



# Inhiber son cerveau pour raisonner

L'un des moteurs de l'apprentissage est de corriger ses erreurs de raisonnement et de choisir une stratégie cognitive adéquate. L'inhibition de certains automatismes cérébraux est nécessaire.

**Olivier Houdé**  
est professeur de psychologie à l'Université Paris Descartes.

**L**es neurosciences et l'imagerie cérébrale en particulier apportent indiscutablement des clés pour mieux comprendre les comportements humains normaux et pathologiques. Le domaine médical en offre déjà beaucoup d'exemples, le domaine de l'économie quelques-uns, et ce sera le cas, peut-être plus encore, dans le domaine de l'éducation. Au-delà de la

santé, aucun secteur de la société ni de la vie psychologique des individus n'échappe au label « neuro », qu'on s'en réjouisse ou qu'on le déplore : neuroéconomie, neuropédagogie, etc., sont de nouveaux champs d'exploration de la psychologie expérimentale contemporaine.

Cela soulève bien entendu des questions éthiques, déjà analysées dans le domaine biomédical, mais qui peuvent se poser aussi dans le domaine de l'éducation où la réflexion bioéducative reste à conduire. Quoi qu'il en soit et sans céder à une vision trop scientifique et naïve, voire idéologiquement dangereuse, d'une technoscience de l'éducation parfaitement contrôlée et contrôlable, on ne peut refuser l'idée qu'une recherche pédagogique nouvelle, exploitant les ressources actuelles de l'imagerie cérébrale, puisse éclairer certains mécanismes neurocognitifs d'apprentissage dont dépendent des phénomènes éducatifs, sociaux et culturels plus complexes.

## En Bref

- Les recherches en « neuropédagogie » peuvent éclairer certains mécanismes cognitifs et cérébraux de l'apprentissage.
- L'apprentissage de l'inhibition de certains automatismes permet d'éviter les biais de raisonnement. Les élèves prennent ainsi conscience de leurs erreurs de logique.
- Le cerveau ayant « appris » à inhiber ses erreurs se reconfigure : le cortex préfrontal contrôle le raisonnement.

L'apprentissage est une modification de la capacité à réaliser une tâche sous l'effet d'une interaction avec l'environnement. Dès la naissance, le bébé est génétiquement programmé pour apprendre. Il est par exemple capable de reproduire par imitation des modèles (mouvements du visage ou des mains) que lui présente l'adulte, ce qui montre que son cerveau est d'emblée réceptif à l'apprentissage culturel humain. Pour l'essentiel, on peut considérer qu'il existe, chez l'adulte comme chez l'enfant, deux formes complémentaires d'apprentissages cognitifs : l'automatisation par la pratique et le contrôle par l'inhibition. Voyons ce que cachent ces notions.

Dans le cas de l'automatisation par la pratique, l'imagerie cérébrale fonctionnelle a permis de montrer que la partie préfrontale (avant) du cerveau est activée en premier lieu ; en effet, la mise en place des habiletés nécessite un contrôle exécutif et un effort cognitif (apprendre par cœur une liste de mots écrits par exemple). Puis ces habiletés s'automatisent avec la pratique et c'est la partie postérieure du cerveau ainsi que les régions sous-corticales qui prennent le relais.

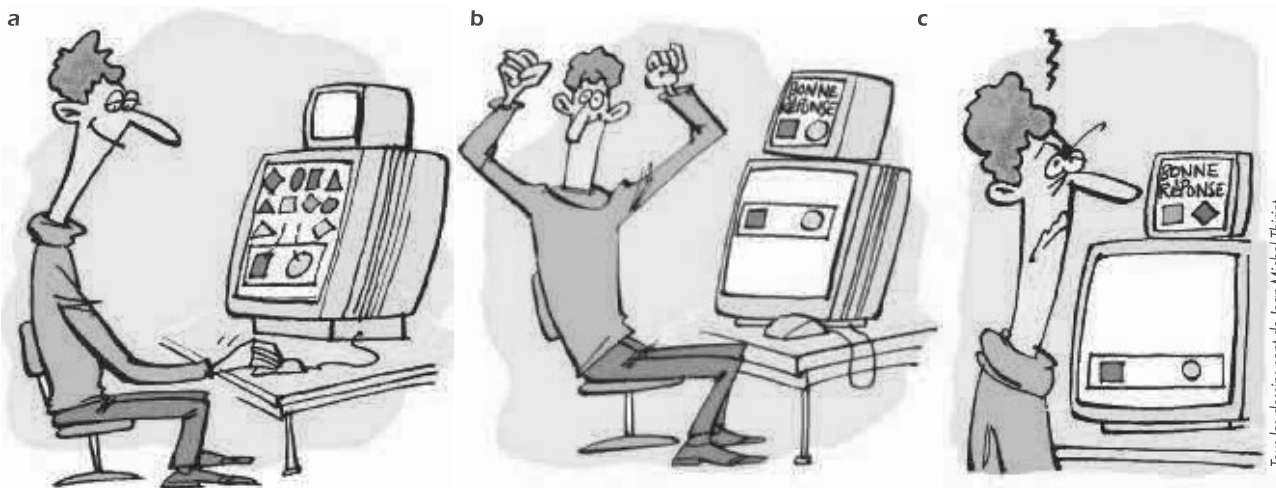
Dans le cas inverse (on parle de désautomatisation), il s'agit d'apprendre à inhiber les automatismes acquis pour changer de stratégie cognitive. L'imagerie cérébrale a mis en évidence les modifications qui s'opèrent

