

LE PROBLÈME NEUROLOGIQUE DE L'INTÉRIORISATION DES ACTIONS EN OPÉRATIONS RÉVERSIBLES

Par JEAN PIAGET

(Avec 3 figures)

Version électronique mise à disposition par la Fondation Jean Piaget pour recherches psychologiques et épistémologiques

Toute l'évolution de l'intelligence, chez l'enfant, est caractérisée par une intériorisation des actions effectives en actions simplement représentées et en opérations, ces dernières étant caractérisées par le caractère réversible de leurs compositions¹. C'est ce que nous ont montré, de la manière la plus constante, les recherches sur le développement de la logique de l'enfant, de ses opérations mathématiques et de ses raisonnements physiques. Dans le domaine de l'espace, par exemple, on assiste à une intériorisation particulièrement claire de la motricité en images et en représentations intuitives, et à l'organisation progressive des opérations géométriques en fonction de cette intériorisation².

I. L'un des moments décisifs de ce processus d'intériorisation est la formation des images mentales. En étudiant le passage des conduites sensori-motrices aux formes élémentaires de la

¹ Nous employerons, dans cet article, le terme de « réversible » dans le sens qu'il a pris en logique, en mathématique et en physique, et non pas dans son sens neurologique usuel. On dit en neurologie qu'un état est réversible lorsqu'il peut donner lieu à un retour à l'état antérieur : p. ex. un retour à l'état normal, s'il s'agit d'un état pathologique. Plus une structure est différenciée, moins elle sera donc réversible en ce sens particulier. Nous parlerons au contraire ici d'opérations réversibles pour désigner les activités pouvant être déroulées dans les deux sens et être annulées par une action en sens contraire (on parle parfois en ce sens de réversion dans le domaine de la motilité). P. ex. une action de réunir est réversible si ce que l'on réunit peut ensuite être dissocié ; un déplacement est réversible si le mouvement AB peut être inversé en un mouvement BA. On pourra dire, de même, que faire une hypothèse est une conduite réversible en ce sens que l'hypothèse peut être annulée, etc. Selon ce second groupe de significations, une opération ou une structure mentale sont d'autant plus réversibles qu'elles sont plus évoluées ou mieux différenciées.

² Voir PIAGET et INHELDER, *La représentation de l'espace chez l'enfant*, Paris P.U.F. 1947.

pensée représentative ¹, nous avons été amené à considérer l'image comme une « imitation intériorisée », c'est-à-dire comme le produit de l'intériorisation des mouvements nécessaires à la reproduction du modèle (de l'objet imaginé) ². Loin de constituer un prolongement direct des perceptions, comme le croyait la psychologie associationniste, l'image semble faire entièrement défaut durant les dix-huit premiers mois au moins du développement, c'est-à-dire jusqu'à l'apparition de la fonction symbolique. Au moment où débute l'imitation différée, on assiste parfois à des comportements curieux de l'enfant, qui se sert de gestes imitatifs à titre de représentations en des situations qui exigent plus tard l'emploi de la représentation imagée p. ex. l'un de nos enfants, avant d'élargir l'ouverture d'une boîte d'allumettes (à 1 an 4 mois), a longuement ouvert et fermé sa bouche en regardant la fente de la boîte sur laquelle il avait, en vain, essayé d'agir, comme si ce geste d'ouvrir lui permettait d'anticiper ce qu'il allait réellement exécuter tôt après.

Lors de l'acquisition, à peu près simultanée, du langage, du jeu symbolique et de l'imitation différée, un ensemble de faits convergents permettent d'assister à la constitution des formes les plus simples d'images mentales, à titre d'intériorisation des mouvements nécessaires à l'imitation. Nous avons invoqué à cet égard l'image auditive à titre de prolongement et d'esquisse du langage (le « langage intérieur » est l'exemple le plus clair de l'intériorisation des actions !) et du chant, tous deux dus au début des imitations. Quant aux images visuelles, dont les connexions avec les mouvements imitatifs du regard sont aisées à concevoir ³, nous avons surtout insisté sur le cas privilégié que constituent les représentations liées au dessin. A cet égard, l'étude des représentations spatiales est particulièrement suggestive, car elle montre non seulement comment la représentation imagée y est attachée aux reconstructions motrices antérieures (voir chap. I-II de *La représentation de l'espace chez l'enfant*), mais encore comment elle demeure longtemps incapable d'anticiper les résultats du mouvement lui-même.

¹ Voir *La Formation du symbole*, Delachaux et Niestlé, 1945.

² *Formation du symbole*, p. 71-72 et seq.

