

# L'évolution du concept d'intelligence depuis Binet

Jacques Lautrey<sup>1</sup>

## 1. Introduction

Les idées qui ont guidé la construction de l'échelle métrique donnent un aperçu de la représentation que Binet se faisait de l'intelligence à ce moment là. Contrairement à la plupart de ses contemporains, qui pensaient pouvoir évaluer l'intelligence en mesurant l'efficacité des processus sensoriels – les seuls processus psychologiques que l'on savait mesurer à l'époque - Binet était persuadé que la mesure devait porter prioritairement sur les activités mentales supérieures. Il a varié dans la liste de ces activités mentales mais toutes se situaient à un niveau élevé d'intégration des informations: la mémoire, l'imagination, l'attention, la faculté de comprendre (Binet et Henri, 1895) ; le bon sens, le sens pratique, l'initiative, la faculté de s'adapter (Binet et Simon, 1905) ; la compréhension, l'invention, la direction, la censure (Binet, 1911). Ce choix faisait évidemment problème car si on savait à l'époque mesurer les seuils sensoriels, on ne voyait par contre pas du tout comment mesurer objectivement des processus mentaux aussi généraux.

Une autre idée importante, celle qui a précisément permis à Binet de surmonter cet obstacle, était de s'appuyer sur les différences pour fonder la mesure. Ce sont d'abord les comparaisons entre les personnes considérées comme normalement intelligentes et celles considérées comme retardées mentales, qui ont permis de définir les niveaux d'intelligence distingués dans l'échelle publiée en 1905. Ce sont ensuite les comparaisons entre enfants non retardés d'âges différents qui ont permis d'affiner ces degrés d'intelligence dans l'échelle publiée en 1908. L'échelle des âges auxquels les différents problèmes ou items étaient normalement réussis permettait d'en définir le « niveau mental », autrement dit le niveau de complexité cognitive. L'ordre des niveaux de complexité des items permettait à son tour

---

<sup>1</sup> Laboratoire Cognition et Développement, UMR CNRS 8605, Université de Paris 5.

d'ordonner les sujets, y compris à âge chronologique constant, en fonction du « niveau mental » des items réussis. Ce sont donc les différences entre individus qui fournissaient le principe de la « mesure » de l'intelligence et Binet était parfaitement conscient que cette mesure se situait au niveau ordinal : « Le mot mesure n'est pas pris ici au sens mathématique : il n'indique pas le nombre de fois qu'une quantité est contenue dans une autre. L'idée de mesure se ramène pour nous à celle de classement hiérarchique » (Binet, 1911, p. 135).

Une troisième idée qui a joué un rôle important dans la genèse de l'échelle métrique est celle qui faisait de l'intelligence la résultante des différentes activités mentales dont l'échelle tentait de mesurer, au sens précisé plus haut, le niveau de développement. C'est ce qui, dans l'esprit de Binet, justifiait l'addition des mois d'âge mental attribués aux différents items : « un test particulier, isolé de tout le reste, ne vaut pas grand chose...ce qui donne une force démonstrative, c'est un faisceau de tests, un ensemble dont on conserve la physionomie moyenne ». Chaque item, quel qu'il soit, était crédité d'un certain nombre de mois et l'âge mental était calculé en ajoutant tous les mois correspondant aux items réussis.

La représentation de l'intelligence qui sous-tendait le premier test destiné à la mesurer était donc celle d'une caractéristique globale, unitaire, évaluée en prenant la résultante – plus précisément la moyenne non pondérée - des performances dans des activités mentales supérieures aussi variées que possible.

Trois grands courants de recherche ont contribué par la suite à faire évoluer le concept d'intelligence qui sous-tendait l'échelle métrique. Le premier est le courant psychométrique qui, en appliquant les méthodes d'analyse factorielle à l'étude des différences de performance dans les tests d'intelligence, a conduit à fractionner le concept. Le second courant est celui qu'a engendré la théorie de Piaget. Alors que les échelles d'intelligence et les tests factoriels restaient focalisés sur les performances, le courant piagétien a mis l'accent sur les opérations mentales responsables de la transformation des représentations et sur l'évolution de la structure de ces opérations au cours du développement. Dans le cadre de ce courant théorique, l'objectif de l'évaluation n'était plus de situer la performance d'un individu par rapport à celles observées dans un échantillon de référence, mais d'identifier la structure opératoire sous-jacente à cette performance. Le troisième courant est celui qui s'est inspiré des théories du traitement de l'information pour modéliser les activités mentales. Alors que la formalisation des structures opératoires par lesquelles Piaget a caractérisé chacun des stades du développement cognitif était atemporelle, les modèles du traitement de l'information ont de leur côté cherché à décrire le déroulement, en temps réel, des processus de transformation que subit l'information au cours de l'activité mentale.

Chacun de ces courants de recherche a contribué à l'évolution du concept d'intelligence et de son opérationnalisation. Nous nous limiterons ici à l'examen des contributions de deux de ces courants : celle du courant factorialiste au fractionnement du concept d'intelligence et celle de la psychologie cognitive à l'identification des processus mentaux caractéristiques de l'intelligence.

