

Aux origines des idées factorielles [Des théories aux méthodes statistiques]

Des théories aux méthodes statistiques

Olivier Martin

Citer ce document / Cite this document :

Martin Olivier. Aux origines des idées factorielles [Des théories aux méthodes statistiques]. In: Histoire & Mesure, 1997 volume 12 - n°3-4. Penser et mesurer la structure. pp. 197-249;

doi : <https://doi.org/10.3406/hism.1997.1544>

https://www.persee.fr/doc/hism_0982-1783_1997_num_12_3_1544

Fichier pdf généré le 28/03/2019

Abstract

Abstract: The Origins of Factorial Ideas. From Theories to Statistical Methods. This article considers the ideas and concepts in factorial analysis through a historical overview of its methods. The origin of this statistical technique is to be found in the works of the psychologist Spearman who sought to identify factors of the mind, in other words the agents contributing to various mental activities, during the early decades of this century. Spearman's statistical tools were progressively detached from the psychological realm where they had been created. Spearman's theory of mental factors became a general disembodied method. The new autonomous character of statistical formalisms resulted from criticism and response to criticism coming from mathematicians as well as psychologists, Thomson, Thurstone, and Hotelling in particular. The analysis of that development, running roughly from 1900 to 1940, sheds light on one of the forms of the influence of mathematical formalism in social science.

Résumé

Résumé : À travers un historique des méthodes d'analyse factorielle, cet article propose une réflexion sur les idées et concepts qui lui sont liés. L'origine de cette technique statistique peut être trouvée dans les travaux du psychologue Spearman qui, durant les premières décennies du XXe siècle, cherchait à identifier les facteurs de l'esprit c'est-à-dire les agents participant aux diverses activités mentales. Progressivement, les outils statistiques utilisés par Spearman se dissocièrent des questionnements psychologiques qui lui avaient donné naissance. La théorie des facteurs de l'esprit de Spearman devint une méthode universelle désubstantialisée. Cette « autonomisation » des formalismes statistiques fut le résultat des critiques et des réponses à ces critiques, venues aussi bien des psychologues que des mathématiciens, notamment Thomson, Thurstone et Hotelling. La reconstitution de cette histoire, qui s'échelonne approximativement de 1900 à 1940, permet de saisir une des formes du rôle des formalismes mathématiques en sciences humaines.

Olivier Martin*

Aux origines des idées factorielles. Des théories aux méthodes statistiques

Résumé : À travers un historique des méthodes d'analyse factorielle, cet article propose une réflexion sur les idées et concepts qui lui sont liés. L'origine de cette technique statistique peut être trouvée dans les travaux du psychologue Spearman qui, durant les premières décennies du XX^e siècle, cherchait à identifier les facteurs de l'esprit c'est-à-dire les agents participant aux diverses activités mentales. Progressivement, les outils statistiques utilisés par Spearman se dissocièrent des questionnements psychologiques qui lui avaient donné naissance. La théorie des facteurs de l'esprit de Spearman devint une méthode universelle désubstantialisée. Cette « autonomisation » des formalismes statistiques fut le résultat des critiques et des réponses à ces critiques, venues aussi bien des psychologues que des mathématiciens, notamment Thomson, Thurstone et Hotelling. La reconstitution de cette histoire, qui s'échelonne approximativement de 1900 à 1940, permet de saisir une des formes du rôle des formalismes mathématiques en sciences humaines.

Abstract: The Origins of Factorial Ideas. From Theories to Statistical Methods. This article considers the ideas and concepts in factorial analysis through a historical overview of its methods. The origin of this statistical technique is to be found in the works of the psychologist Spearman who sought to identify factors of the mind, in other words the agents contributing to various mental activities, during the early decades of this century. Spearman's statistical tools were progressively detached from the psychological realm where they had been created. Spearman's theory of mental factors became a general disembodied method. The new autonomous character of statistical formalisms resulted from criticism and response to criticism coming from mathematicians as well as psychologists, Thomson, Thurstone, and Hotelling in particular. The analysis of that development, running roughly from 1900 to 1940, sheds light on one of the forms of the influence of mathematical formalism in social science.

* Faculté des Sciences Humaines et Sociales de la Sorbonne, Département des Sciences Sociales, Université Paris V, 12, rue Cujas, 75005 - Paris.

Les méthodes d'analyse factorielle des données, comme les concepts et idées qui y sont associées, ont profondément marqué la recherche française en sciences sociales et humaines. Même si aujourd'hui d'autres méthodes (comme les régressions sur variables qualitatives) tendent à supplanter les méthodes factorielles dans le cœur des sociologues, linguistes ou psychologues, celles-ci sont encore largement présentes dans les publications, dans les manuels de méthodologie ou dans les enseignements destinés aux sociologues et psychologues. Pourtant l'histoire et l'épistémologie de ces méthodes sont méconnues¹ : les idées et concepts ayant présidé au développement de l'analyse factorielle ne sont pas interrogés ; les débats ayant accompagné son développement et sa diffusion sont mal connus ; les évolutions des écritures formelles du problème factoriel et des méthodes de sa résolution sont largement ignorées...

Le présent article vise à proposer quelques éléments essentiels de cette histoire, en tout cas des débuts de cette histoire : des premières idées factorielles de Charles Spearman (vers 1900 en Angleterre) jusqu'à l'écriture mathématique « moderne » de l'analyse factorielle multidimensionnelle par Louis Thurstone (durant les années trente aux États-Unis). En même temps, cette analyse historique fournira les bases d'une réflexion plus épistémologique sur le rôle du formalisme mathématique dans le développement des méthodes factorielles. Le fil de notre propos sera chronologique : nous débiterons par une analyse de la théorie factorielle de Spearman ; nous évoquerons les évolutions et transformations qu'a connues sa théorie ; puis nous retracerons les débats qui ont surgi autour de cette théorie (essentiellement le débat sur la nature des facteurs) ; enfin nous analyserons ses transformations en méthodes multifactorielles.

1. Aux origines des premières idées factorielles

Une connaissance relativement précise de l'itinéraire biographique de Charles Spearman est une étape nécessaire à la compréhension de sa démarche de chercheur et, finalement, à la connaissance des motifs qui sont à l'origine de sa théorie factorielle.

1. Signalons quand même les recherches de J.-P. BENZÉCRI, 1982, de S.J. GOULD, 1983, de B. NORTON, 1979 et de P. OLÉRON, 1957. Pour une analyse critique de ces travaux et pour une histoire plus complète et plus précise, nous renvoyons à la deuxième partie de notre ouvrage, MARTIN, O., 1997.

Charles Spearman, psychologue anglais

Né en 1863, Charles Edward Spearman² poursuit ses études à Londres où il semble porter un grand intérêt à la philosophie et à ce qui n'en constitue alors qu'une branche : la psychologie. Il lit les travaux des principaux auteurs de l'école de psychologie associationniste mais en critique la dimension purement philosophique. Il semble sensible aux thèses affirmant que l'activité mentale est plus active et plus créative que les conceptions associationnistes ou naturalistes ne le prétendent. Ses études de philosophie et de psychologie s'arrêtent toutefois assez vite puisqu'il rejoint, dès l'âge de 22 ans, les rangs de l'armée au sein de laquelle il fera carrière durant 12 ans. Il quitte l'armée en 1897 pour se rendre à Leipzig, à l'Institut de Psychologie Expérimentale fondé par Wundt où il se familiarise avec les techniques expérimentales et l'étude de la discrimination sensorielle. Il y obtient son doctorat de psychologie pour des recherches sur la « vision spatiale » (1906). En 1907, il devient *Reader* en psychologie expérimentale à l'*University College de Londres*. Quatre ans plus tard il est nommé à la chaire de psychologie générale³. Il reste *Professor of Psychology* à l'Université de Londres jusqu'à sa retraite en 1932, date à laquelle Cyril Burt lui succède. Mais l'heure de la retraite ne sonne pas la fin de ses activités de recherche pour autant : il séjourne dans diverses universités nord-américaines, à Columbia et surtout à Chicago. Charles Spearman meurt en 1945 à l'âge de 82 ans. De 1923 à 1926, en succédant à C.S. Myers à la tête de la Société Britannique de Psychologie, il en était devenu le deuxième président. Il fut également membre de la *Royal Society*.

Les racines biographiques de sa problématique

C'est en 1904 que débutent, un peu symboliquement, les travaux de Spearman sur lesquels vont porter nos analyses. Cette date ne correspond qu'à la partie visible d'un mouvement plus profond s'enracinant de façon significative dans la psychologie expérimentale allemande, dans la biométrie anglaise (Galton-Pearson) et en rupture avec les thèses associationnistes. Cette date est seulement l'année de publication de deux articles consacrés à la mesure et à la définition de

2. Les principales sources biographiques sont l'autobiographie de SPEARMAN, C., 1930 et plusieurs analyses ou nécrologies signées de collègues ou de collaborateurs : BURT, C., 1947 ; BURT, C. & MYERS, C., 1946 ; FLUGEL, J.C., 1946.

3. Sur l'autonomisation et la construction de la psychologie comme discipline, cf. par exemple DANZIGER, K., 1990 et PAICHELER, G., 1992.

l'intelligence : « The Proof and Measurement of Association between Two Things » et « 'General Intelligence', Objectively Determined and Measured »⁴. Pour les historiens des sciences statistiques, ces deux articles sont les articles séminaux de l'analyse factorielle. En fait, ils représentent bien plus ou plutôt bien autre chose : Spearman ne présente pas une méthode mais un programme ; pas des exemples mais un modèle ; pas des outils mais une théorie psychologique.

Échecs et intérêt de l'école de Leipzig

Dans ses publications de 1904, Spearman ne cache pas sa déception à la vue des résultats obtenus par les travaux de l'école expérimentale allemande. Selon lui, l'échec est le résultat du divorce entre, d'un côté, la Vie (*Life*) avec ses processus psychologiques complexes (processus dits supérieurs : intelligence, mémoire, aptitudes) et, d'un autre côté, la science psychologique se limitant à l'étude de phénomènes mentaux simples (processus dits inférieurs : sens et sensations). Pour lui, l'étude des processus élémentaires ne peut pas suffire à une bonne compréhension des phénomènes psychologiques ordinaires : « lorsque nous affirmons que la décision de Régulus de voter la paix avec Carthage ne fut rien de plus que l'agrégation de sensations visuelles, auditives et tactiles à différents degrés d'intensité et d'association, alors il existe un risque indéniable que certains éléments psychiques précieux aient pu nous échapper des doigts »⁵. Toutefois, en critiquant l'école de Leipzig, Spearman ne va pas jusqu'à en rejeter totalement les méthodes ou les fondements : dans une très large mesure il placera ses recherches dans la lignée méthodologique de l'école de Leipzig.

Les outils de l'école biométrique

Sa connaissance des méthodes et de l'approche développées par l'école biométrique anglaise ne fait aucun doute. Assez tôt, il a découvert les travaux de Galton et s'est intéressé aux recherches sur les corrélations. Les méthodes de corrélations lui paraissent très familières : il cite et utilise abondamment des travaux de Galton, Bravais, Pearson, Sheppard et Yule⁶. En 1907, le poste d'enseignant qu'il obtient à Londres se situe à l'*University College*, lieu où sont

4. SPEARMAN, C., 1904a ; 1904b.

5. SPEARMAN, C., 1904b, p. 204. Cet extrait, et la critique qu'elle sous-tend, visent également la conception associationniste de l'esprit (*cf. infra*).

6. Sur ces travaux : STIGLER, S.M., 1986 ; MAC KENZIE, D., 1981 ; ARMATTE, M., 1995.

installés le Laboratoire de Biométrie créé par Karl Pearson en 1901 et le Laboratoire d'Eugénique créé par Galton en 1904. Tous ces faits sont autant d'indices ou de preuves de l'existence d'un lien « intellectuel » entre Spearman, les thèses et les outils de l'école de biométrie. Dès lors l'interrogation réside plutôt dans la nature exacte de l'influence de cette école sur ses travaux.

La lecture des travaux de Galton semble lui suggérer qu'il existe un lien entre les capacités intellectuelles et le pouvoir de discrimination sensorielle. Galton a en effet annoncé, dans son ouvrage *Inquiries into Human Faculty and its Development* (1883), avoir « découvert que les personnes normalement bien douées manifestent habituellement une grande finesse dans la discrimination des poids »⁷.

Galton est également à l'origine d'une autre idée dont Spearman prend conscience et qui sera centrale dans sa démarche : « Il est facile, écrit Galton en 1888, de voir que la corrélation doit être la conséquence du fait que les variations des deux organes sont dues en partie à des causes communes »⁸. Aux yeux de Spearman, le fait que deux grandeurs soient en corrélation prouve qu'il existe « *something common* »⁹ à ces deux grandeurs : la corrélation permet, une fois éliminées les erreurs de mesure, de connaître la corrélation réelle, l'ampleur de la cause réelle commune¹⁰. Et cette conception n'évoluera pas fondamentalement avec le temps puisqu'en 1927, dans son fameux ouvrage *The Abilities of Man*, il affirmera que « si deux aptitudes sont en corrélation dans une certaine mesure, on peut, dans cette mesure, les regarder comme dépendant d'un facteur commun »¹¹. Cette conception de la notion de corrélation statistique constitue le point central de la théorie psychologique de Spearman. Prouvant l'existence d'une liaison parfaite entre les divers types d'activité mentale, il en déduit l'existence d'un facteur général commun à toutes ces activités.

Les emprunts conceptuels et techniques de Spearman aux travaux de Galton, et plus généralement à l'école biométrique anglaise, sont

7. BURT, C., 1947, p. 10. Spearman fait souvent référence à cet ouvrage publié en 1883 à Londres. Cette idée est d'ailleurs reprise en 1890 lorsqu'il commente le fameux article de J. McK CATTELL, « Mental Tests and Measurements » de 1890 cf. F. GALTON, 1890.

8. GALTON, F., 1888 ; STIGLER, S.M., 1986, p. 297.

9. SPEARMAN, C., 1904b, p. 258.

10. SPEARMAN, C., 1904a, p. 74.

11. SPEARMAN, C., 1927.

certains. Pour autant Spearman fait-il partie de l'école biométrique anglaise de Galton-Pearson ? Est-il un représentant de la pensée eugénique anglaise ? À ces questions, une réponse négative s'impose : s'il a hérité de l'école biométrique certains outils statistiques et, à certains égards, de l'interprétation qui y est associée, Spearman se situe incontestablement en marge voire en dehors de cette école et de la pensée qui s'y rattache alors (l'eugénisme ¹²). Quelques indices permettent de s'en convaincre : Spearman ne publiera jamais dans la revue de Pearson, *Biometrika* ¹³ ; dans son autobiographie, il ne cite pas Pearson comme un de ses « proches » et, s'il paraît probable qu'ils se connaissaient, nous n'avons trouvé aucune preuve tangible de leur familiarité (une petite controverse sur l'héréditabilité des traits physiques et intellectuels ¹⁴ les opposera durant plusieurs années) ; il ne partage pas la philosophie instrumentaliste de Pearson, largement influencé par Ernst Mach.

Spearman était, certes, membre de la *Eugenics Education Society* mais ses contributions directes aux débats sur l'héréditarisme et l'eugénisme sont quasi-inexistantes. Tout au plus dénombre-t-on un article publié en 1914 dans la revue *Eugenics Review* dans lequel, après avoir défendu l'idée de l'existence d'une faculté mentale générale (*g*), il cherche à accréditer l'idée selon laquelle les seules études sur l'hérédité qui auraient un sens sont les recherches sur l'héréditabilité de *g*. Et dans son principal ouvrage *The Abilities of Man*, non seulement il ne prend pas position sur le caractère inéluctable des différences entre individus, mais il souligne que « les différences raciales, si elles existent, sont certainement très petites par rapport à celles qui séparent les individus de la même race » et que « les témoignages dignes d'être retenus [sur la dépendance des aptitudes vis-à-vis de la parenté] laissent beaucoup à désirer » ¹⁵. Il constate simplement que la question de l'inné et de l'acquis est « une question fondamentale pour tout le progrès humain » qui « est aujourd'hui au point mort du fait de la rivalité qui sépare les deux

12. Par exemple LEMAINÉ, G. & MATALON, B., 1985 ; et pour l'histoire des méthodes, DESROSIÈRES A., 1993.

13. *Biometrika* : revue fondée en 1901 par Galton, Pearson et Weldon.

14. En 1901, le calcul des corrélations entre les capacités physiques et mentales de plusieurs frères avait permis à Pearson de montrer que les caractéristiques physiques et mentales des individus avaient la même héréditabilité. En 1904, Spearman infirme ce résultat ; SPEARMAN C., 1904a, pp. 98-99. Le débat qui naît alors durera plusieurs années et prendra diverses formes.

15. SPEARMAN, C., 1927, p. 380 et 391.

plans d'actions possibles [l'éducation ou l'eugénique] »¹⁶. Nous sommes loin des propos triomphants tenus, à la même époque, par certains chercheurs comme Cyril Burt¹⁷. Si les outils de Spearman ont été largement utilisés par les héréditaristes ce n'est pas de son fait mais de celui de Cyril Burt et Hans J. Eysenck¹⁸.