³ Voir F. MOREL, *Introduction à la psychiatrie neurologique*, Masson, 1947, p. 214. – A 6-7 ans encore les enfants examinés par H. Wursten du point de vue de l'estimation de la longueur de lignes obliques essaient parfois de mesurer les lignes avec leurs doigts sous la table tout en les évaluant du regard ! Voir *Arch. de Psychol.*, Vol. 32, 1947, p. 80.

Rappelons, à ce dernier point de vue, la manière dont les petits ne parviennent pas à imaginer le produit de l'étirement d'un noeud avant d'avoir effectivement tiré sur les cordons, ou le produit d'une section de volume et d'un développement de surfaces avant d'avoir esquissé les mouvements de couper ou de déplier (*ibid.*, chap. IV et IX-X).

Bref, de 2 à 7 ans, l'image demeure sous la dépendance étroite des mouvements et la représentation imagée ne se manifeste que sous les espèces d'une reproduction imitative à peine intériorisée des mêmes mouvements. Une fois intériorisée, elle conserve toujours une composante motrice.

C'est le résultat que retrouve André Rey, dans une intéressante étude ¹ et dont il donne une démonstration expérimentale nouvelle et suggestive, ainsi qu'une interprétation neurologique. Son hypothèse sur les modifications de la motricité qui se manifesteraient aux environs de 7 ans s'accorde non seulement avec tout ce que nous savons aujourd'hui du développement des opérations intellectuelles, qui sont des actions intériorisées, mais encore et en particulier avec les transformations de l'activité sensori-motrice que nous avons notées à ce même âge, avec Lambercier, dans le développement des perceptions et dans leurs relations avec certaines opérations ².

Au vu de cette convergence, nous aimerions à notre tour élargir le débat et nous demander comment accorder le schéma suggéré par Rey avec ce que nous apprend le développement des opérations intellectuelles dans le sens d'une intériorisation et surtout d'une réversibilité croissantes.

II. Bornons-nous à l'essentiel, c'est-à-dire l'explication de la manière dont s'intériorise la motilité dans la formation des représentations et des opérations. Le schéma que propose Rey de l'image mentale conçue « comme une coordination d'afférences et d'efférences s'effectuant dans les territoires centraux et engageant toujours moins activement, au cours de l'évolution, les systèmes périphériques » (p. 233) est parfaitement acceptable,

¹ A. REY, L'évolution du comportement interne dans la représentation du mouvement, *Arch. de Psychol.*, Vol. 32, p. 209.

² PIAGET et LAMBERCIER, *Arch. de Psychol.*, 30, 1945, pp. 45-102. Voir p. 102 : « ... il se pourrait fort bien que vers 7 ans un ensemble de modifications sensori-motrices se produisent dans la direction de la mobilité réversible, de par la maturation même des appareils sensori-moteurs et du système nerveux. Ce progrès fonctionnel retentirait dès lors sur les schèmes conceptuels et verbaux « réfléchissant » toute action en la prolongeant en pensée, et c'est cette généralisation réflexive qui rendrait compte de l'opération... »

mais il soulève alors la question du mécanisme de cette inhibition graduelle des systèmes périphériques. Chez l'amputé, que rappelle Rey, l'illusion connue des mouvements du bras correspond à une motilité totalement intériorisée pour des raisons faciles à saisir. Mais, chez l'enfant, comment s'effectue le freinage des effecteurs et l'arrêt ou la bifurcation de l'influx au niveau des relais antérieurs à la commande ou à la réalisation motrices ?

« Penser, disait déjà Bain, c'est se retenir d'agir. » Le premier problème est donc d'interpréter neurologiquement cet arrêt ou intériorisation de l'action au fur et à mesure que les circuits perceptivo-moteurs sont subordonnés à des centres supérieurs. Une première solution reviendrait à considérer cette intériorisation croissante comme constituant un résultat, direct ou indirect, de l'inhibition dite volontaire qui augmente progressivement d'importance avec la cérébralisation ou la mentalisation des conduites en fonction de l'âge, et dont Rey lui-même a donné un bon exemple à propos de la « réaction d'ouverture des yeux »¹. Le problème subsiste néanmoins de savoir selon quel mécanisme s'effectue le blocage des effecteurs, au moment où les mouvements et les actions parviennent à une intériorisation entière, et quelles sont les conditions précises de maturation, d'exercice ou d'apprentissage (conditions disjointes ou réunies) rendant ce blocage possible.