## **2. Le fractionnement du concept d'intelligence.**

A un an près, le centenaire du Binet-Simon est aussi celui de l'article de Spearman (1904) posant les bases de la méthode d'analyse factorielle et introduisant le concept de facteur général d'intelligence (facteur g). En entreprenant l'expérience dont cet article rendait compte, l'objectif de Spearman n'était pas d'inventer l'analyse factorielle, mais de questionner ce que nous appellerions aujourd'hui la validité écologique des tâches de discrimination sensorielle. La question qui le tourmentait était de savoir si les processus de discrimination sensorielle, qui étaient l'objet d'étude privilégié de la psychologie expérimentale naissante - et que lui-même étudiait dans le cadre de la thèse qu'il préparait dans le laboratoire de Wundt - avaient un quelconque rapport avec les activités généralement considérées comme intelligentes, par exemple les apprentissages scolaires. C'est la raison pour laquelle il avait administré des épreuves de discrimination sensorielle à des élèves dont il avait aussi recueilli les notes dans différentes matières scolaires. Les corrélations substantielles qu'il trouvait entre les épreuves de discrimination sensorielle d'une part, entre les épreuves scolaires d'autre part, et surtout entre les premières et les secondes, l'avaient amené à conclure à l'existence d'un facteur général d'efficacité sous-jacent à l'ensemble de ces activités. Il interprétait ce facteur comme correspondant à l'intelligence et présentait l'analyse factorielle, dont il venait de poser les bases, comme la méthode permettant d'isoler et de mesurer objectivement cette fonction.

### *2.1. Une intelligence*

Ce qui nous intéresse ici est qu'au-delà des différences importantes dans la technique de mesure de l'intelligence, le facteur général extrait par Spearman, tout comme l'âge mental calculé par Binet, étaient censés mesurer une intelligence globale, unitaire. Il y avait certes quelques différences importantes dans la représentation de l'intelligence que véhiculaient ces deux techniques de mesure. Pour Binet, seules les activités mentales supérieures faisaient véritablement appel à l'intelligence, alors que pour Spearman, celle-ci intervenait également dans les activités mentales plus élémentaires, comme la discrimination sensorielle (c'est du

moins ce qu'il pensait avoir montré dans l'expérience décrite plus haut). Une autre différence substantielle était que pour Binet, toutes les tâches complexes faisaient appel à l'intelligence au même degré (tous les items réussis étaient sommés avec un poids égal dans le calcul de l'âge mental), tandis que la technique de Spearman lui permettait de montrer que les différentes tâches soumises à l'analyse avaient des saturations variables dans le facteur général.

## 2.2. *Des intelligences*

Le dogme de l'intelligence unitaire a commencé à être sérieusement ébranlé lorsque Thurstone a proposé une nouvelle méthode d'analyse factorielle, dite multiple (Thurstone, 1931), dont l'objectif était d'aboutir à une structure factorielle aussi « simple » que possible. Dans son langage, une structure simple était une structure dans laquelle chaque groupe de variables plus corrélées entre elles qu'avec les autres était représenté par son propre facteur commun de variation. En appliquant cette procédure à l'analyse factorielle des corrélations entre les scores d'un échantillon important de sujets (240 étudiants volontaires) qui avaient passé un grand nombre de tests mentaux (57 tests variés, dont beaucoup mis au point pour l'occasion), Thurstone ne trouvait pas de facteur général d'intelligence, mais une douzaine de facteurs indépendants dont sept étaient interprétables (Thurstone, 1938). Trois de ces sept facteurs étaient interprétés en référence au contenu des tests qu'ils saturaient (Verbal, Numérique, ou Spatial), trois autres en référence aux fonctions mises en œuvre (Mémoire, Induction et Déduction<sup>2</sup>), et le dernier en référence à la fois à un contenu et un processus (Fluidité Verbale). Thurstone considérait que ces facteurs correspondaient à des « aptitudes primaires » et selon lui, la structure simple à laquelle il aboutissait démontrait que ces différentes aptitudes étaient indépendantes.

La controverse entre Spearman et Thurstone sur le caractère unitaire ou multiple de l'intelligence a marqué le début d'un débat qui dure encore : existe-t-il une forme unique d'intelligence, à l'œuvre dans toutes les tâches cognitives, ou plusieurs formes d'intelligence indépendantes dont chacune est spécifique à un domaine de compétence ? Il a fallu quelques temps à Spearman et Thurstone, ainsi qu'à leurs partisans respectifs, pour réaliser, puis admettre, que l'existence d'un facteur général et celle de facteurs plus spécifiques à des domaines n'étaient pas contradictoires. La solution de la contradiction apparente a été trouvée en élaborant des modèles factoriels hiérarchiques (Horn et Cattell, 1966 ; Vernon, 1950).

---

<sup>2</sup> Thurstone a dénommé ce facteur « Relations Verbales », mais l'inspection des tests les plus saturés conduit aujourd'hui à l'interpréter comme un facteur commun aux tests de raisonnement axés sur la déduction.

