

photo de couverture

Maison de l'architecte Marie-José Van Hee, Gand, 2022. Photo Sophie Picard

Cette photo est la trace d'une rencontre fortuite entre l'architecte Marie-José Van Hee et les étudiant-es de l'atelier de projet d'architecture Bac 3 emmenés en visite à Gand par leurs enseignants Olivier Bourez et Dorothee Stiernon, en mars dernier.

lieuxdits #22

Septembre 2022

lieuxdits #22



Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme de l'Université catholique de Louvain
Louvain research institute for Landscape, Architecture, Built environment

Référence bibliographique :

Claeys, D., & Roobaert, L. (2022). Trois systèmes de raisonnement en conception architecturale : heuristique, algorithmique, métacognition. *Lieuxdits*, 22, 10–21. doi:10.14428/ld.vi22.67143

SEMESTRIEL

ISSN 2294-9046

e-ISSN 2565-6996



Éditeur responsable : Le comité éditorial, place du Levant, 1 - 1348 Louvain-la-Neuve (lieuxdits@uclouvain.be)

Comité éditorial : Damien Claeys, Gauthier Coton, Brigitte de Terwangne, Corentin Haubruge, Nicolas Lorent,

Catherine Massart, Giulia Scialpi, Dorothee Stiernon

Conception graphique : Nicolas Lorent

Impression : CPRINTi



Faculté d'architecture
d'ingénierie architecturale
d'urbanisme



LAB

Louvain research institute for
Landscape, Architecture,
Built environment

www.uclouvain.be/loci
www.uclouvain.be/lab

Trois systèmes de raisonnement en conception architecturale : heuristique, algorithmique, métacognition

Auteurs

Damien Claeys
Architecte, systémicien,
professeur
tsa-lab, LOCI+LAB,
UCLouvain
© 0000-0002-1324-4392

Louis Roobaert
Architecte, assistant, doctorant
tsa-lab, LOCI+LAB,
UCLouvain
© 0000-0002-4270-9566

Résumé. La conception architecturale est modélisée de manière heuristique comme un processus de recherche au cours duquel le concepteur doit résoudre un problème mal défini de manière réflexive. Le concepteur oriente un processus de conception architecturale en réponse à un contexte donné, pour faire émerger une solution sous la forme d'un projet d'architecture. En psychologie cognitive, à la croisée des écrits de Jean Piaget et Bärbel Inhelder, de Daniel Kahneman et Amos Tversky, et d'Oliver Houdé, au moins trois systèmes de raisonnement ont été successivement définis : la pensée intuitive, la pensée réfléchie et la métacognition. Ceux-ci peuvent être transposés au champ de la conception architecturale en établissant une analogie avec les trois figures du concepteur caricaturées par J. Christopher Jones : les concepteurs magicien, ordinateur et auto-organisé.

Mots-clés. architecture · conception · algorithmique · heuristique · métacognition

Abstract. Architectural design is heuristically modeled as a research process in which designers must solve an ill-defined problem in a reflexive manner. The designer guides an architectural design process in response to a given context, in order to shape a solution, brought forth in the form of an architectural project. In cognitive psychology, at the juncture between the works of Jean Piaget and Bärbel Inhelder, Daniel Kahneman and Amos Tversky, as well as Olivier Houdé, at least three reasoning systems have been successively defined: intuition, reasoning, and metacognition. These can be transposed to the field of architectural design, by drawing an analogy with the three figures portrayed by J. Christopher Jones: the magician, the computer and the self-organized designer.

Keywords. architecture · design · algorithmic · heuristic · metacognition

Modélisation systémique de la conception architecturale

Lorsque le mot *architecture* est utilisé, il peut recouvrir différentes acceptions. Conventionnellement, il désigne d'abord le corpus disciplinaire associé au métier de l'architecte. Mais lorsque nous parlons de l'architecture ou des architectures, en faisant précéder le mot par un article défini ou en le mettant au pluriel, le sens du mot est bien plus large. Au moins trois types d'architectures sont distinguables (Claeys, 2013) :

1. des *édifices* : des artefacts construits intentionnellement et matérialisés dans l'environnement physique, pour permettre à l'être humain d'*habiter* le monde ;
2. des *modèles* : des pensées projetées dans l'espace de conception, pour permettre au concepteur¹ de concevoir mentalement des *projets* ;
3. un *domaine* : un champ partagé de

connaissances mobilisable mentalement par l'architecte.

Dans le présent essai spéculatif, ce n'est pas l'architecture dans l'une ou plusieurs de ses trois acceptions qui est directement visée, mais le champ de la conception en architecture permettant de les mettre en relation. De là, la posture de recherche choisie est :

1. *processuelle* : en liant les trois acceptions du mot *architecture* sous la forme d'un processus, nous faisons l'hypothèse qu'un concepteur élabore dynamiquement des *modèles*, pour concevoir des *édifices* permettant à l'être humain d'habiter le monde, en mobilisant les connaissances disciplinaires du *domaine* ;
2. *cognitiviste* : en étudiant l'activité cognitive de la projection architecturale, nous partons du principe que les processus cognitifs des concepteurs déterminent fortement les processus de conception de projets d'architectures

1 - Le mot *concepteur* est utilisé ici dans un sens large, il peut désigner une femme ou un homme, mais également une machine dotée d'intelligence artificielle ou toute hybridation entre ces différents êtres.

et que l'architecture – dans ses trois acceptions – n'a d'existence que dans les processus mentaux des concepteurs qui les projettent et dans ceux des êtres humains qui les habitent ;

3. *méta* : certains opérateurs, opérations et opérands sont présents dans tous les processus de conception architecturale, ils sont donc généralisables, synthétisables et susceptibles de produire des savoirs transmissibles.

Du point de vue *processuel*, pour étudier spécifiquement le champ de la conception en architecture et démystifier les processus qui l'animent, il a été établi qu'elle peut être modélisée de manière heuristique² à l'aide d'un modèle théorique – général et spéculatif – de tout processus de conception *visant* l'architecture, en tirant parti de la complémentarité entre la méthode analytique et la pensée holistique (Claeys, 2013), de manière à la fois solide pour répondre aux exigences scientifiques et souple pour être adaptable à n'importe quel processus de conception architectural. La méthode de modélisation graphique utilisée étant la "systémographie" (Le Moigne, 1977, 1990), une visée descriptive menée à partir des outils issus de la théorie des systèmes.

Des édifices architecturaux, des modèles mentaux d'architecture ou des connaissances partagées au sujet de l'architecture ne peuvent y être réduits, seul le processus mental mettant en relation des données associées à ces trois modes d'existence du mot *architecture* – la conception architecturale – peut être considéré comme un processus de résolution de problème tel que défini en psychologie cognitive. Plus précisément, la projection architecturale est une gamme particulière de problèmes – définis comme des "*ill-structured problems*" [problèmes mal structurés] (Simon & Newell, 1958; Simon, 1973), des "*ill-defined problems*" [problèmes mal définis] (Reitman, 1964), voire des "*wicked problems*" [problèmes malicieus] (Rittel & Webber, 1973) – nécessitant des méthodes de résolution spécifiques. En effet, pour produire un projet d'architecture, un concepteur initie et oriente un processus de conception au cours duquel il opère mentalement sur un modèle, à plusieurs reprises, jusqu'à proposer une solution sous la forme d'un projet d'architecture. Parmi d'autres possibles, cette solution n'est pas "*optimal*" [optimale], mais elle est à la fois "*satisfying*" [satisfaisante] et "*sufficing*" [suffisante], si bien qu'elle peut être qualifiée de "*satisficing*" [suffisamment bonne] (Simon, 1947, 1956, 1957, 1959). Elle est établie en fonction de la manière avec laquelle le concepteur évalue subjectivement son seuil de satisfaction, le temps disponible et la complexité du projet³. À défaut d'être linéaire, ce pro-

cessus est plutôt "circulaire", "itératif" et "réflexif", passant alternativement par des phases de "convergence" et de "divergence" avant d'aboutir à une "solution sous-optimale" (Claeys, 2013).