dans le cerveau lorsque, sous l'effet d'un apprentissage, on passe, au cours d'une même tâche de raisonnement, d'un mode perceptif facile, automatisé, mais erroné, à un mode logique, difficile et exact. Il y a alors un basculement des activations cérébrales, de la partie postérieure du cerveau au cortex préfrontal, ce qui se traduit par une dynamique cérébrale inverse de celle qui a lieu lors de l'automatisation.

## Apprendre l'inhibition avec un professeur

Le premier type d'apprentissage, l'automatisation par la pratique, correspond aux connaissances générales, bien établies, apprises par la répétition, la mémorisation, et qui doivent être connues de tous (les programmes à l'école par exemple). C'est ce que l'on nomme « l'intelligence cristallisée » par la culture. À l'inverse et de façon complémentaire, le second type d'apprentissage, le contrôle par l'inhibition, fait appel à l'imagination, à la capacité de changer de stratégie de raisonnement en inhibant les automatismes habituels (eux-mêmes cristallisés). C'est « l'intelligence fluide ». Apprentissage et intelligence sont étroitement liés *via* la culture et le raisonnement.

Décrivons de façon plus détaillée l'apprentissage de l'inhibition, forme d'apprentissage



1. Lors des tests de logique, on demande aux volontaires de déplacer des formes colorées présentées sur un écran d'ordinateur pour répondre à des règles déductives du type : « S'il y a un carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite » (a). La totalité des personnes testées réussit ce problème (b). Mais si on demande aux participants de rendre fausse la règle « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite », alors

90 pour cent des sujets proposent comme réponse : un carré rouge à gauche d'un cercle jaune (c). Ils se trompent et commettent ce que l'on nomme une erreur perceptuelle. Pour rendre la règle fautive, il faut rendre l'antécédent vrai, c'est-à-dire ne pas mettre de carré rouge à gauche (on met, par exemple, un carré vert) et rendre la conclusion fautive, c'est-à-dire ne pas mettre un cercle jaune à droite (on place, par exemple, un losange bleu à droite).

cognitif (ou plus exactement « métacognitif ») explorée ces dernières années par la neuro-pédagogie expérimentale et absente (pour le moment) des programmes scolaires. Il s'agit d'étudier un mécanisme particulier de correction d'erreurs dans le cerveau humain. Pour ce faire, on développe une sorte de « pédagogie de laboratoire » : apprendre à l'individu (et à travers lui à son cerveau) à inhiber ses erreurs systématiques (ou biais) de raisonnement. Par exemple, on propose à des volontaires de déplacer des formes colorées sur un écran d'ordinateur pour répondre à des règles déductives. Mais pour certaines règles, les participants font pres-

que tous les mêmes erreurs de logique (voir la figure 1) ; l'apprentissage consiste à inhiber ces biais de raisonnement. Les questions d'apprentissage et de plasticité neurocognitive, essentielles en psychologie de l'enfant et de l'adolescent, le sont aussi en neurosciences cognitives.