Contrairement à ce que pensait Thurstone, du moins au début de ses travaux, les facteurs correspondant aux aptitudes primaires sont en général corrélés entre eux. Par conséquent, il est possible de faire une analyse factorielle de ces facteurs primaires et d'extraire un facteur général rendant compte de la part de variance qui est commune à tous les tests. Dans ce modèle hiérarchique, la variance des scores dans les tests peut donc être fractionnée en plusieurs parts : une part de variance correspondant à un facteur général et des parts de variance correspondant à des facteurs spécifiques à des domaines.

### *2.3. Un modèle hiérarchique des facteurs de l'intelligence*

Avant d'aller plus loin, il faut dire un mot des raisons pour lesquelles tant de désaccords ont pu avoir lieu sur la structure factorielle de l'intelligence. Une première raison tient à ce que la structure trouvée dépend en partie de la méthode d'analyse adoptée. Or les chercheurs n'ont pas toujours utilisé les mêmes méthodes d'analyse factorielle et, surtout, n'ont compris que progressivement les relations entre ces différentes méthodes. C'est évidemment une des raisons du désaccord entre Spearman et Thurstone. Mais une seconde raison, moins évidente celle-ci, est que les facteurs dépendent aussi de l'échantillonnage des tests d'une part et de l'échantillonnage des sujets qui ont passé ces tests d'autre part. Il n'y a aucune chance de trouver un facteur spatial, par exemple, si la batterie de tests sur laquelle porte l'analyse ne comporte pas d'épreuve spatiale ou n'en comporte qu'une. Tout comme il y a peu de chances de trouver un facteur général si tous les sujets sur lesquels portent l'analyse sont d'un niveau intellectuel équivalent. Il serait facile de solutionner les désaccords liés aux problèmes d'échantillonnage des situations si l'on disposait d'une théorie qui permette de faire la liste exhaustive des types de situations qui font appel à l'intelligence. Comme tel n'est pas le cas, le choix des épreuves incluses dans une analyse factorielle est toujours empirique et varie beaucoup entre les études.

Malgré ces difficultés, un consensus assez général s'est fait, dans la période récente, autour du modèle proposé par Carroll (1993). En ré-analysant, avec une même méthode, les données de 467 analyses factorielles de tests d'intelligence disponibles dans la littérature, Carroll a montré que toutes étaient compatibles avec une même structure factorielle générale. En appliquant une méthode unique à toutes ces données et en intégrant un vaste ensemble d'échantillons de tests et de sujets, on peut penser que Carroll a neutralisé une partie des problèmes de méthode et d'échantillonnage signalés plus haut, mais une partie seulement car même si cette approche lui a permis d'élargir considérablement l'échantillon des tests pris en

compte rien ne permet de dire que ceux-ci forment un échantillon représentatif de l'univers des tests d'intelligence possibles.

En gardant ces limites en tête, venons en maintenant à la description de la structure factorielle dans laquelle Carroll a pu intégrer toutes les données qu'il a réanalysées. Il s'agit d'une structure hiérarchique composée de trois strates. La première strate, qui constitue la base de la pyramide, est composée d'une quarantaine de facteurs primaires, qui correspondent à des domaines trop spécifiques pour être détaillés ici. Comme ces facteurs primaires entretiennent des corrélations – variables - entre eux, une analyse de second ordre (c'est à dire une analyse factorielle de ces facteurs primaires) permet d'extraire une seconde strate de huit facteurs qui rendent compte des parts de variance communes à des groupes de facteurs primaires. Puis, comme ces huit grands facteurs d'ordre 2 s'avèrent aussi corrélés entre eux, une analyse de troisième ordre permet d'extraire, au niveau de la troisième strate, un unique facteur général. Après orthogonalisation des facteurs extraits dans ces trois strates de l'analyse, la variance observée dans les scores à un test d'intelligence peut être fractionnée en quatre parties distinctes : une partie qui est spécifique à ce test, et n'est donc pas très intéressante pour notre propos, une partie qui est commune à ce test et à un petit groupe d'autres tests couvrant le même champ étroit, par exemple le petit groupe des tests de rotation mentale (strate I), une partie commune à ce test et à un large ensemble de tests qui couvrent le même domaine de la cognition, par exemple, tous les tests d'aptitude spatiale (strate II). Enfin, une partie de la variance commune à tous les tests d'intelligence, du moins à tous ceux qui ont été inclus dans les études réanalysées par Carroll (strate III).

Dans ce modèle hiérarchique, les huit facteurs de la strate 2 ont été interprétés par Carroll comme correspondant respectivement à l'intelligence fluide (qui s'appuie sur les mécanismes bruts d'inférence), l'intelligence cristallisée (qui s'appuie surtout sur l'organisation conceptuelle et les connaissances), la mémoire et l'apprentissage, la représentation visuo-spatiale, la représentation auditive, la capacité de récupération l'information en mémoire à long terme (telle qu'elle est sollicitée dans les tests de fluidité verbale et de créativité), la rapidité cognitive, et la vitesse de traitement (telle qu'elle est évaluées dans les tâches de temps de réaction).

