passer des tests, dans les quatre domaines de sélection pour une bourse (anglais, mathématiques, sciences sociales et sciences naturelles) à plus de 2 000 paires de jumeaux scolarisés dans l'enseignement secondaire. Ils ont alors montré que les performances des vrais jumeaux étaient régulièrement (et de manière importante) plus similaires que

Aptitudes cognitives et intelligence générale

Depuis la naissance de la psychologie, la nature fondamentale de l'intelligence est controversée. Certains affirment que l'intelligence est une faculté intrinsèque, héréditaire ; d'autres insistent sur les effets de l'éducation. Pour certains, l'intelligence est une qualité globale, qui recouvre toutes les facettes de la cognition ; d'autres pensent que l'intelligence résulte d'aptitudes distinctes, spécialisées – telles que le talent artistique ou le sens des mathématiques –, sans aucun principe en commun.

Les études génétiques des dernières décennies ont convaincu la plupart des psychologues que l'hérédité exerce une influence considérable sur l'intelligence : jusqu'à la moitié des variations de l'intelligence entre individus semble due à des facteurs génétiques.

La plupart des psychologues acceptent aujourd'hui une définition globale de l'intelligence : l'aptitude cognitive générale, ou «g». Des capacités cognitives spécifiques dépendantes les unes des autres confirment cette idée de qualité globale. R. Plomin et J. DeFries ont remarqué que les personnes qui obtiennent de bonnes performances à certains tests cognitifs réussissent également bien d'autres tests cognitifs. Cette correspondance a confirmé le bien-fondé des tests

de Qi (quotient intellectuel), qui décrivent par un seul nombre tout un ensemble de capacités cognitives.

Les résultats obtenus pour des aptitudes spécifiques confirment ce que l'on sait déjà de l'aptitude générale. Les héritabilités trouvées dans les études d'aptitudes cognitives spécifiques sont comparables à l'héritabilité rapportée pour g. L'influence génétique sur des aptitudes cognitives spécifiques augmente au cours de l'enfance et se stabilise vers l'âge de 16 ans. Les psychologues qui analysent l'aptitude cognitive générale observent la même évolution.

Les corrélations entre aptitudes verbales et spatiales sont utilisées dans les mesures de g : les gènes associés à l'une de ces deux aptitudes semblent également associés à l'aptitude cognitive générale. La relation inverse se vérifie aussi. R. Plomin et ses collègues ont récemment rapporté la découverte du premier gène associé à l'aptitude cognitive générale. Cette découverte, qui améliore notre compréhension de la nature de la cognition, réactivera aussi certainement le débat. En effet, la recherche sur l'intelligence est un domaine où l'avancée des connaissances résout rarement les désaccords.

celles des faux jumeaux ; les facteurs génétiques sont responsables d'environ 40 pour cent de la variation dans la réussite à ce type de tests.

Ces études ont démontré une influence génétique sur les résultats scolaires. Ces résultats surprenants contredisent l'idée répandue que la réussite dépend plus des efforts fournis que des aptitudes et montrent des effets de la génétique pour plusieurs types d'indicateurs de réussite.

Ces données soutiennent une conception de l'intelligence comme qualité globale de l'esprit, non modulaire, et soulignent l'importance des aptitudes cognitives pour des performances dans la réalité. Elles indiquent aussi que les gènes responsables des aptitudes cognitives sont probablement les mêmes que ceux qui sont impliqués dans la réussite scolaire.

À l'inverse, les déficiences cognitives et l'échec scolaire ont-ils également des causes génétiques? Les biologistes pensent que les gènes responsables des troubles cognitifs sont différents de ceux qui influencent les fonctions cognitives normales. Ainsi l'arriération mentale légère est-elle en grande partie héréditaire, mais les cas plus graves sont dans une large proportion déterminés par des facteurs environnementaux (des complications périnatales ou des atteintes cérébrales) qui n'interviennent pas dans le développement de l'intelligence naturelle.