Une seconde solution consisterait donc à envisager une réorganisation de la motricité aux environs de 7 ans. Mais alors intervient nécessairement une seconde question, liée tôt ou tard à celle de l'intériorisation la question de la réversibilité (cette notion étant définie dans la note I à propos du titre de cet article). En effet, durant une première période (c'est-à-dire entre 2 ou 3 et 7 ou 8 ans), l'enfant n'intériorise, sous forme de représentations imagées, que des actions simples et courtes prêtes à aboutir à des réalisations effectives, c'est-à-dire à des transformations perceptibles du réel. Le sujet peut donc, après chaque représentation, agir sur les objets et percevoir les résultats de son action, c'est-à-dire s'appuyer à nouveau sur la perception avant de recommencer à agir ou avant d'intérioriser en représentations ses nouvelles actions. Il n'y a ainsi qu'une sorte de semi-intériorisation, c'est-à-dire d'échange constant entre les

¹ A. REY et P. OSTERRIETH, Dominance de l'organisme mental sur l'organisme physique, *Arch. de Psychol.*, 27, 1939, p. 157 et A. REY et H. ZATORSKA, *ibid.*, 28, 1940, p. 64.

réceptions perceptives succédant à l'effectuation motrice et les représentations (ou actions intériorisées) intercalaires. Mais au niveau (qui débute vers 11-12 ans) où le sujet sera capable de penser sans agir tôt après, c'est-à-dire de « réfléchir » pendant un temps plus ou moins long, les opérations ou actions intériorisées qui interviendront alors ne pourront plus se reposer sans cesse sur un résultat perceptible immédiat : force leur sera bien en ce cas de ne plus s'appuyer que les unes sur les autres, ce qui implique un ensemble de circuits momentanément fermé sur lui-même, donc un retour possible aux points de départ. Il ne s'agira ainsi plus seulement de coordinations entre afférences et efférences, mais surtout de connexions entre les voies d'association. Le schéma de l'intériorisation de la motilité doit par conséquent être tôt ou tard complété par un schéma de la réversibilité au sens défini au début de cet article.

De fait, entre le niveau des intériorisations sous forme de simples représentations imagées et celui des opérations entièrement intériorisées s'étend, entre la septième ou la huitième année et l'âge de 11-12 ans, toute une période que l'on peut caractériser par les « opérations concrètes » et durant laquelle la réversibilité s'acquiert peu à peu dans la mesure, p. ex. où les opérations logiques et mathématiques, (réunions ou dissociations, sériations, etc.), ne sont plus effectuées sous forme d'actions matérielles, mais où les mouvements qui les constituent sont intériorisés, ceux-ci doivent, en effet, nécessairement pouvoir être imaginés ou représentés selon les deux sens de parcours.

Donnons un ou deux exemples de ce double processus d'intériorisation et de réversibilité croissantes. Nous présentons à l'enfant un fil de fer traversant trois perles de couleurs différentes dans l'ordre 1, 2, 3 et lui demandons de prévoir le résultat d'une rotation de 180° imprimée au fil et transformant l'ordre 1, 2, 3 en un ordre inverse 3, 2, 1. Appelons A la situation perceptive 1, 2, 3 et B la situation perceptive 3, 2, 1. En outre, après avoir demandé de prévoir la transformation $A \rightarrow B$, nous prions le sujet de décrire d'avance la transformation $B \rightarrow A$ (donc le retour de l'ordre 3, 2, 1 à l'ordre 1, 2, 3 par inversion de l'inversion, c'est-à-dire par une nouvelle rotation de 180°). Considérons un premier niveau, où l'enfant ne parvient à anticiper, par la représentation imagée, ni l'une ni l'autre de ces deux transformations, mais où il sait exécuter matériellement

les mouvements de rotation. Nous avons alors le schéma :

(1) Perception de A (ordre 1, 2, 3) \rightarrow courant afférent \rightarrow connecteurs \rightarrow courant efférent \rightarrow voie effectrice et action transformant A en B .

(2) Perception de B (ordre 3, 2, 1) \rightarrow courant afférent \rightarrow connecteurs \rightarrow courant efférent \rightarrow action transformant B en A .

Il n'y a donc pas ici de réversibilité mentalisée, mais deux actions orientées dans le même sens et renversant une situation extérieure ; il y a après coup lecture perceptive du renversement mais sans anticipation représentative.

Envisageons maintenant un deuxième niveau, où l'enfant n'a pas besoin d'exécuter matériellement le mouvement, mais où il parvient à imaginer la rotation et le renversement de la situation A (1, 2, 3) en B (3, 2, 1). Peu après cette intériorisation (comme l'expérience nous l'a montré jadis ¹), le sujet réussit aussi à anticiper le résultat de la double rotation sans avoir besoin d'effectuer la première, c'est-à-dire qu'il imagine successivement en pensée les transformations $A \rightarrow B$ et $B \rightarrow A$ (inversion puis retour à l'ordre initial). En ce cas, le schéma de l'action impliquera deux retouches par rapport aux schémas précédents (1) et (2). Il s'agira, d'une part, d'expliquer comment sont inhibés les mouvements effecteurs, bien que s'établisse une coordination entre les afférences et les efférences, donc d'expliquer l'intériorisation de l'action en représentation ; mais il s'agira aussi d'expliquer comment sont reliés entre eux les arcs successifs correspondant à la représentation ($A \rightarrow B$) et à la représentation ($B \rightarrow A$), puisque les deux mouvements ($A \rightarrow B$) et ($B \rightarrow A$) sont imaginés en tant que solidaires l'un de l'autre. Donc le schéma de l'intériorisation doit être complété par un schéma de coordination réversible.