Même si ce modèle est assez largement accepté, il n'est pas exempt de défauts. Au niveau de la strate 2, l'interprétation des facteurs mêle des domaines définis par les processus (intelligence fluide, intelligence cristallisée, mémoire, récupération en mémoire à long terme) avec des domaines définis par les formats de perception et de représentation (visuo-spatial, auditif) et des domaines définis par la nature de la performance (rapidité cognitive, vitesse de

traitement). Par ailleurs, le facteur d'intelligence cristallisée ne sature, au niveau de la strate I, que des facteurs primaires du domaine verbal, de telle sorte que les aspects de processus et ceux de contenu y sont ici confondus. Pour dissocier ces deux aspects, il aurait fallu que les épreuves d'intelligence cristallisée aient été choisies avec une méthode d'échantillonnage systématique, guidée par des hypothèses explicites sur les caractéristiques des items introduits dans l'analyse.

Une telle démarche a été adoptée par un groupe de chercheurs allemands qui, à la suite de Jäger (1984), ont contribué à l'élaboration du « Berlin Model of Intelligence Structure ». Comme Carroll, Jäger pensait que les désaccords sur la structure de l'intelligence venaient des différences dans l'échantillonnage des tests. Il a pour sa part entrepris l'inventaire des tests existants –environ 2000 à l'époque – et a constitué, à partir de l'examen des caractéristiques de cet ensemble de tests, un échantillon plus réduit (191 tests) qui en soit représentatif. Ces 191 tests ont été ensuite administrés à un échantillon de collégiens de Berlin. Pour l'analyse des données ainsi recueillies, Jäger a adopté l'approche en facettes<sup>3</sup>, proposée à l'origine par Guttman (1954). Celle-ci consiste, dans un premier temps, à spécifier les attributs hypothétiques sur lesquels le chercheur s'appuie pour catégoriser les tests qu'il échantillonne et à construire un plan de recueil et de traitement des données croisant systématiquement ces attributs. Un des avantages de cette approche est de fournir un modèle testable de la structure hypothétique des données, un autre est d'assurer un échantillonnage équilibré des tests qui sont soumis à l'analyse factorielle. En s'appuyant sur les méthodes d'analyse factorielle confirmatoire, Jäger et ses successeurs ont ainsi pu montrer que la structure du modèle de Berlin s'ajustait bien aux données. Ce modèle factoriel comporte 12 facettes, définies par le croisement de quatre dimensions relatives aux opérations de traitement requises par les tests et de trois dimensions relatives aux contenus sur lesquels portent ces opérations (cf. Süß et Beauducel, à paraître). Les quatre opérations sont la capacité de traitement (parfois appelée aussi raisonnement), la créativité, la mémoire et la vitesse. Les trois contenus correspondent aux formats de représentation des informations : verbal, numérique, ou spatial. Il s'agit d'un modèle hiérarchique dans lequel les sept grands facteurs de groupe (les quatre facteurs d'opérations et les quatre facteurs de contenu) corrèlent entre eux et où un facteur général rend compte de cette variance commune. Dans le cadre de ce modèle, la variance des performances dans un test d'intelligence peut donc être fractionnée en quatre parties, une partie spécifique au test, une partie correspondant au format sous lequel l'information est

---

<sup>3</sup> Pour un exposé en langue française sur l'approche en facettes, voir Dickes et al (1994).

présentée, une partie correspondant à l'opération mentale par laquelle cette information est transformée, et une partie correspondant au facteur général.

Le modèle de Berlin et celui de Carroll ont beaucoup de ressemblances. Tous deux comportent un facteur général à l'étage supérieur. A l'étage des grands facteurs de groupe, on trouve dans l'un et l'autre modèle des facteurs plutôt relatifs aux processus et des facteurs plutôt relatifs au format des représentations. Concernant les premiers, il existe dans les deux cas un facteur de mémoire et un facteur de vitesse cognitive, quant à ceux de capacité cognitive et de créativité, qui paraissent spécifiques au modèle de Berlin, ils correspondent en fait respectivement à ceux d'intelligence fluide et de récupération en mémoire à long terme dans celui de Carroll. Concernant les facteurs relatifs aux formats de représentation, on trouve dans les deux cas un facteur visuo-spatial et si les deux autres facteurs de contenu, verbal et numérique, n'apparaissent pas dans la strate II du modèle de Carroll, c'est sans doute parce qu'ils y sont masqués par les facteurs relatifs aux processus : les tâches saturées par le facteur d'intelligence cristallisée sont toutes de nature verbale et beaucoup de tâches saturées par le facteur de vitesse cognitive sont numériques. C'est précisément cet inconvénient que permet d'éviter l'approche en facettes.

Les modèles actuels de la structure factorielle de l'intelligence sont encore très empiriques et ne peuvent prétendre inclure l'ensemble des dimensions possibles de l'intelligence humaine. Néanmoins, au-delà des variations dues aux différences dans l'échantillonnage des tests et dans la méthode d'analyse, ces modèles ne correspondent ni à l'intelligence globale et unitaire telle que l'envisageaient Binet et Spearman, ni à des aptitudes indépendantes, telles que Thurstone se les représentait. Ils intègrent en fait dans une même structure ces deux vues considérées un temps comme contradictoires. Il est donc possible de distinguer des formes d'intelligence différentes, relativement spécifiques au format sous lequel l'information est représentée et au type de processus cognitif qui opère sur ces représentations, mais il faut aussi admettre qu'intervient en même temps un aspect de l'intelligence qui est commun à toutes les tâches cognitives complexes, du moins à toutes celles que l'on a jusqu'ici pensé à inclure dans les tests d'intelligence.