Pour l'exemple des erreurs de raisonnement logique, nous avons émis l'hypothèse que la difficulté des individus tient, dans certaines situations pièges, à ce que deux stratégies de raisonnement entrent en compétition et se télescopent dans leur cerveau, l'une perceptive (ou sémantique selon les cas : une croyance sur le monde), l'autre logique. Face

## Les conditions d'apprentissage pour une pédagogie de laboratoire

**L**e volontaire doit rendre fausse la règle déductive « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite », en sélectionnant sur un écran d'ordinateur deux formes géométriques. Pour améliorer le score – mauvais – des participants à ce test (90 pour cent de réponses fausses), on dispose de trois stratégies d'apprentissage : l'inhibition de la stratégie perceptive, l'explication logique et la répétition de la tâche.

Éliminons d'emblée la troisième qui ne donne aucun résultat : la répétition d'une « tâche piège », pour laquelle on ne comprend pas l'origine de l'erreur, ne corrige pas l'erreur.

Dans la condition d'apprentissage de l'inhibition de la stratégie perceptive, on tente d'inhiber les biais de raisonnement. Pour ce faire, on émet des « alertes » qui préviennent le participant des pièges de raisonnement. On lui explique d'où vient l'erreur, on le met en garde pour qu'il ne tombe pas dans le piège, c'est-à-dire qu'il ne se laisse pas abuser par les formes et par les couleurs en oubliant la consigne logique. Dans la deuxième stratégie (l'explication logique), on se contente d'expliquer la logique de la tâche sans expliciter les causes des erreurs. Comment procède-t-on ? Nous proposons d'abord un

exercice préliminaire, en présentant quatre cartes (A, D, 3 et 7), chacune ayant, d'un côté une lettre, de l'autre un chiffre. Les quatre cartes sont disposées face aux personnes testées qui doivent indiquer quelle(s) carte(s) il est indispensable de retourner pour vérifier si la règle est toujours respectée : « S'il y a un A d'un côté d'une carte, alors il y a un 3 de l'autre. » La réponse erronée correspondant à un biais de raisonnement serait A et 3. Ce problème est connu sous le nom de test de Wason.

Pour vérifier la règle, on doit effectivement retourner A pour savoir si oui ou non il y a un 3 au dos, mais il est inutile de vérifier ce qu'il y a au dos du 3 : ou bien c'est un A et la règle n'est pas mise en défaut ; ou bien c'est un D et la condition requise (il y a un A d'un côté) n'est pas remplie : dès lors, la carte 3 ne peut pas rendre la règle fausse. En revanche, la seconde carte à tirer est le 7 : si de l'autre côté du 7, on a un A, la règle est fausse ! Ainsi, la réponse correcte est A et 7, car seules ces deux cartes sont susceptibles de rendre la règle fausse, c'est-à-dire de présenter un cas où l'antécédent est vrai (A) et le conséquent faux (non-3).

Au début de l'apprentissage, tous les participants font l'erreur et proposent la paire A et 3 (voir la figure a). On

Exercice préliminaire



à cette compétition neuronale, les élèves feraient des erreurs s'ils ne parvenaient pas à inhiber la stratégie perceptive (ou sémantique), sans qu'il s'agisse pour autant d'un manque de logique en tant que tel.

## Un apprentissage efficace

Pour le montrer, nous avons d'abord testé, par des études de psychologie expérimentale, l'efficacité de trois conditions d'apprentissage sur des groupes de sujets indépendants : la première condition consistait à inhiber une stratégie perceptive avec des instructions venant

d'autrui. Par exemple, un professeur mettait en garde les sujets en leur précisant qu'ils devaient éviter un piège perceptif, une erreur de raisonnement, et qu'ils ne devaient pas se laisser abuser par les formes ni par les couleurs. C'est l'apprentissage dit « métacognitif », car il porte sur les stratégies cognitives à sélectionner. La deuxième condition était l'explication logique et rationnelle du problème, réalisée par le même professeur. Et le dernier apprentissage était la répétition de la tâche, ce qui correspond aux effets de la pratique (voir l'encadré ci-dessous).

