

# L'intuition mathématique

*Histoire, enjeux et perspectives*

I. *L'individu*

---

Salim Lardjane

LMBA, UBS

# Enjeux

---

- Créativité mathématique
- Processus de l'invention mathématique
- Compréhension de l'esprit humain
- Conception de machines qui puissent découvrir des vérités mathématiques
- Conception de machines qui puissent raisonner comme des être humains et donc prévoir le résultat de raisonnements humains

# Quelques citations

---

- Léonard de Vinci (1452-1519) : « toute connaissance commence par un sentiment »
- Henri Poincaré (1854-1912) : « c'est par l'intuition qu'on trouve, c'est par la logique qu'on prouve »
- Gaston Bachelard (1884-1962): « Une intuition ne se prouve pas, elle s'expérimente »

# Les 5 étapes de l'invention mathématique selon Jacques Hadamard (1865-1963)

---

- **Préparation** : travail conscient initial
- **Incubation** : Rôle de l'inconscient
- **Illumination** : Poincaré, Helmholtz, Gauss, Hadamard, entre autres, relatent des expériences personnelles d'illumination, c'est-à-dire d'apparition subite de la solution à un problème dans leur esprit.

# Les 5 étapes de l'invention mathématique

---

- **Vérification** : il peut arriver que le sentiment d'absolue certitude qui accompagne l'illumination trompe le mathématicien. Il faut vérifier s'il correspond à la réalité par l'intervention de la raison (consciente).
- **Finition** : exposé précis des résultats.
- L'incubation et l'illumination définissent le champ de l'intuition mathématique.

# L'inconscient selon Hadamard

---

- L'inconscient est multiple.
- Il intervient dans toutes les opérations de l'esprit.
- « A première vue, les idées de sont jamais dans un état plus positivement conscient que quand nous les exprimons par la parole. Cependant, quand je prononce une phrase, où est la suivante ? Certainement pas dans mon domaine conscient qui est occupé par la phrase numéro un »
- Partie superficielle de l'inconscient appelée « préconscient » par Freud.

# L'inconscient selon Hadamard

---

- Le préconscient est accessible à l'introspection.
- Il existe des couches plus profondes.
- Une couche plus profonde intervient dans l'écriture automatique.
- Une couche encore plus profonde dans l'illumination.
- Il y a une *continuité* entre la pleine conscience et les niveaux de plus en plus cachés de l'inconscient.
- J'éviterai d'utiliser le terme « subconscient », qui reste polémique (voir page Wikipédia sur le sujet).

# Le rôle de l'inconscient selon Poincaré

---

- La découverte mathématique (ou autre) se produit par *combinaison d'idées*.
- Il existe un très grand nombre de telles combinaisons, la plupart sans intérêt.
- Quelles sont celles que notre esprit conscient perçoit ?
- Uniquement celles qui sont fécondes ou pourraient le devenir.
- Pour les trouver, est nécessaire de construire les combinaisons possibles parmi lesquelles il faut sélectionner les combinaisons utiles.



# Le rôle de l'inconscient selon Poincaré

---

- Poincaré : « inventer, c'est choisir »
- Paul Valéry (1871-1945) : « Il faut être deux pour inventer. L'un forme les combinaisons, l'autre choisit, reconnaît ce qu'il désire, et ce qui lui importe dans l'ensemble des produits du premier »
- Comment ce choix peut-il se faire ?
- Poincaré : « les phénomènes inconscients privilégiés, ceux qui sont susceptibles de devenir conscients, ce sont qui, directement ou indirectement, affectent le plus profondément notre sensibilité »
- En particulier, le sentiment *esthétique* du mathématicien.

# Le rôle de l'inconscient selon Poincaré

---

- Pour Poincaré, l'inconscient a ainsi une double tâche :
  - *Édifier les différentes combinaisons d'idées*
  - *Choisir celles qui satisfont notre sens de la beauté et qui ont donc des chances d'être utiles.*

# Importance du stade préparatoire

---

- Comment le conscient et l'inconscient coopèrent-ils dans l'invention mathématique ?
- Travail conscient en tant que préparation.
- Le travail inconscient n'est pas un « effet sans cause » (Hadamard)
- L'illumination suit une période de travail délibéré qui paraît de prime abord infructueuse.
- Cette période de travail met en branle la « machine inconsciente » et, sans eux, elle n'aurait pas marché et elle n'aurait rien produit (Hadamard).

