



LA FIN DE L'ADN TOUT- PUISSANT

On a longtemps pensé – et c'est encore enseigné dans les manuels scolaires – que l'ADN était le grand ordonnateur, le chef d'orchestre de nos cellules et le support de notre identité. Il n'en est rien. D'abord, la vision déterministe de l'expression des gènes est devenue obsolète, au profit d'un nouveau modèle où le hasard tient une place importante. Ensuite, notre génome n'est pas le détenteur omniscient de ce que nous sommes. Il recèle certes des indices sur notre passé, notre famille par exemple, et notre futur, comme le possible déclenchement de maladies, mais il est loin d'être infallible, pour une raison essentielle : il doit composer avec l'environnement et ses nombreuses interactions.

L'ESSENTIEL

- La génétique n'est pas suffisante pour expliquer dans le détail nos caractères, en particulier ceux qui relèvent du comportement.
- L'opposition entre inné et acquis est infondée et l'on doit prendre en compte les interactions du milieu avec les gènes.
- Pour faire la part des choses, on peut utiliser l'indice d'héritabilité.
- On doit cependant veiller à ce que ce concept ne soit pas détourné: il s'applique à une population, pas à un individu. L'oublier pourrait conduire nos sociétés dans une mauvaise direction.

LES AUTEURS



LUC-ALAIN GIRALDEAU est directeur général de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) au Canada.



DENIS RÉALE est professeur au département des sciences biologiques à l'université du Québec, à Montréal.

Inné ou acquis ? Une question obsolète

Depuis l'Antiquité, on oppose l'inné à l'acquis. Et c'est encore le cas aujourd'hui dans les débats sur l'identité sexuelle, les tendances criminelles... C'est faire fi des interactions entre gènes et environnement.

V

ous ressemblez à votre père? Votre fille est le portrait craché de votre belle-mère? Rien de bien surprenant, tant on admet facilement que les traits anatomiques ou physiologiques soient génétiques. Peu contesteront le caractère héréditaire des ressemblances physiologiques entre les membres d'une même famille. En revanche, plusieurs refusent l'idée que les

comportements puissent, d'une manière ou d'une autre, relever d'un simple coup de dé génétique. Émerge alors la confrontation binaire entre l'inné et l'acquis.

Cette opposition a-t-elle vraiment un sens? Nous pensons en fait qu'elle est insoluble. Elle est dénuée de tout fondement scientifique, car elle néglige les interactions entre les gènes et le milieu. Elle est pourtant ancrée de longue date dans notre vision du monde.

UN VIEUX DÉBAT

De fait, le débat opposant l'inné à l'acquis remonte à l'Antiquité et s'est poursuivi au ^{xx}e siècle entre les éthologues européens tenants de l'instinct, et les psychologues américains adeptes du béhaviorisme. La controverse ➤

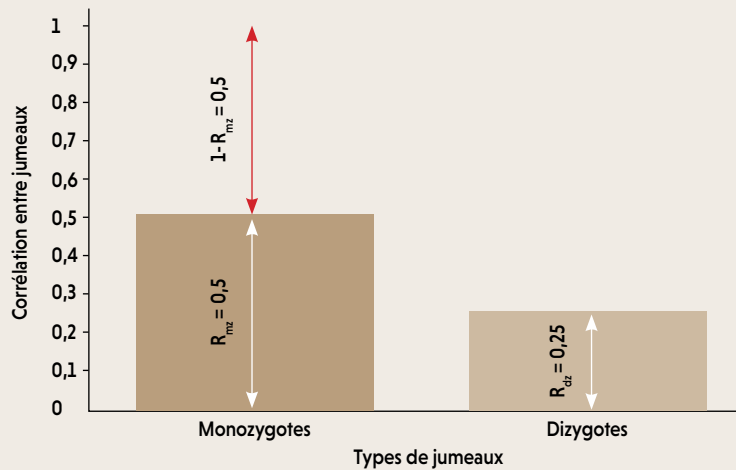
Les infinies nuances des couleurs de la peau ne peuvent s'expliquer sur la seule base de l'étude des gènes. Le milieu intervient aussi.



ESTIMER L'HÉRITABILITÉ ?

