

# La vie, le cerveau et la naissance de l'intelligence chez l'enfant

**Olivier Houdé, psychologue, membre de l'Académie  
des sciences morales et politiques**

*Conférence sous la Coupole de l'Institut de France à l'occasion de « La nuit des idées », le 30 janvier 2020 – le diaporama de la conférence est disponible.*

Selon le psychologue suisse Jean Piaget (1896-1980), le développement de l'intelligence chez l'enfant est une forme d'adaptation biologique, donc de vie ! Par ses outils cognitifs, l'enfant s'adapte à son environnement, quel qu'il soit. C'est un peu ce que Dany Laferrière, de l'Académie française, décrivait à l'instant, dessins à l'appui, liant intimement son acte d'écriture, son intelligence littéraire actuelle, à ses épisodes d'enfance en Haïti auprès de sa grand-mère.

A cette heure tardive de la soirée, déjà de la nuit – il est presque minuit –, je vais me permettre, si vous en êtes d'accord [adresse au public clairsemé], de tester votre propre intelligence afin de savoir si vous avez encore « les idées claires ». [Ne rencontrant pas d'opposition, le conférencier continue] ... Je vous invite à lire la règle logique énoncée sur l'écran : « *S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite* », puis de sélectionner mentalement deux formes qui réfutent cette règle parmi les diverses figures géométriques affichées (carrés, cercles, losanges, bleus, jaunes, rouges ou verts), en plaçant une forme dans la case de gauche et l'autre dans la case de droite. Gardez-bien votre réponse en mémoire; on échangera et corrigera les réponses à la fin de la conférence.

## 1. La matière, la vie et la pensée

Revenons à présent à l'origine de l'intelligence. Il faut la situer dans un grand triptyque : « Matière-Vie-Pensée ». Il y a environ 4,5 milliards d'années, notre Terre est née au sein de l'Univers. *C'était la matière !* Ensuite, il y a 3,8 milliards d'années, de cette matière sont apparues *les premières formes de vie* : les bactéries. Notre consœur, la biologiste Pascale Cossart, Secrétaire perpétuelle de l'Académie des sciences, y a consacré tout à l'heure une belle conférence. Plus tard, il y a environ 500 millions d'années, ont émergé les premiers systèmes nerveux, qui peu à

peu devinrent le cerveau d'*Homo sapiens* il y a 300 000 ans. *C'était la pensée !* Ou, pour le moins, son organe futur : ce cerveau cognitif, ou « neuro-culturel » comme le dirait Jean-Pierre Changeux, qui s'est peu à peu façonné jusqu'à celui d'aujourd'hui, à l'heure des ordinateurs, de la révolution numérique et de l'intelligence artificielle (telle que l'a décrite Yann LeCun en début de soirée), d'Internet et des réseaux sociaux, ... plus de cinq siècles après la révolution de l'imprimerie. Le cerveau humain *tout à la fois* crée ces révolutions et s'y adapte

Ainsi, la genèse de notre pensée ou intelligence s'inscrit dans trois échelles de temps, emboîtées comme des poupées russes : *la phylogenèse* (ou l'origine des Hommes) qui se chiffre en millions et centaines de milliers d'années, *l'ontogenèse* ou le développement d'un individu particulier, à l'échelle d'une vie, de la naissance à l'âge adulte (l'enfance et l'adolescence), qui se chiffre en un peu moins d'une vingtaine d'années et, enfin, la *microgenèse* qui correspond au temps beaucoup plus court d'un apprentissage ou de la résolution d'une tâche cognitive, qui se chiffre en jours, heures, minutes, secondes et millisecondes – unité la plus précise des mesures des réactions humaines (dites « temps de réaction ») en psychologie expérimentale.

Deux chiffres encore pour décrire la complexité de notre cerveau : 86 milliards de neurones et un million de milliards de connexions. Soit, dans le crâne de chacun d'entre nous, un réseau biologique beaucoup plus complexe que l'Internet mondial ! Il est donc important de comprendre, sur le plan cognitif, comment ces connexions neuronales s'établissent, opèrent et se reconfigurent avec l'apprentissage (selon quelle économie, quelles stratégies) pour donner naissance à notre pensée, avec ses forces et ses faiblesses.