Considérons maintenant les mêmes doubles inversions sur un palier supérieur, celui d'opérations proprement formelles (logiques ou mathématiques) : ainsi, une double négation ($\neg\neg p = p$) p. ex. « il est faux que ce soit faux » = « il est vrai », ou une application de la règle des signes $(-2) \times (-2) = (+4)$; supposons même à nouveau un renversement d'ordre entre trois termes (p. ex. « mammifère implique vertébré et vertébré implique animal », inversés en « non-animal implique non-vertébré et non-vertébré implique non-mammifère », soit

$p \supset q$ et $q \supset r$ inversés en $\neg r \supset \neg q$ et $\neg q \supset \neg p$). Il s'agit encore psychologiquement, d'actions intériorisées, mais portant cette fois sur des objets quelconques symbolisés par des signes verbaux ou algorithmiques ; ces actions s'accompagnent sans doute toujours, mais à l'arrière-plan, d'une image évoquant un modèle de réalisation possible ; seulement la réversibilité ne porte plus ici que sur les opérations comme telles, pouvant à la limite être pensées, indépendamment de leur résultat et sous forme d'un simple schème abstrait. En ce cas, il est clair que nous sommes en présence d'une intériorisation encore bien plus poussée. Il s'agira donc, si l'on veut s'en donner un schéma neurologique, d'imaginer des arcs s'arrêtant en des territoires plus restreints par rapport aux voies efférentes et aux mouvements effecteurs, et de les relier à nouveau par des voies d'association assurant la liaison dans les deux sens (p. ex. en chiasma, etc.) de manière à assurer la connexion entre chacun des éléments opératifs et chacun des autres.

III. Il n'est malheureusement pas possible, dans l'état actuel des connaissances, ni de suivre morphologiquement le circuit que parcourent les influx dans le feutrage des fibres corticales, ni de se représenter causalement les mécanismes nerveux auxquels correspondent les diverses opérations intellectuelles. Il est même loin d'être prouvé qu'à chaque élément analysable dans la conscience corresponde un élément nerveux particulier et l'histoire des applications du principe de parallélisme psychophysique a montré combien il était dangereux d'imaginer de telles traductions littérales. Par contre, lorsqu'il s'agit de structures d'ensemble, on peut invoquer, avec la « psychologie de la forme » un principe d'« isomorphisme » : c'est ce principe qui a permis, p. ex., avant même que l'on ait découvert les champs polysynaptiques nés de l'interférence de courants afférents, de prévoir une correspondance entre de tels champs, supposés existants, et les champs perceptifs donnés dans l'observation psychologique ; c'est le même principe qui a inspiré les belles recherches de Lashley. Seulement la psychologie de la forme exprime tout sous les espèces de certaines totalités, qui sont non additives, en général irréversibles, et rendent surtout compte de la déformation des parties en fonction de l'ensemble. Aussi la structure de « Gestalt » intéresse-t-elle surtout les mécanismes de projection (perception et motilité) plus que l'intelligence elle-même. Il s'agirait au contraire de généraliser

¹ Voir *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*, Paris P.U.F., chap. I.

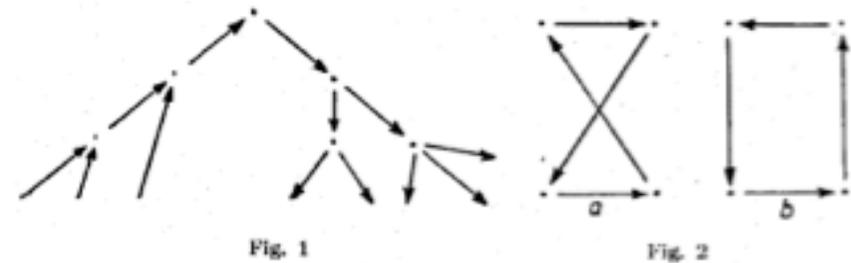
la même tentative jusqu'au niveau des coordinations opératoires supérieures correspondant à des processus plus intériorisés (dans le sens donné plus haut à cette expression) et réversibles.