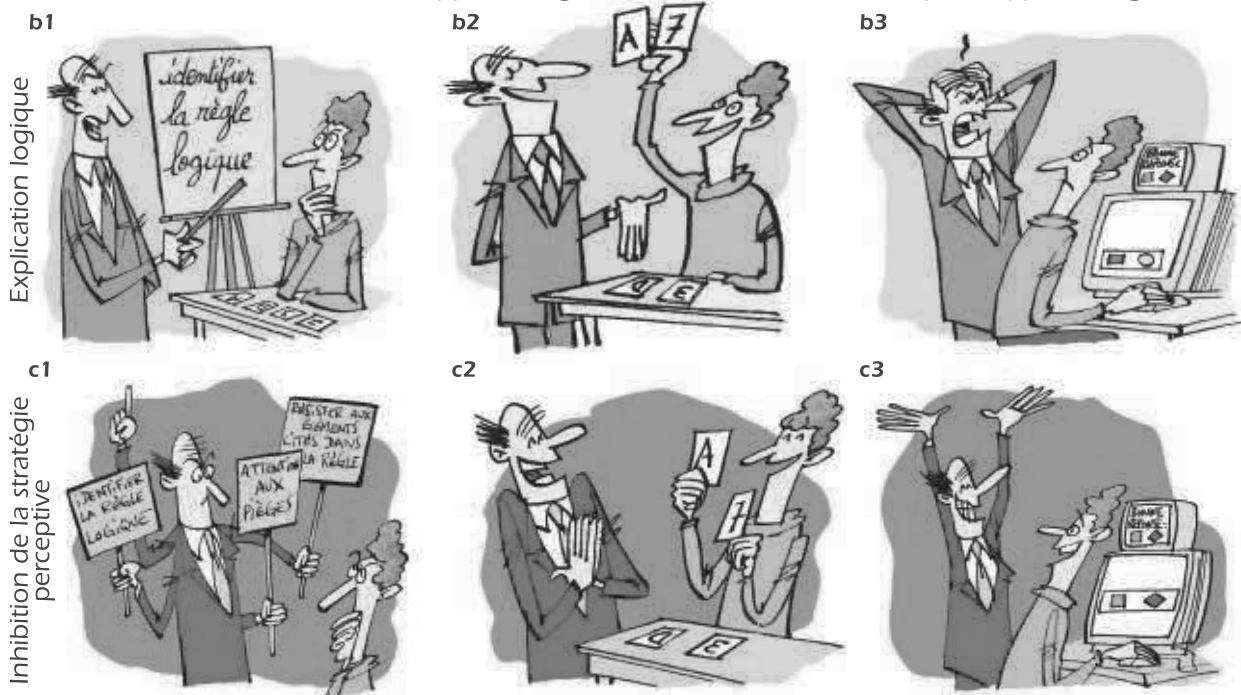
Seul l'apprentissage de l'inhibition s'est révélé efficace, c'est-à-dire source de progrès

réalise alors les deux procédures d'apprentissage choisies : l'explication logique (voir le scénario b) et l'apprentissage de l'inhibition de la stratégie perceptive (voir le scénario c). Dans l'explication logique, on explique de façon « froide » comment réfléchir pour réussir ce test (b1). Dans l'autre méthode d'apprentissage (c1), le « professeur » ne se contente pas de cet enseignement froid, mais donne en plus des « conseils d'inhibition », prévient lorsque l'« élève » risque de se laisser abuser par ses perceptions, fait intervenir une dimension émotionnelle dans son enseignement qui n'apparaît pas dans la méthode précédente. La procédure se termine lorsque les sujets attei-

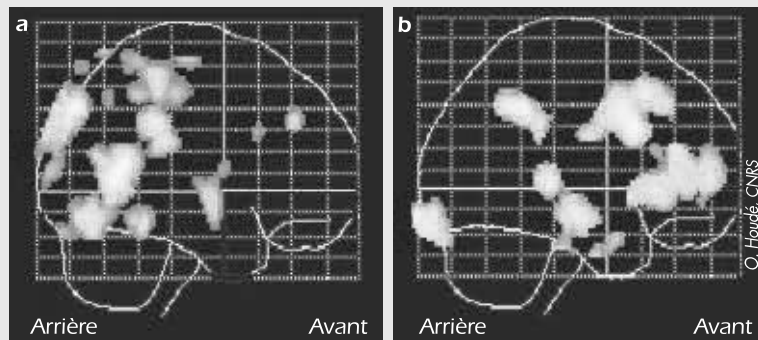
gnent le critère d'apprentissage, c'est-à-dire lorsqu'ils sont capables d'expliquer de façon autonome la résolution correcte de la tâche de sélection de cartes. Ils finissent par réussir par l'une ou l'autre des procédures (b2 et c2). Sont-elles pour autant équivalentes ? Non, car dans la dernière étape de l'expérience, on refait le test avec la tâche initiale (rendre fausse la règle : « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite ») et l'on constate que la méthode d'explication logique échoue (b3) tandis que la méthode d'apprentissage de l'inhibition des biais de raisonnement donne des résultats meilleurs (c3).