# Importance du stade préparatoire

---

- Analogie de Poincaré : les futurs éléments de nos combinaisons sont « quelque chose de semblable aux atomes crochus d'Epicure. Pendant le repos complet de l'esprit, ces atomes sont immobiles, ils sont pour ainsi dire accrochés au mur »
- Le travail préparatoire les met en mouvement et « après cette agitation qui leur a été imposée par notre volonté, ces atomes ne restent pas dans leur repos primitif. Ils continuent librement leur danse » (dans l'inconscient)
- Ils subissent alors des chocs et forment des combinaisons : « dans ces résultats indirects de notre travail conscient initial se trouvent les possibilités d'une inspiration qui paraît spontanée »

# Importance du stade préparatoire

---

- La plupart des combinaisons sont inintéressantes mais : « les rares rencontres qui sont utiles, étant d'une nature exceptionnelle et se produisant entre des idées qui semblent très éloignées, seront probablement les plus importantes » (Hadamard)
- Paul Souriau (1852-1926) : « Pour inventer, il faut penser à côté »

# Conclusion de l'approche historique

---

- A l'époque de Poincaré, on pensait que l'inconscient était « automatique » du fait qu'il n'était pas soumis à l'action directe de la volonté et qu'il est soustrait à notre connaissance.
- Les observations de Hadamard et de Poincaré montrent qu'ils n'est pas « purement automatique », qu'il est capable de discernement, qu'il sait choisir et deviner.
- Poincaré : « en un mot, le moi subliminal n'est-il pas supérieur au moi conscient ? »

# Conclusion de l'approche historique

---

- Hadamard ne trouve pas de sens à cette question.
- Hadamard : « la jambe droite n'est pas ... supérieure à la jambe gauche ; elles coopèrent dans la marche. C'est ce que font le conscient et l'inconscient. »
- *Ces conclusions, basées sur l'introspection, sont-elles corroborées par les travaux des psychologues ?*

# Critique de l'approche historique

---

- L'intuition (et l'invention mathématique) est vue comme quelque chose de personnel, de propre à chacun
- Néglige l'aspect social, interpersonnel, de l'invention
- *Je conserverai ce point de vue dans cet exposé.*



# Critique de l'approche historique

---

- Hadamard : « je ne m'aventurerais point à parler des influences sociales et historiques qui agissent certainement sur l'invention comme sur tout le reste. Je ne sais pas grand chose du mécanisme de cette influence ; et il est douteux que qui que ce soit le connaisse »
- Hadamard : « Les influences sociales gouvernent le progrès mathématique de la même manière inconsciente et assez mystérieuse qu'elles gouvernent le développement littéraire et artistique »
- *Elles seront l'objet du prochain exposé.*

# Objet de la suite de l'exposé

---

- *Confronter la théorie de Poincaré et Hadamard aux théories psychanalytiques et psychologiques sur le fonctionnement de l'esprit humain, en particulier de l'inconscient, et évaluer sa pertinence au regard des découvertes récentes.*

# Théorie freudienne de l'esprit

---

- Dans son essai de 1915 « L'inconscient », Sigmund Freud (1856-1939), identifie les caractères suivants de l'inconscient :
- Il peut être *contradictoire* : des sentiments ou souhaits opposés peuvent y coexister. Ainsi, il est possible d'aimer et de haïr la même chose au même moment.
- Les pensées ou les émotions réprimées dans l'inconscient peuvent réintégrer le conscient sous une forme ou une autre.
- L'inconscient est *intemporel* ; son contenu n'a pas d'ordre chronologique, la relation de cause à effet peut ne pas être respectée.