### **3. L'identification des processus mentaux caractéristiques de l'intelligence.**

Quels processus mentaux sous-tendent ces différents facteurs de l'intelligence ? L'approche psychométrique classique, qui s'appuie sur l'analyse des différences de performance dans les tests, n'a longtemps pu apporter aucune réponse consistante à cette question. Cette situation a changé avec le développement de la psychologie cognitive qui a

fourni des modèles du traitement de l'information et des méthodes d'objectivation des processus mentaux (par exemple, la chronométrie mentale, la simulation, l'analyse des mouvements du regard, etc.). Cette évolution des modèles et des méthodes a donné naissance, vers la fin des années soixante-dix, à un courant de recherche qui s'est appuyé sur la psychologie cognitive pour analyser les processus mentaux sous-jacents aux performances dans les tests d'intelligence. Un des objectifs de la *psychométrie cognitive*, qui s'est ainsi constituée en articulant la psychométrie avec la psychologie cognitive, a précisément été d'identifier les processus mentaux susceptibles de rendre compte des facteurs de l'intelligence (voir Huteau et Lautrey, 1999, chapitre 8, pour revue).

L'exposé se limitera ici à quelques exemples de travaux qui ont été consacrés à l'identification des processus sous-jacents au facteur général d'intelligence (facteur g). Une partie de ces travaux en cherché l'origine dans les différences d'efficacité de processus très élémentaires de traitement de l'information. Dans la mesure où ces travaux ont selon nous abouti à une impasse (cf. Lautrey, 1996 ; à paraître), nous n'en reprendrons pas ici l'exposé. Il a paru préférable de consacrer la place limitée dont nous disposons à des travaux qui paraissent plus prometteurs, ceux qui cherchent l'explication du facteur g du côté des processus exécutifs<sup>4</sup>.

Trois courants de recherche, qui s'appuient pourtant sur des méthodes assez différentes, aboutissent en effet à des conclusions convergentes sur l'implication des processus exécutifs, en particulier de la mémoire de travail. Le premier s'appuie sur l'analyse, en temps réel du processus de résolution des tests fortement saturés en facteur g. Le second s'appuie sur les méthodes de modélisation structurale pour analyser les relations entre les processus exécutifs et le facteur g. Le troisième s'appuie sur les méthodes de neuro-imagerie pour identifier les aires cérébrales recrutées lors de la résolution de tests d'intelligence.

Avant d'illustrer chacun de ces courants par un exemple, il faut préciser que les tests employés dans ces recherches sont des tests de raisonnement inductif dans lesquels la tâche du sujet est de découvrir la règle, par exemple la loi de série ou la propriété commune, qui organise un ensemble d'éléments. Les tests de ce type sont en effet parmi les plus saturés par le facteur g<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> On appelle « exécutifs » les processus impliqués dans la supervision du fonctionnement cognitif, par exemple les processus en jeu dans la planification du déroulement des activités cognitives, dans le contrôle de ce déroulement, dans la gestion des ressources attentionnelles nécessaires pour maintenir l'activation des informations pertinentes et inhiber celle des informations interférentes.

<sup>5</sup> Ils sont aussi les plus saturés par le facteur qui, dans le modèle de Carroll est celui d'intelligence fluide. Du fait de la forte intersection entre les parts de variance qu'ils expliquent, ces deux facteurs se recouvrent en grande partie (cf. Gustaffson, 1984). Selon les études, les tests de raisonnement inductif sont considérés soit comme des

### 3.1. *L'analyse du processus de résolution des Matrices Progressives de Raven.*

Le test des Matrices Progressives de Raven (Raven, Raven & Court, 1998) est un des plus saturés en facteur g. Les items de cette épreuve sont des matrices carrées, comportant en général 3 lignes et 3 colonnes, dont les intersections définissent 9 cases. Chacune de ces cases comporte une figure, à l'exception de la dernière, à l'intersection de la troisième ligne et de la troisième colonne, qui est vide. La tâche du sujet est de trouver la figure manquante et pour cela, il lui faut inférer les règles qui organisent la progression des figures en ligne et en colonne dans la matrice. Les items sont de difficulté croissante, le degré de difficulté étant déterminé pour une bonne part par le nombre de règles qui organisent la matrice et le nombre d'attributs (forme, orientation, type de remplissage, etc..) par lesquels les figures peuvent être caractérisées.

Carpenter, Just et Shell (1990) ont analysé les processus à l'œuvre dans la résolution de ce test avec un large ensemble de méthodes incluant la chronométrie mentale, la simulation, l'analyse des mouvements du regard, des erreurs, et des verbalisations. L'analyse des mouvements du regard a permis d'observer la succession des comparaisons que font les sujets entre les différentes figures de la matrice. Elle a montré que les figures appartenant à une même ligne de la matrice, puis à des lignes successives, étaient comparées deux à deux au cours de plusieurs dizaines de centrations très rapides, de l'ordre de quelques centaines de millisecondes chacune. Les expérimentateurs demandaient par ailleurs aux sujets de réfléchir à voix haute tout en résolvant les items. L'analyse de ces verbalisations a de son côté permis de repérer à quel moment une règle était découverte et quelles comparaisons l'avaient précédée. Elle a aussi montré que ces règles étaient énoncées une seule à la fois et séparées par de longs intervalles de silence.