D'un point de vue *cognitivist*, une activité cérébrale émerge du substrat corporel du concepteur. Autrement dit, le concepteur possède, une "pensée énoncée" (Varela, 1988) étendue dans tout le corps, la cognition est "située" et "incarquée", elle est une "émergence" de processus auto-organisés en interactions entre le cerveau, le corps et l'environnement et, enfin, elle est le résultat d'une "co-détermination" obtenue par les interactions répétées entre l'individualité et la collectivité, entre la conscience et le contexte interpersonnel. Le concepteur ne possède pas une pensée rationnelle et infaillible, il souffre de "*bounded rationality*" [rationalité bornée] (Simon, 1957) parce qu'il est immergé dans un environnement générant une grande quantité de *stimuli*, mais son cerveau ne peut pas traiter la totalité de ceux-ci. À défaut de pouvoir être "substantive" dans le cas de la résolution de problèmes complexes, le concepteur possède donc une rationalité "procédurale" – et donc "*bounded*" – émergeant de ses interactions avec l'environnement et adaptative en fonction de l'évolution de l'état du processus (Simon, 1976). Il utilise donc des routines pour prendre la majorité de ses décisions. De plus, le concepteur s'adapte à cette "complexité naturelle" qui excède ses capacités cognitives par "simplexification" (Berthoz, 2009). Il propose des solutions efficaces qui lui permettent de poser des questions autrement et il utilise des principes simplificateurs (sans dénaturer la complexité du réel) pour traiter rapidement les données avant d'agir (en tenant compte des états passés, de l'état présent et en anticipant l'avenir). Ensuite, le concepteur raisonne comme un statisticien (Dehaene, 2012; Claeys, 2017). À partir de l'acquis de ses expériences passées (mouvement de données *descendant* de la mémoire) et des inputs ambigus qu'il interprète (mouvement de données *ascendant* de la perception), il reconstruit une réalité probable. Il déduit de manière dynamique et optimale la probabilité d'un événement à partir de celles d'autres événements déjà évalués et des données captées depuis le corps et l'environnement. Enfin, le filtre de la perception et la coupure du langage mènent l'être humain à donner naissance à un monde imaginaire, "un double du réel co-construit par l'humain – qualifié d'*augmenté* – contre lequel, impertinent, le réel résiste dès qu'il est provoqué" (Claeys, 2013). Affecté de ce "réel augmenté", le concepteur souffre, au minimum, de trois autres limites cognitives interagissantes, correspondant à autant de sources d'incertitude (Claeys, 2015) : l'"incomplétude", du théorème d'incom-

2 - Le modèle est un *raisonnement heuristique* dans le sens où il est construit pour favoriser la découverte d'une théorie à partir de connaissances incomplètes du phénomène étudié – la conception architecturale – de manière à aboutir, dans un temps raisonnable, à des conclusions vraisemblables, bien que sous-optimales (Le Moigne, 1990). Une mise en abîme conceptuelle apparaîtra dans la suite du texte puisque ce modèle théorique général construit avec une heuristique modélisera en son sein un processus au cours duquel le concepteur utilisera, à un autre niveau, des raisonnements heuristiques pour la projection.

3 - En économie, Herbert A. Simon (1947) a montré que face à des choix ou à des buts multiples, l'être humain ne cherche pas toujours à poursuivre un chemin rationnel menant à un "*optimal*" [optimal], mais un chemin "*satisficing*" [suffisamment bon] par rapport à un certain niveau spécifié de tous ses besoins. Autrement dit, la simplification du processus de choix est "le remplacement de l'objectif de *maximisation* par l'objectif de *satisfaction*, c'est-à-dire la recherche d'un plan d'action *suffisant*" (Simon, 1957). Le niveau de satisfaction est évolutif : "Considérons, au lieu d'une seule situation de choix statique, une séquence de telles situations. Le *niveau d'aspiration*, qui définit une alternative satisfaisante, peut changer d'un point à l'autre de cette séquence d'essais. Un principe vague serait que, lorsque l'individu, dans son exploration des alternatives, trouve *facile* de découvrir des alternatives satisfaisantes, son niveau d'aspiration augmente ; lorsqu'il trouve *difficile* de découvrir des alternatives satisfaisantes, son niveau d'aspiration diminue." (Simon, 1957)

plétude de Kurt Gödel (1930), l'"autoréférence", de la théorie des systèmes auto-poïétiques de Humberto R. Maturana et Francisco J. Varela (1972) et l'"indétermination" du théorème d'indétermination de Werner Heisenberg (1927), trois concepts notamment mis en relation par l'outil trialectique (Gigand, 2010).

Du point de vue *méta*, le développement du modèle théorique améliore la compréhension des types et des relations entretenues entre différentes méthodes de raisonnement utilisées par les concepteurs de projets d'architecture, le flux cognitif étant modélisé comme des processus de résolution de problèmes complexes. Le modèle apporte un éclairage utile aux architectes confrontés aux défis contemporains de la "*knowledge society*" (Drucker, 1969), de l'explosion de la datamasse et de la "silicolonisation" (Sadin, 2016) du monde et voulant éviter l'"obsolescence programmée" de leur profession (Claeys, 2021b, 2021c).

Heuristique, algorithmique, métacognition

Avant d'étudier, trois méthodes de raisonnement susceptibles d'intervenir dans les processus de conception architecturale, trois concepts sont définis : *heuristique*, *algorithmique*, *métacognition*.

En fonction du caractère compliqué ou complexe du problème à résoudre, le concepteur utilisera des algorithmes ou des heuristiques : "Si un problème à résoudre est de taille limitée, avec peu d'axiomes et de règles, le système peut en déduire toutes les conclusions possibles de manière mécanique [à l'aide d'un algorithme], mais si la combinatoire s'avère trop complexe, il devient alors impossible d'explorer toutes les possibilités dans un temps raisonnable. Dans ce cas, il faut introduire des heuristiques qui vont écarter des pans entiers de cas possibles, permettant ainsi de se focaliser sur les hypothèses les plus prometteuses." (Sadin, 2018).

D'abord, l'*heuristique* est un mot polysémique signifiant littéralement "ce qui sert à la découverte" (Lalande, 1926; Nadeau, 1999)⁴. Bien que l'usage des heuristiques soit un produit de l'évolution, elles sont utilisées dans la vie quotidienne, en cas de danger imminent, et elles augmentent les chances de survie de l'être humain face aux dangers de l'environnement. Un raisonnement heuristique est une suite d'opérations mentales dont l'enchaînement est devenu simple, parce que ces séquences ont été apprises et répétées. Elles forment un ensemble de règles mentales intuitives qui permettent de prendre des décisions rapides ou d'évaluer un risque.

Les décisions prises sont alors acceptables, mais elles peuvent mener à des erreurs logiques. Les heuristiques permettent l'identification des émotions sur un visage, l'association inédite d'idées ou l'émergence d'élans créatifs. En psychologie cognitive, l'heuristique est une méthode de recherche intuitive et stratégique des faits, fondée sur l'expérience, à partir d'une *working hypothesis* sans chercher à savoir si elle est absolument vraie ou fausse. Elle est adoptée provisoirement, comme idée directrice pour orienter le processus de recherche. Une méthode heuristique tente de résoudre un problème à partir d'une connaissance incomplète de celui-ci, en procédant par approches successives, en éliminant progressivement les alternatives et en ne conservant qu'une gamme restreinte de solutions, tout en visant une hypothétique solution optimale. Les concepts d'*heuristique* (la méthode de recherche) et de *biais cognitif* (la distorsion de sens) doivent être distingués : une *heuristique* est une stratégie cognitive économique et souvent efficace pour la résolution de problèmes complexes, mais dans le cas où elle ne l'est pas, elle engendre une forme de *biais cognitif*.

Ensuite, l'*algorithme* est "une classe finie de règles opératoires propres à un calcul, ce calcul menant de certains types de données à certains types de résultats" (Nadeau, 1999)⁵. Il forme un "mécanisme réglant le fonctionnement de la pensée organisée et s'explicitant par des représentations analogues à celles des mathématiciens". Il propose une solution à un problème sous la forme d'une succession d'opérations logiques à effectuer. Ainsi, l'un des plus connus est l'algorithme d'Euclide permettant la détermination du plus grand commun diviseur entre deux entiers (le plus grand entier divisant les deux entiers en laissant un reste nul). Contrairement à l'heuristique, l'algorithmique est une méthode de recherche logicomathématique efficace pour résoudre des problèmes compliqués reposant sur l'usage d'un ensemble de règles opératoires à la fois logiques et mathématiques, permettant d'aboutir inévitablement à des solutions dans un cadre préétabli. Le processus est même mécanisable à partir du moment où les hypothèses de recherche, le nombre, le type et le format des données sont connus. Contrairement à la pensée heuristique, à partir du moment où une méthode de résolution de problèmes est établie, la pensée algorithmique est totalement mécanisable et computable, elle est directement modélisable par une intelligence naturelle et/ou artificielle.

Enfin, en relation avec les deux méthodes de recherche heuristique et algorithmique, la *métacognition*⁶ est l'activité cognitive non innée du sujet ayant pour objet ses propres processus cognitifs et

4 - Apparus en français au XIX^e siècle, les mots *heuristique* et *eureka* possèdent une même racine. Le verbe grec *heuriskein* (trouver) a donné l'expression *heuristiké tekhné* (art de découvrir) et le mot *euriskó* (je trouve) a également donné le mot *hēwēka* (j'ai trouvé), associé au cri d'Archimède qui "bondit plein de joie hors de la baignoire" (Vitruve, livre IX, introd.10). Par ailleurs, l'effet *eureka* est l'instant euphorique de soudaine compréhension après une phase de tension. Le mot *heuristique* possède plusieurs significations, parmi lesquelles : (1) en histoire, l'heuristique décrit les parties de la méthode (historique) ayant pour objet la recherche exhaustive de documents pour l'établissement de faits historiques ; (2) en pédagogie, l'heuristique est une méthode consistant pour l'enseignant à faire découvrir par l'étudiant ce qu'il tente de lui enseigner ; (3) en informatique, l'heuristique est une méthode de résolution de problème non fondée sur un modèle formel et qui n'aboutit pas nécessairement à une solution optimale.