# Théorie freudienne de l'esprit

---

- Chez les personnes atteintes de troubles mentaux, il peut se projeter dans le conscient et remplacer la réalité physique par des réalités psychiques comme des rêves, des fantasmes et des symboles.
- Sur la base d'une meilleure compréhension de l'inconscient, Freud développa une théorie globale de l'esprit permettant, en particulier, de souligner la relation entre le conscient et l'inconscient.
- Dans le cadre de cette théorie, l'esprit peut être représenté par un iceberg dont la partie émergée est l'esprit conscient et la partie immergée l'inconscient.

# Théorie freudienne de l'esprit

---

- La théorie introduit le concept de *préconscient* : celui-ci se situe entre conscient et inconscient ; c'est la partie de l'esprit dont le contenu est inconscient mais non réprimé et qui peut être facilement amené à la conscience.
- Notons que Freud ne pensait pas que le conscient, le préconscient et l'inconscient correspondaient à des zones du cerveau mais les voyaient comme un modèle mental.
- La métaphore de l'iceberg permet de souligner que la plus grande partie de l'esprit est inconsciente.

# Théorie freudienne de l'esprit

---

- In fine, Freud mit au point un modèle abouti de l'esprit, connu sous le nom de *modèle structurel*, composé des concepts de « ça » (id), de « moi » (ego) et de « surmoi » (superego).
- Le *ça*, qui est inné et réside dans l'inconscient, contient les pulsions fondamentales des êtres humains. C'est une source de la « libido » ou « énergie psychique » et agit selon le principe de plaisir (recherche de la gratification immédiate des désirs et envies).
- Le *moi* réside dans le conscient mais également partiellement dans le préconscient et l'inconscient. Influencé par le principe de réalité (qui permet de contrôler la recherche de gratification immédiate), il vise à rediriger les pulsions du *ça* considérées comme inacceptables.

# Théorie freudienne de l'esprit

---

- Le *surmoi* est en grande partie inconscient mais se trouve partiellement dans le conscient et le préconscient. Il agit comme une sorte de conscience (au sens moral), selon le principe de réalité, aspirant à se conformer aux normes sociales mais aussi aux ambitions du moi et a donc une fonction régulatrice vis-à-vis des pulsions du ça.
- Ajoutons que, selon Freud, l'esprit est un système fermé dans lequel l'énergie psychique (la libido) est constante et que l'examen de son « flot » permet de comprendre les éventuels déséquilibres entre le conscient et l'inconscient.

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Carl Gustav Jung (1875-1961) a été pour un temps un des disciples les plus proches de Freud.
- Il souscrivait au début aux théories de Freud mais s'en est par la suite détaché.
- En particulier (ce qui nous intéresse particulièrement) il considérait que la vision que Freud avait de l'inconscient était incomplète.
- Alors que Freud le voyait comme le réceptacle des émotions et désirs rejetés par le conscient, Jung y distinguait deux parties distincts : une partie collective et une partie individuelle – et considérait que l'inconscient jouait un rôle plus actif dans l'esprit que ce que proposait Freud.



# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Il considérait également que les modèles de l'esprit proposés par Freud étaient arbitraires et simplistes.
- Jung développa sa propre théorie : tout en acceptant la division de l'esprit entre conscient et inconscient (en interaction) il identifia des dimensions supplémentaires de l'esprit : le **personnel** et le **collectif**.
- Selon Jung, alors que le « conscient personnel » est propre à chaque individu, le « conscient collectif » est une sorte d'opinion publique, une fermentation des valeurs culturelles et morales de la « personne moyenne » en un ensemble de croyances sociétales, de normes, d'attitudes et d'orientations politiques dominantes.

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Les valeurs présentes dans le conscient collectif tendent à être partagées par la grande majorité des individus du groupe, ces valeurs partagées remplaçant et réprimant toutes les croyances ou valeurs personnelles en conflit avec elles.
- Pour Jung, l'inconscient personnel contient des souvenirs enfouis, les idées douloureuses qui sont réprimées (i.e. oubliées à dessein), des perceptions subliminales et des contenus qui ne sont pas encore mûrs pour devenir conscients.
- Ainsi, les contenus de l'inconscient personnel sont propres à chaque individu comme ceux du conscient personnel.