L'héritabilité d'un trait est couramment estimée en comparant les corrélations entre les valeurs du trait pour les paires de jumeaux monozygotes (R_{mz}) et dizygotes (R_{dz}). Théoriquement cette corrélation est comprise entre 0 et 1, puisqu'on ne peut pas avoir de ressemblance négative. La ressemblance entre jumeaux pour un trait donné résulte à la fois de leur similarité génétique, des effets additifs des gènes sur le phénotype de ce trait A et de la similarité de l'environnement dans lequel les jumeaux se développent, aussi appelée effets d'environnement partagé (notés C). Le degré de similarité génétique entre deux individus i et j est généralement calculé par leur coefficient de parenté Φ_{ij} et correspond à la probabilité que deux gènes, sur un locus pris au hasard dans leur génome, proviennent du même ancêtre. Contrairement aux paires monozygotes qui partagent 100 % de leurs gènes ($\Phi_{ij} = 1$), les dizygotes partagent 50 % de leurs gènes ($\Phi_{ij} = 1/2$).

Ainsi, $R_{mz} = \Phi_{ij} \times V_A + 1 \times V_C$ soit $1 \times V_A + 1 \times V_C$ et $R_{dz} = \Phi_{ij} \times V_A + 1 \times V_C$ soit $1/2 V_A + V_C$. A partir de ces deux expressions (voir la figure



ci-dessus), il est possible de calculer la variance additive génétique (V_A), la variance correspondant aux effets d'environnement partagé (V_C), et V_E , la variance résiduelle qui n'est ni expliquée par les effets additifs génétiques ni par les effets d'environnement partagé, mais qui résulte d'effets d'environnement uniques à chaque individu. L'héritabilité, notée h^2 , représente le ratio de la variance additive génétique sur la variance phénotypique totale : $h^2 = V_A / (V_A + V_C + V_E)$.

Les corrélations entre paires de jumeaux monozygotes et dizygotes servent à estimer les composantes de la variation phénotypique d'un caractère. Si $R_{mz} = 0,5$ et $R_{dz} = 0,25$, on calcule $V_A = 0,5$; $V_E = 0,5$ et $V_C = 0$. L'héritabilité h^2 vaut alors $0,5 / (0,5 + 0 + 0,5)$, soit 0,5.

➤ demeure d'actualité, qu'il s'agisse par exemple de la construction de l'identité sexuelle, du rapport entre hommes et femmes ou de l'émergence de la tendance criminelle chez un individu. Entre supposer la nature innée d'un comportement imperméable à tout effet du milieu, et présumer de l'omnipotence de ce milieu et de l'absence d'effets irrémédiables sur le comportement, au-delà des divergences philosophiques, le contraste des opinions a souvent de lourdes conséquences politiques et sociales.

L'INNÉ, UN CONCEPT FLOU

Le mot «inné» désigne un trait qui serait très fortement déterminé par les gènes. Mais comment le savoir ? Cette question pourtant simple à poser n'appelle aucune réponse utile et claire. Ainsi, pour certains, un trait inné doit être présent à la naissance, comme respirer. Mais que dire alors de la barbe chez les garçons et les cycles menstruels chez les filles qui sont sans doute génétiquement déterminés et certainement pas présents à la naissance ?

D'autres s'entendent pour dire qu'un comportement inné doit être universel. C'est le cas notamment du réflexe de têter, de rire ou de dormir. Mais certaines tendances comportementales innées, comme la préférence pour la main droite, ne sont pas universelles et pourtant probablement génétiquement transmises. D'autres encore exigeront qu'un comportement inné soit fixe et stéréotypé comme le

bâillement ou le tressaillement des sourcils à la vue d'une autre personne. Mais plusieurs comportements appris deviennent rapidement tout aussi stéréotypés, comme le maniement des couverts, la forme de l'écriture cursive et la position du sommeil.

Reste le caractère irrépressible du geste comme l'éternuement ou le bâillement. Mais le jeu compulsif, l'alcoolisme et l'abus de drogues sont autant de comportements difficilement contrôlables qu'il serait difficile de classer comme innés.