Cherchons alors à faire comme le microphysicien en présence des mécanismes dont il est impossible d'analyser le détail : relient les « observables » par un schéma aussi simple que possible en exprimant par des « opérateurs » les transformations dont nous savons qu'elles existent tout en ignorant leur causalité réelle. Dans le cas d'un schéma neurologique, les « observables » seront les réactions expérimentalement déterminées, ainsi que les circuits morphologiquement ou physiologiquement établis, et les « opérateurs » seront les aiguillages et les inhibitions. Essayons donc d'imaginer, d'un tel point de vue, le schéma à la fois le plus général et le plus élémentaire qui se puisse.

Le fait fondamental dont il faut partir est l'intégration progressive des systèmes inférieurs dans les systèmes supérieurs, autrement dit l'emboîtement d'un circuit élémentaire, d'abord fermé sur lui-même, en un circuit plus vaste sur lequel il s'ouvre et dont il fera dorénavant, en certaines circonstances, partie intégrante. Nous pouvons, p. ex., appeler A un circuit réflexe déterminant tel mouvement de la main avant l'intervention du faisceau pyramidal incomplètement myélinisé et B le circuit dont A fera partie après cette intervention. On aura ainsi une suite d'emboîtements $A < B < C \dots$ en fonctions d'intégrations et de subordinations successives.

Mais ces emboîtements ne sont pas linéaires. Dans le domaine des réflexes élémentaires déjà, nous constatons qu'une même excitation peut être transmise à plusieurs effecteurs ; réciproquement plusieurs courants afférents peuvent aboutir au même effecteur. Au lieu d'un simple emboîtement additif, nous aurons donc à considérer des structures faisant de tel élément la partie commune de plusieurs circuits et impliquant des correspondances un à plusieurs ou plusieurs à un. Il s'y ajoute naturellement les relations à double sens ou réciproques (par opposition à l'« irréciprocité » des innervations à sens unique) correspondant aux commissures, aux connecteurs et aux voies d'associations, dans la mesure où deux centres ou deux champs (ou aires) sont reliés entre eux, selon les deux sens de parcours par des voies identiques ou distinctes.

Le problème est alors de déterminer quelles sont les différents types de structures d'ensemble qu'il est possible d'obtenir en construisant le schéma de toutes les variétés de relations et d'emboîtements réalisables en fait, avec leurs relais, carrefours et bifurcations. Envisagée, en premier lieu, du point de vue statique, c'est-à-dire en tant que système de connexions spatiales, une réunion de circuits nerveux constitue, en effet, une structure qu'il est possible de décrire dans le langage propre aux parties les plus générales des mathématiques, p. ex. dans celui de la topologie ou de la théorie des ensembles, pour autant que ces disciplines fournissent le moyen de caractériser des formes totales par leurs propriétés purement qualitatives. On peut, p. ex. se demander si un système donné de circuits nerveux constitue ce qu'on appelle, en termes géométriques, un « réseau » (ou « lattice », c'est-à-dire un système semi-ordonné présentant certaines propriétés quant à ses liaisons), ou toute autre structuration actuellement connue dans l'espace qualitatif. Dans ce but, on représentera p. ex. un système d'influx irréciproques sous la forme de correspondances « un à plusieurs » entre relations asymétriques (fig. 1). Quant aux innervations réciproques, on les figurera sous la forme de relations symétriques, et, comme il est douteux qu'une même voie nerveuse puisse être parcourue dans les deux sens, on



imaginera ces relations symétriques ($\rightleftharpoons = \leftrightarrow$) sous la forme de chiasmas ou croisements divers (fig. 2) compatibles avec les faits observables. Bref, on utilisera à titre de représentation toutes les formes de relations qualitatives à disposition. Cela ne revient pas à dire que l'on remplacera les schémas concrets des neurologistes par une construction hypothétique, mais au contraire que l'on tirera de ces schémas concrets un schéma abstrait représentant tous les types de

connexions observés en fait, de manière à dégager le genre de structures d'ensemble qu'ils forment par leur réunion.

Il s'agira ensuite, pour passer du schéma statique à la représentation dynamique, d'exprimer le degré de réversibilité que comportent les divers faits observables. On définira en ce but deux opérateurs fondamentaux, inverses l'un de l'autre, que l'on nommera p. ex. en termes géométriques « ouverture » et « fermeture », ou, si l'on préfère « passage » et « blocage ». Soit un circuit A pouvant intervenir à titre d'élément, dans un circuit B auquel il sera intégré moyennant l'intervention de trajets additionnels A' . L'aiguillage ouvrant une voie d'accès à un influx peut être interprété de différentes façons, sur lesquelles l'accord est loin d'être fait : par un isochronisme entre les chronaxies de constitution, par métachronose ou réglage des chronaxies de subordination, ou de toute autre manière ¹ ; rappelons seulement combien on a insisté sur le fait que les aiguillages dépendent de la totalité du système, par opposition aux associations d'élément à élément imaginés par les anciens travaux. Ignorant le détail de la causalité en jeu, nous parlerons simplement d'un opérateur positif (« passage ») consistant à ouvrir le circuit A' et trans-