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- La définition de l'inconscient personnel selon Jung est proche de la vision qu'a Freud de l'inconscient.
- Toutefois, Jung parvint à la conclusion que quelque chose manquait dans la théorie de Freud et ses recherches sur la Schizophrénie l'ont amené à remettre en question l'idée que l'esprit humain se développait à partir d'une *tabula rasa* à la naissance.
- Il émit l'hypothèse que des formes *innées* et *universelles* existent dans l'inconscient – séparément de l'inconscient personnel – et que ces formes peuvent influencer la pensée et le comportement. Il parvint ainsi au concept *d'inconscient collectif*.

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Jung étudia ses rêves et ceux de ses patients et passa en revue différents mythes et saga et cela devint sa principale porte d'accès à l'étude de l'inconscient.
- Il identifia des formes et des thèmes récurrents qui semblaient exister collectivement indépendamment de l'époque, de la culture ou de la géographie : *les archétypes*.
- Ces archétypes consistent en représentations d'événements typiques de la vie comme la naissance et la mort ; de personnages comme le père et la mère ; d'objets comme le soleil et le feu ; auxquels toute collectivité humaine se rattache, ces représentations ayant une signification *symbolique* autant que *factuelle*.

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Jung pensait que les archétypes sont *hérités* avec la structure du cerveau et donc qu'ils sont génétiquement codés.
- Il les voyait comme faisant partie intégrante de l'être humain depuis son origine, façonnés par l'évolution et représentant l'histoire collective de l'espèce humaine comme produit d'expériences constamment répétées.
- Il s'y référait comme « le vieil homme de 2 millions d'années présent en chacun de nous ».

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Selon Jung, ces archétype sont généralement « dormants » dans l'inconscient collectif en ce sens qu'ils n'influencent pas activement les pensées et les comportements.
- Mais, en présence d'un catalyseur (une émotion ou un événement survenant dans la réalité consciente) créant une impulsion psychologique suffisamment forte, un archétype lié d'une façon ou d'une autre à ce catalyseur se réveille et commence à stimuler le conscient et à altérer les perceptions.
- Des « images archétypales » commencent à apparaître, usuellement sous la forme de symboles au sein de visions, de rêves, d'expressions verbales ou d'autres formes d'expression.

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Ces images archétypales finissent par affecter la pensée consciente et génèrent un contexte mental dans lequel les actions susceptibles d'être entreprises sont différentes de celles qui seraient prises sans leur influence, afin de rétablir l'équilibre psychologique et réduire la vraisemblance de névrose (trouble psychique dans lequel le sujet est conscient de sa souffrance et s'en plaint).
- En d'autres termes, ces forces psychologiques fonctionnent comme des instincts, étant déclenchées par certaines situations.
- Ils s'en distinguent par leur aspect moins contraignant.

# Théorie jungienne de l'esprit

---

- Selon Jung, les archétypes résidant dans l'inconscient, nous ne sommes ni conscients de leur existence ni de leur influence sur nos perceptions.
- Il agissent comme une force magnétique invisible attirant des objets dans leur direction.
- Même lorsqu'ils sont activés, affectant notre comportement et la façon dont nous percevons la réalité, ils restent mystérieux.
- Cependant, ils peuvent être détectés via l'observation des traces qu'ils laissent : les images archétypales.



# Théorie jungienne de l'esprit

---

- On peut *inférer* l'existence des archétypes à partir de l'apparition d'images archétypales dans le conscient.
- Ainsi, pour Jung, les archétypes ne peuvent être représentés en eux-mêmes mais leurs effets sont discernables dans les images et motifs archétypaux.
- Ils se présentent comme des idées ou des images, comme tout ce qui parvient à la conscience.
- Enfin, ils sont en nombre fini.

# La théorie du processus dual

---

- Les théories de Freud et Jung passèrent de mode dans le milieu scientifique car elles n'étaient pas justifiées par des données expérimentales suffisamment probantes, étant basées essentiellement sur des études de cas.
- La théorie dominante actuellement est celle du *processus dual*.
- Celle-ci suppose que l'esprit humain consiste en deux parties distinctes qui interagissent en tandem et forment une structure holistique.