La critique de l'associationnisme

À ces deux influences principales, s'ajoute une troisième influence. Le portrait de Spearman serait en effet très incomplet si nous n'évoquions pas ses réactions et ses critiques face à un « paradigme philosophique » qui constitue le cadre de la philosophie psychologique en Angleterre lorsqu'il débute ses études : l'associationnisme (issu des travaux de David Hartley, Alexander Bain, Herbert Spencer, James Mill et, par certains aspects, John Stuart Mill¹⁹). À travers cette influence, Spearman n'héritera ni d'outils, ni de méthodes, ni de concepts précis. Il héritera plutôt de l'idée que ces théories ne lui conviennent pas : « l'associationnisme tend fortement vers l'hédonisme qui était et qui est pour moi une abomination » écrit-il dans son autobiographie.

Selon la perspective associationniste, la base de l'activité mentale de l'individu et son adaptation aux situations sont le résultat des associations entre les réponses aux *stimuli* et les *stimuli* ; la vie mentale est réduite à l'association automatique des idées et des représentations. Trois caractéristiques sont généralement reconnues à l'associationnisme : le sensualisme/empirisme (la connaissance est le produit des sensations), l'atomisme (la connaissance se résume à la somme de toutes les expériences sensorielles) et le mécanisme (la vie mentale est le résultat de la succession mécanique de ces expériences). Enfin, par certains aspects, l'associationnisme affirme que les associations de sensations sont largement inconscientes. L'associationnisme peut être vu comme une théorie de la « passivité mentale²⁰ ».

Aux thèses de la passivité mentale, Spearman opposera en substance une théorie de l'énergie/volonté mentale. Il voit en effet dans ses recherches des motifs de croire que l'activité mentale est un

16. SPEARMAN, C., 1927, p. 376.

17. NORTON, B., 1979, p. 151.

18. GOULD, S.J., 1983, p. 341.

19. Par exemple BRENNAN, J., 1991, chap. 7 ; STAGNER, R., 1988, pp. 65-69.

20. BRENNAN, J., 1991, p. 90 *sq.*

processus actif, créatif et possédant une unité générale (cette unité est *g*). De ses travaux sur *g* et de ses critiques des thèses associationnistes vont naître, à partir de 1923, des lois dites « lois néogénétiques »²¹. Ces lois précisent les voies par lesquelles l'homme agit, réfléchit et est conscient de ses actes, les voies par lesquelles l'homme agit sur ses propres activités mentales. Et, dans cette perspective, *g* représentera la puissance individuelle à mettre en œuvre les opérations néogénétiques, ce que Spearman appelle la « synthèse néogénétique ».

2. Les premières idées factorielles

C'est donc en 1904 que Charles Spearman publie deux articles dans la revue *American Journal of Psychology*. L'article « The Proof and Measurement of Association between Two Things » est consacré à l'exposé des différents outils statistiques permettant de prouver et d'évaluer l'association entre deux grandeurs ; et l'article « 'General intelligence', objectively determined and measured » qui s'apparente plus à un petit livre (90 pages divisées en 5 chapitres) est consacré à l'exposé de la preuve de l'existence de « l'Intelligence Générale ».

Quelle est la volonté de Spearman ? Il propose de développer, sur les traces de la psychologie expérimentale de Wundt, une psychologie renouvelée grâce aux outils de l'école biométrique anglaise. Cette psychologie, appelée « *Correlational Psychology* » est définie par sa mission²² : déterminer objectivement les traits psychologiques reliant les processus en œuvre dans les tests mentaux et les processus généraux des activités psychiques courantes afin de jeter un pont entre le « Laboratoire » et la « Vie », entre la « Science » et la « Réalité ». En d'autres termes, il s'agit d'examiner les liens existant entre les processus dits « inférieurs » et ceux dits « supérieurs ».

Les outils d'étude des corrélations

Le premier article « est une contribution pour tenter de remédier aux lacunes dans les méthodes scientifiques d'établissement des

21. Présentées pour la première fois dans *The Nature of Intelligence and Principles of Cognition*, 1923, ces lois sont reprises littéralement dans son ouvrage *The Abilities of Man*, 1927 et dans son autobiographie. En 1931 il publie un livre au titre explicitement anti-associationniste, *Creative Mind*, 1931.

22. SPEARMAN, C., 1904b, p. 205.

corrélations »²³. Les outils nécessaires sont non seulement les outils de Galton et Pearson (notamment le coefficient de Bravais-Pearson²⁴) mais aussi certains autres outils (développés ou adaptés par Spearman) destinés à « redresser » les résultats. En effet, le calcul des coefficients de corrélation ne suffit pas : Spearman estime nécessaire de corriger les erreurs et les déviations systématiquement présentes dans l'évaluation des grandeurs et de leur corrélation. En premier lieu, les « erreurs accidentelles » dues au fait que les phénomènes observés sont des « échantillons » de la réalité sous-jacente et que ces échantillons ne sont pas parfaitement contrôlés. Ce type d'erreur est dû au hasard lors du recueil des données : elles sont incontrôlables et ne peuvent pas être corrigées. L'autre grand type d'erreur est constitué des erreurs systématiques dues aux « déviations systématiques » lors de la mesure des grandeurs. Dans cette catégorie générale d'erreurs Spearman distingue les erreurs d'autosuggestion, d'atténuation, de constriction, de dilatation, et enfin de distorsion ; pour chacune d'entre elles il propose des méthodes de correction.

Par exemple, les erreurs d'atténuation, résultat de l'imperfection des mesures, peuvent être corrigées s'il est possible de répéter la mesure des grandeurs, et donc de calculer un coefficient de « fiabilité ou de fidélité » de la mesure. Un autre type d'erreur, nommé « erreurs de constriction et dilatation », est le résultat des liens qui peuvent exister entre les grandeurs étudiées et des variables extérieures : soit que ces variables extérieures tendent à diminuer artificiellement les corrélations entre les phénomènes étudiés, soit qu'elles tendent à les augmenter. C'est par exemple le cas de la situation où, souhaitant évaluer la corrélation entre l'intelligence scolaire naturelle et la capacité naturelle des enfants à discriminer des sons, il est nécessaire de tenir compte de l'entraînement des enfants suivant des cours de musique.

Élaboration de la théorie psychologique de Spearman

Son second article²⁵ qui s'inscrit dans le strict prolongement de l'article précédent, a pour objet principal la démonstration d'une théorie psychologique affirmant l'unité dans les activités mentales. Il

23. SPEARMAN, C., 1904a, p. 73.

24. Si x et y représentent les écarts aux moyennes, S_{xy} la somme des produits de ces écarts, S_x^2 et S_y^2 les sommes des carrés de ces écarts, alors le coefficient de corrélation s'élève à $S_{xy} / \sqrt{S_x^2 S_y^2}$. Spearman préconise de calculer le coefficient sur des données de rangs.

25. SPEARMAN, C., 1904b.

s'agit d'estimer à la fois les caractéristiques psychophysiques (processus inférieurs) et l'intelligence des sujets ; cette intelligence étant celle caractérisant les individus dans leur vie « quotidienne ». Parmi les nombreuses caractéristiques psychophysiques habituellement étudiées, Spearman n'en retient que trois : la capacité des sujets à discriminer les hauteurs tonales, les luminosités et les poids. Pour estimer l'intelligence « quotidienne » de chacun des sujets il propose une méthode permettant d'examiner tous les aspects de l'intelligence sans hypothèse *a priori* : il utilise tout simplement l'ensemble des différents classements scolaires des enfants.

Le fil guidant la démonstration de Spearman est une hypothèse dont Burt nous fournit une formulation limpide : « si [l'atténuation] et d'autres influences étrangères étaient convenablement corrigées par des méthodes statistiques alors [...] les corrélations entre tous les processus mentaux apparaîtraient non seulement positives mais très élevées »²⁶. Plus précisément, partant des données expérimentales, Spearman calcule une première estimation des coefficients de corrélation entre les différents tests, puis corrige ces estimations en éliminant, d'une part, les erreurs dues à des « atténuations systématiques » et, d'autre part, les « facteurs indésirables » (principalement les effets exogènes liés à l'âge, le sexe ou l'entraînement). Ces corrections sont destinées, selon Spearman, « à déduire à partir de plusieurs valeurs observées la vraie valeur de la corrélation, qui est la seule à avoir une *signification scientifique réelle* »²⁷. Il utilise ensuite ces corrélations « réelles » de deux façons distinctes : d'une part, pour établir un lien parfait entre tous les types de processus mentaux et, d'autre part, pour constater l'existence d'une hiérarchie entre les activités mentales.

Comment établit-il un lien parfait entre les capacités psychophysiques et les « capacités intellectuelles sociales » ? Dans un premier temps, il établit que toutes les capacités sensorielles élémentaires ont quelque chose en commun (puisqu'elles sont toutes corrélées) : cet élément commun et essentiel est la « Capacité (ou Fonction) Sensorielle Générale ». De même, toutes les mesures des activités mentales supérieures étant corrélées, Spearman déduit l'existence d'une « Intelligence Générale ». Puis il corrige les effets de l'atténuation dans la mesure des liens entre ces deux éléments essentiels et en déduit qu'il existe un lien parfait entre la Capacité Sensorielle Générale et

26. BURT, C., 1947, p. 13.

27. SPEARMAN, C., 1904b, p. 256.

l'Intelligence Générale (parfaitement corrélées, $r = 1$). Ces résultats lui permettent d'affirmer que « l'élément commun et principal des intelligences coïncide parfaitement avec l'élément commun et principal des fonctions sensorielles »²⁸ et donc qu'il existe une « unité universelle de la fonction intellectuelle ». Tous les tests des capacités sensorielles, de l'intelligence ou des facultés intellectuelles ne sont que des estimations d'une même « Fonction Intellectuelle ».

Spearman ne se prononce toutefois pas sur la nature exacte de cette fonction centrale commune (désignée par divers syntagmes « Fonction Intellectuelle Générale », « Facteur Général »...). Il affirme simplement qu'il existe « *something common* » à toutes les activités mentales. Il renvoie la discussion sur la nature de cette fonction centrale à une date où, dit-il, nous aurons « une connaissance plus approfondie de ses composantes objectives »²⁹.

Cela ne signifie pas pour autant, selon lui, qu'il n'existe pas de fonctions spécifiques : il est possible d'en mettre en évidence dès lors qu'on étudie une activité particulière. Réestimant les liens entre les différentes activités mentales et la « Fonction Intellectuelle Générale », il montre qu'il existe des facteurs spécifiques à chacun des types de capacité. Chaque activité mentale se décompose ainsi en une partie directement liée à la Fonction Générale (Facteur Commun) et une partie spécifique (Facteur Spécifique).

Dès 1904, donc, Spearman emploie les termes « facteur commun » et « facteur spécifique »³⁰. Ce vocabulaire accompagnera éternellement sa théorie et fournira plus tard le nom à la théorie puis à la méthode (théorie et méthode factorielles). En 1904, la notion de facteur renvoie implicitement à deux idées. Premièrement, et principalement, à l'idée de cause, de source, d'origine mécaniste. Par exemple, il emploie explicitement le terme facteur pour désigner des « facteurs extérieurs déterminant les corrélations ». En ce sens la notion de facteur est une notion très générale, abstraite, quasiment désubstantialisée. En même temps, et de façon plus secondaire (en 1904), la notion de facteur chez Spearman renvoie à des idées plus matérialistes : les facteurs sont les constituants de l'esprit, les entités présentes dans l'esprit. Ensemble, facteurs spécifiques et facteur général constituent l'esprit, le mental humain.

28. SPEARMAN, C., 1904b, p. 269.

29. SPEARMAN, C., 1904b, p. 284.

30. Les termes originaux sont *common factor* et *specific factor*. À l'époque, l'usage du terme *facteur* n'est pas propre à Spearman : sans être courant, son usage n'est pas rare (principalement en psychologie philosophique pour désigner les constituants de l'esprit).

À partir de ses estimations des corrélations réelles, Spearman déduit également, nous l'avons dit, la preuve de l'existence d'une structure hiérarchique. Le constat de l'existence d'une fonction commune et de capacités spécifiques le pousse, en effet, à s'interroger sur la hiérarchie entre les différentes capacités. L'examen des corrélations entre les différentes épreuves utilisées (français, anglais, mathématiques, langues mortes, musique, capacités sensorielles) le conduit à établir qu'il existe une hiérarchie parfaite entre ces différentes capacités. La corrélation entre les résultats en langues mortes et les autres épreuves décroît lorsque l'on passe du français à l'anglais, puis des mathématiques aux capacités sensorielles, et enfin à la musique. Cette hiérarchie quasi-parfaite n'est pas, pour Spearman, le fruit du hasard. Cette quasi-perfection fournit, bien au contraire, la preuve de l'existence réelle d'une hiérarchie parfaite au sein des activités intellectuelles. Comme nous allons le voir, dans les années qui suivent 1904, l'existence de cette structure hiérarchique est au centre des débats sur les facteurs de l'esprit.

3. Évolutions de la théorie des facteurs de l'esprit

S'il est possible de considérer, un peu schématiquement, que les deux articles de 1904 jettent les bases de la théorie psychologique de Spearman, il faut reconnaître que cette théorie n'est pas restée immuable dans les travaux postérieurs de Spearman et de ses collaborateurs. En effet, au fil des années et des articles, les critères statistiques de validité de sa thèse, c'est-à-dire ses expressions formelles, vont être précisés, et parallèlement, le sens de sa théorie va changer³¹ ; ces deux évolutions ne sont ni tout à fait conjointes ni tout à fait indépendantes. Deux points vont cependant rester fixes : premièrement l'affirmation de l'existence d'une unité dans les activités mentales et de la primauté de cette unité sur toutes les autres caractéristiques de ces activités ; deuxièmement la nature psychologique (et non méthodologique ou statistique) de la théorie. Il est possible de considérer que les outils de démonstration et le sens attribué à la théorie se stabilisent à la fin des années vingt et, si nous devons retenir une date précise, à partir de la publication en 1927 de son ouvrage majeur *The Abilities of Man*.

31. Pour une description précise des évolutions : MARTIN, O., 1997, chapitre 5.

Introduction progressive du formalisme

Le premier article faisant suite à ceux de 1904 est publié en 1907³². Il marque une évolution notable : l'existence de la faculté mentale générale est suspendue à la vérification d'une condition simple et non, comme c'était le cas en 1904, à des laborieux calculs de correction et à un enchaînement démonstratif (non généralisable) composé de plusieurs étapes. À partir de cette date, la démonstration de l'existence de la faculté intellectuelle générale sera toujours suspendue à la vérification d'une condition statistique sur les corrélations inter-tests.

Deux ans plus tard, en 1909, un collaborateur de Spearman à Londres, Cyril Burt (1883-1971), publie un long article confirmant la théorie de Spearman ; premier article de sa longue carrière scientifique. Il se situe dans la droite ligne de l'article de 1904 : l'existence de l'intelligence générale est réaffirmée, et ce en dépit des changements introduits par C. Burt.

D'une part, C. Burt montre que l'existence d'une hiérarchie suffit à prouver l'existence d'une unité dans les facultés mentales. En 1904, Spearman avait établi à partir du calcul des coefficients de corrélation corrigés deux résultats logiquement indépendants ; en premier lieu, la corrélation parfaite entre les facultés sensorielles et l'intelligence ; en second lieu, l'existence d'une hiérarchie entre les différentes facultés mentales. Ces résultats avaient été obtenus séparément et n'étaient pas liés dans l'esprit de Spearman. Ce schéma est changé dans l'article de Burt : « la principale conséquence de l'existence de cette hiérarchie des résultats expérimentaux est, écrit Burt en 1909, que nous pouvons inférer que toutes les fonctions de l'esprit humain, des plus simples aux plus complexes, sont issues d'un système unique »³³.

D'autre part, il propose un critère statistique pour établir la présence d'une hiérarchie dans un tableau de corrélations. Dans l'article de 1904 de Spearman, l'existence de la structure hiérarchique est prouvée « visuellement » sans qu'il soit besoin d'avoir recours à des critères formalisés ou quantifiés. Chez Burt le critère devient formel. Burt définit une hiérarchie comme un système de corrélations vérifiant une condition mathématique. Son critère s'appuie sur une

32. SPEARMAN, C. & KRUEGER, F., 1907.

33. BURT, C., 1909, pp. 164-165.

formule permettant d'apprécier « jusqu'à quel point les corrélations observées forment une hiérarchie parfaite »³⁴.

Ces deux changements seront irréversibles. À partir des années dix le regard des « factorialistes » se concentre sur les structures hiérarchiques des tables de corrélations (plus tard sur les matrices) et sur la recherche de preuves établissant que de telles tables prouvent l'existence d'une unité dans les activités mentales. Reste qu'il serait illusoire de croire que la théorie de l'Intelligence Générale ne rencontre pas de critiques. Sans entrer dans le détail, retenons simplement qu'avant 1910, deux types de théories s'opposent à celle de Spearman : la théorie « afocale » (ou anarchique) considérant que le fonctionnement de l'esprit est anarchique, qu'il ne suit aucun principe structurant et organisé (c'est par exemple le cas du « connexionisme » de Thorndike³⁵) ; et la théorie « multifocale » affirmant l'existence de plusieurs facultés générales indépendantes dont chacune gouverne un type d'activité mentale.