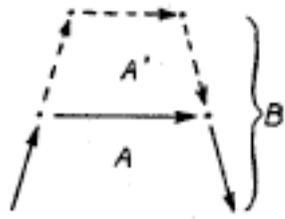


Fig. 3

formant ainsi A en B : on aura donc (si l'on désigne cette opération par le signe (+)) $A + A' = B$ (fig. 3). Inversement nous appellerons « blocage » l'opérateur négatif consistant à exclure A' du circuit B , ce qui réduit ce dernier au circuit A , ou à exclure A de B , ce qui le réduit à A' soit $B - A' = A$ ou $B - A = A'$. Il y a lieu naturellement d'envisager plusieurs « blocages » et « passages » à la fois (c'est sans doute le cas le plus général) ce qui fera intervenir des opérations multi-

plificatives (par correspondance un à un ou un à plusieurs, etc.). Nous n'attribuons, il va de soi, au terme d'opérateur aucune signification se référant à un pouvoir mystérieux : il s'agit d'un pur énoncé des faits mêmes du passage (+) et de l'inhibition (-), sans arrière-pensée d'explication autre que physico-chimique.

Cela dit, on voit en quels termes peuvent être traduits les problèmes de l'intériorisation et de la réversibilité étant donné

¹ Voir F. MOREL, *Introduction à la psychiatrie neurologique*, pp. 28-32 (résumé d'une mise au point de la question par O. A. M. Wyss).

un tableau de toutes les combinaisons possibles entre les relations en jeu (irréciproques ou réciproques, linéaires ou avec bifurcations, etc.) ainsi que les deux opérations réversibles, du passage et du blocage, (inverses l'une de l'autre), il s'agit de construire une série de structures de complexité croissante correspondant aux intériorisations successives. Connaissant aux différents niveaux de la hiérarchie nerveuse, quelles sont les combinaisons réalisables et celles qui sont exclues, morphologiquement ou fonctionnellement, il s'agit de déterminer quelles sont les compositions opératives possibles dans les systèmes les plus limités et comment elles se généralisent dans les systèmes les plus riches en combinaisons.

Un premier type de structures d'ensemble caractériserait, p. ex., les *rythmes*, dont la neurologie comparée et la psychologie s'accordent à reconnaître la nature primitive. Un rythme est caractérisé, d'un tel point de vue, par deux propriétés distinctives, sans doute corrélatives. En premier lieu c'est un système dont les différentes sortes de « passages » et les « blocages », peu nombreux, se déterminent les uns les autres alternativement et toujours dans les mêmes centres. En second lieu, il est formé en majeure partie de relations irréciproques (afférences et efférences) qui jouent un rôle d'autant prépondérant que le rythme intéresse davantage les territoires périphériques (locomotion, etc.) ; par contre l'alternance des passages et des blocages exige d'emblée une certaine innervation réciproque ¹. Il y a donc déjà dans le rythme une certaine réversibilité en jeu, dans le sens de la réversion des passages et blocages, mais selon une simple périodicité, c'est-à-dire sans grande plasticité (relativement aux structures plus complexes). Il y aura naturellement lieu de distinguer plusieurs formes de rythmes, irréguliers ou réguliers, dus au retour altéré d'excitants externes ou déclenchés de l'intérieur par un jeu de proprioceptions avec réversion réglée des excitations et inhibitions.

En second lieu viennent les systèmes plus complexes, caractérisés par les *régulations* et présentant deux qualités distinctives. La première est que les « passages » et « blocages » au lieu de se déterminer directement les uns les autres, sont provoqués

¹ P. ex. Sherrington a donné une description célèbre de l'innervation réciproque des fléchisseurs et des extenseurs dans le mécanisme de la locomotion (rappelons que nous avons défini plus haut la réciprocité par le double sens de parcours et l'irréciprocité par le sens unique le long d'une voie nerveuse).

alternativement, mais sans périodicité fixe, par les résultats même des effections précédentes ou par l'anticipation de tels résultats tout excès dans le sens – (blocage) amène ici une réaction dans le sens + (facilitation des passages) et inversement tout excès dans le sens + entraîne une réaction dans le sens inhibiteur (–), mais ces excès et corrections résultent de la situation d'ensemble immédiatement antérieure ou de l'anticipation des états ultérieurs et non plus d'un rythme fixe (p. ex. la régulation de l'amplitude ou de la vitesse des mouvements dans la marche). Il y a, deuxièmement, et par le fait même, intervention de nouvelles relations réciproques complétant les relations irréciproques dans la mesure où les circuits élémentaires sont intégrés dans les circuits supérieurs assurant leur régulation.