Je dois à présent vous dire que le cerveau humain m'intéresse, me passionne, parce que je suis instituteur. Ce beau métier qui consiste à éveiller les idées et l'intelligence dans le cerveau des enfants, à leur *apprendre à apprendre !* Mais qu'est-ce que l'intelligence ? Comment naît-elle ?

## 2. La construction des idées dans le cerveau humain

Aujourd'hui, dans les laboratoires de recherche sur le développement cognitif (ou l'intelligence) des enfants, tel mon laboratoire de psychologie expérimentale de la Sorbonne à Paris, nous disposons de toute une panoplie de technologies très performantes pour répondre à ces questions : la génétique, l'imagerie cérébrale (de l'EEG-

haute densité à l'IRM anatomique et fonctionnelle)<sup>1</sup> et les mesures cognitives et comportementales. Ce sont les instruments des neurosciences cognitives. Par exemple, grâce à l'IRM, nous pouvons produire sur ordinateur des images numériques tridimensionnelles reliées à l'activité des neurones en tout point du cerveau d'un adulte ou d'un enfant.

Toutefois, sur le plan théorique, les questions posées aujourd'hui en sciences cognitives ne sont pas nouvelles : qu'est-ce que la cognition, d'où vient-elle, quel est le rôle de l'environnement ? Déjà Platon, il y a plus de deux mille ans, représenté au centre de la célèbre fresque de Raphaël visible au musée du Vatican à Rome, *L'École d'Athènes* (1512), pointait le doigt vers le « ciel des Idées » (comme vers le dôme de notre Coupole de l'Institut de France ce soir, « nuit des idées » 2020), pour signifier que, selon lui, les Idées – le Vrai, le Beau et le Bien – étaient d'origine divine et innée. C'était *l'innéisme*. Sachant que Platon défendait aussi le cérébrocentrisme (le centre de la pensée est dans le cerveau). A l'inverse, son élève Aristote, outre qu'il croyait encore au cardiocentrisme (la pensée dans le cœur), ne croyait pas aux Idées innées de son maître. C'est pourquoi, dans cette même fresque de Raphaël, il pointe du doigt vers vous, les spectateurs [adresse au public], c'est-à-dire vers le réel, le monde terrestre, considérant que les idées sont transmises ici-bas, dans et par l'environnement. C'était *l'empirisme*.

Aristote avait toutefois bien perçu la difficulté majeure de l'empirisme : dans l'environnement social et culturel, ici-bas où les idées se façonnent, il faut en permanence dénoncer et réfuter les erreurs de raisonnement, c'est-à-dire, en termes plus techniques, les paralogismes et les sophismes. Les premiers sont les erreurs que nous faisons à notre insu sans intention de tromper. C'est ce qu'on appelle aujourd'hui les biais cognitifs. Les seconds (procédés issus des sophistes, hommes politiques de la Grèce antique), sont des raisonnements erronés, quoique valides en apparence, construits dans l'intention de tromper pour convaincre. C'est ce qu'on appelle aujourd'hui, sur Internet et les réseaux sociaux, les *fake news* ou infox. Notre cerveau, souvent trop rapide, y préfère la crédulité (ce que l'on a envie de croire) plutôt que la validité logique. Pour lutter contre ces dérives de la pensée humaine, Aristote a inventé les syllogismes, instruments du *logos*, combinaison bien réglée de la raison et du langage.

Ainsi, dès l'Antiquité grecque, les termes des débats contemporains en sciences cognitives sur l'origine des idées étaient posés : innéisme ou