Pendant l'apprentissage

Après l'apprentissage



**2. L'apprentissage** de l'inhibition des erreurs de raisonnement se traduit par une modification du débit sanguin cérébral, visible en imagerie fonctionnelle. Lorsque les sujets se trompent quand on leur demande de rendre fausse la règle logique : « S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite », le débit sanguin est plus élevé dans les régions postérieures et perceptives du cerveau (a). Quand ils ont appris à inhiber leur erreur, le débit sanguin est modifié, et les régions antérieures (préfrontales) sont davantage activées (b).



cognitifs transférables aux problèmes logiques du même type : le taux de réussite, initialement inférieur à 10 pour cent, a dépassé les 90 pour cent lors de la résolution du second problème. Alors que dans les deux autres conditions (l'explication logique et la pratique), la proportion d'erreurs était comparable au niveau initial face à des problèmes du même type. C'est donc le mécanisme exécutif de blocage (l'inhibition) qui faisait psychologiquement défaut aux individus interrogés et non pas la logique formelle ou la pratique (comme c'est le cas pour d'autres situations d'apprentissage).

### Une façon de penser reconfigurée

Que se passe-t-il dans le cerveau des élèves avant et après l'apprentissage de l'inhibition de la stratégie perceptive, c'est-à-dire avant et après la correction de l'erreur de raisonnement ? Existe-t-il un support biologique, neuronal (et lequel ?) montrant que les élèves ont appris à inhiber une stratégie ? Nous avons repris la même expérience en observant l'activité cérébrale des sujets par imagerie fonctionnelle avant l'apprentissage avec le professeur, et après.

Nous avons observé une spectaculaire reconfiguration – ou plasticité – des réseaux neuronaux, de la partie postérieure du cerveau à sa partie antérieure, dite préfrontale (voir la figure 2). Cette expérience illustre ainsi de façon dynamique comment peut se mettre en place, sous l'effet d'une forme particulière de pédagogie expérimentale, un processus d'abstraction par inhibition cognitive (de la réponse perceptive à la réponse logique) dans le cerveau. C'est « le cerveau qui apprend en inhibant ». En d'autres termes : l'intelligence

fluide se déclenche et s'observe chez l'élève après l'intervention pédagogique d'autrui. Éducation et neurosciences peuvent donc se conjuguer ; l'imagerie cérébrale a apporté la visualisation de l'effet pédagogique précédemment testé en psychologie expérimentale du raisonnement.

L'adulte, comme l'enfant, peut sans doute apprendre à inhiber les stratégies inadéquates de trois façons : soit en analysant lui-même ses échecs et en constatant ses erreurs, soit par imitation, soit en étant instruit par autrui, comme dans l'étude réalisée. Dès lors, on pourrait développer à l'école une pédagogie de « l'inhibition » (au sens positif du terme) et du contrôle cognitif en général. Or l'école apprend plutôt l'activation des connaissances, dans toutes les matières, que l'inhibition cognitive. Certains psychologues, tels qu'Adele Diamond au Canada, testent déjà avec succès, dès l'école maternelle, des programmes expérimentaux de ce type : par exemple, le programme *Tools of the Mind* où l'on apprend aux jeunes enfants l'inhibition et le contrôle cognitifs. Aux États-Unis, l'équipe de Michael Posner a montré comment des exercices de contrôle attentionnel modifient le cerveau de jeunes enfants (4-6 ans) dans des régions telles que le cortex préfrontal et le cortex cingulaire antérieur.

Dans une autre étude, nous avons comparé les conséquences cérébrales de l'apprentissage de l'inhibition (qui implique des mises en garde sur le danger du piège perceptif, c'est-à-dire sur l'erreur possible) et de l'apprentissage rationnel et logique, que l'on peut considérer comme plus « froid » et scolaire. Au niveau comportemental, nous avons à nouveau trouvé que seul l'apprentissage de l'inhibition est efficace dans les situations pièges étudiées.

---

## Le mécanisme de blocage – l’inhibition – fait psychologiquement défaut aux élèves, et non pas la logique formelle ou la pratique.