5 - Au IX^e siècle, le mathématicien arabe Muhammad Ibn Mūsā al-Khwarizmi dit Al-Khwārizmī introduit la numération décimale en mathématiques. Son nom aurait été assimilé au mot grec *arithmos* (nombre) – donnant le mot grec *arithmētiké*, puis le mot latin *arithmetica* et, au XIX^e siècle, le mot français *arithmétique* –, en passant par le mot latin *algorismus*, pour donner les mots français *algorithme* et *algorithme* au XIII^e siècle. Au XIX^e siècle, le mot *algorithmique* apparaît à partir de l'expression italienne *logica algoritmica* (logique algorithmique).

6 - Apparu au XIX^e siècle en français, le mot *métacognition* vient du grec *méta* (sur, à propos) et du latin *cognitio* (action de connaître), dérivé de *cognescere* (prendre connaissance par les yeux ou par ouï-dire).

les produits de celle-ci. Le concept de *métacognition* est attribué au psychologue américain John H. Flavell (1976), lui-même inspiré du concept d' "abstraction réfléchissante" du psychopédagogue suisse Jean Piaget : "Dans tout type de relation cognitive avec l'environnement humain ou non humain, diverses activités de traitement de l'information peuvent se dérouler. La métacognition se réfère, entre autres, à l'évaluation active et à la régulation et à l'organisation conséquentes de ces processus en relation avec les objets ou données cognitifs sur lesquels ils portent, généralement au service d'un but ou d'un objectif concret." (Flavell, 1976) La métacognition est la cognition qui permet d'évaluer, de contrôler et de réguler le fonctionnement des autres cognitions (processus cérébraux et mentaux tels que la perception, la mémoire, la connaissance, le raisonnement, l'apprentissage). Selon Flavell, la métacognition comprend deux parties :

1. le savoir *métacognitif* (ou déclaratif) est la connaissance que nous avons sur nos propres processus cognitifs (limites connues de nos connaissances, les stratégies de raisonnement connues, les savoirs et les croyances stockées dans nos mémoires) ;
2. l'expérience *métacognitive* (ou procédurale) est l'expérience que nous acquérons lors des processus cognitifs (les sensations ressenties en cours de conception, le contrôle des émotions, l'anticipation ou la planification de l'action).

Outre sa manifestation dans l'évaluation de la cognition dans les tâches quotidiennes (apprentissage, jugement...) et sa capacité – dans une certaine mesure – à permettre au concepteur de contrôler ses émotions pour favoriser la tenue de raisonnements rationnels, la métacognition a deux fonctions principales :

1. le *suivi prospectif* ou l'évaluation de sa propre capacité à accomplir une activité mentale avant de la tenter ;
2. le *suivi rétrospectif*, ou l'évaluation de la réussite ou non d'une activité mentale après l'avoir tentée.

Lors de la résolution de problèmes, la métacognition – la cognition de la cognition – est la capacité du concepteur à se représenter le problème et ses propriétés et à décider si une heuristique ou un algorithme est plus pertinent, en tentant d'anticiper les conséquences de ce choix dans la suite du processus.

Trois méthodes de résolution de problèmes

Les trois méthodes de raisonnement dérivées peuvent être liées aux résultats des recherches concernant la résolution de problèmes en psychologie cognitive. À partir d'une approche des stratégies mentales par le traitement de l'information (Bruner, Goodnow, & Austin, 1956; Levine, 1975), le psychologue Jo Godefroid (2001) définit trois grandes méthodes de recherche de solution pouvant être utilisées pour chercher à résoudre un problème et correspondant "à trois options de valeur et de niveau de complexité" :

1. la *méthode de recherche aléatoire* (ou *méthode par essais et erreurs*) consistant à rechercher une solution par essais et erreurs, "en émettant une hypothèse ou une solution au hasard", à vérifier sa validité et, si ce n'est pas le cas, à passer à une autre proposition, et répéter l'opération jusqu'à aboutir à une solution. L'exploration du domaine des solutions est inévitablement incomplète dans le cas d'un problème complexe et aucune optimisation du choix n'est particulièrement recherchée. Si aucune autre méthode ne fonctionne, cette méthode peut être utilisée, mais elle est répétitive, aléatoire et lente ;

2. la *méthode de la recherche systématique* (ou *méthode des algorithmes*) consistant à passer en revue de manière exhaustive et systématique toutes les possibilités existantes de solutions en tenant compte de tous les aspects du problème. À l'image du fonctionnement d'un ordinateur, elle consiste à effectuer toujours la même opération ou appliquer la même règle jusqu'à arriver à une solution. Si le problème est bien défini, la méthode est efficace et infaillible, mais si ce n'est pas le cas, elle consomme beaucoup d'énergie cognitive et de temps ;

3. la *méthode de recherche stratégique* (ou *méthode des heuristiques*) s'appuyant sur la sélection d'heuristiques pour entreprendre une recherche de solution à partir des données les plus susceptibles d'arriver à cette solution. Elle se fonde sur la probabilité de réussite d'une solution donnée. À la croisée de la méthode par essais et erreurs et de celle des algorithmes, cette méthode est moins sûre que la méthode des algorithmes, mais elle est plus intelligente, elle est plus économique en termes d'énergie cognitive et de durée du processus de recherche.

À priori, la méthode de recherche aléatoire n'est pas envisagée par un concepteur orientant de manière structurée un processus de conception architectural⁷. Les méthodes stratégiques et systématiques de résolution de problèmes sollicitent les raisonnements heuristique et algorithmique. La métacognition semble

7 - La méthode de recherche *aléatoire* est largement utilisée par les enfants ayant encore peu d'expérience, mais elle concourt également à l'établissement chez le futur adulte de la capacité à mener des recherches systématiques et stratégiques.

fournir la réflexivité capable d'arbitrer les effets des différentes méthodes de recherche de solutions.

Trois systèmes de pensée

En psychologie cognitive, parmi d'autres, trois processus impliqués dans la capacité à raisonner de l'être humain ont été progressivement établis et mis en relation : le raisonnement logico-mathématique, la stratégie heuristique et la résistance cognitive. En général, les deux premiers sont abusivement distingués en conjecturant sur l'existence hypothétique d'une dichotomie entre un cerveau gauche et un cerveau droit, tandis que le troisième est assimilé à l'effet présumé d'un centre décisionnel situé dans le cortex préfrontal.

La pensée analytique encourage l'établissement de correspondances spatialisées entre des structures neuronales et des fonctions cognitives ce qui mène à la définition d'aires cérébrales, mais aucune réponse définitive n'a été donnée quant à la localisation anatomique et/ou fonctionnelle de la pensée créative en neurosciences. Bien que leurs degrés d'implications dans les fonctions mentales diffèrent, les structures physiologiques des deux hémisphères du cerveau humain sont semblables, ce qui invalide le modèle controversé de l'asymétrie cérébrale⁸. Pourtant le modèle de latéralisation des fonctions cognitives est ancré dans l'*imaginaires collectif* de nombreux concepteurs de projets d'architecture : ils s'imaginent que certains architectes seraient plus *rationnels*, parce qu'ils auraient le cerveau *gauche* plus développé, alors que d'autres seraient plus *créatifs*, parce qu'ils auraient le cerveau *droit* plus développé. Ainsi, en partant de l'hypothèse que la conscience aurait deux façons de percevoir le réel – l'une étant verbale, analytique et séquentielle, et l'autre étant visuelle, perceptive et globale – il serait même possible de *dessiner* pour entraîner activement la partie gauche ou la partie droite d'un cerveau (Edwards, 1979). L'intérêt pédagogique de ce type d'exercices n'est pas remis en cause ici, puisqu'il pousse les dessinateurs à abandonner leurs préconceptions pour porter un regard différent sur les objets qu'ils doivent représenter. Néanmoins, des recherches en neurosciences plus récentes ont clairement infirmé l'hypothèse de la latéralisation de la pensée créative dans un hémisphère plutôt que dans un autre (Dietrich & Kanso, 2010)⁹.