empirisme, inné ou acquis ? Tout au long de l'histoire de la pensée occidentale, ces deux thèses n'ont cessé de s'opposer, par de permanents effets de balancier, au gré des courants philosophiques : Descartes fut innéiste comme Platon ; Locke et Hume furent empiristes comme Aristote ; Kant fut à nouveau innéiste (les *a priori* de l'entendement et de la sensibilité), ... jusqu'à Piaget, au XX<sup>e</sup> siècle, qui fut le tout premier à proposer une synthèse cognitive nouvelle, ni innéiste, ni empiriste, mais celle d'une troisième voie, intermédiaire : le constructivisme. Selon ce psychologue du développement, à partir des schèmes initiaux partiellement innés du bébé, l'enfant construit lui-même son intelligence, stade après stade, par ses actions sur le réel, c'est-à-dire ses manipulations d'objets (*via* des expérimentations comme un petit savant) dans l'environnement, sources de réflexions intériorisées et de *logique*, d'abord concrète vers 7 ans, « l'âge de raison », puis abstraite à l'adolescence (Piaget & Inhelder, 1966). On retrouve le *logos* d'Aristote par un chemin enfantin et constructiviste. Sachant que Darwin au XIX<sup>e</sup> siècle avait définitivement exclu l'idée platonicienne, cartésienne, etc., d'une origine divine de l'intelligence humaine, au profit d'une explication seulement *naturelle, biologique*. L'intelligence est une forme de vie ! C'est aussi ce que retient Piaget, *via* deux formes d'adaptation que l'enfant déploie face aux données du réel : l'assimilation (intégrer les informations) et l'accommodation (s'y ajuster), sources de régulations internes successives.

### 3. Les quatre principes constructeurs de l'intelligence : objet, nombre, catégorisation et raisonnement

Interrogeons-nous à présent, plus en détail, dans les pas de Piaget, sur ce qu'est l'intelligence ou le développement cognitif de l'enfant. Telle une *architecture cognitive (l'architecture de la pensée)*, l'intelligence se définit par quatre principes constructeurs : l'objet, le nombre, la catégorisation et le raisonnement.

Si je cache ce verre derrière moi, il est évident pour vous [adresse au public] qu'il continue d'exister. C'est parce que votre cerveau infère *la permanence de l'objet*, c'est-à-dire le principe selon lequel les objets continuent d'exister lorsqu'ils échappent à notre perception immédiate. Si je cache ce même verre partiellement derrière la chaire, il est aussi évident pour vous qu'il ne s'agit pas d'un demi-verre, mais d'un verre entier, car votre cerveau infère *l'unité de l'objet*. Unité et permanence des objets sont ainsi conjointement la brique de base *de toute notre intelligence*, présente ou à venir chez le jeune enfant ! Ces notions

n'existent pas à la naissance et se construisent durant les premiers mois de la vie du bébé, notamment à travers ses expériences intenses de perception visuelle et/ou de manipulation des objets.

Maintenant, imaginez, un instant, que vous soyez dans le cerveau d'un bébé qui vient de découvrir l'unité et la permanence des objets, tant physiques (comme ce verre) que sociaux et humains (comme vous et moi). Cela veut dire que sa perception et sa conception de l'environnement, du monde, passent *du continu au discontinu*, au sens mathématique : désormais, son environnement est « découpé mentalement » en de *multiples* objets physiques et humains, uniques et permanents. C'est, pour le bébé, une première façon tout à la fois de découvrir la complexité du réel et de déjà y mettre de l'ordre. Mais cela veut dire aussi que pour le reste de sa vie (jusqu'à nous ce soir) le cerveau humain, face à ces multiples objets uniques et permanents, aura irrésistiblement envie de faire deux choses : soit les traiter *quantitativement* (les compter), c'est la genèse du *nombre* qui conduira l'enfant, *via* l'école et la culture, aux mathématiques, soit les traiter *qualitativement* (les classer selon la forme, la couleur, la fonction, etc.), c'est la genèse de la *catégorisation* qui conduira, également *via* l'école et la culture, aux taxinomies.

Enfin, lorsque ces traitements quantitatifs (nombres) et qualitatifs (catégorisations) ne porteront plus seulement sur des objets concrets, mais aussi sur des idées, des hypothèses, des propositions logiques (à l'adolescence selon Piaget, beaucoup plus tôt selon les découvertes récentes), le cerveau humain atteint sa toute puissance. C'est *le raisonnement hypothético-déductif* (si-alors) où le réel devient un cas particulier du possible. Il permet à notre cerveau d'élaborer des hypothèses cognitives, des modèles, pour prédire (projeter), agir et tester nos idées, même abstraites, dans *et sur* le monde. Le raisonnement est dès lors la charpente de l'architecture cognitive – *cathédrale de l'intelligence*. C'est un processus essentiel à notre adaptation dans la vie quotidienne, mais aussi dans les sciences, la littérature et les arts. Chaque académicien de cette maison, l'Institut de France (et les cinq académies qui le composent), a dû, déjà bébé et durant son enfance, construire sa propre intelligence, sa créativité, selon ces grands principes cognitifs (objet, nombre, catégorisation et raisonnement) pour atteindre la forme de pensée *singulière* qui est la sienne aujourd'hui ! C'est évidemment vrai aussi pour chacune et chacun d'entre vous.