L'article « General Ability, its Existence and Nature »³⁶, co-publié en 1912 par Charles Spearman et un de ses anciens élèves, Bernard Hart, veut être une réponse à ces critiques. Ils présentent un critère simple et décisif qui permet de déterminer quel est, parmi les trois types de théories, celui qui est en accord avec les observations. Appliquant leur critère à un ensemble de 14 sources de données expérimentales, les auteurs montrent que ces données confirment leur théorie unifocale de façon éclatante. Le critère proposé est conçu comme permettant de mettre en commun différentes théories. Situées *a priori* sur le même pied d'égalité, les théories sont testées et, seule, celle ayant réussi le test pourra être considérée comme valide. À la différence des outils précédents, le critère de Hart et Spearman constitue donc un « test ».

Dans ce même article, Hart et Spearman introduisent également une nouvelle interprétation de l'usage et du rôle des tests. À leurs yeux, les tests doivent être utilisés en série de façon à ce que les facultés testées soient des « échantillons » de l'ensemble des facultés : les batteries de tests doivent être constituées d'un grand nombre de tests hétérogènes. Dans ce cas, les effets des facteurs spécifiques ont tendance à se neutraliser et laissent le facteur général ressortir.

34. BURT, C., 1909, p. 163.

35. THORNDIKE, E.L. & WOODWORTH, E.L., 1901, pp. 247-261 et pp. 384-395.

36. HART, B. & SPEARMAN, C., 1912.

Il faut certainement attendre la fin des années dix pour voir d'autres changements significatifs dans la théorie des deux facteurs. Au moins pour l'historien, les articles publiés en 1919 et 1920 par Maxwell Garnett (mathématicien de formation, élève de Spearman, proche de Pearson) sont tout à fait remarquables³⁷ : ils établissent un cadre mathématique rigoureux et proposent des conditions nécessaires et suffisantes à l'existence d'une faculté mentale générale ; ils introduisent l'interprétation géométrique des coefficients de corrélation entre tests.

Jusqu'ici Spearman et ses collaborateurs ne possédaient que des conditions nécessaires à l'existence d'un facteur général et de facteurs spécifiques... même s'ils les utilisaient comme des conditions suffisantes. Garnett est le premier à établir, de façon rigoureuse, des conditions suffisantes : écrivant une décomposition des corrélations en n facteurs, il montre qu'un seul facteur suffit si les corrélations respectent certaines conditions. En revanche, dans ses différents articles, Garnett n'aborde jamais la question des erreurs, i.e. des écarts acceptables, entre les données empiriques et les conditions mathématiques. Les conditions mathématiques qu'il propose sont des conditions exactes, exactement nécessaires et suffisantes. En cela, il s'écarte de toutes les démarches qui ont été entreprises jusqu'ici par Burt, Hart et Spearman.

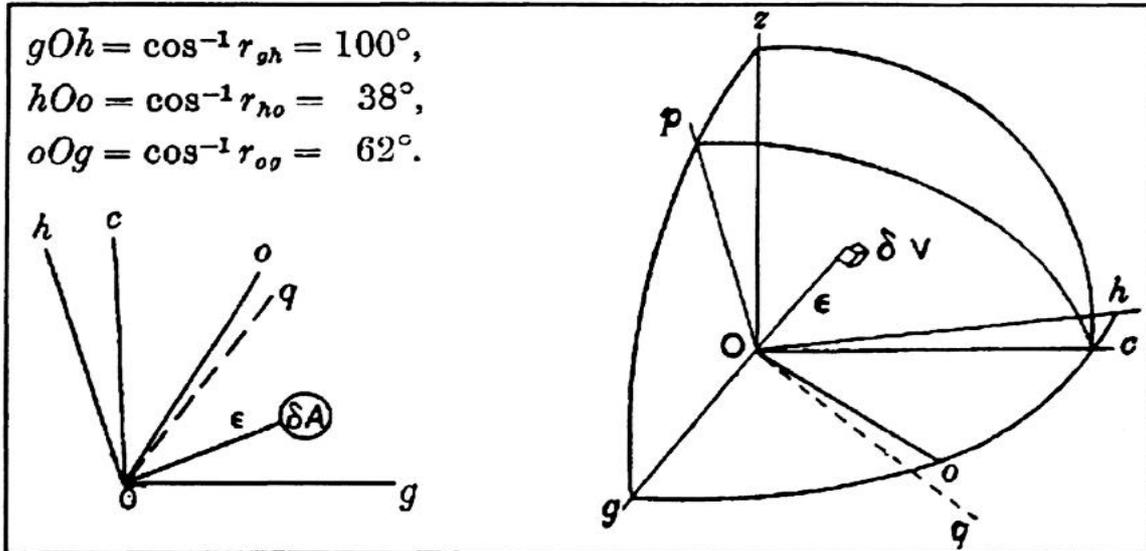
Garnett montre par ailleurs, qu'une série de tests suffisamment hétérogènes (comme Spearman en préconise l'emploi depuis 1912) tend à respecter la condition de Burt d'existence de la faculté générale : « les corrélations entre tout ensemble suffisamment hétérogène de tests mentaux tendent à vérifier le [test de présence de g développé par Burt en 1909] ». Ce faisant, il fournit une base formelle aux propos tenus par Hart et Spearman en 1912 sur l'échantillonnage des facultés mentales.

À tous ces résultats formels et techniques s'ajoute une innovation dans le mode de représentation mathématique des phénomènes. Garnett introduit, en effet, des représentations géométriques et des raisonnements géométriques dans l'étude des facteurs de l'esprit. Pour la première fois depuis 1904 l'espace géométrique euclidien ainsi que la forme de raisonnement et d'état d'esprit qu'il impose, sont utilisés.

Cette « innovation » n'est pas purement symbolique : comme tout schème mental, comme toute syntaxe utilisée dans un cadre sémanti-

37. GARNETT, J.C.M., 1919 ; 1920a ; 1920b.

Figure 1. Représentations géométriques des facteurs par Garnett (1919)



que, la vision géométrique des phénomènes structure la perception qu'il est possible d'en avoir. Notons toutefois que cette « modernité » des « représentations factorielles » ne sera pas immédiatement comprise et intégrée par Spearman. De telles considérations mettront du temps à réapparaître et à s'installer dans l'outillage courant des analystes factoriels. Il faudra en fait attendre les années trente pour que la syntaxe propre à la géométrie soit réintroduite et pleinement utilisée.

Au milieu des années vingt, Spearman et Holzinger (mathématicien et psychologue américain travaillant avec Spearman) proposent un nouveau critère d'existence de l'unité mentale : le critère de « différences tétrades (*tetrad difference*) »³⁸. Ce critère sera le critère « définitif » de preuve de la théorie de Spearman : il n'exprimera plus la validation empirique de sa théorie qu'en fonction de ce critère.

Le critère des différences tétrades est une réécriture du critère présenté par Burt dans son article de 1909 : si la relation $f = r_{ik} r_{jl} - r_{jk} r_{il} = 0$ est vérifiée pour tous les quadrimômes (i, j, k, l), alors il existe un facteur général et des facteurs spécifiques. En d'autres termes (non utilisés par Spearman), ce critère signifie que tous les déterminants mineurs d'ordre 2 de la matrice des corrélations

38. SPEARMAN, C. & HOLZINGER, K., 1924 ; 1925.

sont nuls et donc que cette matrice est de rang 1. Spearman et Holzinger accompagnent ce critère d'une méthode d'estimation de l'erreur probable commise sur f : la proximité de la valeur empirique de f avec 0 peut être testée. Si l'écart de la valeur empirique de la différence tétrade f à 0 est situé dans la « marge d'erreur probable » alors f peut être considérée comme nulle.

En fin de compte, l'évolution des critères démonstratifs apparaît liée à la nécessité d'emporter la conviction d'un nombre de plus en plus grand d'individus. C'est le travail de réponse aux critiques qui conduit Spearman et ses proches à expliciter et améliorer les critères d'existence de g . L'explicitation mathématique croissante des fondements de sa théorie tend au fond à désubjectiver les arguments utilisés, à les rendre les plus universels et absolus possibles, à les « objectiver »³⁹.

Évolution du sens et de la portée de la théorie

Dans leur article « General Ability, its Existence and Nature » (1912) déjà cité, Spearman et Hart proposent une nouvelle interprétation de la « faculté mentale générale ». L'interprétation en termes d'« Intelligence Générale », qui était restée très sommaire dans les articles antérieurs, disparaît au profit d'une interprétation en termes d'« Énergie Mentale ». Plus précisément, ils fournissent une explication physiologique à l'existence de ces deux types de facteurs : tout acte intellectuel mobilise à la fois un système précis de neurones (facteur spécifique) et l'énergie totale de l'ensemble du cortex (facteur général)⁴⁰. Cette interprétation prévaudra longtemps.

L'année 1914 voit la publication de « The Theory of Two Factors » par Spearman. L'apport (en apparence symbolique) de l'article se cache derrière son titre. Pour la première fois, la conception des facultés mentales défendue par Spearman est désignée par le terme « théorie » et, plus précisément, les termes « théorie des deux facteurs ». Cette expression demeurera, à partir de 1914 et jusqu'à son remplacement par l'expression « théorie factorielle », une façon commode et usuelle de désigner la théorie de Spearman.

En 1914 également, E. Webb, qui est un étudiant de doctorat sous direction de Spearman, soutient sa thèse « Character and Intelli-

39. PORTER, T.M., 1995.

40. HART, B. & SPEARMAN, C., 1912, p. 79. L'idée d'une « énergie cérébrale » est ancienne : GALTON, 1883, mais aussi McDougall (le prédécesseur de Spearman à l'University College) en font usage avant Spearman.

gence : an Attempt of an Exact Study of Character »⁴¹. La première conclusion avancée par Webb constitue une confirmation des thèses de Spearman. Mais, à ce premier résultat, Webb en ajoute un second : il existe un autre facteur général de l'activité mentale, le facteur « *persistence of motive* » ou « *will* » (noté *w*), qui dénote la « persévérance », la « volonté », la « motivation ». La portée de ce résultat est considérable : même si ce facteur n'est pas directement lié à l'intelligence ou l'énergie du cerveau, il n'en reste pas moins que l'idée qu'il puisse exister plusieurs facteurs généraux est irrémédiablement introduite. Bien entendu, Webb se défend d'avoir porté la contradiction au sein de la théorie de Spearman. Selon lui la « découverte » de ce facteur n'entame en rien la théorie initiale, puisque le facteur *g* est bien le seul facteur gouvernant les activités intellectuelles. Le facteur *w* n'agit pas sur la cognition mais sur la volonté des individus, sur leur courage à accomplir les différentes tâches qui leur sont soumises, sur leur constance dans la poursuite des buts. En un mot, comme le suggère le titre de la thèse de Webb, « Caractère et Intelligence », le facteur *w* est lié à la personnalité (phénomènes d'ordre affectif) alors que l'énergie *g* est de nature purement intellectuelle. Spearman adoptera, sans critique, ce résultat.

L'introduction d'un facteur général différent de l'énergie mentale n'est pas la seule innovation introduite par Webb dans sa publication de 1915. C'est dans cet article que peut être située la naissance de « *g* ». Webb utilise non seulement la lettre muette *g* dans ses calculs statistiques théoriques mais également dans les développements de nature plus psychologiques. Dans l'exposé du commentaire de ses résultats il parle, par exemple, de « Facteur Général '*g*' » puis de « *The 'g'* » ou de « *Our 'g'* ». Un peu plus tard « *g* » perd ses guillemets pour devenir, tout simplement, *g*. Dès lors *g* possède une valeur sémantique. Dans tous les articles postérieurs à 1915, le signe *g* s'identifie au concept de « Facteur Général » ou « d'Énergie Mentale ». Par la transformation de la syntaxe en sémantique, la théorie de Spearman est symbolisée voire matérialisée. Dorénavant *g* existe : s'il (nous) est permis de douter de son existence ontologique, il n'est pas permis de douter de l'existence de l'idée à laquelle il renvoie et qu'il représente ; il n'est pas permis de nier l'existence du symbole « *g* » et des images qu'il véhicule ; *g* est la fois une syntaxe et un objet ayant un sens social, voire scientifique. Nous connaissons le succès de cette entreprise de transformation (involontaire pour une

41. WEBB, E., 1915.

part) : le g de Spearman est passé dans le langage courant (des statisticiens et psychologues au moins).

Rappelons qu'en 1919 et 1920 Garnett publie des articles exposant les conditions nécessaires et suffisantes d'existence d'une unité mentale, mais ne propose pas de critères d'évaluation des écarts admissibles entre les conditions strictes et leurs réalisation empirique. Il est donc obligé d'introduire d'autres facteurs que g pour rendre compte des données expérimentales, puisque celles-ci n'entrent évidemment pas en parfaite adéquation avec les conditions mathématiques exactes. Il introduit les facteurs « don, ingéniosité (*cleverness*) », dit facteur c et « persévérance (*purpose*) », dit facteur p ⁴². À ses yeux, ces facteurs ne sont ni des facteurs spécifiques ni, bien sûr, le facteur général g : il s'agit de facteurs indépendants de g et rendant compte de phénomènes très différents de ceux relatifs à l'énergie mentale. En fait, Garnett ne fait que suivre, en les réinterprétant, les propos de Webb sur le facteur w et qu'ajouter un facteur supplémentaire pour expliquer les phénomènes dont g et p ne rendent pas compte (c'est-à-dire qu'il cherche, dans les corrélations dégagées de l'influence de g et de w , des facteurs supplémentaires). Là encore, la prédominance de g n'étant pas niée, Spearman intègre ces résultats dans la suite de ses recherches.

La théorie « finale » de Spearman

Le terme des évolutions de la théorie de Spearman peut être symboliquement daté en 1927, l'année de publication du fameux ouvrage *The Abilities of Man*. Après cette date, ni l'interprétation psychologique et philosophique de la théorie, ni l'outillage statistique, n'évoluent significativement dans les travaux de Spearman ; les articles révèlent avant tout sa volonté de contribuer à la diffusion de sa théorie à l'étranger (France, Suisse, États-Unis), de la défendre face aux innovations de Thurstone et de la *Psychometric Society*, ou de l'appliquer à des situations concrètes d'évaluation de l'intelligence. En 1927, Spearman est âgé de 64 ans et bientôt se retire de son poste de professeur de l'Université de Londres.

La théorie psychologique exposée est constituée d'une synthèse (parfois critique) des travaux expérimentaux menés depuis 1904 par Spearman mais aussi par tous les autres chercheurs s'étant intéressés à la question : Webb, Krueger, Hart, Garnett, Moore, Wechsler,

42. GARNETT, J.C.M., 1919, pp. 349-351 et pp. 359-361.

Brown, Thomson, Burt, Thompson, etc. Aucune nouveauté expérimentale n'est mise en avant. Spearman ne fait que présenter un bilan critique et synthétique des travaux anciens pour en tirer les grandes leçons, les grandes conséquences pour la connaissance du fonctionnement mental de l'esprit humain.

En substance, la théorie présentée défend l'idée de l'existence d'une « valeur parfaitement définie g », entrant « dans toutes les mesures qu'on peut faire de l'aptitude », « constant pour le même individu quoique variant beaucoup d'un individu à l'autre »⁴³. Contrairement aux premières idées avancées par Spearman en 1904, g ne doit pas être assimilé à « la vieille étiquette si mal employée, l'*intelligence* ». Spearman défend très fermement cette position, tout en reconnaissant que « seul g est de nature à se manifester par des différences individuelles sensibles dans les tests ordinaires d'intelligence ». En fait, l'interprétation de l'existence et des propriétés de g , qui sont « les seuls faits constatés », pose quelques difficultés mais « il est absolument nécessaire de forger une hypothèse explicative, même si elle n'est qu'un essai provisoire ». Cette hypothèse explicative est celle de l'énergie mentale :

*« De toutes [les hypothèses] qui ont été suggérées jusqu'ici, une seule semble convenir à tous les faits actuellement connus. Elle consiste à regarder g comme mesurant quelque chose d'analogue à une énergie, c'est-à-dire une force susceptible d'être appliquée, soit à une opération mentale, soit à une autre. Il y a d'ailleurs, au point de vue physiologique, des raisons d'espérer qu'une telle énergie sera découverte tôt ou tard dans le système nerveux, spécialement dans l'écorce cérébrale »*⁴⁴.

Spearman reconnaît par ailleurs que d'autres facteurs généraux s'ajoutent à g : les facteurs « d'inertie générale c », « oscillation générale » et « maîtrise de soi w ». Ils résultent de plusieurs recherches, notamment de celles de Webb et de Garnett. Ces facteurs sont cependant de moindre importance et la véritable « révolution copernicienne (*sic*) » est la découverte de g .