Par contre, l'intensité avec laquelle le cerveau fonctionne semble variable en fonction de la tâche à effectuer. Ainsi, le degré de dilatation des pupilles des yeux prouve que la perception visuelle fonctionne à des vitesses différentes (Hess,

1975). Le cerveau fait varier la taille des pupilles des yeux en fonction de stimulations physiques (par exemple, l'intensité de la lumière), mais également en fonction de stimulations physiologiques (par exemple, le désir sexuel, la peur ou l'attention). L'intensité de la dilatation observée révèle donc les réactions émotionnelles de la personne par un langage non verbal. Par ailleurs, la dilatation augmente lorsque la personne effectue un calcul mental et elle s'intensifie encore lorsqu'elle se concentre sur la résolution d'un problème complexe. Autrement dit, "les pupilles sont des indicateurs sensibles de l'effort mental" (Kahneman, 2011). Bien que d'autres manifestations physiologiques puissent apparaître lors d'efforts mentaux – par exemple, une légère accélération cardiaque ou une sudation plus abondante –, l'effet sur les pupilles est emblématique. En phase avec la surévaluation culturelle de la vue par rapport aux autres sens, une expression populaire construite à partir de la pensée de Cicéron dans *De oratore* (livre III) exprime parfaitement cette idée : "Car si le visage est le miroir de l'âme, les yeux en sont l'interprète".

Liés à la coexistence de modalités physiologiques complémentaires, sans avoir recours à une latéralisation des fonctions ou à l'existence de trois personnages fictifs dans la boîte crânienne, les trois processus forment trois systèmes en interaction dynamique, progressivement définis à partir de travaux tels que ceux de Jean Piaget et Bärbel Inhelder (1947), Daniel Kahneman (2011) et Olivier Houdé (2014a). Nous les décrivons ci-après dans l'ordre chronologique de leur théorisation.

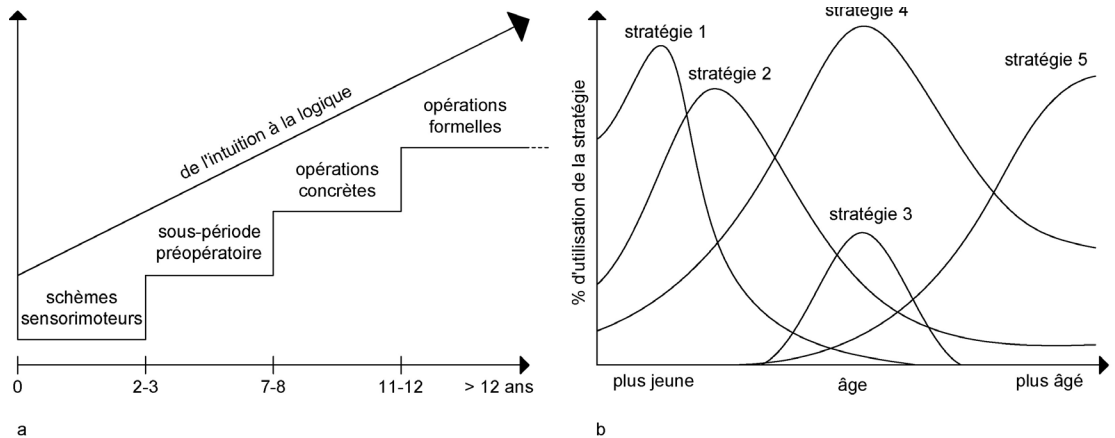
Le raisonnement logico-mathématique

La longue et lente évolution phylogénétique de l'espèce humaine est ponctuée par les différentes évolutions ontogénétiques affectant chaque être humain du début à la fin de la vie. L'ontogenèse de l'individu est un processus animé par une perpétuelle recherche d'équilibre. L'être humain s'adapte continuellement parce qu'il est en relation dynamique avec son environnement physique et social. Après la Seconde Guerre mondiale, le psychopédagogue suisse Jean Piaget et la psychologue suisse Bärbel Inhelder définissent une épistémologie génétique menant à l'émergence du *constructivisme*¹⁰. Il considère l'intelligence comme une structure en adaptation continue parallèlement au processus d'ontogenèse. Selon leur modèle de développement de l'intelligence chez l'enfant, l'être humain est préprogrammé pour intégrer des connaissances dans un ordre donné, à condition que le milieu dans lequel il évolue lui procure les *stimuli* nécessaires

8 - La croyance en l'existence d'une dichotomie entre les cerveaux gauche (langage et raisonnement) et droit (émotion et intuition) caricature les recherches sur l'asymétrie cérébrale qui ont uniquement montré une différence entre les degrés d'implications de chaque hémisphère. L'analyse scientifique rigoureuse de l'activation neuronale par IRM montre qu'une latéralisation des fonctions cognitives est possible, mais qu'il n'existe pas d'individus à cerveau gauche ou à cerveau droit dominant : "un schéma plus cohérent pourrait inclure des connexions dominantes à gauche associées au langage et à la perception des stimuli internes, et des connexions dominantes à droite associées à l'attention pour les stimuli externes" (Nielsen, Zielinski, Ferguson, Lainhart, & Anderson, 2013).

9 - "Dans l'ensemble, la pensée créative ne semble pas dépendre de façon critique d'un seul processus mental ou d'une seule région du cerveau, et elle n'est pas particulièrement associée au cerveau droit, à l'attention défocalisée, à une faible excitation ou à la synchronisation alpha, comme on le suppose parfois. Pour que la créativité puisse être tracée dans le cerveau, elle doit être subdivisée en différents types qui peuvent être associés de manière significative à des processus neurocognitifs spécifiques." (Dietrich & Kanso, 2010)

10 - En épistémologie, le constructivisme, une méthode de pensée, initiée au XX^e siècle, qui considère que toute connaissance vraie du réel est impossible. La connaissance est produite par le sujet connaissant à partir de ses propres interactions avec le réel et celle-ci n'est donc pas le reflet exact du réel lui-même. Cette méthode renonce à l'existence de l'objectivité scientifique et montre que les entités mathématiques n'ont d'existence que si elles peuvent être construites mentalement.



à chaque étape de son développement. L'intelligence n'est donc pas totalement *innée*, elle s'acquiert par l'expérience. Théoriquement, elle se *construit* en passant par plusieurs stades (Inhelder & Piaget, 1955; Piaget & Inhelder, 1966) : "Le développement mental de l'enfant apparaît au total comme une succession de trois grandes constructions dont chacune prolonge la précédente, en la reconstruisant d'abord sur un nouveau plan pour la dépasser ensuite de plus en plus largement. [...] Cette intégration de structures successives dont chacune conduit à la construction de la suivante permet de découper le développement en grandes périodes ou stades et en sous-périodes ou sous-stades" (Piaget & Inhelder, 1966). Ils définissent trois stades principaux, dont le second est lui-même subdivisé en deux sous-stades :

1. stade 1 (de 0 à 2-3 ans) : avec les structures organiques issues de l'embryogenèse et avant d'acquérir la fonction symbolique, l'enfant est au niveau sensorimoteur d'action directe sur le réel, il développe une *intelligence pratique* en construisant expérimentalement des "schèmes sensorimoteurs" et en découvrant le réel par l'action répétée de son corps sur l'environnement. Autrement dit, une succession de *stimulus-réponse* mène à l'assimilation ;
2. stade 2a (de 2-3 à 7-8 ans) : dans cette "sous-période préopératoire", l'enfant développe la capacité à représenter un "signifié quelconque" par un "signifiant différencié et ne servant qu'à cette représentation", il intériorise les schèmes sensorimoteurs en développant la fonction symbolique (langage, imitation différenciée, représentation, jeux symboliques, actes fictifs...);
3. stade 2b (de 7-8 à 11-12 ans) : dans cette "sous-période d'achèvement", l'enfant opère "un passage de la centration subjective en tous les domaines à une décentration à la fois cognitive, sociale et morale", il mène des "opérations concrètes", portant directement sur des objets et non sur des propositions formelles, prenant en compte autrui et en intégrant progressivement la causalité ;
4. stade 3 (de 11-12 ans et plus) : l'enfant restructure les "opérations concrètes"

en les subordonnant à de nouvelles structures, les "opérations formelles" dont "le déploiement se prolongera durant l'adolescence et toute la vie ultérieure", si bien que "le sujet parvient à se dégager du concret et à situer le réel dans un ensemble de transformations possibles", il devient capable de mener des opérations abstraites ainsi que de mener des raisonnements logiques par hypothèses et déductions (hypothético-déductif).

Le processus évolutif décrit par Piaget et Inhelder est régulièrement réduit à une succession linéaire d'étapes figurée par un modèle en escalier, une progression allant des automatismes irrationnels de l'enfance à la réflexivité rationnelle de l'adulte dont l'aboutissement est l'acquisition du raisonnement logicomathématique (figure 1a). Néanmoins, même s'ils insistent sur le fait que – à défaut de fortes variations de l'environnement d'apprentissage – l'ordre de succession des phases est constant, Piaget et Inhelder (1966) insistent également sur le fait que la définition théorique de phases distinctes n'explique pas tout et que chaque phase *intègre* les précédentes sans s'y substituer. Plus encore, ils définissent quatre facteurs généraux influençant de manière non linéaire l'évolution mentale :

1. la croissance organique (maturation des systèmes nerveux et endocriniens) ;
2. l'expérience acquise dans l'action effectuée sur les objets ;
3. l'expérience sociale (interactions et transmissions) ;
4. la finalité interne et subjective de l'apprenant.