L'analyse conjointe de ces deux sortes d'informations, les unes relatives à des traitements très rapides, inaccessibles à la conscience, les autres relatives à des traitements plus lents, conscients et verbalisables, a permis de mettre à jour quelques caractéristiques intéressantes du processus de résolution. Elle a notamment fait ressortir le caractère incrémentiel de la découverte des règles qui organisent la matrice. Les sujets procèdent en décomposant le problème en sous-problèmes, eux-même décomposés en multiples sous-sous problèmes. Du fait de cette décomposition, la capacité de trouver la solution dépend beaucoup de la capacité de planifier et de contrôler l'enchaînement des buts et sous-buts à atteindre.

---

tests de facteur général soit comme des tests d'intelligence fluide. Pour simplifier les choses, nous les considérerons ici comme des tests de facteur g.

La simulation des protocoles a confirmé l'importance du processus de planification des buts et sous-buts. Pour parvenir à simuler les protocoles des sujets les plus performants les auteurs ont en effet dû ajouter au programme de simulation des protocoles dont le niveau de performance était seulement moyen, un ensemble très conséquent de règles de production renforçant la planification et la gestion des buts et sous-buts.

Ces observations ont amené Carpenter, Just et Shell à conclure que le test des Matrices Progressives de Raven mesure trois aptitudes fondamentales : 1) décomposer un problème en petites unités et extraire des régularités de ces petites unités par itérations successives, 2) gérer les nombreux buts et sous-buts engendrés par cette décomposition, 3) former, à partir des régularités découvertes, des abstractions d'un niveau de généralisation suffisamment élevé. La seconde de ces aptitudes repose en bonne partie sur la capacité de la mémoire de travail. Telle qu'elle est décrite dans cette recherche, la résolution du test de Raven suppose en effet que les sujets soient capables d'effectuer le traitement du sous-problème en cours tout en maintenant activés à la fois les résultats des sous-problèmes déjà résolus et les buts restant encore à atteindre. Cette capacité à gérer simultanément les opérations de traitement et de stockage est la fonction classiquement dévolue à la mémoire de travail.

### *3.2. Les relations entre la capacité de la mémoire de travail et le facteur g.*

La relation entre la capacité de la mémoire de travail et la performance dans les tests de facteur général a aussi été mise en évidence par les méthodes de modélisation structurale. La première recherche à avoir montré l'importance de ce lien est celle de Kyllonen et Christal (1990). Ces auteurs ont réalisé plusieurs expériences dans lesquelles de larges échantillons de sujets ont passé des épreuves variées de mémoire de travail et des tests variés de raisonnement (dont on connaît la forte saturation par le facteur g). Les analyses factorielles confirmatoires effectuées sur ces données ont permis, dans chacune de ces expériences, d'extraire un facteur commun aux épreuves de raisonnement et un facteur commun aux épreuves de mémoire de travail. La corrélation entre ces deux facteurs variait entre .80 et .88 selon les études. Kyllonen et Christal en concluaient que l'aptitude au raisonnement pouvait à peu de choses près être assimilée à la capacité de la mémoire de travail.

Kyllonen et Christal sont des spécialistes de la psychométrie qui ont cherché à s'appuyer sur une notion de psychologie cognitive, celle de mémoire de travail, pour rendre compte des performances en raisonnement. Cette ligne de recherche connaît un regain d'intérêt actuellement, mais elle est animée cette fois-ci par des chercheurs de psychologie cognitive spécialistes de la mémoire de travail, qui s'appuient sur une notion issue de la

psychométrie, celle de facteur g, pour démontrer le caractère central de la mémoire de travail dans le fonctionnement cognitif. En fait, on assiste là à une jonction, au sein de la psychologie cognitive, entre deux traditions de recherche jusque là séparées, la tradition expérimentale et la tradition psychométrique. L'approche commune à toutes ces recherches, consiste à faire passer à un échantillon de sujets, à la fois des épreuves variées de mémoire de travail et des tests connus pour être fortement saturés par le facteur g, et à s'appuyer sur les méthodes de modélisation structurale pour analyser les relations entre les facteurs issus de ces deux ensembles d'épreuves.

C'est ainsi que Engle, Tuholski et al. (1999) ont montré une relation forte entre le facteur général des épreuves de mémoire de travail et le facteur général d'intelligence. En incluant des épreuves de mémoire à court terme et des épreuves de vitesse cognitive dans leurs batteries, Conway, Cowan et al (2002) ont précisé ce résultat en montrant que la relation forte entre la capacité de la mémoire de travail et le facteur g ne pouvait être expliquée ni par l'empan de la mémoire à court terme (correspondant à la seule capacité de stockage) ni par la vitesse de traitement.