Chacun de ces facteurs trouve un sens dans le cadre explicatif général de Spearman. En concevant le cortex comme une machine alimentée en énergie par g , les facteurs c , « oscillation » et w ont des interprétations naturelles : c est l'inertie ou la lenteur de la machine ;

43. SPEARMAN, C., 1927, p. 411.

44. SPEARMAN, C., 1927, p. 414.

le facteur « oscillation » représente la fatigue ou l'usure de la machine et affecte ses rendements⁴⁵ ; w est la traduction de la présence d'un mécanicien (« là où opèrent une énergie et des machines, il doit nécessairement y avoir un mécanicien », *sic*) qui peut être plus ou moins attentif au bon fonctionnement de la machine, qui peut plus ou moins maîtriser la situation.

Chez les psychologues le facteur g a connu de beaux jours : il a constitué la base de multiples recherches, soit à finalité théorique, soit à finalité pratique. Alain Desrosières⁴⁶ cite par exemple le système utilisé dans le comté de Londres pour orienter les enfants dans les filières d'enseignement. Mis en place par le responsable (qui n'est autre que Cyril Burt) de la psychologie scolaire dans ce comté, ce dispositif dit *eleven plus* a fonctionné de 1944 à 1965 et reposait sur le classement des enfants en fonction de leur niveau de g . En 1973, dans son ouvrage majeur *Inequalities of Man*, un des grands représentants de la psychologie anglaise, Eysenck, a défendu et souligné l'importance du concept g . Ancien élève de Spearman à l'*University College* de Londres, connu pour ses positions héréditaristes, Eysenck présente le facteur g comme une « aptitude mentale générale intervenant dans une plus ou moins large mesure dans toutes les activités mentales sans exception⁴⁷ ». Et cette même notion est au cœur de l'article « Abilities » dans la volumineuse *Encyclopedia of Psychology*⁴⁸. Aujourd'hui, g fait partie de ce que nous pourrions appeler, en exagérant sans doute un peu, le « fond de culture occidentale » sur l'intelligence humaine⁴⁹.

4. À critères formels identiques, théories concurrentes

Le développement de la théorie factorielle, c'est-à-dire l'affirmation de l'existence de g et l'élaboration des outils démonstratifs, ne

45. SPEARMAN, C., 1927, pp. 326–328.

46. DESROSIÈRES, A., 1993, p. 178.

47. EYSENCK, H.J., 1973, p. 53.

48. Publiée sous la direction de H.J. EYSENCK, W. ARNOLD, & R. MEILI en 1972.

49. Voir par exemple ces évocations spontanées et récentes de g dans la presse généraliste : *Nouvel Observateur*, 1575, 12-18 janvier 1995, pp. 8–20 ; *Courrier International*, 210, 10-16 novembre 1994, pp. 11-14 ; *Le Monde*, 19-20 mars 1995, p. 13. Ces articles évoquent un livre qui a récemment défrayé la chronique aux États-Unis et dans une certaine mesure dans l'ensemble du monde occidental, celui de R. HERRNSTEIN & C. MURRAY, 1994.

s'est pas réalisé sans critique ni controverse. Dès les premières années, et sans relâche jusqu'à sa mort, Spearman a dû faire face aux critiques de ses contemporains. Le nombre d'articles publiés par Spearman, par ses alliés et par ses critiques nous laisse penser que la bataille pour la validation des idées développées ou esquissées en 1904 fut rude. Entre 1904 et la fin des années vingt, une centaine d'articles a été publiée et ce nombre avoisine certainement deux cents s'il est tenu compte des publications américaines des années trente. Spearman a défendu ses idées avec ténacité et acharnement. Bien entendu, les débats, voire les controverses, n'ont pas laissé intacts la théorie et les idées initiales de Spearman. Plusieurs des évolutions retracées précédemment ont pour origine, au moins partiellement, les critiques qui furent adressées à Spearman. C'est souvent par nécessité, par l'unique nécessité de répondre aux critiques, que Spearman a cherché des outils plus adaptés et des critères démonstratifs plus affûtés.

Pour Spearman et ses alliés (Hart, Krueger, Garnett et Burt notamment), l'existence d'un « facteur général », c'est-à-dire d'une fonction intellectuelle supérieure regroupant toutes les facultés mentales, ne fait pas de doute. Plusieurs auteurs remettent en cause cette affirmation : soit parce qu'ils estiment que des facteurs de groupe, c'est-à-dire des fonctions intellectuelles exclusivement et spécifiquement consacrées à des groupes de facultés mentales précises (théorie « oligarchique »), existent ; soit parce qu'ils estiment qu'il n'existe aucune organisation mentale et que toutes les facultés mentales sont entièrement et totalement indépendantes (théorie « anarchique ») ; soit parce qu'ils estiment que les facteurs, quels qu'ils soient, ne sont que des artifices mathématiques permettant de décrire les corrélations et sont donc dépourvus de réalité. Les principales contributions à la critique psychologique de la théorie de Spearman sont certainement celles de Thorndike et de ses élèves. Ces controverses (déjà signalées en partie), prévisibles puisque les recherches de Spearman s'inscrivent en opposition à des théories déjà existantes, ne constituent toutefois ni la principale ni la plus durable des critiques auxquelles Spearman a dû faire face. L'opposition la plus tenace, la plus virulente, l'opposition majeure de l'histoire de l'analyse factorielle est celle que développe Thomson à partir de 1916. Leur controverse porte sur la nature et la réalité des facteurs. Thomson poussera la critique au point de construire une théorie (en fait plutôt un schéma descriptif), permettant de décrire le fonctionnement des capacités mentales selon un schéma en parfaite contradiction avec la perspective spearmanienne.

Godfrey Thomson (1881-1955) est, en 1916, maître-assistant à l'université de Durham (Angleterre). Il y enseigne les « sciences de l'éducation » à des membres ou futurs membres du corps enseignant. D'origine anglaise, il a mené des études supérieures de mathématiques, chimie et physique en Angleterre, puis a soutenu en 1906 une thèse de physique à Strasbourg. Il a ensuite enseigné la physique à l'école de Newcastle. Il découvre la psychologie en suivant le cursus de formation destiné aux enseignants. L'intérêt qu'il y porte est immédiat mais il est déjà âgé de plus de trente ans lorsqu'il part à Cambridge suivre une formation en psychologie auprès de Charles Myers. Il semble avoir fait preuve, lors de cette « reconversion », de la conviction de pouvoir faire rapidement progresser la psychologie grâce à ses connaissances mathématiques ⁵⁰. En 1947, il fonde avec Cyril Burt le *British Journal of Statistical Psychology* ⁵¹. En 1949, il est élu membre de la *Royal Society*.

Le fait est, et le lecteur pourra facilement et rapidement s'en rendre compte, que ses contributions à la théorie factorielle sont de nature principalement mathématique, logique voire épistémologique. Son regard sur la théorie de Spearman n'est pas celui d'un psychologue mais bien celui d'un mathématicien ou d'un logicien. Il est plus intéressé par les aspects logiques, formels et mathématiques de la théorie factorielle que par le contenu psychologique et les « spéculations » sur la structure de l'esprit. Ce qui ne signifie pas qu'il écartera de ses propos cet aspect de la théorie. Il donnera un sens psychologique aux objections logiques et mathématiques qu'il formulera à l'encontre de la théorie de Spearman.

Au fond l'argument de Thomson restera toujours le même : les arguments avancés par Spearman ne constituent pas, pour diverses raisons, des preuves suffisantes de la présence d'une fonction intellectuelle générale. À aucun moment, et Thomson insiste sur ce point à de nombreuses reprises, son propos ne vise à mettre en cause l'existence (ou l'inexistence) d'un facteur général et commun à toutes les activités mentales. Il cherche simplement à montrer que les outils et les méthodes employés par Spearman ne sont pas satisfaisants et suffisants.

À ces arguments viendra s'ajouter le constat que les structures hiérarchiques sont des structures naturelles (i.e. « courantes ») et que,

50. THOMSON, G., 1952, p. 281.

51. Devenu aujourd'hui le *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*.

de ce fait, elles ne peuvent pas servir de preuve à l'existence d'un phénomène « exceptionnel », en l'occurrence l'existence d'une unité dans les activités mentales. Ce constat, initialement conçu comme une critique épistémologique, devient rapidement la base d'une théorie alternative à la théorie de Spearman. L'opposition entre ces deux théories, celle de Thomson et celle de Spearman, en parfaite contradiction, bien que censées décrire l'une et l'autre le même type de phénomène, constitue le cœur de la controverse entre Spearman et Thomson. Elle sera vive et durable. Les positions épistémologiques des deux auteurs les empêcheront, à jamais, de trouver un terrain d'entente, un point de vue commun. La controverse nous apparaît irréductible et les arguments mathématiques avancés par l'un ou l'autre n'ont jamais pu la clore. Les raisons de sa disparition sont certainement à trouver de l'autre côté de l'Atlantique. Dès que les psychologues et statisticiens américains s'intéresseront à la théorie de Spearman, ce dernier tournera son regard et son action vers l'horizon américain, vers les méthodes dites « factorielles multidimensionnelles ». Il en oubliera sa controverse avec Thomson.

Le rejet de la théorie des facteurs pour insuffisance de preuves

Dans son premier article (1916), Thomson avance une critique d'ordre logique à l'encontre de la théorie des deux facteurs de Spearman. Le principal argument de cette critique peut s'entrevoir à travers le titre de l'article « A Hierarchy without a General Factor ». Thomson défend l'idée qu'une hiérarchie peut exister sans pour autant qu'un facteur général existe. Sa critique repose donc sur des considérations exclusivement logiques. Il ne remet pas en cause, ici, les outils et les formules utilisés et développés par Spearman – bien au contraire, puisqu'il les utilise – mais seulement les fondements logiques de leurs usages.

Dans ses premiers articles, comme nous l'avons déjà signalé, Spearman commettait une erreur de raisonnement. À plusieurs reprises il déduit de l'hypothèse d'existence du facteur général des outils formels destinés à faire la preuve de l'existence de ce facteur général. En d'autres termes il utilisait une raison nécessaire comme une condition suffisante. Thomson ne fait, au fond, rien d'autre que jouer sur cette dernière remarque pour critiquer la théorie de Spearman. Il montre que plusieurs facteurs de groupe (indépendants, i.e. sans facteur commun à tous les groupes) peuvent conduire à des tables de corrélation hiérarchiques ou encore à des tables dont les colonnes sont parfaitement corrélées entre elles, c'est-à-dire, selon

les critères de Spearman, à la preuve de l'existence d'un facteur général. Par là, il montre que des hiérarchies peuvent exister sans que « l'ombre d'un facteur général »⁵² ne soit présente. Sa démonstration s'appuie sur des simulations (de lancés de dés).

Quelle est la conclusion de Thomson à la vue de cette apparente contradiction ? « Tant qu'il n'y aura pas de critère mathématique plus précis, dit-il en substance, il sera impossible de savoir si les résultats sont le produit de facteur, de groupe ou d'un facteur général »⁵³. En d'autres termes, les critères mathématiques de Spearman sont insuffisants pour l'instant. En bon logicien, Thomson ne nie pas pour autant l'existence d'un facteur général. Au fond, rien n'est établi : « la présence de corrélations entre tests prouve la présence de facteur, de groupe ou d'un facteur général ou des deux »⁵⁴.

La réaction de Spearman à la publication de l'article de Thomson ne s'est pas faite attendre. Il refuse les arguments de Thomson en raison du caractère artificiel de son expérience : « Le dispositif expérimental est vague et arbitraire »⁵⁵. À cette première critique, Spearman ajoute que le dispositif imaginé par Thomson est improbable : il estime à moins de 10^{-108} la probabilité que la configuration construite par Thomson apparaisse réellement. Au fond, Spearman rejette les arguments de Thomson pour cause de non-réalisme psychologique : « personne ne peut dire si le dispositif de Thomson obéit à une théorie psychologique ou s'appuie sur quelque psychologie que ce soit. Cette absence de principe dans la structure des facteurs est largement suffisante pour invalider toutes les conclusions de l'article de Thomson »⁵⁶.

En 1919, Thomson réagit à son tour aux arguments de Spearman (1919a, 1919b). Ses arguments ne changent pas : ils sont simplement redéployés et renforcés. Il montre que, contrairement à ce qu'affirme Spearman, le dispositif qu'il a imaginé en 1916 n'a rien d'improbable. Bien au contraire, dit-il, « la vérité est que l'existence d'un facteur général est extrêmement improbable »⁵⁷ et donc que c'est la présence de facteurs de groupe sans facteur général qui est probable. Ce faisant, il introduit dans ses dispositifs argumentatifs les outils des raisonnements probabilistes. Les arguments probabilistes servent ici,

52. THOMSON, G.H., 1919a, p. 340.

53. THOMSON, G.H., 1916, pp. 280-281.

54. THOMSON, G.H., 1916, p. 280.

55. SPEARMAN, C., 1916, p. 283.

56. SPEARMAN, C., 1916, pp. 283-284.

57. THOMSON, G.H., 1919a, p. 339.

chez Thomson comme chez Spearman, à mettre en avant le caractère probable, « donc » réaliste, des phénomènes décrits ou construits. Les notions de hasard et de probabilité n'étaient pas présentes dans l'article de 1916 mais les critiques adressées par Spearman à cet article ont cependant conduit Thomson à faire siennes ces notions à partir de 1919. Dès lors, les raisonnements et les arguments que permettent les schèmes probabilistes ne le quitteront plus. Ses travaux ultérieurs et sa propre théorie des structures hiérarchiques seront marqués du sceau des raisonnements probabilistes et des métaphores qu'ils suggèrent. Sa théorie des facteurs psychologiques développée à partir de 1920 et son interprétation des structures hiérarchiques, reposeront sur une modélisation probabiliste.

À ce redéploiement de ses premiers arguments (1916), Thomson ajoute une nouvelle critique dans un autre article paru en 1919 : « The Proof or Disproof of the Existence of General Ability »⁵⁸. Elle vise la logique de l'interprétation et de l'utilisation du coefficient de corrélation partielle de Yule. Il estime que certains utilisateurs de ce coefficient de corrélation, et en particulier Hart et Spearman en 1912, interprètent de façon erronée ce coefficient. Imaginons, écrit-il, que nous disposions de trois tests a, b, c et que le coefficient de corrélation partielle $r_{ab.c}$ soit nul alors que la corrélation entre a et b n'est pas nulle ; que pouvons-nous conclure ? Certains, comme Hart et Spearman, avancent que ces résultats permettent d'affirmer que la corrélation entre a et b est seulement due à leurs liens respectifs avec c ; ou, en d'autres termes, que le lien entre a et b est dû au « facteur c ». « Cette conclusion est erronée » affirme Thomson. La seule interprétation valide de la tendance à l'annulation du coefficient de corrélation partielle est, à ses yeux, la suivante : si nous disposions d'un échantillon d'individus ayant tous le même score au test c, alors leurs scores aux tests a et b seraient indépendants. Tous les autres raisonnements, et en particulier ceux de Hart et Spearman, sont erronés. Par conséquent, le critère développé par ces deux auteurs pour établir la présence d'un facteur général est invalidé⁵⁹. Cependant, comme il l'avait fait en 1916, Thomson a la prudence de ne pas rejeter l'hypothèse de l'existence d'un facteur général : à ses yeux, seuls les chemins menant à l'affirmation de son existence sont, à coup sûr, mauvais.

58. THOMSON, G.H., 1919c.

59. Le critère repose sur le calcul du coefficient de corrélation inter-colonnes du tableau des corrélations mais la démonstration de la validité de ce critère repose sur l'utilisation de la formule de Yule.

À ces rejets, pour des raisons logiques, des outils et raisonnements utilisés par Spearman, Thomson ajoute, à travers plusieurs autres articles publiés à partir de 1919, des critiques d'ordre statistique ou calculatoire (numérique). Par exemple, Thomson estime que les formules de correction ou d'estimation surévaluent les coefficients de corrélation. La preuve immédiate de cette surévaluation est le fait que les coefficients de corrélation obtenus sont parfois supérieurs à 1, chose impossible par définition. Le critère est donc trop grossier et crée les régularités qu'il croit observer : « la remarquable régularité avec laquelle ce coefficient fournit la valeur 1 n'est pas du tout une propriété des coefficients de corrélation mesurés mais une propriété du critère lui-même »⁶⁰. Il critique également la taille des échantillons analysés : « [les méthodes] sont incapables, sur les échantillons de données habituellement utilisés, de diagnostiquer [la présence d'un facteur général] »⁶¹. Mais, au fond, ses objections conduisent toujours à la même conclusion : les critères utilisés pour prouver l'existence d'un facteur général dans les activités mentales ne sont pas valides, en tous cas pas suffisants.

L'ultime critique : la hiérarchie comme structure naturelle

La seule critique vraiment incontournable, celle qui va conduire Thomson à ne jamais accepter les arguments et le point de vue de Spearman, repose sur un constat dont Thomson prend conscience à partir de 1919 : les coefficients de corrélation ont « naturellement tendance à former des structures hiérarchiques ». Ce constat est la simple généralisation des arguments utilisés auparavant.