La génétique et la déficience

Cependant, les relations génétiques entre le normal et l'anormal restent à préciser. De nombreux psychologues ont exploré ce problème en étudiant les troubles de la lecture, ou dyslexie, dont souffrent 80 pour cent des enfants qui présentent des troubles de l'apprentissage. Les enfants dyslexiques lisent lentement, comprennent mal et ont des difficultés à lire à haute voix (voir *La dyslexie*, par Sally Shaywitz, *Pour la Science*, janvier 1997). L'un d'entre nous (J. DeFries) a montré que la dyslexie est héréditaire. La probabilité que le vrai jumeau d'une personne dyslexique soit également dyslexique est de 68 pour cent ; elle n'est que de 38 pour cent pour un faux jumeau.

Les gènes responsables des variations normales des aptitudes à la lecture interviennent-ils dans la dyslexie? Pour répondre à cette question, on doit mesurer quantitativement le degré de déficience.

Une nouvelle technique génétique, mise au point au cours des dix dernières années, quantifie les troubles : on collecte des informations quantitatives sur les proches des sujets déficients. Cette méthode est appelée

Tests d'aptitude verbale

1. VOCABULAIRE : dans chaque liste, entourez le synonyme du mot souligné. Il n'y a qu'une réponse correcte pour chaque ligne.

a) aride, grossier, malin, modeste, sec.
b) piquant, fruité, relevé, dangereux, dressé.

2. AISANCE VERBALE : en trois minutes, faites le maximum de mots commençant par F.

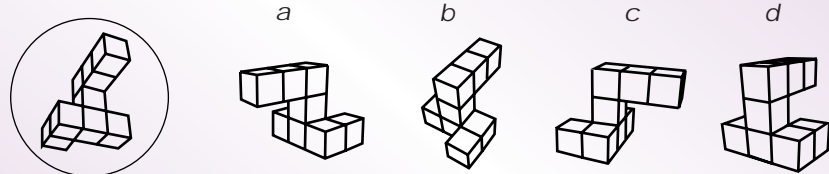
3. CATÉGORIES : en trois minutes, faites la liste de tous les objets PLATS auxquels vous pouvez penser.

Tests d'aptitude spatiale

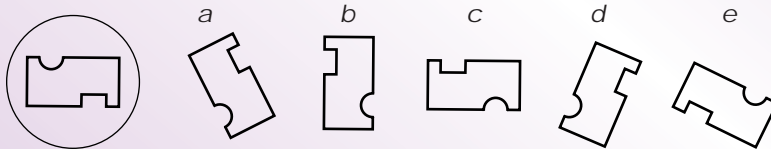
1. DÉCOUPAGE IMAGINAIRE : tracez une ou plusieurs lignes montrant comment on peut découper la figure de gauche pour obtenir les pièces représentées à droite.



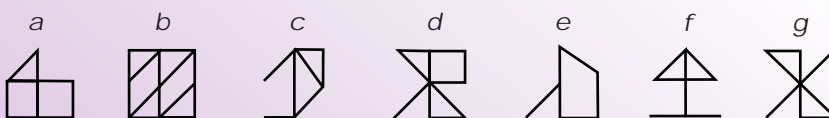
2. ROTATIONS MENTALES : identifiez les deux objets qui sont identiques à celui qui est entouré.



3. ROTATIONS DE CARTES : entourez les figures de droite qui correspondent, après rotation, à celle de gauche.



4. CONFIGURATIONS CACHÉES : entourez chacun des schémas ci-dessous où la figure 1 apparaît. La figure doit toujours être dans cette position, pas à l'envers ni sur le côté.



2. DES TESTS D'APTITUDES SPÉCIFIQUES (*ci-dessus*) sont effectués par des adolescents et des adultes. Chaque aptitude cognitive est évaluée de plusieurs manières, et des combinaisons de tests évaluent avec fiabilité chaque capacité (*les réponses sont données à la page 126*).

L'hérédité

On interprète souvent mal les données sur l'hérédité. L'hérédité est une mesure statistique, exprimée sous la forme d'un pourcentage, qui décrit comment des facteurs génétiques contribuent à la variation d'un caractère entre les individus.