Depuis lors, de nombreuses autres modélisations envisagent le développement de l'intelligence à l'aide de modèles dynamiques et non linéaires, à l'image de l'"*overlapping waves theory*" [théorie des vagues superposées] proposée par le psychologue américain Robert S. Siegler (1996, 1999), selon laquelle des stratégies différentes sont utilisées avec des fréquences variées et parfois de manière concomitante, tandis que de nouvelles stratégies apparaissent au cours du temps (figure 1b).

① Deux modèles théoriques de développement cognitif :
 a. Le modèle en escalier organisé par une progression opérée à partir de transitions brutales entre des niveaux des périodes prolongées de réflexion (modèle canonique auquel les recherches de Jean Piaget et Bärbel Inhelder sont abusivement assimilées) ;
 b. L'"*overlapping waves theory*" [théorie des vagues superposées], dynamique et non-linéaire, selon laquelle les stratégies sont variées, parfois concomitantes et certaines peuvent apparaître à tout moment. Adaptation du schéma de Robert S. Siegler (1996, 1999), repris par Olivier Houde (2018, 2019).



S1
raisonnement intuitif
(heuristiques)

vitesse ▲ / fiabilité ▼
fréquence et effort cognitif ▼

ouvert aux *stimuli*
de l'environnement

capable d'identifier
un visage en colère

pupilles rétrécies
par l'action
des bâtonnets
à la périphérie
de l'œil



plutôt dans
l'hémisphère
droit

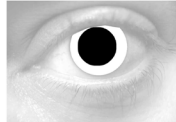
plutôt dans
l'hémisphère
gauche



S2
raisonnement réfléchi
(algorithmes)

fiabilité ▲ / vitesse ▼
fréquence et effort cognitif ▲

pupilles dilatées
par l'action
des cônes
au centre
de l'œil



fermé aux *stimuli*
de l'environnement

capable de calculer
17x24 = ?

② Représentation schématique du modèle de Kahneman (2011). Latéralisation variable des fonctions cognitives d'un individu à l'autre, mais interaction des processus perceptifs à basse (S1 heuristique) et à haute fréquence (S2 algorithmique), respectivement prédominants dans les hémisphères cérébraux droit et gauche.

La stratégie heuristique

Dans les années 1970, les psychologues israéliens Daniel Kahneman et Amos Tversky montrent que : "Le travail mental qui produit les impressions, les intuitions et bien des décisions se déroule en silence dans notre esprit." (Kahneman, 2011). Ils travaillent sur les "raccourcis simplificateurs de la pensée intuitive" en apportant des preuves "du rôle de la méthode heuristique dans la capacité de jugement". À partir d'un article portant sur les concepts d' "heuristique" et de "biais cognitif" (Tversky & Kahneman, 1974), ils ont travaillé sur le thème de la prise de décision dans le monde de la finance, dominée à l'époque par la théorie de l'utilité¹¹, menant à leur "théorie des perspectives" ayant changé la conception de la prise de la décision en économie (Kahneman & Tversky, 1979). Selon la théorie des perspectives, trois caractéristiques de la pensée intuitive jouent un rôle essentiel dans l'évaluation des résultats financiers : le point de référence avant l'évaluation, la modification de la sensibilité aux pertes et aux gains en fonction de la quantité de richesse possédée avant l'évaluation, le taux d'aversion à la perte (Kahneman, 2011). Après la disparition de Tversky, Kahneman a prolongé leurs recherches. À la différence de Piaget, Kahneman (2011) soutient que deux formes de pensées se côtoient pendant toute la vie de l'être humain : il définit un "système 1" (S1) qui "fonctionne automatiquement et rapidement, avec un peu ou pas d'effort et aucune sensation de contrôle délibéré", en l'ajoutant au raisonnement logicomathématique de Piaget qu'il identifie à un "système 2" (S2) et qui "accorde de l'attention aux activités mentales contraignantes qui le nécessitent"¹². Comme l'écrit Kahneman, ces deux systèmes ne correspondent pas à des aires cérébrales distinctes, ils représentent deux "personnages fictifs" construits pour faire comprendre le fonctionnement et les biais cognitifs qui affectent nos prises de décisions. Ce ne sont donc pas de dérisoires homoncules

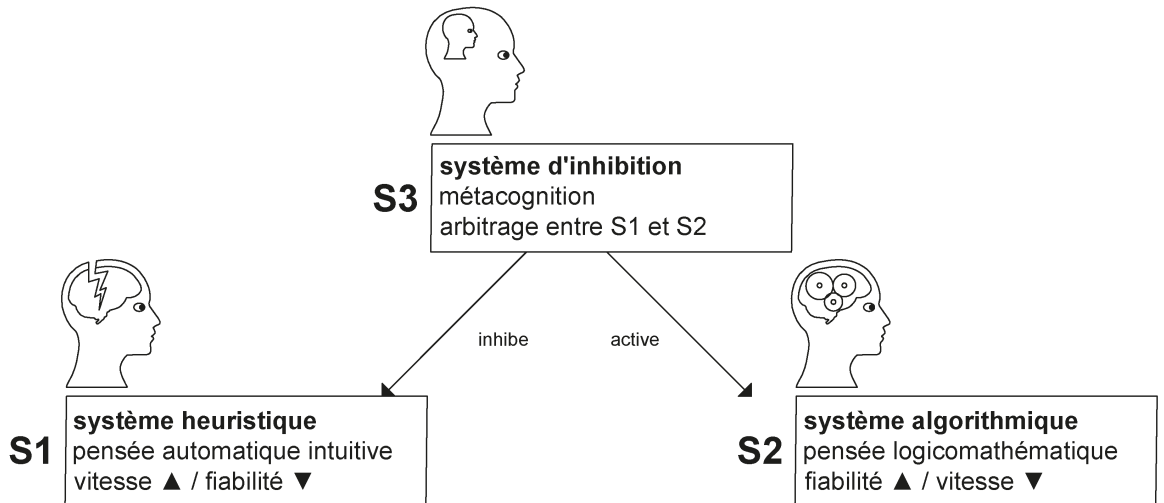
expliquant "les pensées et les actes d'une personne comme s'ils étaient les pensées et les actes de petits personnages dans sa tête". Sous la forme d' "un psychodrame à deux personnages", Kahneman met en scène deux "agents de l'esprit, avec leurs propres personnalités, capacités et limites", pour illustrer deux méthodes de pensée, productrices d'informations que la conscience doit synthétiser (figure 2) :

1. un "système 1" de raisonnement intuitif (S1) utilisant des heuristiques. Il est développé quasi automatiquement par l'apprentissage à partir de l'expérience (lorsqu'un raisonnement est répété, l'effort cognitif diminue et le S1 s'enrichit de nouveaux apprentissages), il est involontaire et émotionnel (les prises de décision intègrent les émotions, mais souffrent de biais cognitifs), il est très rapide, mais peu fiable, puisque le raisonnement est guidé par des jugements et de ses sensations généralement justifiées, mais pas toujours¹³. Ce processus fonctionne plus rapidement à basse fréquence neuronale, il nécessite peu d'effort de concentration (faible mobilisation des ressources neurologiques), il est plutôt actif dans l'hémisphère droit du cerveau et il est très sollicité par la conscience. Il est lié à l'activité des bâtonnets à la périphérie de l'œil (perception globale et nocturne) et, lorsqu'il est activé, il est caractérisé par un rétrécissement des pupilles ;

2. un "système 2" de raisonnement réfléchi (S2) utilisant des algorithmes. Il est développé lentement par l'analyse volontaire et répétée de situations complexes. Il n'est pas intuitif, il est lent, mais très fiable, puisque le raisonnement est guidé par des inférences menées dans le cadre d'un système logique (ce qui ne veut pas dire pour autant qu'il a toujours raison), intervenant dans la résolution de problèmes complexes. Ce processus fonctionne plus lentement à haute fréquence neuronale, il nécessite beaucoup d'efforts de concentration (forte mobilisation des ressources neurologiques), ce qui fait qu'il est peu mobilisé par la conscience. Il est plutôt actif

11 - Au XVIII^e siècle, le mathématicien suisse Daniel Bernoulli a publié le Paradoxe de Saint-Petersbourg (1738) et il a introduit le concept d'*utilité* espérée décrivant le rapport entre le gain et la fortune d'un individu, sans prendre en compte que le raisonnement d'un individu n'est jamais totalement rationnel.

12 - D'autres chercheurs ont forgé l'hypothèse de l'existence d'un double processus. Ainsi, le psychologue américain William James (1890) aurait été le premier à émettre l'hypothèse que nous aurions deux types de pensées. Plus tard, l'économiste américain Herbert A. Simon (1976) distingue rationalité "procédurale" et "substantive". Tandis que dans ses travaux, le psychologue anglais Jonathan St. B. T. Evans (2008) recense les concepts attachés à ce double processus dans la littérature scientifique depuis les années 1980 (automatique/contrôlé, intuitif/analytique, holistique/analytique, empirique/rationnel...). Par ailleurs, Daniel Kahneman (2011) précise qu'il "adopte des termes suggérés à l'origine" par les psychologues Keith E. Stanovich et Richard F. West (2000) : le Système 1 et le Système 2.



dans l'hémisphère gauche du cerveau et il est lié à l'activité des cônes au centre de l'œil (distinction des couleurs et des détails) et, lorsqu'il est activé, caractérisé par une dilatation des pupilles.