Une des questions fortement discutées dans ce courant de recherche est de savoir s'il existe une capacité centrale, unique, de mémoire de travail ou des capacités séparées dont chacune est spécifique à un domaine de connaissance. Les résultats de certaines études sont compatibles avec l'hypothèse de capacités séparées (Mackintosh et Bennett, 2000 ; Shah et Miyake, 1996) et d'autres avec l'hypothèse d'une capacité centrale unique (Colom & Shih, 2003). Ces désaccords rappellent beaucoup les discussions qui ont eu lieu à propos du caractère unitaire ou multiple de l'intelligence et ont probablement aussi leur origine dans les variations qui existent entre les études quant à l'échantillonnage des épreuves de mémoire de travail et à l'échantillonnage des sujets qui ont passé ces épreuves. Il est probable que l'accord se fera, là aussi, sur un modèle factoriel hiérarchique de la mémoire de travail, qui pourra être mis en correspondance avec le modèle factoriel hiérarchique de l'intelligence. Les résultats de Süß, Oberauer et al.(2002) vont dans ce sens. Plus précisément, il semble que les facteurs de mémoire de travail qui correspondent à des domaines spécifiques tiennent aux processus en jeu dans le stockage et le maintien des informations, c'est à dire dans la mémoire à court terme, tandis que le facteur général de mémoire de travail correspondrait à ce qui est dénommé « centre exécutif » dans le modèle de Baddeley et « capacité attentionnelle » dans le modèle de Engle (Kane, Hambrick et al, 2004). Reste à savoir ce que recouvrent précisément les notions de capacité attentionnelle ou de centre exécutif, ce point qui sera repris dans la conclusion.

### 3.3. *Les aires cérébrales activées lors de la résolution de tests de facteur g.*

Les méthodes de neuro-imagerie ont jusqu'ici été assez peu appliquées à l'analyse de l'activité cérébrale au cours de tâches aussi complexes que celles qui composent les tests d'intelligence. On trouve cependant une étude de Duncan et al (2000) dans laquelle les activations cérébrales provoquées par la résolution de tests de facteur g ont été analysées par la technique de tomographie à émission de positons. Les sujets ont passé deux tests de raisonnement inductif fortement saturés en facteur g, l'un où le raisonnement portait sur des ensembles de lettres et l'autre où le raisonnement portait sur des ensembles de figures. Les résultats de cette expérience ont montré que, comparée à l'exécution d'autres tâches portant sur le même contenu mais ne mettant pas le raisonnement inductif en oeuvre, la passation de ces deux tests suscitait une activité plus importante du cortex préfrontal latéral, une aire connue pour être le siège des processus de contrôle exécutif. Plus précisément, la résolution du test portant sur des ensembles de figures ne suscitait cette activation que dans le cortex préfrontal latéral droit, alors que la résolution du test portant sur des ensembles de lettres la suscitait de façon bilatérale.

## 4. Conclusion

Dans ce qui précède, l'accent a été mis sur deux des évolutions que le concept d'intelligence a subies au cours du siècle qui nous sépare de la publication de l'échelle métrique de Binet-Simon.

La première a conduit de la conception unitaire et globale qui inspirait la construction de l'échelle métrique à une conception multidimensionnelle dans laquelle différents aspects de l'intelligence sont distingués. Bien que la structure factorielle de l'intelligence soit probablement encore loin d'en distinguer tous les aspects et soit encore très discutée, elle suggère que l'intelligence prend des formes différentes selon le type de processus (raisonnement, mémoire, créativité,...) et le format des représentations sur lesquelles ces processus opèrent (verbal, numérique, visuo-spatial, auditif,...). L'organisation hiérarchique de cette structure factorielle confère un statut particulier au facteur général qui rend compte de la part de variance commune à tous les tests d'intelligence. Du fait que cet aspect de l'intelligence est général, il correspond à l'idée que se faisaient Binet et Spearman de la notion d'intelligence, à cette différence près que l'intelligence ne s'y réduit pas. C'est un facteur important de l'intelligence mais c'est un facteur parmi d'autres.

La seconde évolution sur laquelle a été mis l'accent est celle qui, grâce au développement de la psychologie cognitive, a permis de passer de l'analyse des performances

à l'analyse des processus. Cette évolution a été illustrée par quelques exemples de recherches ayant tenté d'identifier les processus qui sous-tendent le facteur g. Les résultats de ces recherches convergent pour attribuer un rôle important (mais pas pour autant exclusif) aux différences d'efficacité des processus exécutifs. Dans la mesure où ces processus interviennent, à des degrés divers, dans toutes les tâches intellectuelles tant soit peu complexes, les différences dans leur efficacité se traduisent par des différences de performance dans tous les types de tests d'intelligence. Ceci peut rendre compte, au moins en partie, du facteur général de variation des performances que les méthodes d'analyse factorielle mettent en évidence.