Cependant, une influence génétique sur un caractère ne signifie pas que « la biologie détermine complètement l'individu ». En effet, la recherche en génétique montre que les facteurs environnementaux ont la même importance que les gènes. Si l'intelligence est héréditaire à 50 pour cent, les facteurs environnementaux sont tout aussi importants que les gènes dans les différences entre les individus.

En outre, lorsque les gènes sont particulièrement importants, comme dans le cas de certains handicaps mentaux, le milieu peut compenser leurs effets. Par exemple, les effets dévastateurs de la phénylcétonurie (une maladie génétique qui provoque l'arriération mentale) peuvent être combattus par l'alimentation.

Ainsi l'hérédité d'un caractère n'est pas immuable ; l'influence relative des gènes et de l'environnement peut changer.

analyse des extrêmes de DF. Dans le cas de la dyslexie, on a mesuré les performances de lecture de vrais et de faux jumeaux de sujets atteints (voir la figure 5). Si les gènes qui déterminent les variations normales des performances de lecture influencent aussi la dyslexie, les scores des vrais jumeaux des enfants dyslexiques doivent être plus proches des scores des enfants atteints que les scores des faux jumeaux. En effet, deux enfants issus des mêmes parents peuvent hériter de versions légèrement différentes d'un même gène ; les effets de ces gènes seront alors différents. Les gènes qui codent la couleur des yeux et la taille sont des exemples de gènes variables de ce type.

Or, on observe que les vrais jumeaux de sujets dyslexiques obtiennent des performances presque aussi mauvaises que les sujets dyslexiques sur ces tests quantitatifs. Les performances des faux jumeaux sont bien meilleures, mais elles restent plus mauvaises que celles du reste de la population. Par conséquent, les gènes impliqués dans la dyslexie semblent identiques à ceux qui contribuent

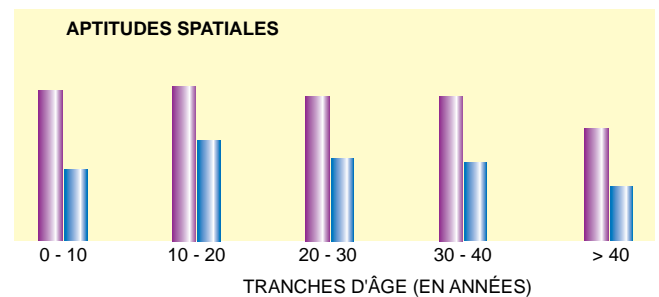
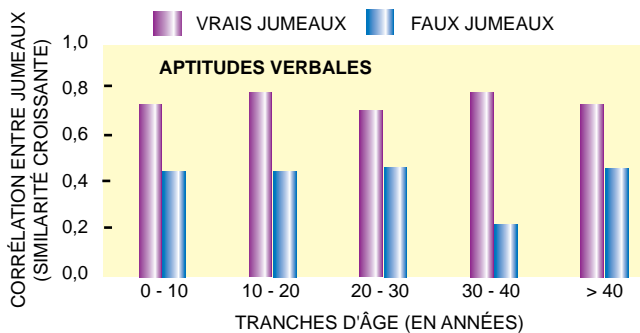
aux caractères quantitatifs des aptitudes de lecture mesurées dans cette étude. Les analyses des extrêmes de DF indiquent que la moitié des différences observées dans les scores de lecture entre les dyslexiques et la moyenne de la population ont des causes génétiques.

Cette explication n'est pas valable pour toutes les autres déficiences. Apparemment la dyslexie ne représente pas un trouble distinct, mais se trouve à l'extrémité d'un continuum d'aptitudes à la lecture : elle serait la forme minimale de cette aptitude (voir la figure 6). Si on trouve un jour un gène d'aptitude à la lecture, il sera probablement associé aux variations normales de l'aptitude à la lecture.