#### 4. L'exemple du nombre selon Piaget

Voici un exemple concret utilisé par Piaget pour tester la notion de nombre chez l'enfant (le traitement *quantitatif* dans l'architecture cognitive précitée). Placez devant un jeune enfant deux alignements parallèles de sept jetons, par exemple, occupant la même longueur, le même espace, et demandez-lui s'il y a ou non le même nombre de jetons dans chaque ligne. Dès 4-5 ans, à l'âge de l'école maternelle, les enfants réussissent ce test et répondent que oui. C'est ce qu'on appelle le constat d'égalité. Ensuite, sous les yeux de l'enfant, écartez les jetons d'un des deux alignements (soit une simple transformation spatiale) et reposez-lui la même question : y a-t-il toujours, ou non, le même nombre de jetons dans chaque ligne ? Vous constaterez alors que jusqu'à 6 ou 7 ans, les enfants se trompent et répondent : « Non, il n'y en a pas pareil ! » Si vous leur demandez pourquoi, ils vous répondront : « Eh bien, tu vois bien, il y en a plus ici parce que c'est plus long ! », pointant du doigt la différence visuo-spatiale entre les deux alignements. Selon Piaget, cela démontre que l'enfant n'a pas encore atteint le stade conceptuel du nombre (la conservation des quantités discrètes). Avant 6 ans, l'enfant est, selon lui, à un stade intuitif (guidé ici par la seule intuition visuelle de la longueur), au sens pré-opératoire, c'est-à-dire illogique. Ce n'est que vers 6-7 ans, l'âge de raison, que l'enfant devient logique au sens piagétien et reconnaît alors l'invariance du nombre par rapport à la longueur. Toute la théorie de Piaget est ainsi fondée sur des *changements conceptuels*, comme ici du stade de l'intuition à celui de la logique.

Toutefois, après Piaget, les travaux de sciences cognitives sur le bébé ont révélé, avec d'autres techniques expérimentales plus fines (observations vidéos reliées à des ordinateurs), qu'il en allait tout autrement. Déjà les bébés de quelques mois, bien avant l'apparition du langage (2 ans), possèdent et manifestent l'algorithme cognitif d'invariance du nombre par rapport à la longueur, grâce à un mécanisme de comptage visuel. Face à des alignements de jetons, comme ceux de Piaget, les bébés sont surpris (d'où des temps de regard plus longs) lorsque le nombre change, mais ils ne le sont pas en cas de simple transformation spatiale, tel l'écartement ou le resserrement des mêmes jetons. En outre, les bébés réalisent déjà visuellement des opérations arithmétiques élémentaires exactes (additions et soustractions) et de véritables statistiques. Autant de capacités proto-mathématiques, dont le siège cérébral est maintenant connu (le Sillon Intra-Pariétal, SIP), qui nous obligent à réviser la théorie de Piaget. Comment, en effet, peut-on

expliquer à la fois ces compétences numériques précoces, reposant en partie sur des mécanismes innés, et les incompétences tardives observées dans la tâche de Piaget ?

## 5. La théorie de l'inhibition cognitive

C'est pour lever ce type de paradoxe qu'avec mon laboratoire de psychologie de la Sorbonne nous avons inventé et testé une nouvelle théorie du développement cognitif, après celle de Piaget : *la théorie de l'inhibition cognitive* (Houdé, 2014, 2020). En deux mots, voici son principe. Ce qui pose problème à l'enfant qui échoue dans la tâche piagétienne des jetons, plus ou moins écartés, jusqu'à 6-7 ans n'est pas l'algorithme numérique en tant que tel, déjà possédé du bébé et du jeune enfant (comptage visuel, puis verbal), mais *l'inhibition de l'heuristique* (ou automatisme) de réponse « longueur = nombre », suractivée par le matériel expérimental.