Enfin, on peut toujours considérer qu'un comportement qui n'est pas appris doit forcément être inné. Mais pouvons-nous nous satisfaire de reconnaître un phénomène à partir de ce qu'il n'est pas ? De plus, est-il vraiment plus simple d'établir qu'un comportement n'est pas appris ? Bref, il est étonnant de constater à quel point on peut débattre sur la nature innée ou acquise d'un comportement, sans pourtant arriver à cerner ce qu'on entend par l'une ou l'autre de ces natures. Cette difficulté de reconnaître l'innée de l'acquis n'est pas sémantique, elle est liée au fait que ces catégories isolées n'existent tout simplement pas.

L'idée qu'un comportement soit inné suppose faussement qu'il puisse se transmettre simplement, selon une génétique mendélienne binaire avec des allèles dominants et récessifs. La réalité est que la plupart des traits, et particulièrement ceux qui affectent le comportement, ne sont pas

discrets, mais plutôt continus, comme le QI, la propension musicale ou la taille.

Ces traits résultent du cumul d'effets mineurs associés à une multitude de gènes dits additifs. La couleur de la peau offre un exemple de la complexité de la question génétique (voir la figure page 15). Bien sûr, cette couleur est sans aucun doute affectée en grande partie par les gènes, mais quels gènes, combien et quels allèles ? Mais la génétique sous-jacente ne suffit pas à expliquer toutes les nuances rencontrées. Seule une proportion de la variation visible de ces traits est attribuable à la variation dans la composition génétique des individus. On peut l'estimer grâce à l'indice d'héritabilité (voir l'encadré page ci-contre), le plus apte à décrire l'interaction entre les gènes et le milieu sur notre apparence.

L'HÉRITABILITÉ EN QUESTION

L'héritabilité est utilisée pour prédire la réponse d'un trait à la sélection naturelle ou artificielle. Elle a été la source principale des changements remarquables des espèces domestiques au ^{xx}e siècle. Il s'agit d'un indice populationnel, standardisé, calculé comme la proportion de la variation interindividuelle d'un trait qui est attribuée aux effets additifs des gènes. L'héritabilité est généralement estimée à l'aide des ressemblances phénotypiques entre paires d'individus de parentés différentes.

L'héritabilité varie de 0 à 1. Une héritabilité de 0,5 signifie que 50% de la variation dans un

trait est d'origine génétique. Mais on ne peut pas en déduire que 50% du phénotype d'un individu vient des gènes. Il est important de saisir qu'un trait peut être génétiquement déterminé sans être héritable. En effet, certains traits fortement sous le contrôle des gènes comme le nombre d'oreilles ou de cœur sont semblables en tout point parmi les individus d'une population. Pourtant, l'absence de différences visibles dans ce nombre rend ces traits non-héréditaires, car invariables : héritable ne veut pas dire inné.

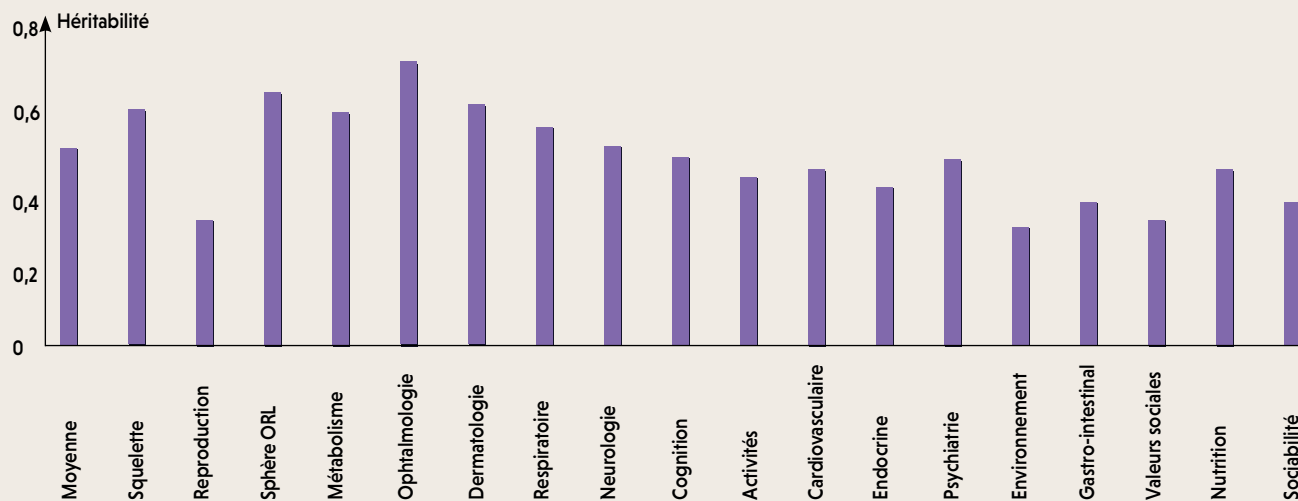
Ces dernières décennies, la pléthore d'analyses de comparaison de jumeaux et d'analyses génomiques (voir l'encadré ci-dessous) nous conduit à trois conclusions majeures : l'immense majorité des traits humains sont héréditaires ; en comparaison, l'environnement partagé joue un rôle faible sur la variance des comportements ; enfin, la moitié environ des différences comportementales résulte d'un environnement non partagé. Que ce soit la personnalité, les capacités cognitives, la schizophrénie, l'hyperactivité, ou encore les convictions politiques ou religieuses, les études démontrent que l'héritabilité des traits comportementaux tourne autour de 0,30.