La chasse aux gènes

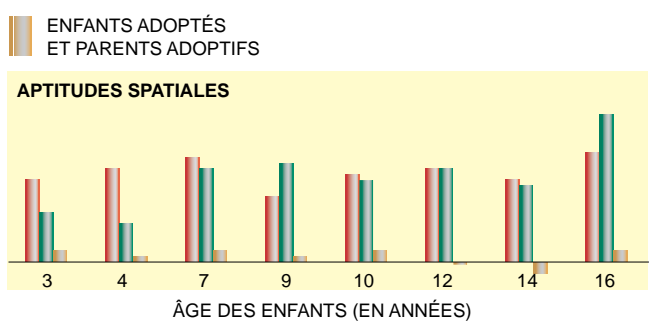
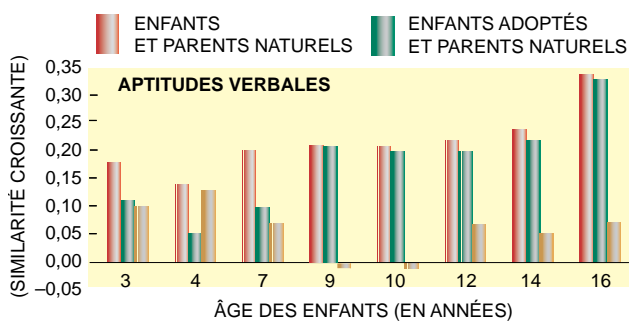
La génétique moléculaire est aujourd'hui utilisée pour l'exploration des gènes qui déterminent le comportement, ainsi que pour la recherche des protéines codées par ces gènes.

Des gènes responsables de capacités d'apprentissage ou de perception spatiale ont été identifiés chez la sou-



3. ON RECHERCHE dans les paires de vrais et de faux jumeaux les corrélations entre les habiletés verbales (à gauche) et spatiales (à droite). Les résultats de différentes études démontrent une influence génétique importante sur des aptitudes cognitives

spécifiques à tous les âges. Les performances des vrais jumeaux restent plus constantes dans la durée que celles des faux jumeaux. Ces données montrent que l'influence des gènes ne diminue pas avec le temps.

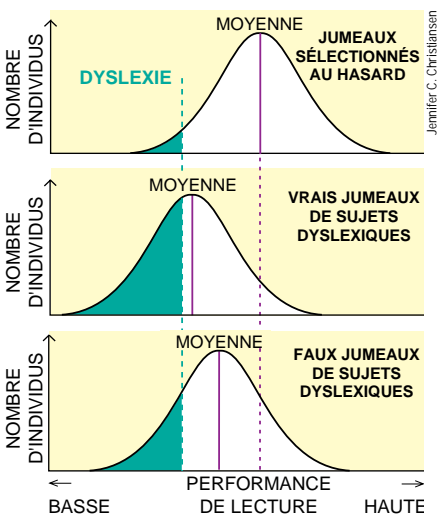


4. DES ENFANTS ADOPTÉS ont été suivis de l'âge de trois ans à l'âge de 16 ans. Les corrélations des aptitudes verbales (à gauche) et spatiales (à droite) entre les enfants et leurs parents biologiques se ressemblent de plus en plus au fil des années, que les enfants soient adoptés

(barres vertes) ou non (barres rouges). Au contraire, les enfants adoptés diffèrent de leurs parents adoptifs (barres marron). Ainsi la majeure partie des ressemblances familiales pour les habiletés cognitives semble liée à des facteurs génétiques, et non à l'environnement.

ris et chez la drosophile (la mouche du vinaigre). L'analyse des variations présentes naturellement dans les populations humaines a mis en évidence des mutations de gènes isolés qui provoquent un retard mental global : les gènes de la phénylcétonurie et du syndrome de l'X fragile provoquent tous deux des retards mentaux. De plus, les anomalies génétiques responsables de la myopathie de Duchenne, du syndrome de Lesch-Nyhan, de la neurofibromatose de type 1 et du syndrome de Williams sont probablement la cause des déficiences cognitives associées à ces pathologies (voir *Le syndrome de Williams*, par Howard Lenhoff, Paul Wang, Frank Greenberg et Ursula Bellugi, *Pour la Science*, février 1998).