*Qu'est-ce qu'une heuristique ?* Depuis le psychologue Daniel Kahneman, Prix Nobel d'économie en 2002, on sait que c'est une stratégie approximative de jugement, très rapide, très efficace – donc économique pour le cerveau – qui marche très bien, très souvent, *mais pas toujours !* « Longueur = nombre » est une heuristique. Souvent, dans l'environnement, l'espace occupé par les objets s'accroît en fonction de leur nombre : par exemple, la suite des chiffres de 1 à 10 illustrée et apprise à l'école maternelle *via* des alignements de fruits ou d'animaux de longueur croissante. Selon Kahneman (2012), les heuristiques, regroupées dans ce qu'il appelle « le Système 1 », dominant toujours notre esprit, même à l'âge adulte (la logique de Piaget, le Système 2 de Kahneman, ne serait que très rarement appliquée).

*Qu'est-ce qu'un algorithme cognitif ?* C'est, à l'inverse, une stratégie exacte, plus lente et réfléchie, analytique, demandant un effort cognitif du cerveau, mais qui conduit *toujours* (sauf en cas de bug) à la bonne solution. Dans la tâche des jetons de Piaget, c'est le comptage. Il permet, en effet, de vérifier l'invariance du nombre par rapport à la longueur (le comptage des alignements donne 7 et 7, donc la réponse est « Il y en a pareil »).

A partir de cette double définition et de l'observation du développement des enfants, j'ai compris que l'intelligence humaine, celle d'un cerveau *fin stratège*, est à chercher ailleurs. Elle ne réside ni dans les seules connexions heuristiques trop rapides, ni dans les seuls algorithmes trop lents (la dualité Système 1/Système 2 de Kahneman),

mais dans notre capacité à *inhiber*, au cas par cas, les heuristiques erronées pour activer nos algorithmes cognitifs ! C'est la théorie du Système 3 (l'inhibition) que j'ai démontrée en psychologie expérimentale, de l'enfant à l'adulte, assortie de l'imagerie cérébrale du cortex préfrontal. En effet, dans ce lobe situé à l'avant du cerveau réside notre fonction d'inhibition, en particulier dans le Gyrus Frontal Inférieur (GFI), épicode cortical dont les neurones à axones longs peuvent envoyer des ordres inhibiteurs ou activateurs vers l'ensemble du cerveau. Toutefois, ce lobe frontal est celui qui mature le plus lentement au cours du développement ou de l'ontogenèse (ainsi que l'a révélé l'IRM anatomique), ce qui explique que l'enfant puisse facilement être pris en défaut d'inhibition – par exemple, dans les tâches logico-mathématiques de Piaget. Nous l'avons démontré tant pour le nombre que la catégorisation. C'est aussi vrai des tâches de décentration sociale (prise de perspective visuelle, « théorie de l'esprit » de l'autre) où l'enfant a beaucoup de difficulté à inhiber son propre point de vue, c'est-à-dire l'heuristique égocentrée. L'inhibition dont je parle ici est un mécanisme-clé de la tolérance. Il s'agit toujours, dans les domaines cognitifs ou sociaux, *d'apprendre à résister* (Houdé, 2014), à penser parfois *contre soi-même*. Cette question m'est chère en tant que membre de l'Académie des sciences morales et politiques.

En outre, cette capacité d'inhibition préfrontale, peu et pas assez entraînée à l'école aujourd'hui, reste encore fragile à l'âge adulte et durant toute la vie ! C'est pourquoi le développement cognitif se révèle plutôt dynamique et non linéaire (avec des hauts et des bas).