La publication dans les médias de résultats sur l'héritabilité de comportements humains déclenche souvent de vives oppositions. En effet, ce que nous dit une héritabilité de 0,30, c'est que 70% de cette variation n'est pas expliquée pas des effets génétiques mais par une diversité ➤

DE L'HÉRITABILITÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT

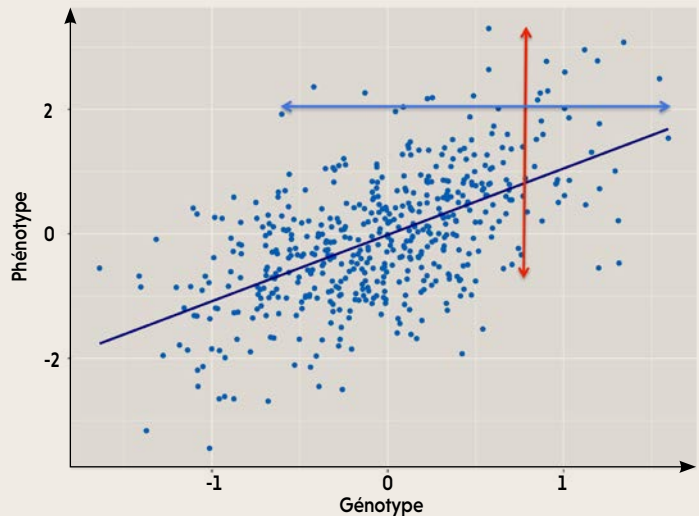
En 2015, une méta-analyse portant sur 2 748 études de corrélations de jumeaux établies entre 1952 et 2012 et regroupant 17 840 traits sur plus de quatre millions de paires de jumeaux a révélé l'importance relative de l'héritabilité et de l'environnement partagé et non partagé sur les différences phénotypiques de traits humains. En moyenne, l'héritabilité explique un peu moins de 50 % de la variation

totale d'un trait, contre 20 % pour les effets d'environnement partagés. Il reste donc environ 30 % de la variation expliqués par les effets d'environnement non partagés. Les traits morphologiques sont les plus héréditaires (squelettiques, ophtalmologiques...). Les traits les moins héréditaires sont liés aux interactions sociales, aux valeurs sociales, ou à la reproduction.