Ce qui ne constituait que des objections ponctuelles et des critiques de la logique des enchaînements démonstratifs de Spearman change de nature durant l'année 1919. Ces critiques deviennent un énoncé général, un résultat théorique, et prennent une tournure épistémologique. Progressivement, Thomson énonce la généralité de l'organisation hiérarchique des coefficients de corrélation. Ce qui était simplement « possible » en 1916 devient « probable » (au sens de « non-improbable », en 1919, puis se transforme en « tendance » la même année⁶² : « les coefficients de corrélation entre les tests mentaux ont fortement tendance à s'ordonner de façon hiérarchi-

60. BROWN, W. & THOMSON, G.H., 1921, p. 183.

61. THOMSON, G.H., 1927a, p. 241.

62. Cet enchaînement logique coïncide effectivement avec la chronologie de rédaction des articles.

que »⁶³. Dans ce même article, le mot « tendance » est utilisé à plusieurs reprises et lorsqu'il ne l'est pas, Thomson parle de « forte probabilité » ou emploie l'adverbe « probablement ». Enfin, en 1920, Thomson parle d'une « loi ». Cette « loi » fait l'objet d'une section à part entière intitulée « Ordre Hiérarchique : l'Ordre Naturel entre les Coefficients de Corrélation »⁶⁴.

Au fil de ses articles, Thomson fournit diverses démonstrations de sa loi mais ce n'est qu'en 1927 qu'il fournit la preuve la plus rigoureuse, celle qu'il adoptera définitivement⁶⁵. À cette date, après les travaux de Spearman et Holzinger en 1924 et 1925, la présence d'une structure hiérarchique parmi des coefficients de corrélation est synonyme de l'annulation des différences tétrades ; aussi Thomson prouve-t-il que ces différences tendent à être naturellement nulles. C'est l'objet de l'article « The Tetrad Difference Criterion »⁶⁶.

Une fois le cadre formel établi, la démonstration de la « loi » est élémentaire. Si A est l'ensemble des facteurs intellectuels élémentaires et si x_1, x_2, x_3, x_4 sont des échantillons de A de taille p_1, p_2, p_3, p_4 (proportions) alors le nombre probable de facteurs élémentaires communs à x_1 et x_2 est $p_1 p_2 A$. Leur « corrélation probable » s'élève donc à :

$$r_{12} = p_1 p_2 A / \sqrt{p_1 A} \sqrt{p_2 A} = \sqrt{p_1 p_2 A}$$

Donc la « différence tétrade probable » vaut : $F = r_{12} r_{34} - r_{23} r_{14} = 0$. Les différences tétrades sont donc « probablement nulles » et la structure hiérarchique tend à apparaître naturellement.

Cette loi lui offre l'occasion de disposer d'une critique qu'il juge radicale. Elle remet en cause, selon lui, les fondements même de la démarche de Spearman. Aussi, dès l'année 1920, Thomson utilise-t-il l'argument que lui fournit cette loi pour critiquer en profondeur la théorie de Spearman. Il est inutile, dorénavant, de chercher à élaborer des théories singulières à partir d'un phénomène universellement vrai. Puisque les structures hiérarchiques sont, en fait, des structures

63. THOMSON, G.H., 1919b, p. 401.

64. THOMSON, G.H., 1920a, p. 180.

65. Cette démonstration sera reprise dans ses travaux ultérieurs et en particulier dans son ouvrage majeur *L'analyse factorielle des aptitudes humaines* paru en 1939 en Angleterre et traduit en français en 1950.

66. THOMSON, G.H., 1927a, p. 253.

courantes et naturelles, il est vain de chercher à traduire leur présence en une théorie non triviale. Seules les structures non hiérarchiques entre coefficients de corrélation sont des phénomènes remarquables et pourraient donner naissance à des théories non banales ⁶⁷. En fin de compte, la volonté de Spearman (et des autres collaborateurs) de trouver des outils prouvant l'existence de facteurs généraux tombe, selon Thomson, sous la critique du « Rasoir d'Occam (*sic*) » : la présence de structures hiérarchiques ne peut pas être le critère d'existence de quelque liaison causale que ce soit ⁶⁸. « Contrairement à une pratique fréquente il n'y a évidemment aucune nécessité à postuler un facteur général. La présence d'un facteur général est une hypothèse suffisante pour expliquer [les structures hiérarchiques] mais elle n'est pas nécessaire » ⁶⁹.

Construction d'une théorie alternative

Cette « tendance naturelle des corrélations à former des structures hiérarchiques » a une autre conséquence : elle permet à Thomson d'élaborer sa propre théorie psychologique. Esquissée dans un de ses articles de 1919, sa théorie prend réellement corps dans un article de 1920 ⁷⁰. Cette théorie, qu'il nomme « Théorie de l'Échantillonnage de l'Aptitude », affirme que l'esprit est composé d'un très grand nombre de facteurs (ou aptitudes) élémentaires. Chaque activité mentale, ou chaque test, fait appel à un échantillon de l'ensemble des facteurs élémentaires de l'esprit. Cet échantillonnage est tel que plusieurs épreuves ou plusieurs activités mentales peuvent avoir en commun des facteurs élémentaires. C'est l'existence de ces facteurs communs qui explique les corrélations. En 1927, Thomson va jusqu'à suggérer d'interpréter les facteurs élémentaires comme des neurones ⁷¹ mais, considérant que cette interprétation n'est pas complètement justifiée, il préfère généralement adopter une position plus modeste et s'en tenir aux seules propriétés descriptives de sa théorie.

Cette théorie est, en fait, plutôt le schéma descriptif d'un phénomène général. Thomson propose simplement une explication très générale, non exclusive et construite sur très peu d'hypothèses. La théorie de l'échantillonnage montre « que ce qu'on a appelé les doctrines monarchiques, oligarchiques et anarchiques de l'esprit ne

67. THOMSON, G.H., 1920a, pp. 180-181.

68. THOMSON, G.H., 1920a, p. 185.

69. THOMSON, G.H., 1919b, p. 108.

70. THOMSON, G.H., 1919b ; THOMSON G.H., 1920a.

71. THOMSON, G.H., 1927b.

sont très probablement que des façons différentes de décrire les mêmes phénomènes »⁷². Sa théorie n'exclut aucune autre interprétation possible, y compris la théorie de Spearman, et échappe, selon lui, à la critique du rasoir d'Occam⁷³.

Thomson-Spearman : une controverse irréductible

En fait, Thomson ne propose rien de moins qu'un schéma descriptif donnant à la théorie de Spearman le statut d'hypothèse. Le premier prétend que les structures hiérarchiques sont naturelles et qu'elles ne sont pas nécessairement le fait d'un facteur général ; le second affirme que les structures hiérarchiques, lorsque leur existence est constatée dans les corrélations entre tests, sont la preuve de l'existence d'un facteur général. Bien que non parfaitement contradictoires, les deux affirmations n'en sont pas moins incompatibles ; tout comme sont incompatibles les résultats établis par Garnett et ceux établis par Thomson.

En 1919-1920 Maxwell Garnett avait, en effet, entrepris de montrer que, sous certaines hypothèses peu restrictives, des variables corrélées entre elles se décomposent toujours en un facteur général et des facteurs spécifiques. Les résultats de ces recherches, publiés en 1919 et 1920, constituent, aux yeux de Garnett et donc de Spearman l'éclatante confirmation de la théorie défendue par Spearman, depuis 1904. Comment Thomson et Garnett résolvent-ils, dans sa dimension purement mathématique, cette apparente contradiction ? La solution ne tarde pas à venir. Dans un article commun, « Joint Note on the Hierarchy of Abilities »⁷⁴, Garnett et Thomson tombent d'accord pour affirmer qu'il existe une tendance vers l'ordre hiérarchique, et que « les cas s'écartant considérablement de l'ordre hiérarchique sont rares ». Ils précisent également que « si la hiérarchie est parfaite alors il existe un seul facteur général et aucun facteur de groupe »⁷⁵. Mais leurs points de vue divergent quant à l'interprétation à donner aux écarts entre les structures hiérarchiques parfaites et les données empiriques. Pour Garnett, ces écarts sont insuffisamment importants pour invalider la théorie des deux facteurs ; pour Thomson, ces écarts constituent la preuve de l'inadéquation de la théorie des deux facteurs à la réalité. Ils reconnaissent toutefois que chacune des deux hypothèses est mathématiquement possible.

72. THOMSON, G.H., 1950 (1939), p. 44.

73. THOMSON, G.H., 1920a, p. 184.

74. GARNETT, J.C.M. & THOMSON, G.H., 1919.

75. GARNETT, J.C.M. & THOMSON, G.H., 1919, pp. 367-368.

Leurs positions respectives, mathématiquement justifiées, vont rester figées : Thomson comme Spearman (et avec lui Garnett et quelques autres) tiendront fermement leurs positions et ne trouveront jamais un terrain d'entente. Il suffit, pour constater la stabilité de l'opposition et la virulence de la controverse, d'explorer les très nombreux articles que publie chacune des parties à partir des années vingt. Contentons-nous d'évoquer quelques exemples choisis parmi les principaux articles de Thomson et de Spearman. Ils montrent que les débats ne sont pas exempts d'arguments purement rhétoriques.

Par exemple, en 1920, Spearman affirme que le facteur général, si énergiquement rejeté par Thomson, est, en fait, artificiellement caché mais est bel et bien présent. La meilleure preuve de cette présence réside, selon lui, dans les arguments utilisés par Thomson. Puisque la tendance vers la hiérarchie est naturelle et qu'une hiérarchie parfaite est synonyme de la présence d'un facteur général, un tel facteur tend naturellement à être présent. Au fond, le point de vue de Thomson n'est, à ses yeux, qu'une sous-théorie de la théorie des deux facteurs. Il va même jusqu'à qualifier sa propre théorie de « Lit de Procuste ». En 1927, Spearman accuse Thomson de ne pas avoir réalisé que la théorie des deux facteurs constitue une « révolution copernicienne » (*sic !*) et de retarder, par ce fait, le progrès de la psychologie ⁷⁶. En 1930, il affirme que la théorie de l'échantillonnage est stérile : « ce que la théorie des deux facteurs a fait, nous l'avons vu. Par contre, la théorie [de l'échantillonnage] semble n'avoir rien donné du tout [...]. Cette stérilité scientifique devait presque nécessairement se manifester » ⁷⁷. Il se refuse à croire en l'existence d'un phénomène « mystérieux de désintégration et de réintégration » ⁷⁸ et rejette la théorie de Thomson pour cause de non-réalisme.

Inversement, par exemple, Thomson publie un article très virulent dans lequel il rejette la position de Spearman pour cause « d'invalidité » (1920b). Thomson répète que jusqu'ici la théorie des deux facteurs, bien que n'étant pas exclue, n'a pas fait la preuve de sa validité. Il rejette l'argument de simplicité qui ferait préférer la théorie de Spearman à la sienne : « estimer qu'un quadrilatère est un carré par esprit de simplicité alors que l'on sait simplement que les quatre angles sont droits est une erreur » ⁷⁹. Mais, quels que soient les procédés stylistiques utilisés, le fond de son argument est toujours le

76. SPEARMAN, C., 1927, pp. 325-326.

77. SPEARMAN, C., 1930, p. 320.

78. SPEARMAN, C., 1922, p. 30.

79. THOMSON, G.H., 1920b, p. 321 et 326.

même : « l'ordre hiérarchique est un ordre naturel qui est présent dans n'importe quel ensemble de coefficients de corrélations, quelles que soient les causes de ces corrélations [...]. L'ordre hiérarchique apparaît naturellement sauf si des efforts sont faits pour le faire disparaître. Il n'est pas le signe de présence d'un facteur général »⁸⁰. Ou encore : « [la théorie du facteur général unique] donne exactement des différences tétrades nulles alors que la théorie de l'échantillonnage n'indique qu'une tendance dans cette direction. Mais en fait on ne découvre que cette tendance »⁸¹. Les exemples pourraient être multipliés⁸².

Pour quelle(s) raison(s) un point de vue commun n'a-t-il jamais été trouvé ? L'explication la plus satisfaisante de la persistance de la controverse est de nature philosophique. Elle peut être entrevue à la simple lecture du passage suivant, extrait du principal ouvrage de Thomson : « l'opposition entre les deux points de vue disparaîtrait si l'on admettait que les facteurs ne sont que des coefficients statistiques, probablement pas plus 'réels' qu'une moyenne »⁸³. L'opposition se situe en effet bien là, dans les propriétés attribuées par les uns ou les autres aux facteurs mis en avant par les analyses statistiques : d'un côté, les « factorialistes » qui voient dans les facteurs des entités concrètes et les causes véritables des structures hiérarchiques ; d'un autre côté, les « échantillonnistes »⁸⁴ qui affirment que les facteurs sont des moyens commodes de décrire les résultats, mais qui refusent de leur attribuer une valeur causale et réelle quelconque.

D'un côté, donc, Thomson apparaît comme le défenseur d'une conception purement descriptive des facteurs : à ses yeux, les facteurs constituent des moyens commodes pour décrire les données mais n'ont pas de réalité. Il répète dans ses articles que le facteur général g n'est rien d'autre qu'une « quantité mathématique et un symbole algébrique »⁸⁵ ; que les facteurs ne doivent pas être personnifiés et n'ont pas nécessairement d'existence réelle⁸⁶ ; qu'ils ne sont pas plus réels « qu'une moyenne, un index du coût de la vie, un écart-type ou un coefficient de corrélation »⁸⁷. Il estime donc que les différentes

80. THOMSON, G.H., 1920b, p. 319.

81. THOMSON, G.H., 1939, p. 50.

82. Pour analyse plus précise du débats et de ses termes, consulter O. MARTIN, 1997, chapitre 7.

83. THOMSON, G.H., 1950 (1939), p. 44.

84. Selon des termes utilisés par Spearman dans C., SPEARMAN, 1938.

85. THOMSON, G.H., 1935, p. 90.

86. THOMSON, G.H., 1950 (1939), p. 321 et p. 4.

87. THOMSON, G.H., 1950 (1939), p. 44 ; et THOMSON, G.H., 1935, p. 64.

doctrines de l'esprit (doctrines oligarchique, monarchique ou anarchique) ne sont que « des façons très différentes de décrire les mêmes phénomènes »⁸⁸. Dans son ouvrage *The Factorial Analysis of Human Ability* (1939) il réaffirme dans une section intitulée « Le danger de chosifier les facteurs » son refus de voir les facteurs transformés et interprétés en autre chose qu'une entité mathématique : « [je] ne crois pas aux facteurs si l'on prétend leur attribuer la moindre existence réelle mais [j'admets] cependant qu'on peut toujours décrire n'importe quelle série d'aptitudes humaines liées entre elles par un certain nombre de variables ou facteurs et ceci de plusieurs manières, dont quelques-unes seront certainement plus utiles, plus élégantes et moins embarrassées d'hypothèses superflues que d'autres. [...] L'esprit est en tout beaucoup plus compliqué et intégré que l'interprétation naïve d'une analyse mathématique quelconque ne pourrait le faire supposer au lecteur »⁸⁹. Il montre à cette occasion tous les dangers et toutes les difficultés qu'il y a à croire que g représente l'énergie mentale : « le danger de chosifier des termes, ou des facteurs, est cependant très grand comme le verra tout lecteur des abondantes dissertations rédigées par des chercheurs avancés qui se servent de ces nouvelles méthodes factorielles »⁹⁰.

En fait, Thomson distingue l'explication statistique *a posteriori* et les causes réelles : « les corrélations peuvent être expliquées et pourraient avoir été produites par un petit nombre de facteurs communs (ou même un seul) et par des facteurs spécifiques à chacune des variables. *Peuvent* être expliquées et *pourraient* avoir été produites »⁹¹. Il refuse radicalement de voir dans les facteurs les causes réelles des phénomènes mentaux : « je pense que la théorie des deux facteurs est une *description* admirable des corrélations mais je ne pense pas qu'elle en fournit les causes »⁹² et « l'ordre hiérarchique est l'ordre naturel dans tout ensemble de coefficients de corrélations, quelles que soient les causes réelles de ces corrélations »⁹³.

De l'autre côté, c'est justement ce manque de « réalisme » que Spearman critique à de nombreuses reprises dans les théories de Thomson. Nous nous souvenons qu'il avait accusé dès 1916 les premières expériences de Thomson d'être artificielles et improbables.

88. THOMSON, G.H., 1950 (1939), p. 44.
 89. THOMSON, G.H., 1950 (1939), p. 324.
 90. THOMSON, G.H., 1950 (1939), p. 258.
 91. THOMSON, G.H., 1952, p. 283.
 92. THOMSON, G.H., 1935, p. 64.
 93. THOMSON, G.H., 1920b, p. 319.