# La théorie du processus dual

---

- Ces deux parties sont :
  - *Un système associatif qui provient de l'inconscient*
  - *Un système logique conscient*
- Première référence : William James (1842-1910) (... on apprend dans le livre de Hadamard que Poincaré était ami avec un ami de William James...)
- Livre relativement récent : Daniel Kahneman - Thinking, Fast and Slow (2012)

# La théorie du processus dual

---

Système Associatif	Système Logique
Inconscient Implicite Automatique Regroupe les perceptions par catégories Capacité de calcul importante – indépendante de la mémoire de travail Rapide Hémisphère droit du cerveau	Conscient Explicite Intentionnel Conséquentiel : relation de cause à effet Capacité de calcul limitée par celle de la mémoire de travail Lent Hémisphère gauche du cerveau

# La théorie du processus dual

---

- Un aspect important à relever est que le système associatif inconscient est *automatique*, c'est-à-dire qu'on ne peut le mettre en marche ou l'arrêter à volonté, contrairement au système logique conscient qui requiert un acte intentionnel explicite pour se mettre en route.

# La théorie du processus dual : critiques

---

- La théorie du processus dual parvient à expliquer le cheminement décisionnel vers une action *a posteriori* mais pas *a priori*.
- On ne dispose pas à ce jour de méthodologie permettant de décider du système impliqué dans un scénario décisionnel spécifique.
- On ne sait pas dire si et quand le système associatif a des chances de prendre le relais du système logique conscient dans des circonstances données.
- On en sait pas non plus expliquer l'alternance entre les deux systèmes, ni dire s'il existe des constantes dynamiques décrivant leur interaction.

# La théorie du processus dual : critiques

---

- Ainsi, bien que la théorie du processus dual permette d'aller assez loin dans la *description* de la pensée humaine, l'absence de capacité *prédictive* limite son applicabilité pratique.

# Théories actuelles

---

- Comment les théories de Freud et Jung, qui ont un siècle, résistent-elles face aux théories actuelles et aux trouvailles des neurosciences ?
- Existe-t-il des *preuves* que la pensée humaine est composée de deux systèmes en interaction ?



# Neurosciences

---

- Les neurosciences sont aujourd'hui au premier plan pour la compréhension de la pensée humaine.
- Divers projets visant à comprendre de façon complète le fonctionnement du cerveau humain ont été lancés depuis une dizaine d'années.
- Brain Initiative (Etats-Unis, lancée en avril 2013) : vise à comprendre les fonctions du cerveau et à acquérir des connaissances nouvelles sur des maladies telles que la dépression et la schizophrénie.

# Neurosciences

---

- Human Brain Project (UE, lancé fin 2013) : vise à construire un prototype électronique répliquant le cerveau humain.
- Un des principaux problèmes qui restent à résoudre est celui de l'expérience *subjective* de l'information et des perceptions acquises et traitées par l'esprit : deux personnes peuvent décrire une couleur ou un goût de façon différente, alors que tout ordinateur basé sur la logique booléenne les décrira de la même manière ; c'est le problème dit des *qualia*.

# Neurosciences

---

- Des observations supportant la théorie du processus dual ont été obtenues dans de nombreuses études, où des parties différentes du cerveau sont activées selon que des raisonnements associatifs ou analytiques sont effectués.
- Il est confirmé que l'hémisphère droit du cerveau traite les données via des mécanismes de pensée inconscients, associatifs et automatiques, non pas de façon fragmentée mais via des motifs préexistants (en termes Jungiens, on parlerait d'archétypes). Il n'est pas contraint par la chronologie ou la causalité.

# Neurosciences

---

- L'hémisphère gauche du cerveau traite les données de façon consciente, analytique et intentionnelle et respecte la relation de cause à effet.
- Des efforts sont faits actuellement pour combiner neurosciences et psychanalyse afin de mieux comprendre les liens entre l'esprit et le cerveau ; cette direction de recherche est appelée *neuropsychanalyse*.
- Cela ne va pas sans difficultés au niveau méthodologique, la psychanalyse s'étant développée sur la base d'étude de cas subjectives alors que les neurosciences sont basées sur des données quantitatives objectives.