Dans toute prise de décision, la conscience implique complémentaiement les deux systèmes de raisonnement, mais avec une pondération variable. La conscience répartit les tâches cognitives entre S1 et S2 pour optimiser sa performance globale dans la résolution des problèmes. À priori, lorsque la conscience peut utiliser une heuristique approximative ou un algorithme exact pour résoudre un problème, elle n'est jamais favorable à l'algorithme. Elle préfère consommer moins de ressources neuronales, en utilisant par défaut les intuitions automatiques du S1 tout en restant attentive aux conditions de l'environnement. Mais si elle n'obtient pas de réponse du S1 ou si une nouvelle information contredit la conception du monde qu'elle entretient, la conscience peut mobiliser le S2 pour analyser plus finement le problème. Le S2 approuve régulièrement le raisonnement vraisemblable du S1 puisque ce dernier "produit sans effort les impressions et les sentiments qui sont les sources principales des convictions explicites et des choix délibérés du système 2" (Kahneman, 2011). Mais si les intuitions de S1 paraissent invraisemblables, le S2 monopolise l'attention en court-circuitant le fonctionnement de S1, si bien que la conscience est moins attentive aux *stimuli* de l'environnement. Le S2 est capable de contrôler la cohérence logique du raisonnement de S1, mais il n'a pas pour autant raison puisque son cadre logique de fonctionnement repose sur un ensemble de règles et d'opérations prédéfinies, progressivement apprises par la conscience.

Avec le temps et la répétition, de nouveaux types de raisonnement peuvent devenir intuitifs. Autrement dit, des algorithmes fréquemment utilisés par le S2 peuvent devenir des heuristiques du S1. De son côté, le S1 crée des associations

intuitives qui génèrent des élans créatifs dont S2 est incapable.

Mais toutes les tâches mobilisant le S2 ne sont pas forcément perçues comme difficiles par la conscience et "le travail cognitif ne suscite pas toujours l'aversion" (Kahneman, 2011). Il faut distinguer la pénible "concentration sur une tâche" du "contrôle délibéré de l'attention". Ainsi, le psychologue hongrois Mihály Csikszentmihályi (1975) décrit l'état de "flow" (flux), une absorption totale dans une tâche procurant un plaisir physique et/ou psychologique connue par certains artistes dans leurs moments créatifs ou lors d'un apprentissage volontaire. Un état de bien-être psychologique profond, de concentration et de motivation, ressenti lorsque la conscience est pleinement engagée dans une activité. D'autres types d'activités automatiques associent également une grande concentration avec un effort mental réduit menant à une perte de conscience du temps qui passe (par exemple, conduire une voiture à très grande vitesse).

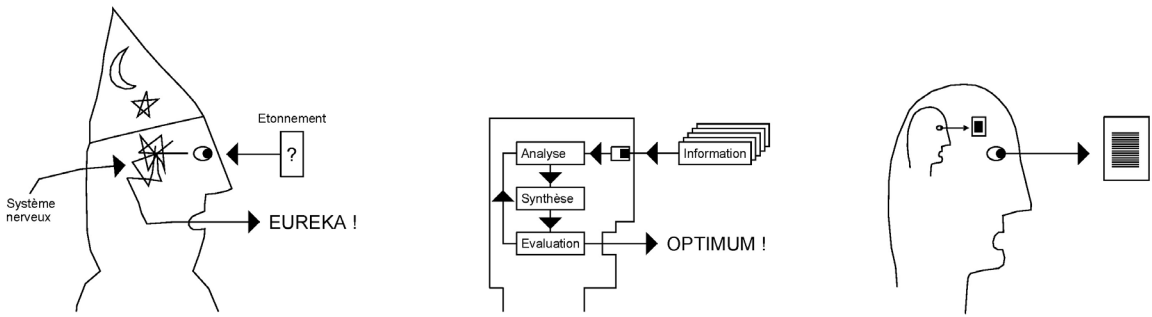
La résistance cognitive

Les deux systèmes de Piaget et Kahneman ont été intégrés par le chercheur en psychologie cognitive français Olivier Houdé (2014a, 2014b, 2018, 2019) dans un modèle plus global, reposant sur l'existence d'un troisième système en interaction dynamique avec les deux précédents. Houdé réexamine la théorie de Piaget à la lumière des méthodes et des outils des neurosciences qui n'étaient pas encore disponibles dans les années 1950 et il reprend les travaux de Kahneman sur le S1 et le S2, là où ce dernier laissait plusieurs questions en suspens : "Que peut-on faire pour éviter les biais ? Comment améliorer les jugements et les décisions, tant les nôtres que ceux des institutions que nous servons et qui nous servent ?" (Kahneman, 2011).

- ③ Théorie des trois systèmes d'Olivier Houdé : système heuristique dominant (S1) de Kahneman, système algorithmique fiable (S2) de Piaget, système d'inhibition (S3) de Houdé capable d'arbitrer S1 et S2 lorsqu'ils entrent en conflit. Adaptation d'après Olivier Houdé (2014a, 2019).

13 - Amos Tversky et Daniel Kahneman (1974) ont mis en évidence plusieurs "biais cognitifs", présents chez la plupart des êtres humains lorsqu'ils utilisent des heuristiques : les biais de *représentativité* (juger de la probabilité qu'un élément appartienne à une catégorie déterminée), de *disponibilité* (attribuer une plus grande probabilité d'occurrence d'un événement dont nous possédons un souvenir marquant d'avoir vécu une situation similaire) et d'*ancrage/ajustement* (juger certains événements à partir d'une valeur initiale servant subjectivement de point de référence).

4



Tout en respectant les qualités des recherches de Piaget, Houdé critique la linéarité de son modèle d'apprentissage. Selon lui, le développement de l'intelligence n'est pas seulement une *assimilation* linéaire des connaissances par *accommodation* successives aux effets de l'environnement, il est également le résultat de la capacité du cortex préfrontal à arbitrer les effets du S1 et du S2 en *activant* ou en *inhibant* les informations qu'ils produisent. Autrement dit, la conscience *inhibe* la pensée heuristique lorsque l'intuition est biaisée et elle *active* la pensée logicomathématique lorsque la conscience est paresseuse. L'être humain possède donc un "système de résistance cognitive" interne, au développement plus lent, capable de penser contre soi-même, de débrancher le pilotage automatique, d'opérer une "métacognition" – de réfléchir sur son propre processus de pensée –, de lutter contre les biais cognitifs et la paresse de sa propre conscience : "Dans certains cas, l'heuristique est tellement rapide qu'elle nous empêche d'être logiques, rationnels. Il faut qu'un troisième système intervienne pour résister aux heuristiques et activer nos algorithmes. C'est l'inhibition. Elle intervient dans toutes les formes de connaissance : de la permanence des objets chez les bébés au raisonnement de l'adulte, en passant par le dénombrement ou encore la classification" (Houdé & Navarre, 2014). L'entraînement de la conscience pour inhiber les automatismes et activer les réflexions est possible dans des situations très concrètes (douter, analyser, trier et ordonner l'information disponible). Dans son modèle comprenant trois systèmes, Houdé définit un "système 3" d'inhibition (S3) ayant pour fonction d'"apprendre à résister à l'intuition" et d'arbitrer les échanges entre la pensée intuitive du S1 (rapide, mais peu fiable) et la pensée réfléchie du S2 (fiable, mais lente)¹⁴. L'intelligence vient d'une capacité cognitive du S3 à inhiber des heuristiques du S1 pour activer des algorithmes du S2. Autrement dit, une capacité à opérer une "résistance cognitive" face aux automatismes (figure 3). Dans un monde contemporain saturé de *data*, le développement d'une résistance cognitive est nécessaire pour acquérir une réflexivité cognitive.

Trois types de raisonnements en conception architecturale

À partir de la définition successive de trois systèmes de raisonnement par Piaget, Kahneman et Houdé, des correspondances peuvent être établies, par analogie, avec trois postures endossables alternativement par des concepteurs des projets d'architecture.