Après cette date il ne cessera pas de souligner le manque de réalisme de ses travaux : « s'il y a un domaine où l'hypothèse des probabilités constantes accompagnées d'influences additionnelles tendant à se neutraliser exactement est la moins *plausible* c'est certainement celui des opérations mentales. Il faut donc bannir de la psychologie l'idée qu'une telle hypothèse puisse représenter *le cours naturel des événements* »⁹⁴ ; « l'arrangement tout entier [de la théorie de l'échantillonnage] est artificiel au plus haut degré »⁹⁵ ; « il est difficile d'imaginer quelque chose qui soit plus opposé aux faits connus. Il est hors de doute que les dés sont amplement truqués en faveur de certains individus par comparaison avec les autres. Et comme le Docteur Ballard l'a lumineusement exprimé, *c'est justement un truquage* qui donne à g une valeur autre que zéro. Il semble donc bien que nous n'ayons pas à nous occuper plus longtemps de cette doctrine du hasard ; une considération très simple a suffi pour la condamner définitivement »⁹⁶. Il rejette en fait la position défendue par Thomson selon laquelle les facteurs permettent seulement une description commode des corrélations. Pour lui les facteurs sont réels et constituent les causes réelles des structures hiérarchiques : « un facteur a pour nous la signification [donnée] par le dictionnaire : 'une circonstance, un fait ou une influence qui produit un *résultat*' »⁹⁷. En aucune manière Spearman n'accepte que les facteurs soient le résultat d'un arrangement combinatoire, ou le simple corollaire d'une modélisation mathématique simple : le résultat statistique sur lequel il appuie sa thèse est une « théorie » et non un simple résultat universel et systématique.

En somme, l'opposition entre Spearman et Thomson rejoint l'opposition philosophique ancienne entre réalisme et nominalisme : Thomson tenant une position « nominaliste scientifique », en cherchant à substituer les idées de commodité, de convention et de description aux idées de vérité, de réalité et d'existence ontologique ; Spearman défendant une position réaliste et donc l'idée de l'existence ontologique d'une unité dans les activités mentales et n'ayant « jamais adhéré à une philosophie des sciences instrumentaliste »⁹⁸. Leurs positions philosophiques sont incompatibles et irréductibles.

94. SPEARMAN, C., 1927, p. 95.

95. SPEARMAN, C., 1927, p. xiii.

96. SPEARMAN, C., 1927, pp. 96-97.

97. SPEARMAN, C., 1938, p. 184.

98. NORTON, B., 1979, p. 146.

Les origines de ces différences dans les prises de position philosophiques implicites de nos deux auteurs sont certainement très complexes. Tout au plus est-il possible d'imaginer qu'elles prennent leurs racines dans les origines intellectuelles de Thomson et Spearman : le premier est plutôt marqué par sa formation de mathématicien et de physicien du début du XX^e siècle, et donc par des sciences qui, à l'époque, sont imprégnées d'un certain nominalisme scientifique ; le second est plutôt le produit de la psychologie allemande et de la biométrie anglaise de Galton, champs intellectuels visiblement dominés par une conception réaliste des objets scientifiques. De plus, abandonner toute interprétation réaliste et psychologique des grandeurs statistiques aurait signifié, pour Spearman, l'abandon de ce qui constituait le sens initial de ses recherches.

À cette explication s'ajoutent certainement d'autres causes profondes, par exemple l'ancienne opposition de Spearman aux théories associationnistes. La théorie de Thomson, dans ses aspects atomistes et aléatoires, rejoint partiellement certaines caractéristiques des théories associationnistes. L'activité mentale peut se décomposer en une somme de phénomènes élémentaires et la mobilisation de ces phénomènes est aléatoire donc inconsciente. Cette similitude, même partielle, n'a certainement pas incité Spearman à voir la théorie de Thomson d'un œil bienveillant.

La controverse s'évanouit dans d'autres débats

La controverse très progressivement s'éteint au fil des années trente. Mais il serait naïf de croire que les deux parties ont enfin trouvé, durant cette période, un terrain d'entente. La fin de la controverse n'est pas la conséquence d'un accord tardif mais seulement celle du développement de théories alternatives à celles de Thomson ou Spearman. Les années trente voient en effet se développer, aux États-Unis, plusieurs nouvelles théories ou méthodes : théorie multifactorielle de Kelley, méthodes multifactorielles de Thurstone, méthode en composantes principales de Hotelling... Face à ces voies alternatives compromettant ses théories, Spearman doit tenir un nouveau front : son litige de fond avec Thomson n'a certainement pas disparu mais la priorité, l'urgence, sont ailleurs. À partir de la fin des années trente, Spearman publie plusieurs articles entièrement consacrés à la défense de sa théorie face aux travaux de Thurstone et dans lesquels il ne fait pas état de ses débats avec Thomson : « Thurstone's Work Reworked » en 1939 ; « Professor Thurstone, a Correction » en 1941 ; « How 'G' can Disappear » en

1941⁹⁹. Dans le premier de ces articles, Spearman accuse Thurstone de réintroduire la théorie des facultés (contre laquelle Spearman s'est battu) et surtout d'appliquer des méthodes mal fondées à des données inadaptées : « si le facteur g a disparu c'est un accident dû à des erreurs », affirme-t-il¹⁰⁰. Il entreprend ensuite de montrer, sur les données utilisées par Thurstone, que la présence de g peut être établie.

En somme c'est l'ouverture d'un nouveau front et l'arrivée de nouveaux combattants qui conduit la controverse Spearman-Thomson à se « fermer » ou plutôt à s'évanouir. L'ouverture de ce nouveau front pousse Spearman (et partiellement Thomson) à défendre ce que nous pourrions appeler la « conception anglaise de la théorie factorielle », c'est-à-dire la théorie affirmant l'existence de structures hiérarchiques dans les tables de corrélations – que ces structures soient expliquées par la présence d'un facteur général (Spearman) ou par la théorie de l'échantillonnage (Thomson) – et la préférence en des explications simples – que ces explications soient qualifiées de réelles (Spearman) ou d'artificielles (Thomson). En 1938, par exemple, Spearman ne parle plus de controverse et estime qu'il est temps de réduire la portée de la discorde entre Thomson et lui-même¹⁰¹. Il met tout autant, sinon plus, l'accent sur les points d'accord que sur les points de désaccord : au fond, dit-il en substance, Thomson et lui sont d'accord pour affirmer que les corrélations sont le produit d'une « multitude de sources »¹⁰². Seuls les sens qu'ils donnent à ces causes divergent. Pour Spearman la multitude des causes converge et contribue à une unique énergie cérébrale ; pour Thomson les causes contribuent de façon aléatoire à l'activité mentale. Si, malgré tout, la théorie de l'échantillonnage de Thomson n'est qu'une hypothèse sans véritable signification psychologique, Spearman estime que la voie de la réconciliation et de la collaboration pourrait être ouverte. De son côté, en 1939, Thomson publie un article présentant les différents débats autour de l'analyse factorielle : « The Factorial Analysis of Ability : Agreement and Disagreement in Factor Analysis, a Summing Up ». Seuls les débats existants entre Spearman et les « factoristes » américains sont évoqués : la controverse qui l'a opposé pendant plus de vingt ans à Spearman est passée

99. SPEARMAN, C., 1939 ; 1941a, p. 818 ; 1941b. Ce dernier article est le seul que Spearman ait publié dans *Psychometrika*.

100. SPEARMAN, C., 1939, pp. 10, 16.

101. SPEARMAN, C., 1938, p. 182.

102. SPEARMAN C., 1938, p. 186.

sous silence. Et, face aux théories américaines qu'il juge insuffisamment simples, il avoue sa préférence pour la théorie de Spearman : « elle semble, écrit-il, être plus en accord avec ma théorie de l'échantillonnage »¹⁰³. Il publiera d'ailleurs, en 1934, un article où il se propose de faire le pont entre la théorie de Spearman et la méthode de Hotelling. Il reparlera à cette occasion de hiérarchie¹⁰⁴.

Enfin, dans un article posthume, Spearman passe en revue l'ensemble de sa théorie du facteur général en inscrivant dans une perspective unique l'ensemble des recherches sur le sujet et les différents auteurs ayant contribué à son développement. Le souci de Spearman est limpide : solidifier et ancrer sa théorie dans le champ de la psychologie en rassemblant les principales contributions et les principaux « contributeurs » ; mobiliser au moins symboliquement toutes les forces allant dans le sens de sa théorie. Et, bien entendu, Thomson fait partie de cette « mobilisation symbolique ». Spearman le présente comme un adhérent tardif à la théorie du facteur général, même s'il reconnaît que Thomson a toujours préféré sa propre interprétation de la présence d'une structure hiérarchique dans les données¹⁰⁵.

Et c'est ainsi qu'après plus de vingt ans de débats la controverse va s'évanouir, va se taire. Spearman et Thomson ont en quelque sorte trouvé, de façon tacite, un « *modus vivendi* ». Ils préfèrent taire leurs différences et effacer leurs oppositions pour joindre leurs forces et les consacrer à des débats perçus comme plus essentiels, plus profonds. La controverse n'est pas réduite pour autant. À aucun moment Thomson et Spearman n'ont pu s'accorder sur le caractère réel ou au contraire artificiel des facteurs.

5. La généralisation aux approches multidimensionnelles

En 1931, le psychologue et statisticien américain Louis Leon Thurstone publie un article exposant une méthode qui, pour la première fois, est qualifiée de multifactorielle : « Multiple Factor

103. THOMSON, G.H., 1939, p. 106. Dans son ouvrage *The Factorial Analysis of Human Ability*, 1950 (1939). Thomson adoptera une attitude identique et passera sous silence ce qui l'oppose (ou l'a opposé) à Spearman.

104. THOMSON, G.H., 1934.

105. SPEARMAN, C., 1946, p. 121.

Analysis ». Dès les premières lignes de l'article, il place sa méthode dans le prolongement direct des travaux de Spearman en se proposant simplement de généraliser et de dépasser les limites de la technique « bi-factorielle » de Spearman : « l'objectif [...] est de décrire une méthode d'analyse des facteurs plus générale [que celle de Spearman] sans restrictions vis-à-vis des facteurs de groupe et du nombre de facteurs généraux présents, et permettant d'engendrer (*operative in producing*) les intercorrélations »¹⁰⁶. À cette date, Thurstone (1887-1955) est professeur titulaire à la Social Science Division de l'Université de Chicago. Ses recherches, débutées dans les années dix, portent principalement sur les méthodes statistiques de mesure de l'intelligence par les tests mentaux, sur les outils de mesure des attitudes et des opinions. Il est notamment à l'origine de méthodes d'échelonnement unidimensionnel en psychologie¹⁰⁷.

Le problème que se propose de résoudre Thurstone dans son article de 1931 est donc le suivant : déterminer le nombre et la nature des facteurs indépendants nécessaires pour rendre compte d'une table (matrice) de corrélation (« *to know how many independent factors it is necessary to postulate in order to account for the whole table of intercorrelations* »)¹⁰⁸.

En termes formels, dans lesquels Thurstone s'exprime systématiquement et spontanément, il s'agit de déterminer de nouvelles variables (les « facteurs », ici indicés par la lettre i) permettant d'exprimer les scores aux tests ($a, b, c, d...$) en fonction des composantes ($(a_i), i \in \{1, 2, 3, \dots\}$) de chacun des tests sur chacune des variables et des scores élémentaires sur chacune de ces variables ($(x_i), i \in \{1, 2, 3, \dots\}$) tels que : $scores = \sum a_i x_i$; ou encore d'exprimer simplement les corrélations entre les tests comme une combinaison linéaire des composantes : $r_{ab} = \sum a_i b_i$.

Une fois le problème posé, il s'agit de trouver une méthode de résolution. Dès son article de 1931 Thurstone propose une solution géométrique itérative. Celle-ci repose, à chaque étape, sur la détermination de groupes de tests corrélés entre eux et faiblement corrélés avec les axes obtenus aux étapes précédentes. Une fois les axes/facteurs déterminés, il est possible de recalculer les coefficients de corrélation (« estimés ») et de les comparer avec les corrélations empiriquement observées : « ces coefficients de corrélation doivent

106. THURSTONE, L.L., 1931, p. 406.

107. MARTIN, O., 1997, chapitre 2 et 3.

108. THURSTONE, L.L., 1931, p. 407.

être en accord avec les corrélations observées dans les limites des erreurs expérimentales raisonnables »¹⁰⁹. Si tel n'est pas le cas, la procédure se poursuit.

Cette méthode, dite « méthode de regroupement », sera rapidement abandonnée par Thurstone et remplacée par d'autres méthodes : la méthode du centroïde, la méthode de rotation, et la méthode des moindres carrés que Thurstone formule mais qu'il ne résout pas entièrement. La résolution du problème factoriel en respectant le critère des moindres carrés revient en effet à Harold Hotelling (1895-1973), professeur de mathématiques et d'économie à Stanford puis à Columbia. Il introduit alors la notion de « composantes principales »¹¹⁰. Les méthodes de résolution évoluent donc avec le temps, et notamment avec l'arrivée des calculateurs automatiques, mais elles s'inscrivent toutes strictement dans le cadre théorique et épistémologique explicité par Thurstone au début des années trente. Elles ne constituent que des améliorations techniques, que des changements dans le calcul des facteurs.

Les origines du passage au multifactoriel

En apparence, en tout cas si nous suivons les propos de Thurstone, la méthode proposée en 1931 s'apparente à celle mise en œuvre par Spearman : déterminer la présence de facteurs à partir de l'analyse d'une matrice de corrélation entre tests. Les apparences sont toutefois trompeuses. Les différences sont, en fait, considérables : différences dans le statut épistémologique, dans la signification psychologique et les objectifs assignés à la méthode d'analyse, dans l'outillage mathématique utilisé. L'ampleur des changements introduits est le signe d'une rupture entre la *théorie* de Spearman et la *méthode* de Thurstone. Mais, comme toute rupture en histoire, une longue série d'événements, de changements et d'altérations dans les travaux autour de la théorie de Spearman, a précédé et préparé cette « rupture » : réinterprétations des travaux anglais, recherches de Kelley, introduction de la représentation géométrique...

Tout en ne remettant pas profondément en cause l'existence de g , plusieurs psychologues anglais en étaient venus à mettre en évidence

109. THURSTONE, L.L., 1931, p. 412.

110. HOTELLING, H., 1933. Mathématiquement, le problème posé par la recherche des axes respectant le critère des moindres carrés avait été résolu par Karl Pearson (PEARSON, K., 1901). La solution qu'y apporte Hotelling est toutefois historiquement indépendante des travaux de Pearson. En 1949, Burt signalera l'antériorité des travaux de Pearson (BURT, C., 1949).

l'existence de plusieurs facteurs relativement généraux : les facteurs *c*, *p*, *w*, etc. Au fond, cette multiplicité de facteurs remettait en cause la théorie de Spearman et il fallait une véritable volonté œcuménique pour ne pas casser le cadre spearmanien. Les psychologues et statisticiens acteurs de cette histoire ont préparé le terrain pour Thurstone mais n'ont pas pu franchir le pas que franchit Thurstone (et en partie Kelley, *cf. infra*) car ils étaient prisonniers de leur débat trentenaire sur la nature et la fonction des facteurs, sur la réalité de *g*. Ils étaient prisonniers de leur interrogation initiale essentiellement psychologique. Il faut le recul de chercheurs à la fois psychologues, américains et statisticiens pour dépasser ce stade. Une telle incapacité n'est pas liée à leur méconnaissance des outils mathématiques, mais à leur position et à leur perspective épistémologique. Au fond, ils ne se posaient pas la même question, même si les (ré)écritures formelles de leurs problèmes sont quasiment identiques. L'exemple paradigmatique de ce constat est le cas de Garnett : mathématicien et statisticien, il avait généralisé le problème factoriel de Spearman et proposé une représentation géométrique ; pourtant ni lui ni aucun de ses proches (à commencer par Spearman) n'avaient repris ses travaux et sa démarche. Personne ne l'avait, non plus, critiqué : la seule leçon tirée de l'ensemble de ses travaux était la preuve de l'existence d'un unique facteur dès lors que les corrélations vérifient les conditions proposées par Spearman, Hart ou Burt.

Le chercheur qui fait le lien entre les travaux anglais et ceux de Thurstone est le psychologue et statisticien américain Truman L. Kelley (1884-1961). Il publie en 1928 un ouvrage intitulé *Crossroads in the Mind of Man*¹¹¹, dans lequel il tire les conclusions des travaux anglais (qu'il connaît bien puisqu'il a séjourné à Londres dans les années vingt) : existence de plusieurs facteurs dans l'esprit et rejet de l'hypothèse d'un facteur unique ; corrélativement, non adéquation des outils statistiques à la nouvelle hypothèse d'existence de plusieurs facteurs généraux. Il propose alors un critère (des différences pentades) permettant de tester la présence de deux facteurs généraux dans l'esprit, puis tente de généraliser, sans succès, à des critères d'existence de 3, 4, *n* facteurs. Ce faisant, il se situe encore partiellement dans la lignée de Spearman : il recherche des critères permettant de tester « l'adéquation d'un modèle à des données empiriques ». Thurstone changera la perspective de la question. Il ne cherchera pas à tester l'ajustement d'un modèle à des données

111. KELLEY, T.L., 1928.

empiriques, mais proposera de construire de façon itérative une succession de modèles emboîtés améliorant progressivement l'adéquation aux données.

Transformations épistémologiques

L'analyse comparative de la méthode de Thurstone et de la théorie de Spearman permet d'établir les différences considérables qui séparent ces deux théories/méthodes, ces deux « constructions ».

Un premier changement notable est l'introduction des outils de la géométrie et de l'algèbre dans la formulation du problème factoriel. Ces divers outils mathématiques avaient été utilisés par des proches de Spearman pour étayer sa théorie psychologique (notamment par Garnett), mais ces outils ne venaient qu'appuyer l'argumentation de Spearman, ne faisaient qu'étayer rigoureusement sa démonstration de l'existence de g . Avec les travaux de Thurstone, le problème est entièrement posé en termes mathématiques et, quelles que soient les voies de résolution choisies, les solutions sont mathématiques : le problème et la finalité sont entièrement exprimés en termes formels.