# Neuropsychanalyse

---

- En essayant de combiner ces deux approches, c'est l'ancien thème du complexe esprit/corps qui est traité.
- La neuropsychanalyse pourrait déboucher sur l'identification de structures ou de processus du cerveau correspondant aux concepts freudiens.
- Quelques pistes de recherche actuelles en neuropsychanalyse :

# Neuropsychanalyse

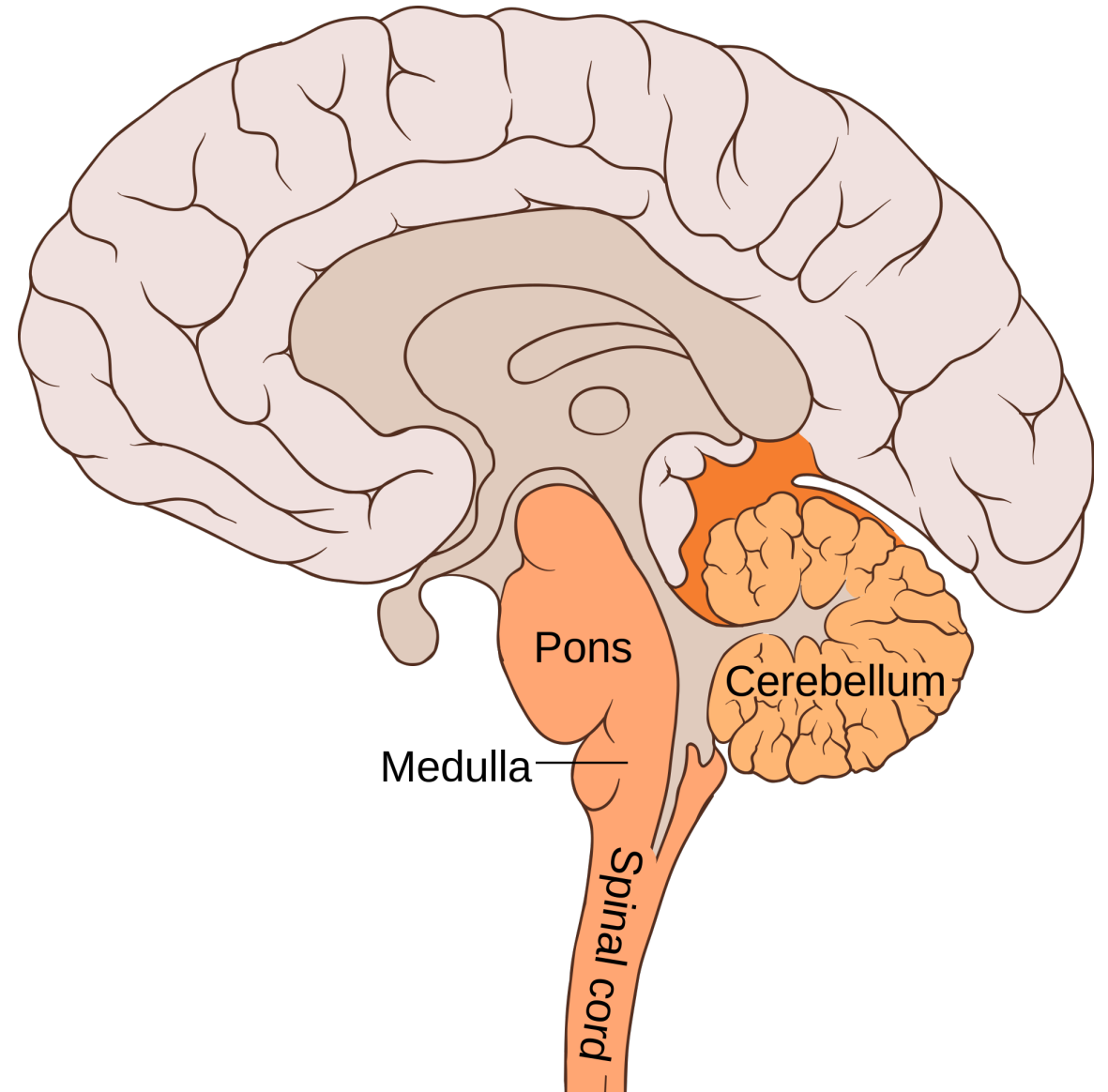
---

- *Définition* de l'énergie psychique, la libido freudienne, comme un système de recherche dopaminergique (La dopamine est un neurotransmetteur libéré par le cerveau qui procure un sentiment de plaisir et de satisfaction. Son absence entraîne de la fatigue, un manque d'énergie ou des troubles de la concentration).

# Neuropsychanalyse

---

- *Représentation* des pulsions et des instincts par des émotions, avec l'hypothèse que le cerveau comprend sept réseaux instinctuels : recherche, colère, peur, désir, attention, panique/peine et jeu.
- Ces réseaux résideraient dans les régions pontines du cerveau ; le réseau recherche serait constamment actif et les autres seraient activés par l'inconscient.



# Vision contemporaine de l'inconscient

---

- La psychologie contemporaine s'est éloignée de la conception freudienne de l'inconscient.
- La communauté scientifique pense aujourd'hui que l'inconscient joue un rôle actif dans certains processus de prise de décision, ce qui contraste avec la vision de Freud, qui voyait l'inconscient exclusivement comme le réceptacle de matériaux psychiques réprimés.



# Vision contemporaine de l'inconscient

---

- En psychologie cognitive, des chercheurs étudient la *mémoire implicite* – un type de mémoire dans lequel les expériences passées aident à résoudre un problème sans qu'on aie conscience de ces expériences passées.
- Des psychologues étudient *l'amorçage* et *l'automatisme*, c'est-à-dire la capacité à effectuer une tâche répétitive sans en être conscient (comme conduire un vélo).

# Vision contemporaine de l'inconscient

---

- Un autre domaine de recherche porte sur *l'acquisition inconsciente d'information* :