---

En outre, nous avons montré qu’une région du cerveau s’active plus lors de l’apprentissage de l’inhibition que lors de l’apprentissage logique : c’est le cortex préfrontal ventro-médian droit. Cette région se situe dans « l’intimité » du cerveau droit, à l’avant (préfrontal), en bas (ventro) et au milieu (médian), près du système limbique qui est considéré comme « le cerveau des émotions ».

Depuis les travaux du neuropsychologue Antonio Damasio aux États-Unis, on sait que cette région paralimbique est impliquée dans les relations étroites entre émotion, sentiment de soi et raisonnement. Dans notre cas, il s’agit de l’émotion liée au sentiment de s’être trompé, d’être « tombé dans un piège », mais de pouvoir néanmoins corriger son erreur de raisonnement ; c’est une émotion complexe mêlant peur (de se tromper) et plaisir (de se corriger). C’est ici l’apprentissage du contrôle inhibiteur qui déclenche et entretient cette émotion.

### Le rôle de l’émotion

En mesurant la différence de débit sanguin cérébral, nous avons confirmé que le cortex préfrontal ventro-médian droit est activé chez tous les élèves qui accèdent à la réponse logique après l’apprentissage de l’inhibition (donc après correction de l’erreur), alors qu’il ne l’est pas chez ceux qui restent dans l’erreur après un apprentissage logique « froid ». La théorie d’A. Damasio est une théorie de la « conscience réflexive », c’est-à-dire que l’émotion liée au sentiment de soi participe à l’activité cognitive. C’est bien ce que nous observons : avant l’apprentissage de l’inhibition, les participants ne sont pas conscients (n’ont pas le sentiment) qu’ils commettent une erreur de logique (ils pensent tous répondre juste !). Alors qu’après, ils en sont conscients – état dit de conscience réflexive.

Après avoir exposé ces exemples de recherches en neuropédagogie expérimentale, rappelons, pour conclure, que les scientifiques, pas-

sionnés, à juste titre, par leurs recherches et leurs découvertes, ont néanmoins en ce domaine un devoir d’humilité.

### Neuropédagogie : un devoir d’humilité

D’abord parce qu’il s’agit de premières données encore ponctuelles et partielles. Ensuite parce qu’il ne faut pas dire aux professeurs des écoles ce qu’ils doivent faire dans leurs classes, mais simplement les informer, ainsi que les cadres de l’éducation et hommes politiques, des avancées scientifiques récentes en matière d’apprentissages cognitifs et d’intervention pédagogique. Ces découvertes, tel le rôle pédagogique positif de l’inhibition cognitive et son apprentissage cérébral, sont parfois contre-intuitives pour les professionnels. Mais elles peuvent avoir des conséquences importantes dans la société et l’éducation.

La pédagogie est un « art » qui doit s’appuyer sur des connaissances scientifiques actualisées. En apportant des indications précises sur les capacités et les contraintes du « cerveau qui apprend », la psychologie et l’imagerie cérébrale peuvent aider à expliquer, au cas par cas, pourquoi certaines situations d’apprentissage sont efficaces, alors que d’autres ne le sont pas. Par exemple, les résultats exposés ici incitent, face aux blocages, erreurs ou difficultés de certains élèves, à tenir compte des résultats acquis en neuropédagogie. En l’occurrence, il s’agit de deux mécanismes clés, sans doute liés à des phénomènes éducatifs, sociaux et culturels plus complexes : d’une part, l’inhibition de stratégies neurocognitives en compétition et, d’autre part, l’émotion associée au sentiment de soi, qui paraissent toutes deux utiles au cerveau (parfois plus que la pure logique) pour corriger ses erreurs de raisonnement. En retour, le monde de l’éducation, bien informé de la pratique quotidienne, pourrait suggérer des idées originales d’expérimentation aux neuropédagogues... ■

---

#### Bibliographie

**O. Houdé**, *La psychologie de l’enfant*, (Que sais-je ?), Paris, PUF, 2012.

**A. Diamond et K. Lee**, *Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old*, in *Science*, vol. 333, pp. 959-964, 2011.

**O. Houdé**, *First insights on neuropedagogy of reasoning*, in *Thinking & Reasoning*, vol. 13, pp. 81-89, 2007.

**O. Houdé**, *Neural foundations of logical and mathematical cognition*, in *Nature Reviews Neuroscience*, vol. 4, pp. 507-514, 2003.

**O. Houdé et al.**, *Access to deductive logic depends on a right ventromedial prefrontal area devoted to emotion and feeling*, in *NeuroImage*, vol. 14, pp. 1486-1492, 2001.