Mais l'évolution majeure, celle qui a les conséquences les plus lourdes, est la transformation de la question centrale, et donc du sens donné à la démarche. La question de Spearman : « Existe-t-il un facteur commun à toutes les branches de l'activité intellectuelle ? » devient la question « Combien de facteurs sont nécessaires pour rendre compte des corrélations ? ». Cette « reformulation » a au moins trois conséquences majeures.

Premièrement, l'interrogation passe d'une question d'ordre qualitatif à une question d'ordre quantitatif, contenant donc, implicitement, la réponse à la question précédente. S'interroger sur la quantité (« optimale ») d'une certaine grandeur nécessaire pour remplir une mission précise, c'est déjà supposer que cette mission peut être remplie et écarter la question de la justification de la démarche. Ainsi, si cette approche ne permet pas d'écarter définitivement la question du réalisme des facteurs, elle la rend moins cruciale, moins centrale et finalement moins prégnante : l'existence des facteurs ne pose pas de problème en tant que telle, seul leur nombre est sujet à interrogations. Le statut du/des facteur(s) n'est plus au cœur de l'interrogation.

Deuxièmement, à la différence de Spearman et de Thomson (entre autres), Thurstone ne focalise pas son regard sur les erreurs, sur les écarts au modèle. Chez les psychologues anglais, qu'ils soient pro ou antifactorialistes, tout le débat portait sur le sens à donner aux écarts entre le modèle théorique et les données empiriques. Dans sa

controverse virulente avec Thomson, Spearman estimait que les écarts étaient simplement liés au hasard et qu'ils n'entachaient en aucune manière la validité de son modèle. De son côté, Thomson voyait dans les écarts/erreurs des raisons de penser que le modèle unifactoriel était invalide. Dans l'approche multifactorielle, telle que la formule Thurstone, la question des erreurs ne se pose pas : le nombre de facteurs, donc le « modèle », est déterminé pour essayer de rendre compte de toutes les données (que celles-ci soient entachées d'erreur ou non). Bien sûr, en pratique, le nombre de facteurs nécessaires pour rendre exactement compte de ces corrélations est très élevé (proche du nombre total de tests). Il faut donc disposer d'un critère pour choisir les meilleurs axes/facteurs : « nous voulons rendre compte du mieux possible des corrélations à partir du plus faible nombre de facteurs indépendants. Nous devons donc définir l'axe Ox de façon à maximiser les projections des points sur cet axe » ¹¹².

Troisièmement, Thurstone s'interroge au fond sur la meilleure façon de rendre compte, d'expliquer et de justifier ¹¹³ les corrélations empiriquement constatées. La méthode qu'il propose en 1931 et celles qui suivront ont donc une visée purement descriptive. À la différence des travaux de Spearman, les recherches de Thurstone n'aboutissent pas directement à l'énonciation d'une théorie psychologique ou d'une doctrine sur le fonctionnement des activités mentales humaines, mais seulement au développement d'une méthode mathématique générale permettant de trouver des facteurs pour décrire (*to describe*) les résultats aux tests. Par là, il rejette les conceptions réalistes des facteurs. À ses yeux, c'est une illusion de s'interroger sur la réalité des facteurs : le débat entre Thomson et Spearman n'avait pas lieu d'être car tout ce que les méthodes de recherches de facteurs (celle de Spearman comme celles des américains) permettent de dire est qu'il est possible de décrire les résultats en fonction de un ou plusieurs facteurs généraux et de facteurs spécifiques. Pour lui, cette situation n'est pas spécifique à la psychologie : « la situation est analogue en science physique. Si une particule est en mouvement, nous désignons son mouvement par une flèche orientée, par un vecteur, mais il ne tient qu'à nous de figurer le mouvement par deux vecteurs ou plus de façon à le représenter

112. THURSTONE, L.L., 1931, pp. 414–415. L'expression « maximiser » les projections n'a pas, ici, le sens qu'elle prendra dans la méthode des moindres carrés.

113. Les termes initialement utilisés par Thurstone en 1931 sont « *to account for* ». Le terme « *describe* » (et ses dérivés) reviendra constamment dans les articles ultérieurs.

décomposé sur les axes x, y, z. Décrire l'accélération en une force, deux ou trois forces parallèles aux axes x, y et z n'est qu'une question de commodité pour nous. C'est exactement la même chose lorsque nous décrivons les corrélations en deux ou plusieurs facteurs alors qu'un seul facteur pourrait suffire. Se demander s'il y a 'réellement' plusieurs facteurs alors qu'un seul peut suffire est une question aussi indécise que de se demander combien de forces concourent à accélérer une particule » ¹¹⁴.

Le débat autour de la réalité des facteurs est pour lui un débat épistémologique. La nature quasi-exclusivement psychologique de la théorie de Spearman est remplacée par une problématique purement formelle et mathématique chez Thurstone. Si ce dernier évoque le contenu psychologique des variables étudiées c'est seulement à titre d'illustration, à titre pédagogique. L'article de 1931 n'a pas, en tant que tel, pour objectif la recherche de résultats psychologiques, l'établissement ou la preuve de théories sur l'activité mentale ; seules les applications pratiques de la méthode exposée peuvent éventuellement aboutir à des résultats pour la science psychologique. Chez Spearman la méthode est simplement un moyen d'établir une théorie psychologique. Chez Thurstone la méthode prend le pas sur toute théorie psychologique : la séparation de la méthodologie statistique et des aspects psychologiques de la théorie est consommée. D'ailleurs, dès 1931, Thurstone appliquera principalement la méthode d'analyse multifactorielle à d'autres domaines que la psychologie des capacités intellectuelles. Ses premières recherches sont relatives aux maladies psychiques, aux motivations (intérêt) dans des professions, aux facteurs pouvant influencer les électeurs lors de leur vote, aux facteurs de la perception, aux composantes anthropométriques du corps humain, aux attitudes psychosociales et aux comportements des consommateurs, etc. Et lorsqu'en 1951 Thurstone décrira sommairement l'histoire du développement de l'analyse multifactorielle, il n'évoquera à aucun moment un quelconque contenu psychologique de cette analyse ; il abordera seulement les aspects mathématiques et épistémologiques de la méthode. Bien entendu certains auteurs utiliseront les techniques multifactorielles dans la construction de leurs théories psychologiques (notamment Burt et Guilford), mais la séparation est là ¹¹⁵.

114. THURSTONE, L.L., 1934, p. 3 ; 1933, p. ii.

115. THURSTONE, L.L., 1951.

Conjointement à cette modification de la problématique et de la visée générale de la démarche, le statut des « facteurs » connaît lui aussi plusieurs changements significatifs. Premièrement, Thurstone rejette l'idée de facteur général telle que Spearman la conçoit, c'est-à-dire l'idée d'une grandeur prédominante, dont le statut est radicalement différent des autres : pour lui tous les facteurs ont le même statut *a priori*. Ce statut ne dépasse pas celui des objets mathématiques : ils sont géométriquement ou algébriquement définis à partir d'une série de données purement numériques (les corrélations). Les facteurs sont simplement les moyens de la description des données et n'ont pas de contenu psychologique *a priori*. Ils sont d'ailleurs très largement indéterminés et seul le choix d'un critère mathématique permet de les déterminer exactement : « il est possible d'utiliser plusieurs critères et plusieurs tests quantitatifs pour localiser les coordonnées des axes »¹¹⁶. Plus tard, estimant que les axes factoriels, c'est-à-dire les facteurs, peuvent prendre une infinité de positions, il considérera que seule la « plausibilité de l'interprétation » des axes détermine leur valeur scientifique ; et si aucune interprétation des axes n'est recherchée (condensation des données), alors tout système d'axe, convient¹¹⁷.

Deuxièmement, poser la question du nombre c'est supposer résolue la question de l'identité ; s'interroger sur le nombre de facteurs c'est déjà supposer que ces facteurs ont la même nature, qu'ils peuvent être comptés et comparés. Dans la version la plus générale de sa théorie des facteurs, Spearman admet, certes, l'existence de plusieurs facteurs mentaux (*g* mais aussi les facteurs « inertie mentale », « maîtrise de soi », « oscillation »), mais ceux-ci n'ont pas la même nature : ils sont incommensurables dans leur nature et seulement hiérarchisable, par leur importance (*g* étant le principal). Chez Thurstone et dans les méthodes multifactorielles, tous les facteurs ont un statut identique *a priori*. Il n'y a aucune différence « ontologique » entre eux ; seuls leur pouvoir explicatif et leur capacité à être interprétés les distinguent *a posteriori*.

Au total, d'une situation où Spearman cherchait à établir l'existence et l'unicité d'un facteur dont il annonçait la nature psychologique, nous sommes passés à une situation où le nombre et la nature des facteurs ne sont pas postulés à l'avance mais déterminés et interprétés *a posteriori*, en fonction des caractéristiques des corré-

116. THURSTONE, L.L, 1931, p. 414.

117. THURSTONE, L.L, 1951.

tions. En d'autres termes, la démarche de Spearman apparaît plutôt comme une démarche inductive de vérification (*i.e.* comme un test : « il passe des données à la vérification de l'existence de l'intelligence générale ») et la méthode de Thurstone est davantage une estimation inductive (« il déduit des caractéristiques des données l'interprétation des facteurs sous-jacents à ces données ; ces facteurs étant des caractéristiques des données ») ¹¹⁸.

Les places et les rôles du formalisme

La désubstantialisation définitive

En l'espace de quelques années, le champ d'application des méthodes factorielles est devenu très vaste : de la psychologie de l'intelligence à l'anthropométrie, de la psychologie des opinions à l'étude des capacités auditives, de la mémoire aux aptitudes mécaniques, de l'analyse des personnalités à la vision... de nombreux secteurs de la psychologie et parfois d'autres champs de la connaissance scientifique sont ainsi touchés. Très rapidement, les méthodes d'analyse factorielles sont conçues et utilisées comme des outils universaux, capables de s'appliquer à tous les cas de figure. Nous avons déjà cité le cas de Thurstone qui utilise dès 1931 ses méthodes d'analyse dans des situations très variées. Bien entendu, il n'est pas seul : Holzinger, Harman, Woodrow, Coombs, Guilford,... font de même. La *Psychometric Society*, fondée et animée par Thurstone, voit le jour en 1935. Destinée au développement de la psychologie quantitative et de ses méthodes, éditrice de la célèbre revue *Psychometrika*, elle jouera un rôle essentiel dans la promotion et la diffusion des méthodes factorielles. Quelques statistiques permettent de préciser l'ampleur de ce phénomène : entre 1936 et 1945, plus de 35 % des articles de *Psychometrika* sont consacrés à ces méthodes ou à leurs utilisations ; durant la décennie 1940, plus de 7 % des articles de la revue *Educational and Psychological Measurement*, dont l'objet principal n'est pas la publication d'articles de statistiques appliquées à la psychologie, font appel aux méthodes d'analyse factorielle. En France, l'analyse factorielle sera importée dans les années trente à travers la *Société de Biotypologie* puis l'INOP ¹¹⁹.

118. MATALON, B., 1967.

119. Institut National d'Orientation Professionnelle, fondé par Henri Piéron en 1928 ; devenu aujourd'hui l'INETOP.

La multiplicité des usages, l'élargissement des champs d'utilisation, sont la marque de la fin d'un parcours de désubstantialisation des démarches méthodologiques développées par Spearman et ses proches. Initialement, c'est-à-dire dans les premières recherches de Spearman, la démarche suivie est spécifique aux données et à leur nature : Spearman ne conçoit pas, et n'imagine certainement pas, sa démarche méthodologique comme généralisable. Elle est construite, de façon *ad hoc*, en fonction des données empiriques, de leurs sens et de leurs défauts. Spearman redresse ses données empiriques parce que, par exemple, l'âge joue un rôle qu'il est nécessaire de neutraliser ; parce qu'il connaît l'origine des données et de leurs erreurs (biais, effets de structure). Au fil des années dix et vingt, sous le coup des critiques et des recherches mathématiques (de Garnett notamment), les critères de validité de la théorie deviennent de plus en plus explicites et de plus en plus synthétiques. Ils permettent notamment de tester les différentes théories possibles. La connaissance de la nature des données n'est plus nécessaire. À la limite, la vérification du critère des différences tétrades peut être menée sans posséder la moindre connaissance de l'origine des données (sous-traiter auprès d'un « calculateur » est possible). Même si la démarche statistique est encore uniquement utilisée dans le cadre de la vérification des théories factorielles spearmaniennes, un pas vers l'explicitation de la méthodologie et des arguments statistiques est incontestablement franchi. Devenant plus explicites, plus autonomes (dans leurs expressions), les critères et arguments statistiques de la théorie de Spearman deviennent de plus en plus formels et se réduisent progressivement à cette dimension.

Une nouvelle étape est accomplie grâce aux travaux américains : les critères et arguments statistiques exposés dans les années trente sont progressivement détachés de tout contexte psychologique, de tout contexte de sens (autre que méthodologique/statistique). Le cadre des développements formels présentés dans ces articles n'est plus le cadre de la psychologie des capacités intellectuelles, ni même celui de la psychologie générale... : ce sont à la fois tous les cadres et aucun de ces cadres. La méthodologie et la problématique sont désubstantialisées : elles peuvent ainsi être utilisées, sans la moindre difficulté apparente, dans les domaines de l'anthropologie, de la mécanique, de la sociologie, de la psychosociologie, des sciences politiques... L'analyse factorielle (les méthodes), détachée de tout contexte, d'exposé purement formel, est devenue universelle. Cette désubstantialisation est rendue possible grâce à un recours systématique au formalisme mathématique et statistique, grâce à l'abstraction mathématique.

Une telle évolution a des traductions institutionnelles. Initialement possédée et utilisée par les seuls psychologues, l'analyse factorielle devient un bien commun à de nombreuses disciplines et est contrôlée par les statisticiens et mathématiciens. Ainsi, la *Psychometric Society*, initialement née de la volonté de quelques psychologues soucieux de méthodologie statistique (notamment l'analyse factorielle), devient peu à peu une société de statisticiens. Après guerre, elle refuse d'établir des liens organiques avec la toute puissante *American Psychological Association* mais, en revanche, cherche à en établir avec l'*American Statistical Association* ¹²⁰.

L'absence de déterminisme profond

Toutefois, nous l'avons vu, l'histoire de l'analyse factorielle ne se réduit pas à l'évolution de son formalisme, de ses mises en équation, de ses expressions mathématiques et statistiques : l'évolution des dimensions formelles ne permet pas de rendre compte, à elle seule, de l'évolution de la théorie, de sa portée, de son sens. Il faut aussi tenir compte de l'évolution de son statut épistémologique, des notions qu'elle véhicule (par exemple la notion de facteur), et de ses cadres d'utilisation.

Pour comprendre la controverse entre Spearman et Thomson, nous avons vu qu'il était nécessaire de dépasser la lecture des formalismes que l'un et l'autre mobilisent (puisqu'ils sont identiques pour l'essentiel) et de s'intéresser aux sens que l'un et l'autre leur donnent. Mais il y a plus : quels que soient les arguments formels avancés par l'une ou l'autre des parties, la controverse subsiste et résiste. Ce n'est pas l'affûtage des arguments mathématiques et statistiques qui a permis à la controverse de se taire, mais la nécessité d'une alliance face aux multifactorialistes. Tout se passe comme si le statut épistémologique donné à tel ou tel schéma théorique n'était pas fourni par le formalisme, en tout cas pas par le seul formalisme. Le sens et la portée des développements théoriques ne sont pas entièrement déterminés par les seuls aspects formalisés, mathématisés. Le cas des articles publiés par Garnett vers 1920 est, de ce point de vue, suggestif. Bien que très proches des développements mathématiques proposés par Thurstone vers 1930, ces articles n'ont pas été perçus, lors de leur publication, comme une critique de la théorie factorielle

120. Aujourd'hui encore, la Psychometric Society et sa revue *Psychometrika* appartiennent incontestablement au champ de la recherche en statistique et probabilité, et non plus (ou presque) au champ de la psychologie.

de Spearman. « Aveuglés » par leurs conceptions psychologiques, Spearman comme Garnett n'ont pas perçu toute l'ampleur des perspectives ouvertes par Garnett. Une évolution technique qui intervient dans un cadre conceptuel inadéquat ne change rien. Un autre exemple peut être trouvé dans l'étude des différences de destin des articles de Pearson en 1901 et de Hotelling en 1933 ¹²¹. Le problème statistique et la méthode de résolution qu'ils proposent sont identiques (« l'analyse en composantes principales ») mais, à la différence des travaux de Hotelling, ceux de Pearson ne sont pas immédiatement compris et intégrés par les psychologues. La raison en est simple : les travaux de Hotelling s'inscrivent spontanément et « naturellement » dans un cadre conceptuel donnant sens à leur formalisme.