Mais avons-nous vraiment progressé en expliquant le facteur général d'intelligence par un facteur général de mémoire de travail ou un facteur général de capacité attentionnelle ? Les notions de capacité de la mémoire de travail ou de capacité attentionnelle ne sont-elles pas aussi globales et aussi générales que l'était le concept d'intelligence chez Binet ou chez Spearman ? Beaucoup de chercheurs le pensent et ont entrepris de décomposer les processus susceptibles d'expliquer ces capacités. Miyake, Friedman et al (2000), par exemple, ont confirmé la nécessité de distinguer, au sein du centre exécutif de la mémoire de travail, les processus de mise à jour, de commutation, et d'inhibition. Friedman et Miyake (2004) ont montré que la notion d'inhibition elle-même était trop vague et qu'il n'y avait pas de relation, par exemple, entre la résistance à l'interférence de distracteurs et la résistance à l'interférence pro-active. Au terme de ce travail de décomposition du concept de centre exécutif, les différentes composantes plus élémentaires qui auront été distinguées demeureront-elles de bons prédicteurs du facteur g ? C'est seulement lorsque nous saurons s'il est possible de prédire la capacité de la mémoire de travail à partir d'un modèle analytique des composantes du centre exécutif, que nous saurons si nous avons réellement progressé en expliquant le facteur g par la capacité de la mémoire de travail... et le chemin risque d'être encore long.

## 5. Bibliographie

- Binet, A. (1911). *Les idées modernes sur les enfants*. Paris: Flammarion.
- Binet, A., Henri, V. (1895). La psychologie individuelle. *L'Année Psychologique*, 2, 415-465.
- Binet A., Simon T. (1905). Méthodes nouvelles pour le diagnostic du niveau intellectuel des anormaux. *L'Année Psychologique*, 11, 191-244.
- Carpenter, P.A., Just, M.A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the Raven Progressive Matrices test. *Psychological Review*, 97, 404-431.
- Carroll, J.B. (1993). *Human Cognitive Abilities*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Colom, R., & Shih, P.C. (2003). Is working memory fractionated onto different components of intelligence? A reply to Mackintosh and Bennet (2003). *Intelligence*, 32, 431-444.

- Conway, A., Cowan, N., Buntig, M.F., Therriault, D.J., & Minkoff, S.R. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, *30*, 163-183.
- Duncan, J., Seitz, R.J., Kolodny, J., Bor, D., Herzog, H., Ahmed, A., Newell, F.N., & Emslie, E.. (2000). A neural basis for general intelligence. *Science*, *289*, 457-460.
- Engle, R.W., Tuholski, S.W., Laughlin, J.E. & Conway, A.R.A. (1999). Working memory, short-term memory and general fluid intelligence: a latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *128*, 309-331.
- Friedman, N., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, *133*, 101-135.
- Gustaffson, J.E. (1984). A unifying model for the structure of intellectual abilities. *Intelligence*, *8*, 179-203.
- Guttman, L. (1954). An outline of some new methodology for social research. *Public Opinion Quarterly*, *18*, 395-404.
- Horn J.L., Cattell R.B. (1966). Refinement of the theory of fluid and crystallized intelligence. *Journal of Educational Psychology*, *57*, 253-270.
- Huteau, M., & Lautrey, J. (1999). *Evaluer l'Intelligence. Psychométrie Cognitive*. Paris: PUF.
- Jäger, A.O. (1984). Intelligenzstrukturforschung: Konkurrierende Modelle, neue Entwicklungen, Perspektiven [Intelligence structure research: competing models, new developments, perspectives]. *Psychologische Rundschau*, *35*, 21-35.
- Kane, M. J. Hambrick, D.Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T.W., & Engle, R.W. (2004). The Generality of Working Memory Capacity: A Latent-Variable Approach to Verbal and Visuospatial Memory Span and Reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, *132*, 189-217.
- Kyllonen, P.C., & Christal, R.E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?!. *Intelligence*, *14*, 389-433.
- Lautrey J. (1996). La recherche des "particules élémentaires" de l'intelligence : une impasse ? *Psychologie Française*, *41*, 23-34.
- Lautrey, J. (à paraître). La recherche des processus caractéristiques de l'intelligence. In J. Lautrey & J.-F. Richard (Eds.), *L'intelligence*. Paris: Hermès.
- Mackintosh, N.J., & Bennett, E.S. (2003). The fractionation of working memory maps onto different components of intelligence. *Intelligence*, *31*, 519-531.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A. & Wager, T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: a latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, *41*, 49-100.
- Raven, J., Raven, J.C., & Court, J.H. (1998). *Introduction générale aux tests de Raven*. Paris : Editions et Applications Psychologiques.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, *125*, 4-27.
- Spearman, C.E. (1904). General intelligence objectively measured and determined. *American Journal of Psychology*, *15*, 201-209.
- Süss, H.-M. , Beauducel, A. (à paraître). Faceted models of intelligence. In O. Wilhelm & R. Engle (Eds.), *Understanding and measuring intelligence*. Thousand Oaks, CA: Sage
- Süss, H.M., Oberauer, K., Wittmann, W., Wilhelm, O., Schulze, R. (2002). Working memory capacity explains reasoning ability – and a little bit more. *Intelligence*, *30*, 261-288.
- Thurstone, L.L. (1931). Multiple factor analysis. *Psychological Review*, *38*, 406-427.
- Thurstone, L.L. (1938). *Primary Mental Abilities*. Chicago: Chicago University Press.
- Vernon, P.E. (1950). *The Structure of Human Abilities*. London: Methuen.