Revenons à présent au test de raisonnement logique que je vous ai soumis au début de la conférence. Vous deviez réfuter la règle « *S'il n'y a pas de carré rouge à gauche, alors il y a un cercle jaune à droite* ». Quelles sont vos réponses [adresse au public] ? La main d'une dame se lève et elle répond : « Carré bleu à gauche, losange vert à droite ». C'est excellent, bonne réponse, cette dame a bien inhibé ! Que fallait-il inhiber dans cette tâche ? L'heuristique *d'appariement perceptif*. Je m'explique : dans ce test de logique, la plupart des personnes adultes interrogées, toutes réputées logiques selon Piaget – y compris des polytechniciens que j'ai pris soin de tester en France – répondent : « Carré rouge à gauche, cercle jaune à droite ». Ainsi, en appariant avec les deux formes citées dans la règle (d'où le nom de biais ou heuristique d'appariement perceptif), les gens pensent facilement réfuter la règle – sans doute parce qu'il y a une négation au début, dans l'antécédent. Or



l'algorithme logique est tout autre. Dans cette tâche, il s'agit de dérouler mentalement les quatre cas de figure qui peuvent rendre l'antécédent (partie Si...) et le conséquent (partie alors...) vrai (V) ou faux (F), soit VV, VF, FV et FF. Seul le cas VF peut réfuter une règle conditionnelle de type si-alors. C'est, par exemple, la réponse « Carré bleu, losange vert » ou toute autre réponse VF qui ne soit ni un carré rouge à gauche (antécédent vrai), ni un cercle jaune à droite (conséquent faux). Il fallait donc, pour le dire simplement, *inhiber* le carré rouge et le cercle jaune cités dans la règle. « Sortir du cadre », s'abstraire ! L'inhibition permet ainsi l'abstraction.

Ici encore, comme dans l'exemple des jetons chez l'enfant, l'inhibition est au cœur de l'intelligence. La logique d'Aristote, de Descartes ou de Piaget (le Système 2 de Kahneman), qu'elle soit innée ou acquise, ne suffit pas. Il faut à notre cerveau la capacité d'inhiber ses biais cognitifs (les paralogismes et sophismes déjà dénoncés par Aristote, les heuristiques de Kahneman). Mais, contrairement à ce que pense Kahneman de façon trop pessimiste, notre esprit n'est pas condamné à être dominé par ces heuristiques irrationnelles (Système 1). Le cerveau a en lui une force d'inhibition, de contrôle inhibiteur (Système 3). Sans doute faut-il l'éveiller et l'exercer, tant chez l'enfant que chez l'adulte, par des émotions contrefactuelles telles que le doute, la curiosité et le regret – mieux, l'anticipation du regret, sinon c'est trop tard ! Ces émotions guident l'inhibition.

Il y a là des clés psychologiques et pédagogiques pour un autre constructivisme que celui de Piaget. Un neuro-constructivisme fondé sur les ressorts de l'émotion et de l'inhibition dans le cerveau, au service de l'intelligence.

*Cette inhibition est au cœur de l'adaptation, donc de la vie.*

\*\*\*

PS : lorsque ma conférence fut terminée et que j'eus regagné le premier rang au cœur de la Coupole afin d'écouter, dans le froid de cette nuit de janvier, le dernier conférencier de l'Académie des Beaux-Arts, je sentis une main taper discrètement sur mon épaule. Je me penchai alors légèrement et un monsieur installé derrière moi, en présence d'un ami, me dit à voix basse, d'un ton un peu courroucé : « Monsieur, je suis polytechnicien et je n'ai pas compris pourquoi vous avez dit que la réponse de cette dame était bonne ! ». Sans me retourner, je souris. CQFD !

## Note

1. L'EEG est l'électroencéphalographie. L'IRM est l'imagerie par résonance magnétique. Notre laboratoire du CNRS, le LaPsyDÉ (Laboratoire de psychologie du développement et de l'éducation de l'enfant) a été le premier en France à réaliser des IRM fonctionnelles avec des enfants volontaires des écoles maternelles et élémentaires alors qu'ils réalisaient des tâches cognitives (microgènes). Au CNRS, ce laboratoire est à l'*interface* de l'Institut des sciences humaines et sociales et de l'Institut des sciences biologiques (sciences du vivant).

## Références

Houdé, O. (2014). *Apprendre à résister*. Paris : Le Pommier.

Houdé, O. (2020). *L'inhibition au service de l'intelligence : Penser contre soi-même*. Paris : PUF.

Kahneman, D. (2012). *Système 1, système 2 : Les deux vitesses de la pensée*. Paris : Flammarion.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Paris : PUF.