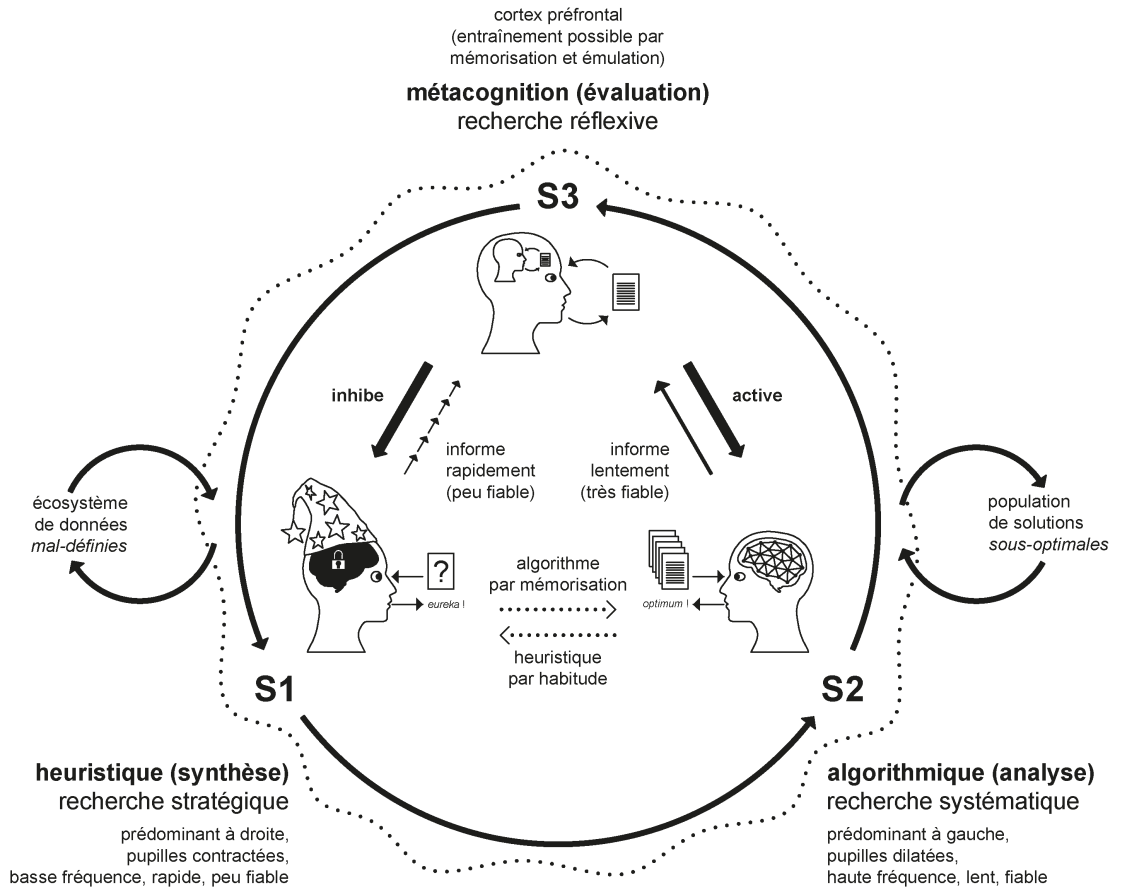
Dans ce cadre, les trois "portraits cybernétiques" créés par le designer britannique J. Christopher Jones (1969) pour conclure le symposium de Portsmouth possèdent une forte puissance évocatrice participant à la construction historique de la figure de l'architecte (Claeys, 2019, 2021a). Ils caricaturent trois postures : l'existentialiste du "*designer as a magician*" [concepteur magicien], la rationaliste du "*designer as a computer*" [le concepteur-ordinateur] et la réflexive du "*designer as a self-organizing system*" [concepteur auto-organisé]. Elles présentent respectivement des similitudes avec les trois systèmes de raisonnement : les stratégies heuristiques, les raisonnements algorithmiques et les retours métacognitifs (figure 4).

Bien qu'un processus mental de conception soit un phénomène conçu de manière unitaire par la conscience, les deux tripartitions – celle des "portraits cybernétiques" et celle des systèmes de raisonnement – sont des découpages théoriques nécessaires pour l'appréhender de manière opératoire. Lorsqu'un processus de conception architecturale est observé, il s'avère qu'un concepteur change cycliquement de posture, jouant alternativement le rôle du magicien inspiré, de l'ordinateur performant ou du penseur réflexif. De la même manière, dans un processus de résolution de problème, le concepteur change de méthode de recherche de solutions au gré des difficultés et des opportunités rencontrées, ou en fonction des changements d'orientation affectant ce processus. Si bien que pour restituer la dimension unitaire du phénomène, les éléments de cette double partition doivent être modélisés en interaction constante et de manière *circulaire* (figure 5).

Bien que tout processus de conception soit différent, une boucle *privilegiée* par les concepteurs apparaît : de la stratégie heuristique au début du processus

4 "Design as a magician", "Design as a computer" et "Design as a self-organizing system". Redessinés d'après les trois caricatures originales de J. Christopher Jones (1969, p. 193-197). Des correspondances existent entre ces trois portraits et trois systèmes de raisonnements (heuristique, algorithmique, métacognition).

14- Le "système 3" viendrait de l'activation du cortex préfrontal – siège du contrôle cognitif – qui gère les inhibitions et qui aurait le rôle de régulateur de l'intelligence. Contrairement aux deux premiers systèmes qui se développeraient en parallèle dès la naissance, le système inhibiteur serait la région du cerveau qui se développerait la plus tardivement et la plus lentement : l'être humain doit *apprendre* à activer son S3.



de conception lors de la prise de parti synthétique (esquisses rapides, grandes idées génératrices du projet, intentions globales), au raisonnement algorithmique lors de la formalisation analytique du projet (lentes décompositions en projection orthogonale, dessins à l'échelle et détails techniques), jusqu'à l'évaluation critique du projet conçu menant à un retour sur les hypothèses prises au départ. La succession habituelle des phases d'analyse, de synthèse et d'évaluation – présente dans la boucle traditionnelle des modèles de *design thinking*, initiée en ingénierie (Asimow, 1962) – semble différente en conception architecturale, puisque la phase de synthèse passe avant celle d'analyse, dans la mesure où une préanalyse des données a été effectuée au départ, avant d'amorcer un raisonnement abductif.

Dans le cas *particulier* de la conception architecturale, la pro jet tation est menée entre un écosystème de données "mal définies" (Reitman, 1964) et une population de solutions "sous-optimales" (Simon, 1947), ce qui ne permet pas l'usage unique d'algorithmes. En ne prenant pas en compte la *méthode par essais et erreurs* caractérisée par l'absence de méthode structurée de pro jet tation, le concepteur utilise alternativement les trois systèmes de raisonnement dans une boucle cognitive :

1. le concepteur magicien mobilise le S1 en engageant une méthode de recherche *stratégique* (des *heuristiques*), pour aider efficacement à la découverte de solutions à un problème déterminé ou pour prendre des décisions quand un problème est *mal défini* et que le temps disponible est trop réduit. En adoptant une hypothèse provisoire comme idée directrice parce qu'elle est vraisemblable, indépendamment de sa vérité absolue, en hiérarchisant et en sélectionnant les informations disponibles, le concepteur cherche une solution à partir des aspects les plus susceptibles de l'atteindre, à partir de la probabilité estimée que la solution choisie puisse résoudre de manière sous-optimale le problème complexe. Cette méthode est efficace pour donner une cohérence d'ensemble au projet considéré comme un tout. La méthode stratégique est une démarche plus existentialiste tendant à considérer la conception comme un acte uniquement créatif, partiellement impénétrable et biaisé cognitivement ;
2. le concepteur ordinateur utilise le S2 en adoptant une méthode de recherche *systématique* avec un procédé *algorithmique*. À priori cette méthode est difficile à utiliser seule dans le cas de la conception d'un projet d'architecture étant *mal défini*, le concepteur se trouve devant l'impossibilité de circonscrire le nombre d'itérations à opérer. Par contre, il bénéficie pleinement de l'efficacité de cette méthode lors de tentatives de

⑤ Mise en relation circulaire de trois systèmes de raisonnement en conception architecturale (stratégies heuristiques, raisonnements algorithmiques, retours métacognitifs) associés respectivement à trois portraits de concepteurs (concepteur-magicien, concepteur-ordinateur, concepteur auto-organisé).

résolutions de sous-problèmes, pour développer des parties du projet d'architecture. La méthode systématique est une analyse dite *rationnelle* tendant à rendre le processus de conception totalement intelligible au prix d'une réduction *algorithmique* des projets à concevoir ; 3. le concepteur auto-organisé recourt au S3 lorsqu'il opère un retour métacognitif, une évaluation du projet en cours et de la cohérence des méthodes de recherche lancées. Il arbitre des solutions parfois contradictoires résultantes des tentatives de recherche menées à l'aide d'heuristiques et d'algorithmes, pour les recontextualiser à différents niveaux de lecture (personnel, éthique, politique, symbolique...). La métacognition peut être entraînée de différentes manières : par la référence régulière à des projets de références ou conçus précédemment (mémorisation) et par l'émulation cognitive (co-conception ou mentorat).