UN DANGER POUR NOS SOCIÉTÉS

Prédire le phénotype d'un individu en fonction de son génotype est pour certains la promesse d'un monde meilleur où la science améliorera les conditions de vie humaines. Cependant, ce progrès pourrait s'accompagner de sombres conséquences. Le graphe ci-contre montre la relation entre le phénotype et le génotype de 500 individus pour un trait virtuel dont l'héritabilité est de 0,30, une valeur généralement trouvée pour des comportements. Les individus (points bleus) se ressemblent parce qu'ils ont des gènes en commun. On peut donc observer une corrélation entre le phénotype et le génotype qui dépend de la force de l'héritabilité. Un programme politique pourrait préconiser le dépistage systématique d'individus à fort potentiel à la naissance et prendre des mesures les concernant. Notez que si l'héritabilité permet de prédire une tendance générale vers l'augmentation de ce trait en fonction du génotype, il est fortement risqué de prendre des mesures au niveau individuel, car la variance autour de cette tendance risquerait d'avoir des conséquences majeures pour des personnes qui ne présentent aucun danger pour la société (variation autour de l'axe rouge). Inversement, des individus de génotypes très variables montreraient de fortes valeurs phénotypiques pour ce trait (variation autour de l'axe bleu clair). Les méthodes les plus sophistiquées de génomique n'y changeront rien. La mauvaise interprétation de l'information donnée par l'héritabilité représente donc un danger pour nos sociétés. L'idée d'un dépistage systématique des individus n'est pas encore d'actualité, mais pour combien de temps ?



> d'effets dont certains sont connus et d'autres représentent les multiples expériences d'un individu au cours de sa vie. Les études sur l'héritabilité nous en apprennent donc autant sur les influences génétiques qu'environnementales.

Il importe d'insister sur le fait que l'héritabilité est une mesure populationnelle qui ne s'applique pas à l'individu. En effet, même pour une héritabilité de 0,30, il serait très risqué de prédire le phénotype d'une personne en fonction de son génotype (voir l'encadré ci-dessus).

Cette faible capacité de prédiction est en grande partie due à un phénomène omniprésent : les interactions entre génotype et environnement. Selon l'environnement où ils se développent, des individus génétiquement identiques peuvent, ou non, montrer des différences comportementales marquées. Nous pouvons tirer deux enseignements de ces résultats.

D'abord, selon l'environnement, les génotypes s'expriment de façon différente, et donc malgré leur ubiquité, les influences génétiques n'empêchent en rien les effets environnementaux d'affecter un trait.

Ensuite, l'héritabilité d'un trait dépend de l'environnement dans lequel il se développe. Ces résultats montrent clairement que gènes et environnement jouent un rôle important pour expliquer les différences entre individus. À la lumière de ces connaissances, la pertinence de politiques sociales visant, en influant sur l'environnement, à augmenter l'égalité de tous devant l'éducation, la santé ou la justice est donc toujours de mise.

Opposer l'inné à l'acquis est un reliquat d'une vision dépassée de la génétique et du

développement. C'est faire fi de la riche interaction entre les différents effets sur le comportement. La construction du phénotype est un processus complexe nécessitant une suite d'interactions des gènes entre eux ainsi que des gènes avec l'environnement au cours de l'ontogenèse.