- Bien qu'une personne puisse ne pas être consciente qu'elle absorbe de l'information, celle-ci peut influencer son comportement et ses prises de décision.
- Des tests empiriques ont montré qu'une personne pouvait agir sur la base d'informations traitées uniquement par l'inconscient avant même d'avoir conscience de cette information ou de prendre consciemment la décision d'agir (c'est le cas dans la détermination de motifs dans des suites d'événements, par exemple).

# Vision contemporaine de l'inconscient

---

- S'il est admis que certains processus de décision ont lieu en dehors du conscient et que certains ne sont même pas consciemment engagés, la *façon* dont ils se déroulent reste mystérieuse.
- Il est important de noter que l'inconscient absorbe plus d'information et de perceptions de la réalité que la partie consciente de l'esprit.
- Le psychologue George Miller (1920-2012) a montré que la mémoire de travail (accessible au conscient) pouvait seulement stocker sept items (plus ou moins deux) alors que l'inconscient n'était pas limité.

# Vision contemporaine de l'inconscient

---

- Ce qui ne peut être absorbé par le conscient est stocké par l'inconscient et peut être récupéré par la suite.
- Ainsi, l'information utilisée par le conscient dans la prise de décision donne une vision tronquée de la réalité ; c'est pourquoi les psychologues s'intéressent à la façon dont le jugement personnel et le comportement social opèrent en dehors de la conscience et de l'intention.
- Bien que l'inconscient agisse comme un agent indépendant, il est *complémentaire* du conscient et se manifeste usuellement sous la forme *d'intuitions* qu'on ne peut expliquer rationnellement.

# Vision contemporaine de l'inconscient

---

- Un autre aspect de la capacité limitée du conscient est qu'il doit utiliser des procédures (schémas de raisonnement) pour fonctionner correctement ; ce n'est pas le cas de l'inconscient, qui dispose d'une capacité de traitement beaucoup plus importante et peut donc intégrer l'information de façon plus efficace.
- Le questionnement actuel sur l'inconscient porte non pas sur le fait qu'il joue un rôle dans les processus cognitifs mais sur le comment et la mesure de ce rôle.