Aujourd'hui, on connaît plus de 100 mutations qui perturbent le développement cognitif. En revanche, le fonctionnement cognitif normal est très certainement déterminé par les effets de nombreux gènes agissant de concert. Ces groupes de gènes, nommés locus de caractères quantitatifs (LCQ), modifieraient la cognition de manière probabiliste plutôt que déterministe. Cette appellation, qui s'applique aux gènes



5. LES PERFORMANCES DE LECTURE de jumeaux indiquent un lien génétique possible entre des capacités de lecture normales et anormales. Dans un groupe d'enfants ayant un jumeau, sélectionnés au hasard (*en haut*), un petit nombre de sujets sont dyslexiques (*en vert*). Dans un groupe d'enfants ayant un jumeau dyslexique, les capacités de lecture sont plus faibles que dans le groupe sélectionné au hasard. Les capacités des vrais jumeaux (*au milieu*) sont plus faibles que celles des faux (*en bas*). On en déduit que des facteurs génétiques sont impliqués dans ce trouble de la lecture. Les gènes impliqués dans les faibles capacités de lecture pourraient également intervenir dans l'aptitude normale à la lecture.

déterminants des caractères complexes, telle la cognition, souligne la nature quantitative de certains caractères physiques et comportementaux. On connaît des locus de caractères quantitatifs qui participent au déclenchement de maladies telles que le diabète, l'obésité, l'hypertension ; d'autres sont à l'origine de problèmes comportementaux tels que la sensibilité et la dépendance aux drogues.

Cependant, des mutations de locus responsables d'un trouble cognitif sont plus difficiles à identifier que des mutations de gènes isolés. Face à cette dif-

ficulté, D. Fulker a mis au point une méthode, comparable à l'analyse des extrêmes de DF, qui consiste à rechercher chez des frères et sœurs des corrélations entre des mutations déjà répertoriées de l'ADN et des différences dans des caractères quantitatifs. Une valeur extrême d'un caractère chez au moins un membre d'une paire de frère et sœur facilitera la détection des causes génétiques. Par cette technique, des collègues ont localisé un locus associé à la dyslexie.

En pratique, la méthode est une analyse de marqueurs génétiques, c'est-à-dire de séquences d'ADN dont on sait qu'elles occupent des sites particuliers sur un chromosome et qu'elles varient légèrement selon les personnes. Les différentes versions des marqueurs, de même que les différentes versions des gènes, sont des allèles. Chaque cellule contient deux exemplaires de chaque chromosome (sauf pour les chromosomes sexuels X et Y chez l'homme), de sorte qu'elle a deux allèles de chacun des marqueurs. Pour chaque marqueur, les frères et sœurs sont soit semblables à des vrais jumeaux (ils ont les deux mêmes allèles), soit analogues à des faux jumeaux (ils ont un allèle commun), soit équivalents à des frères et sœurs adoptifs (ils n'ont aucun allèle commun).

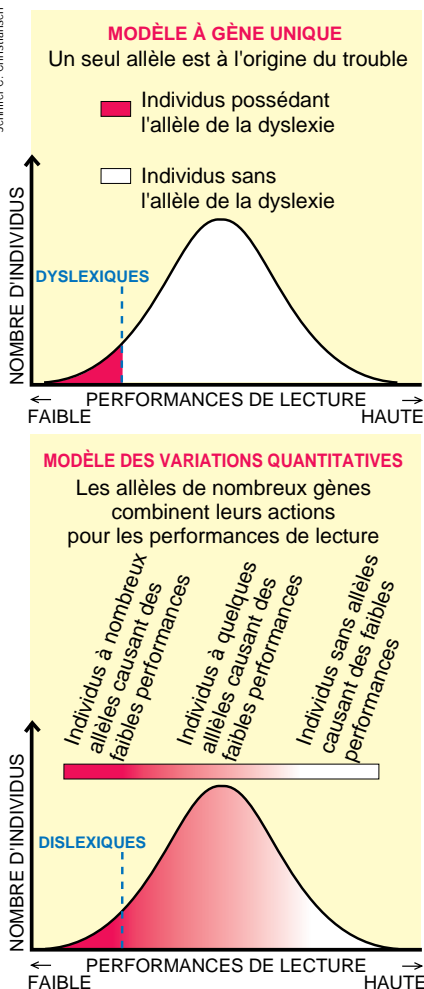
Les généticiens qui ont découvert le locus de la dyslexie ont identifié des sujets dyslexiques parmi des jumeaux et ont ensuite évalué les performances de lecture de l'autre jumeau – le «cojumeau». Ils ont recherché les cojumeaux qui avaient un même marqueur et qui avaient des scores de lecture également faibles ; ils ont déduit que le marqueur était probablement proche d'un locus responsable de la dyslexie, sur le même chromosome. Les généticiens ont trouvé un marqueur de ce type sur le bras court du chromosome 6 pour deux échantillons : une paire de frères et sœurs non jumeaux et une paire de frère et sœur faux jumeaux. Ces résultats ont été vérifiés par d'autres équipes.