Parmi les exemples les plus clairs de régulations (et d'ailleurs les plus simples à formuler en schémas opérationnels, comme nous l'avons tenté dans cette même revue)¹ on peut citer les régulations perceptivo-motrices relatives aux déplacements et fixations du regard et intervenant dans l'organisation des champs perceptifs. En de tels cas, chaque centration du regard sur un objet à analyser apparaît comme une correction par rapport au résultat des précédentes fixations. Or, comme nous l'avons vu précédemment, la réversibilité de telles organisations demeure incomplète parce qu'au lieu de la totalité des combinaisons possibles, il n'entre en jeu qu'une partie d'entre elles, et en vertu de considérations probabilistes². C'est sans doute le cas partout où interviennent des lois de champs et des phénomènes d'irradiations ou de compensations globales par opposition aux différenciations plus poussées.

Entre les régulations élémentaires et les formes supérieures s'étagent une multitude de types marqués par la subordination progressive à l'égard des territoires centraux et sans doute par des réactions toujours plus anticipatrices relativement aux effections périphériques d'abord déterminée par le résultat même des effections, la régulation est ensuite déclenchée à des niveaux de commande toujours plus élevés.

Enfin, au sommet de l'échelle, viennent les coordinations que l'on peut considérer comme réversibles et qui résultent nécessairement des précédentes dans la mesure où celles-ci sont

¹ *Arch. de Psychol.*, vol. 29, pp. 38 et seq.

² J. PIAGET, Essai d'interprétation probabiliste de la loi de Weber et de celle des centrations relatives, *Arch. de Psychol.*, vol. 30, p. 95.

intériorisées, c'est-à-dire rendues indépendantes des territoires périphériques. Tant que l'action est déclenchée par des réceptions sensorielles dont au moins certaines demeurent extéroceptives, et qu'elle aboutit à des effections motrices périphériques modifiant la réalité extérieure, alors, si complexes que puissent être les circuits et les coordinations régulatrices en jeu, de tels systèmes ne sont pas réversibles ils sont, en effet, soumis à l'ordre irréversible des réceptions et des effections déterminées toutes deux par les conditions extérieures. Au contraire, dans la mesure où les circuits sont intériorisés, les réceptions de départ sont limitées au domaine proprioceptif et les effections n'aboutissent plus d'emblée à une modification des objets externes, mais seulement à une transformation des éléments nerveux (correspondant aux images ou au langage intérieur) susceptibles de donner lieu, par leurs combinaisons ainsi modifiées, à de nouvelles incitations proprioceptives, et ainsi de suite de tels systèmes deviennent alors aptes à s'activer par eux-mêmes et deux conséquences fondamentales s'ensuivent, qui opposent les présentes coordinations aux types précédents, bien que caractérisant la forme d'équilibre vers laquelle ils tendaient.

En premier lieu, comme les circuits en jeu n'aboutissent plus nécessairement à des effections portant sur la réalité extérieure, l'activité nerveuse n'est plus obligatoirement déterminée, à ce niveau, par les réceptions extéroceptives, ni par conséquent soumise à la condition d'être entretenue grâce aux excitations provenant du milieu externe modifié par les effections précédentes ; c'est donc sur chacun ou certains des autres, que s'appuyera chaque circuit en son incitation proprioceptive et en son aboutissement moteur demeurant intériorisé en image : d'où la prédominance croissante des réciprocitys. Mais, d'autre part, si elle n'est plus sans cesse projetée au dehors (comme dans les formes inférieures) l'activité nerveuse ne consiste pas non plus simplement à tourner en rond selon les mêmes circuits immuables. Il y a donc simultanément construction continue de nouveaux circuits et passage possible de l'un à l'autre selon toutes les liaisons d'où une réversibilité, devenue entière, des aiguillages. Pour employer une image grossière, dans la mesure où l'activité nerveuse intériorisée ne constitue plus une succession de tirs dirigés vers le dehors, elle revient alors nécessairement à lancer et à relancer les balles d'un territoire à un autre, selon

toutes les combinaisons possibles, ce qui implique, dans les centres, un jeu mobile et réversible de passages et de blocages, déterminant les allers et les retours ainsi que les détours.

Existe-t-il des degrés dans l'intériorisation et pouvons-nous admettre que l'activité nerveuse se libère ensuite des incitations proprioceptives et des images ou des schèmes moteurs intériorisés pour ne plus consister, à partir d'un certain niveau (celui correspondant p. ex. aux opérations les plus formelles de l'intelligence logique ou mathématique), qu'en un jeu de coordinations réciproques et réversibles entre les arcs cérébraux eux-mêmes ? Nous n'en savons rien et il se peut que toute pensée, si abstraite soit-elle, requiert toujours des composantes motrices et proprioceptives, c'est-à-dire une structure de schèmes sensori-moteurs. Mais il faut tout prévoir et il existe probablement des paliers distincts, caractérisés par les différences d'importance de telles composantes, eu égard aux mécanismes centraux.