Pour conclure, la mise en relation circulaire de trois systèmes de raisonnement est prometteuse du point de vue de la définition des trois polarités de la boucle, mais un travail de recherche conséquent devra encore être mené pour décrire ce que recouvrent les relations dynamiques (inhibition, activation, mémorisation...) entre les opérations cognitives menées en conception architecturale (heuristique, algorithmique, métacognition). ■

Médiagraphie

- Asimow, M. (1962). *An Introduction to Design*. Hoboken, NJ: Prentice-Hall.
- Bernoulli, D. (1738). Specimen theoriae novae de mensura sortis. In *Commentarii*. Académie impériale des sciences de Saint-Petersbourg.
- Berthoz, A. (2009). *La simplicité*. Paris : Odile Jacob.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J., & Austin, G. A. (1956). *A Study of Thinking*. New York, NY: John Wiley & Sons. doi:10.4324/9781315083223
- Cicéron. (1930). *De l'Orateur : livre III* (E. Courbaud & H. Bornecque, Trad.). Paris : les Belles Lettres. [De oratore, 1^{er} siècle avant J.-C.]
- Claeys, D. (2013). *Architecture et complexité : un modèle systémique du processus de (co)conception qui vise l'architecture*. Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain.
- Claeys, D. (2015). Concevoir un projet d'architecture : calmer les certitudes, gérer l'incertitude. *Lieuxdits*, 9, 20–23. doi:10.14428/ldvi9.22933
- Claeys, D. (2017). De l'interprétation créative du réel au processus bayésien de conception architecturale. *Acta Europæana Systemica*, 7, 65–80. doi:10.14428/aesv7i1.56643
- Claeys, D. (2019). Trois figures architecturales post 1969 : les concepteurs immergé, externalisé et en réseau. *Lieuxdits*, 17, 25–35. doi:10.14428/ldvi17.52423
- Claeys, D. (2021a). Construction historique de la figure de l'architecte : mythe analogique et fiction numérique. Dans D. Claeys (dir.), *Anticrise architecturale : analyse d'une discipline immergée dans un monde numérique* (pp. 249–272). Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain.
- Claeys, D. (2021b). D'une crise de légitimité à la potentialité d'une anticrise. Dans D. Claeys (dir.), *Anticrise architecturale : analyse d'une discipline immergée dans un monde numérique* (pp. 11–20). Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain.
- Claeys, D. (2021c). Entre cogitation et computation : comment déjouer l'obsolescence programmée de l'architecte ? Dans D. Claeys (dir.), *Anticrise architecturale : analyse d'une discipline immergée dans un monde numérique* (pp. 157–176). Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain.
- Csikszentmihályi, M. (1975). *Beyond Boredom and Anxiety. The Experience of Play in Work and Games*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- Dehaene, S. (2012). Le cerveau statisticien : la révolution bayésienne en sciences cognitives. *Chaire de Psychologie cognitive et expérimentale*. Présenté à Cycle de cours 2011-2012 au Collège de France.
- Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological Bulletin*, 136(5), 822–848. doi:10.1037/a0019749
- Drucker, P. (1969). *The Age of Discontinuity. Guidelines to Our Changing Society*. New York, NY: Harper and Row.
- Edwards, B. (1979). *Drawing on the Right Side of the Brain. A Course in Enhancing Creativity and Artistic Confidence*. Los Angeles, CA: Tarcher.
- Evans, J. St. B. T. (2008). Dual-processing accounts of reasoning, judgment, and social cognition. *Annual Review of Psychology*, 59, 255–278. doi:10.1146/annurevpsych.59.103006.093629
- Flavell, J. H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. In L. B. Resnick (Ed.), *The Nature of Intelligence* (pp. 231–235). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gigand, G. (2010). *Se cultiver en complexité : la trialectique, un outil transdisciplinaire*. Lyon : Chronique sociale.
- Godefroid, J. (2001). *Psychologie : science humaine et science cognitive*. Bruxelles : De Boeck université.
- Gödel, K. (1930). Einige metamathematische Resultate über Entscheidungsdefinitheit und Widerspruchsfreiheit. In *Anzeiger der Akademie der Wissenschaften* (pp. 214–215). Vienna.

- Heisenberg, W. (1927). Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik*, 43(3), 172–198. doi:10.1007/BF01397280
- Hess, E. H. (1975). The role of pupil size in communication. *Scientific American*, 233(5), 110–119. doi:10.1038/scientificamerican1175-110
- Houdé, O. (2014a). *Apprendre à résister : pour l'école, contre la terreur*. Paris : Le Pommier.
- Houdé, O. (2014b). *Le raisonnement*. Paris : Presses universitaires de France.
- Houdé, O. (2018). *L'école du cerveau : de Montessori, Freinet et Piaget aux sciences cognitives*. Bruxelles : Mardaga.
- Houdé, O. (2019). *3-System Theory of the Cognitive Brain. A Post-Piagetian Approach to Cognitive Development*. London ; New York : Routledge, Taylor & Francis Group.
- Houdé, O., & Navarre, M. (2014). Réfléchir, c'est résister à soi-même : interview d'Olivier Houdé. *Sciences Humaines*, 265.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1955). *De la logique de l'enfant à la logique de l'adolescent : essai sur la construction des structures opératoires formelles*. Presses universitaires de France.
- James, W. (1890). *The Principles of Psychology* (Vol. 1–2). New York, NY : Henry Holt and Company.
- Jones, J. C. (1969). The state-of-the-art in design methods. In G. H. Broadbent & A. Ward (Eds.), *Design Methods in Architecture* (pp. 193–197). London: AA papers.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, Fast and Slow*. New York, NY: Farrar, Straus and Giroux.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2), 263–291. doi:10.2307/1914185
- Lalande, A. (dir.). (1926). *Vocabulaire technique et critique de la philosophie*. Paris : Presses universitaires de France.
- Le Moigne, J.-L. (1977). *La théorie du système général : théorie de la modélisation*. Paris : Presses universitaires de France.
- Le Moigne, J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*. Paris : Dunod.
- Levine, M. J. (1975). *A Cognitive Theory of Learning: Research on Hypothesis Testing*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Maturana, H. R., & Varela, F. J. (1972). *De máquinas y seres vivos. Autopoesis: La organización de lo vivo*. Santiago: Editorial Universitaria.
- Nadeau, R. (1999). *Vocabulaire technique et analytique de l'épistémologie*. Paris : Presses universitaires de France.
- Nielsen, J. A., Zielinski, B. A., Ferguson, M. A., Lainhart, J. E., & Anderson, J. S. (2013). An evaluation of the left-brain vs. right-brain hypothesis with resting state functional connectivity magnetic resonance imaging. *PLoS One*, 8(8), e71275. doi:10.1371/journal.pone.0071275
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1947). *La représentation de l'espace chez l'enfant*. Paris : Presses universitaires de France.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Paris : Presses universitaires de France.
- Reitman, W. R. (1964). Heuristic decision procedures. Open constraints and the structure of ill-defined problems. In M. W. Shelley & G. L. Bryan (Eds.), *Human Judgments and Optimality* (pp. 282–315). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Planning problems are wicked problems. In N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology* (pp. 135–144). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Sadin, É. (2016). *La silicolonisation du monde : l'irrésistible expansion du libéralisme numérique*. Montreuil : L'échappée.
- Sadin, É. (2018). *L'intelligence artificielle, ou, L'enjeu du siècle : anatomie d'un antibumanisme radical*. Montreuil : L'échappée.
- Siegler, R. S. (1996). *Emerging Minds. The Process of Change in Children's Thinking*. New York, NY: Oxford University Press.
- Siegler, R. S. (1999). Strategic development. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(11), 430–435. doi:10.1016/s1364-6613(99)01372-8
- Simon, H. A. (1947). *Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organization*. New York, NY : Macmillan.
- Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63(2), 129–138. doi:10.1037/h0042769
- Simon, H. A. (1957). *Models of Man, Social and Rational. Mathematical Essays on Rational Human Behavior in a Social Setting*. New York: Wiley.
- Simon, H. A. (1959). Theories of decision-making in economics and behavioral science. *The American Economic Review*, 49(3), 253–283.
- Simon, H. A. (1973). The structure of ill-structured problems. In N. Cross (Ed.), *Developments in Design Methodology* (pp. 145–166). Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Simon, H. A. (1976). From substantive to procedural rationality. In S. J. Latsis (Ed.), *Method and Appraisal in Economics* (pp. 129–148). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9780511572203
- Simon, H. A., & Newell, A. (1958). Heuristic problem solving. The next advance in operations research. *Operations Research*, 6(1), 1–10. doi:10.1287/opre.6.1.1
- Stanovich, K. E., & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning. Implications for the rationality debate? *Behavioral and Brain Sciences*, 23(5), 645–665. doi:10.1017/S0140525X00003435
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty. Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124–1131.
- Varela, F. J. (1988). *Invitation aux sciences cognitives* (P. Lavoie, Trad.). Paris : Seuil.
- Vitruve. (2015). *De l'architecture* (P. Gros, Trad.). Paris : Les Belles Lettres. [De architectura, 1^{er} siècle avant J.-C.]