Ces études ont permis la localisation des gènes associés à la dyslexie, mais la caractérisation de ces gènes reste à faire. L'identification des gènes qui déterminent des aptitudes cognitives spécifiques bouleversera la neurobiologie. La génétique moléculaire devrait éclairer l'étude des comportements humains. L'analyse des liens

génétiques existant entre des caractères, et entre des comportements et des mécanismes biologiques différents, sera sans doute bientôt possible. Les généticiens étudieront le développement des effets génétiques, et définiront plus précisément les interactions entre gènes et environnement.

Une fois les gènes responsables de troubles et de déficiences découverts, les cliniciens chercheront des thérapies plus efficaces et identifieront les personnes à risque longtemps avant l'apparition des symptômes. C'est déjà possible pour un allèle nommé Apo 4, associé à la démence et au déclin cognitif des personnes âgées. Lors des débats éthiques que susciteront les découvertes, on devra se souvenir qu'une influence génétique ne signifie pas un déterminisme génétique indépendant des interactions environnementales. Certains lecteurs trouveront sans doute notre position discutable, mais nous croyons que l'identification des gènes déterminants des caractères cognitifs est bénéfique.

Jennifer C. Christiansen



6. DEUX MODÈLES illustrent la manière dont la génétique influence les difficultés de lecture. Dans le modèle classique (*en haut*), une variante, ou allèle, unique d'un gène provoque le trouble ; tous les porteurs de cet allèle deviennent dyslexiques (*graphique*). Cependant, les résultats de nombreuses études sont à l'origine d'un modèle différent (*en bas*), dans lequel un allèle unique est incapable de produire le déficit par lui-même. Les actions d'allèles de gènes multiples, dont l'action individuelle est subtile, se combinent, induisent des scores plus faibles et augmentent le risque de déficience.

Réponses des tests

Aptitude verbale : **1a** : sec ; **1b** : relevé.

Aptitude spatiale : **1** :

2 : b et c ; **3** : a, c et d ; **4** : a, b et f.

Robert PLOMIN est professeur à l'Institut de psychiatrie de Londres. John DEFRIES est directeur de l'Institut de génétique comportementale à l'Université du Colorado.

Nature, Nurture and Psychology, sous la direction de Robert Plomin et Gerald E. McClearn, American Psychological Association, Washington, D.C., 1993.

J.C. DEFRIES et Maricela ALARCÓN, *Genetics of Specific Reading Disability*, in *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, vol. 2, pp. 39-47, 1996.

Robert PLOMIN, John C. DEFRIES, Gerald E. McCLEARN et Michael RUTTER, *Behavioral Genetics*, 3^e édition, W.H. Freeman, 1997.

E.L. GRIGORENKO, F.B. WOOD, M.S. MEYER, L.A. HART, W.C. SPEED, A. SCHUSTER et D.L. PAULS, *Susceptibility Loci for Distinct Components of Developmental Dyslexia on Chromosomes 6 and 15*, in *American Journal of Human Genetics*, vol. 60, pp. 27-39, 1997.