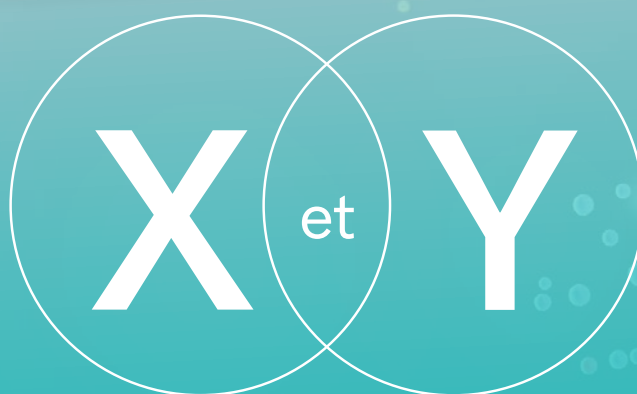
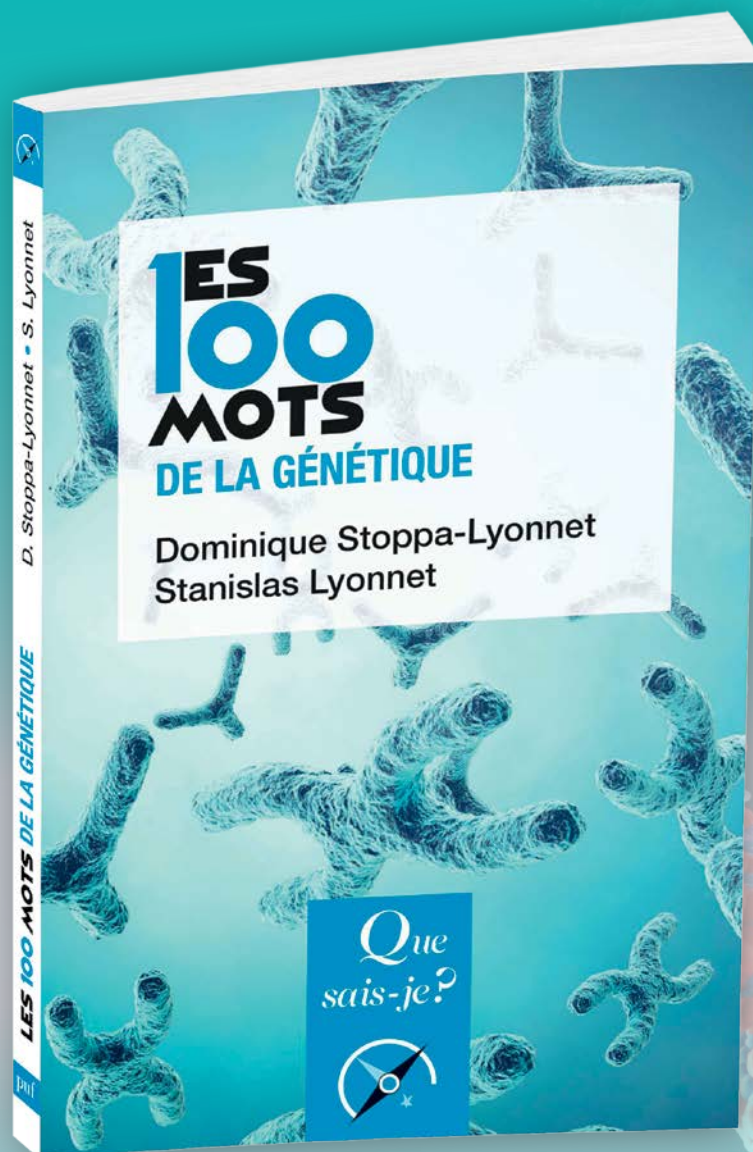
UNE VISION DÉPASSÉE

Les gènes en sont une composante inextricable. Il est donc irréaliste de considérer un processus de développement sans l'intervention d'une information (génétique) qui a été transmise de génération en génération depuis des millions d'années et façonnée par la sélection. Nier l'effet des gènes nous renvoie à la notion de génération spontanée. Pour autant, accepter qu'une part des différences individuelles soit liée à des différences génétiques ne revient pas à accepter la fatalité et à nier l'existence d'effets environnementaux. Au contraire, il s'agit d'intégrer l'environnement dans un modèle plus réaliste de la diversité des réponses individuelles possibles aux effets environnementaux.

Il est donc temps d'oublier la dichotomie entre inné et acquis et d'embrasser l'idée d'interactions entre gènes et environnement conduisant au développement individuel. Les exemples sur les interactions gènes-environnement montrent clairement que si les différences individuelles impliquent des effets génétiques, ceux-ci n'ont que très rarement un contrôle absolu sur le développement et qu'une grande part de ce que nous sommes provient de nos expériences. Rien n'est donc inéluctable, et c'est rassurant. ■

BIBLIOGRAPHIE

- L.-A. GIRALDEAU, *Dans l'œil du pigeon*, Le Pommier, 2016.
- R. PLOMIN ET AL., Top 10 replicated findings from behavioral genetics, *Perspectives on Psychological Science*, vol. 11(1), pp. 3-23, 2016.
- D. GOLDHABER, *The nature-nurture debate : bridging the gap*, Cambridge University Press, 2012.
- J. J. BOLHUIS, Development of behavior, in J. J. BOLHUIS et L.-A. GIRALDEAU (dir), *The Behavior of Animals: Mechanisms, Function, and Evolution*, Blackwell Publishing, 2005.
- D. STIRLING ET AL., Selection, structure and the heritability of behaviour, *J. of Evol. Biology*, vol. 15(2), pp. 277-289, 2002.



de A à Z

*Que
sais-je?*