Le « façonnage » des concepts et théories par le formalisme

Si les outils mathématiques (statistiques) ne déterminent pas entièrement la nature et le statut des objets sur lesquels ils sont utilisés, il serait naïf de croire que leur intervention est neutre, que leur usage n'a aucune conséquence. Ils servent d'outils d'analyse et de démonstration ; ils servent à désobjectiver les critères démonstratifs. Par ailleurs, ils contribuent à former, façonner, les concepts et théories : ils ne sont donc pas seulement des outils « objectifs » (au sens de « interpersonnels ») de démonstrations ou d'expression mais aussi des outils intervenant dans la conceptualisation, dans l'élaboration des concepts et théories.

Le premier exemple peut être trouvé dans le processus qui a abouti à la théorie de l'échantillonnage des facultés de Thomson (théorie affirmant que les corrélations calculées sur des phénomènes aléatoires tendent naturellement à former une hiérarchie). Les premières preuves de cette loi probabiliste n'en sont pas vraiment : Thomson montre simplement, sur des exemples fondés sur des expériences de lancés de dés, que les hiérarchies apparaissent. Au fil de ses articles, Thomson va généraliser toutefois ses exemples au point de fournir une preuve mathématique formelle de cette loi. Il montre que les corrélations calculées sur des données aléatoires (discrètes à base infinie) tendent à respecter le critère des différences tétrades et, donc, à former spontanément une hiérarchie. Cette loi (purement mathématique initialement) est ensuite transformée en une théorie, la théorie de l'échantillonnage des aptitudes, censée contre-

121. PEARSON K., 1901 ; HOTELLING H., 1933.

dire celle de Spearman. Cette théorie constitue une véritable théorie psychologique, *i.e.* une construction fondée sur des notions de la science psychologique et visant à rendre compte de certains phénomènes psychiques. Mais tout se passe comme si cette théorie était issue, en partie au moins, des réflexions mathématiques et probabilistes de Thomson. C'est à partir de ses arguments et modélisations formelles que Thomson construit, en les réinterprétant, en leur donnant un sens psychologique, une théorie psychologique. Son utilisation des mathématiques, des probabilités, a conditionné sa théorie psychologique. Sa loi probabiliste fournit la structure générale à sa théorie psychologique : dans les deux cas des entités (tests ou aptitudes) sont échantillonnées pour produire des résultats qu'il est possible d'organiser selon une structure hiérarchique ; elles sont toutes deux fondées sur une idée d'échantillonnage aléatoire des phénomènes. Cette analogie n'est pas fortuite : loi et théorie semblent être les fruits de la mobilisation des mêmes schèmes cognitifs ¹²².

Une seconde illustration de ce processus de façonnage des concepts psychologiques par les outils mathématiques/statistiques peut être trouvée dans l'histoire de la notion de facteur. Comme nous l'avons déjà dit, en s'interrogeant sur le nombre optimal de facteurs, en formalisant mathématiquement le problème factoriel, en introduisant l'interprétation géométrique du problème, les chercheurs américains ont rendu équivalents tous les facteurs. Ceux-ci ne se distinguent *a posteriori* qu'en fonction de l'interprétation psychologique qui en est faite (et de leur part de « variance expliquée »). La notion de facteur perd ici tout contenu psychologique et les propriétés (causalité) qu'elle possédait chez Spearman : sa définition mathématique lui fait perdre tout contenu empirico-psychologique qu'elle retrouve seulement *a posteriori*. Chez Thomson, quoique différente de celles de Spearman ou Thurstone, elle est également conditionnée par la théorie/loi qu'il défend. Les facteurs s'apparentent à des entités élémentaires mobilisées de façon aléatoire (comme des dés d'un lancé de dés, comme des boules d'une urne), strictement équivalents les unes aux autres, et qui concourent, dans leur ensemble, à « causer » le résultat (l'acte psychologique). Les facteurs n'ont pas de pouvoir causal : c'est leur association, leur mobilisation collective, qui fait leur force et leur confère un pouvoir.

122. Pour une autre illustration d'une construction d'une théorie psychologique à partir de formalisme et de concepts statistiques/psychologiques *cf.* MARTIN, O., article à paraître.

Thurstone va jusqu'à utiliser un terme mathématique pour désigner les grandeurs psychologiques en jeu : il parle en effet des « Vecteurs de l'Esprit »¹²³. Le processus de « contamination » des notions psychologiques par les notions mathématiques atteint ici un sommet. Que nous qualifions cette « contamination » de traduction, de transposition ou de nomadisme ne change rien : les notions psychologiques ne peuvent pas ne pas être marquées par les notions mathématiques utilisées.

Tableau 1. *Les différentes conceptions de la notion de facteur*

	<i>Conceptions de la notion de facteur (interprétation, propriétés)</i>
<i>Spearman (et avant)</i>	Notion causale Incommensurabilité des facteurs Aucune interprétation ou définition mathématique Notion liée à la conception de la corrélation
<i>Thomson</i>	Statut causal ambigu Équivalence parfaite des facteurs (équi-probabilité) Mécanisme aléatoire de mise en œuvre
<i>Thurstone & co</i>	Notion non causale Définition mathématique (géométrie, algèbre) Équivalence <i>a priori</i> des facteurs Interprétation (psychologique ou autre) <i>a posteriori</i> Plusieurs systèmes de facteurs possibles

Les outils mathématiques ont progressivement modifié la notion de facteur au point d'en faire des entités mathématiques interprétées en termes psychologiques. Les facteurs tels que les conçoivent les psychomètres américains sont hybrides : ils ont incorporé des aspects psychologiques (leur capacité à avoir une signification psychologique) et des aspects mathématiques (équivalence, non unicité, processus mathématique de construction et de définition). Pour une part au moins, les usages actuels des méthodes factorielles et les débats qui les entourent s'appuient sur cette dimension hybride.

123. THURSTONE L.L, 1947 et 1934.

BIBLIOGRAPHIE

- ARMATTE, M., *Histoire du modèle linéaire : formes et usages en statistique et économétrie*, Thèse de Doctorat en Sciences Économiques, E.H.E.S.S, janvier 1995 (à paraître aux éditions de l'EHESS).
- BENZÉCRI, J.-P., *Histoire et préhistoire de l'analyse des données*, Paris, Dunod, 1982.
- BRENNAN, J., *History and Systems of Psychology*, Englewood Cliffs, New-Jersey, Prentice Hall, 1991.
- BROWN, W. & THOMSON, G.H., *The Essentials of Mental Measurement*, Cambridge, Cambridge University Press, (première édition en 1911 par Brown), 1921.
- BURT, C., « Experimental Tests of General Intelligence », *The British Journal of Psychology*, vol. 3, 1909, pp. 94-177.
- BURT, C., « L'analyse factorielle dans la psychologie anglaise », *Biotypologie*, 9, 1947, pp. 7-44.
- BURT, C., « Alternative Methods of Factor Analysis and their Relations to Pearson's Method of Principal Axes », *British Journal of Psychology. Statistical Section*, vol. 2, 1949, pp. 98-121.
- BURT, C. & MYERS, C., *The Psychological Review*, 53, 1946, pp. 66-71.
- CATTELL, J. McK., "Mental Tests and Measurements", *Mind*, vol. 15, 1890, pp. 373-380.
- DANZIGER, K., *Constructing the subject*, Historical Origins of Psychological Research, Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
- DESROSIÈRES, A., *La politique des grands nombres. Histoire de la raison statistique*, Paris, Éditions de la découverte, 1993.
- EYSENCK, H.J., *The inequality of Man*, London, Maurice Temple Smith, 1973.
- EYSENCK, H.J., ARNOLD, W. & MEILL, R., *Encyclopedia of Psychology*, London, Search Press, 1972.
- FLUGEL, J.C., *The British Journal of Psychology*, 37, 1946, pp. 1-6.
- GALTON, F., « Co-relations and their measurement, chiefly from anthropometric data », *Proceedings of the Royal Society of London*, vol. 45, 1888, pp. 135-145.
- GALTON, F., « Remarks on 'Mental Tests and Measurements' », *Mind*, vol. 15, 1890, pp. 380-381.
- GALTON, F., *Inquiries into Human Faculty and its Development*, London, MacMillan, 1883.
- GARNETT, J.C.M., « General Ability, Cleverness and Purpose », *The British Journal of Psychology*, vol. 9, 1919, pp. 345-366.
- GARNETT, J.C.M., « On Certain Independent Factors in Mental Measurements », *Proceeding of the Royal Society of London. Series A*, vol. 96, 1920a, pp. 91-111.
- GARNETT, J.C.M., « The Single General Factor in Dissimilar Mental Measurements », *The British Journal of Psychology*, vol. 10, 1920b, pp. 242-258.
- GARNETT, J.C.M. & THOMSON, G.H., « Joint note on 'the hierarchy of abilities' », *The British Journal of Psychology*, vol. 9, 1919, pp. 367-368.
- GOULD, S.J., *La malmesure de l'homme*, Paris, Ramsay, 1983.
- HART, B. & SPEARMAN, C., « General ability, its existence and nature », *The British Journal of Psychology*, vol. 5, 1912, pp. 51-84.
- HERRNSTEIN, R. & MURRAY, C., *The Bell Curve, intelligence and class structure in american life*, Free Press, Simon and Schuster, 1994.
- HOTELLING, H., « Analysis of a Complex of Statistical Variables into Principal Components », *Journal of Educational Psychology*, vol. 24, 1933, pp. 417-441 et pp. 498-520.
- KELLEY, T.L., *Crossroads in the Mind of Man. A Study of Differentiable Mental Abilities*, Stanford, Stanford University Press, 1928.

- LEMAINE, G. & MATALON, B., *Hommes supérieurs, hommes inférieurs ? La controverse sur l'hérédité de l'intelligence*, Paris, Armand Colin, 1985.
- MAC KENZIE, D., *Statistics in Britain, 1865-1930. The Social Construction of Scientific Knowledge*, Edinburgh, Edinburgh University Press, 1981.
- MARTIN, O., *La mesure de l'esprit. Origines et développements de la psychométrie (1900-1950)*. Paris, l'Harmattan, collection « Histoire des Sciences Humaines », 1997.
- MARTIN, O., « La mesure en psychologie de Binet à Thurstone : une étude historique du lien entre outils statistiques et concepts psychologiques », article à paraître dans la *Revue de Synthèse*.
- MATALON, B., « Epistémologie des probabilités » in J. PIAGET, (dir.), *Logique et connaissance scientifique*, Paris, Gallimard, 1967, pp. 526-553.
- MURCHISON, K., (ed.), *A History of Psychology in Autobiography*, Worcester, Clark University Press, vol. 1, 1930.
- NORTON, B., « Charles Spearman and the General Factor in Intelligence », *Journal of the History of the Behavioral Sciences*, vol. 15, 1979, pp. 142-154.
- OLÉRON, P., *Les composantes de l'intelligence d'après les recherches factorielles*, Paris, PUF, 1957.
- PAICHELER, G., *L'invention de la psychologie moderne*, Paris, L'Harmattan, 1992, p.
- PEARSON, K., « On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space », *Philosophical Magazine and Journal of Science*, sixième série, vol. 2, 1901, pp. 559-572.
- PORTER, T.M., *Trust in Numbers: The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton, New Jersey, Princeton University Press, 1995.
- SPEARMAN, C., « The proof and measurement of association between two things », *American Journal of Psychology*, vol. 15, 1904a, pp. 72-101.
- SPEARMAN, C., « 'General intelligence', objectively determined and measured », *American Journal of Psychology*, vol. 15, 1904b, pp. 201-293.
- SPEARMAN, C., « Some Comments on Mr Thomson's Paper », *The British Journal of Psychology*, vol. 3, 1916, pp. 282-284.
- SPEARMAN, C., *The Nature of Intelligence and Principles of Cognition*, London, MacMillan Company, 1923.
- SPEARMAN, C., « Recent contributions to the theory of two factors », *The British Journal of Psychology*, vol. 13, 1922, pp. 26-30.
- SPEARMAN, C., *The Abilities of Man. Their Nature and Measurement*, London, MacMillan, 1927, (*Les aptitudes de l'homme. Leur nature et leur mesure*, CNAM, Paris, 1936).
- SPEARMAN, C., « La théorie des facteurs », *Archives de Psychologie*, vol. 22, 1930.
- SPEARMAN, C. *Creative Mind*, New-York, D. Appleton & Co., 1931.
- SPEARMAN, C., « The proposed explanation of individual differences of ability by sampling », *The British Journal of Psychology*, vol. 29, 1938, pp. 182-191.
- SPEARMAN, C., « Thurstone's Work Reworked », *Journal of Educational Psychology*, vol. 30, 1939, pp. 1-16.
- SPEARMAN, C., « Professor Thurstone, a Correction », *Psychological Bulletin*, vol. 38, 1941a.
- SPEARMAN, C., « How "G" can Disappear », *Psychometrika*, vol. 6, 1941b, pp. 117-131.
- SPEARMAN, C., « Theory of General Factor », *The British Journal of Psychology*, vol. 36, 1946, pp. 117-131.
- SPEARMAN, C. & HOLZINGER, K., « The sampling error in the theory of two factors », *The British Journal of Psychology*, vol. 15, 1924, pp. 17-19.
- SPEARMAN, C. & HOLZINGER, K., « Note on the Sampling Error of Tetrad Differences », *The British Journal of Psychology*, vol. 16, 1925, pp. 86-88.

- SPEARMAN, C. & KRUEGER, F., « Die Korrelation zwischen verschiedenen geistigen Leistungsfähigkeiten ». *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, vol. 44, part. 1, 1907, pp. 50-114.
- STAGNER, R., *A History of Psychological Theory*, New-York, Macmillan Publishing Company, 1988.
- STIGLER, S.M., *The History of Statistics. The measurement of Uncertainty before 1900*, Cambridge, Massachusetts, The Belknap Press of Harvard University Press, 1986.
- THOMSON, G.H., « A Hierarchy without a General Factor », *The British Journal of Psychology*, vol. 8, 1916, pp. 271-281.
- THOMSON, G.H., « The Hierarchy of Abilities », *The British Journal of Psychology*, vol. 9, 1919a, pp. 337-344.
- THOMSON, G.H., « On the Cause of Hierarchical Order among the Correlation Coefficients of a Number of Variates Taken in Pairs », *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, vol. 95, 1919b, pp. 400-408.
- THOMSON, G.H., « The Proof or Disproof of the Existence of General Ability », *The British Journal of Psychology*, vol. 9, 1919c, pp. 321-336.
- THOMSON, G.H., « General Versus Group Factors in Mental Activities », *The Psychological Review*, vol. 27, 1920a, pp. 173-190.
- THOMSON, G.H., « The general factor fallacy in psychology », *The British Journal of Psychology*, vol. 10, 1920b, pp. 319-326.
- THOMSON, G.H., « The Tetrad-Difference Criterion », *The British Journal of Psychology*, vol. 17, 1927a, pp. 235-255.
- THOMSON, G.H., « A Worked out example of the possible Linkages of Four Correlated Variables on the Sampling Theory », *The British Journal of Psychology*, vol. 18, 1927b, pp. 68-76.
- THOMSON, G.H., « Hotelling's Method modified to give Spearman's g », *Journal of Educational Psychology*, vol. 25, 1934, pp. 366-374.
- THOMSON, G.H., « On complete Families of Correlation Coefficients and their Tendency to Zero-Tetrad-differences: Including a Statement of the Sampling Theory of Human Abilities », *The British Journal of Psychology*, vol. 26, 1935, pp. 63-92.
- THOMSON, G.H., « The factorial analysis of ability. Agreement and Disagreement in Factor Analysis. A Summing Up », *The British Journal of Psychology*, vol. 30, 1939, pp. 105-108.
- THOMSON, G.H., *L'Analyse Factorielle des Aptitudes Humaines*, PUF, Paris, 1950. (traduit de *The Factorial Analysis of Human Ability*, London, University of London Press, 1948, première édition 1939).
- THOMSON, G., « Autobiography » in E.G. BORING, H.S. LANGFELD, H. WERNER, & R.M. YERKES, (eds.), *A History of Psychology in Autobiography*, Massachusetts, vol. 4, Clark University Press, 1952, pp. 279-294.
- THORNDIKE, E.L. & WOODWORTH, E.L., « The Influence of Improvement in One Mental Function upon the Efficiency of Other Functions », *The Psychological Review*, vol. 8, 1901.
- THURSTONE, L.L., « Multiple Factor Analysis » *The Psychological Review*, vol. 38, 1931, pp. 406-427.
- THURSTONE, L.L., *The theory of multiple factors*, Ann Arbor, Michigan, Edwards Brothers Inc, 1933.
- THURSTONE, L.L., « The Vectors of Mind », *The Psychological Review*, vol. 41, 1934, pp. 1-32.
- THURSTONE, L.L., *Multiple Factor Analysis: a Development and Expansion of the Vectors of Mind*, Chicago, Chicago University Press, 1947.
- THURSTONE, L.L., « L'analyse factorielle, méthode scientifique », *L'Année Psychologique*, vol. 50, 1951, p. 61-75.
- WEBB, E., « Character and Intelligence: an Attempt of an Exact Study of Character », *British Journal of Psychology. Monograph Supplement*, vol. 1, n° 3, 1915.