# Vision contemporaine des archétypes

---

- La théorie des archétypes de Jung est en partie remise à l'ordre du jour par des travaux récents en *sociobiologie*.
- Cet axe de recherche est basé sur l'hypothèse que les comportements sociaux de l'être humain se sont développés au fil de l'évolution et ont été affectés par la sélection naturelle au même titre que ses caractéristiques physiques.
- Ces comportements sont de ce fait inscrits dans l'ADN.
- Les sociobiologistes considèrent que les êtres humains répètent des actes qui se sont révélés avantageux du point de vue de l'évolution.

# Vision contemporaine des archétypes

---

- De ce fait, il est possible dans certaines situations – celles impliquant l'adaptation est la survie – de *prévoir* le comportement individuel et collectif car ils seront basé sur de tels actes avantageux.
- Une justification supplémentaire de la théorie des archétypes est apportée par *l'épigénétique*.
- Celle-ci étudie la façon dont les gènes peuvent être activés ou désactivés par des expériences vécues et/ou par l'environnement.
- Il a été démontré que les effets d'événements survenant au cours de la vie peuvent être transmis à la génération suivante, causant ainsi un changement « évolutionnaire » soudain.

# Vision contemporaine des archétypes

---

- Plutôt que de modifier l'ADN, un événement ou une conduite spécifiques peuvent déclencher ou stopper l'expression de gènes particulier et ces gènes restent dans le même état à la génération suivante ; il peuvent de ce fait affecter la santé mentale et physique de celle-ci.
- Cela a été mis en évidence en particulier sur des zones géographiques soumises à la famine ou des conditions environnementales extrêmes.
- Cela contredit l'idée que les changements évolutifs doivent prendre des centaines de générations ou plus.



# Vision contemporaine des archétypes

---

- Mentionnons toutefois que certains chercheurs considèrent que l'épigénétique *infirme* les théories de Jung.
- Ce sur quoi les scientifiques sont d'accord aujourd'hui est :
  - Que nous avons une sorte de mémoire génétique, une tendance codée dans notre ADN à répondre d'une certaine manière à des stimuli donnés.
  - Qu'à la naissance, notre esprit n'est pas une *tabula rasa*.

# Penser à côté

---

- Ainsi, de Freud et Jung aux travaux les plus récents, il ressort aujourd'hui de façon certaine que l'esprit de l'être humain comprend une part inconsciente qui influence ses actions et sert de réservoir à informations.
- Cette partie inconsciente de l'esprit fonctionne par associations en manipulant des catégories, qui dans le langage de Jung peuvent être appelées des archétypes.
- Il est confirmé que l'intuition, en particulier l'intuition mathématique, trouve son origine dans cette partie de l'esprit.

# Penser à côté

---

- Que devient le « penser à côté » de Paul Souriau au vu de ces conclusions ?
- Penser à côté, c'est utiliser son inconscient et l'hémisphère droit de son cerveau.
- C'est parvenir à mobiliser son inconscient pour résoudre un problème mathématique.
- Mais c'est également penser en dehors des cadres de pensée courants dans le groupe dont on fait partie, le « collectif ».
- Celui-ci sera l'objet du prochain exposé.

# Bibliographie

- Henri Poincaré – *L'invention mathématique* – Bulletin de l'Institut Général Psychologique n°3 (1908) p. 175-187.
- Jacques Hadamard – *Essai sur la psychologie de l'invention dans le domaine mathématique* (New York 1937, Princeton 1943, Gauthier-Villars 1959)
- Asta Raami – *Intuition Unleashed : On the application and development of intuition in the creative process* – Aalto University (2015)
- Niklas Hageback – *The Virtual Mind : Designing the logic to approximate human thinking* – CRC Press (2017)
- Jean-Louis Krivine – *A propos de l'intuition en mathématiques* – IRIF (2018)