En bref, l'intériorisation des circuits aboutit à deux résultats : 1° prédominance des relations réciproques (suivant les voies d'association par opposition à celles de projection) ; 2° passages et blocages possibles selon toutes les combinaisons entre les différents centres, relais ou aires, ce qui est l'expression de la réversibilité. La réversibilité apparaît donc (ainsi d'ailleurs que dans tous les systèmes physiques) comme l'expression de l'équilibre, en particulier de l'équilibre mobile, lorsque le système des circuits nerveux est susceptible de se fermer sur lui-même en tant qu'intériorisé.

Il serait naturellement intéressant de ne pas s'en tenir à ces banalités et de préciser quelles sont les formes d'ensemble particulières des coordinations réversibles caractérisant ce troisième niveau. Une telle tentative serait aujourd'hui bien imprudente ; mais, lorsque l'on sera mieux renseigné sur le mécanisme des aiguillages et lorsqu'un jour, quelque théorie (comme la conception élégante de la chronaxie, ou une autre analogue) en fournira les éléments physico-chimiques suffisants, il est fort possible que l'on en arrive à découvrir dans le mécanisme nerveux, comme en microphysique, des « groupes de transformations » proprement dits, tels que les opérateurs de passage et de blocage, c'est-à-dire d'ouverture et de fermeture des circuits, acquièrent une précision suffisante pour permettre le calcul et la prévision. Rien ne prouve d'ailleurs que la solution soit d'ordre exclusivement neurologique les mécanismes

humoraux peuvent jouer à cet égard un rôle indispensable.

En outre (et il convient d'y insister), les coordinations réversibles dont nous venons d'évoquer le schéma ne constituent naturellement, par rapport aux opérations réelles qu'effectue le sujet en présence d'un problème particulier, que l'ensemble des circuits virtuels pouvant être parcourus à une telle occasion. La mécanique cérébrale semble comparable, de ce point de vue, à un mécanisme physique régi par le fameux principe dit des travaux (ou des vitesses) virtuels, c'est-à-dire que son équilibre est à chaque instant fonction de l'ensemble des mouvements possibles compatibles avec les liaisons du système et que cet équilibre est atteint lorsque de tels mouvements virtuels se compensent rigoureusement (définition de l'équilibre par la réversibilité). Qu'un problème nouveau se pose au sujet, cela signifiera qu'une modification se produit en une région déterminée du champ total l'équilibre sera alors rétabli par un travail correspondant, lequel équivaudra sans doute, du point de vue neurologique, à de nouveaux circuits effectifs et du point de vue de la pensée, à un jeu d'opérations réelles et définies. Soutenir que l'ensemble des coordinations en jeu constitue un système réversible, c'est-à-dire que l'ensemble des opérations pouvant être effectuées dans un sens comporte toujours les inverses correspondantes, c'est donc simplement affirmer qu'un tel système obéit à des lois d'équilibre telles que les travaux virtuels se compensent sans cesse entièrement. Mais il y a là un principe d'explication possible, en ce qui concerne l'intelligence, par le fait que, contrairement aux rythmes et aux régulations dont les formes d'équilibre sont restreintes ou instables, la réversibilité entière de cet équilibre terminal correspond précisément à ce que l'on observe dans le mécanisme opératoire de la pensée : à savoir que la solution des problèmes y est toujours assurée grâce à des nouvelles combinaisons procédant par composition réversible des opérations antérieures.

IV. En effet, on a remarqué peut-être que, si l'on décrit comme nous venons de l'esquisser les « formes » de subordinations d'un circuit à un autre, ou les formes diverses de coordinations, de bifurcations, etc., en langage de relations et d'emboîtements, on n'aboutit pas seulement à des « Gestalt », sauf dans les cas élémentaires lorsque les combinaisons se multiplient, « ces formes » sont au contraire toujours plus isomorphes aux structures opératoires de la pensée, au point que l'on peut em-

ployer le même symbolisme pour décrire un « réseau » ou un « groupement » d'opérations logiques et un réseau de voies nerveuses et d'aiguillages. Le langage des opérations logiques constitue à cet égard la forme la plus générale des expressions mathématiques.

Il va de soi que nous ne cherchons pas le moins du monde à soutenir par ces considérations que la pensée préside aux aiguillages et joue le rôle de ces aiguilleurs, gardes-barrières ou demoiselles de téléphone que la neurologie classique attribuait aux cellules¹. Nous ne croyons pas non plus d'ailleurs que les ouvertures ou fermetures de circuits rendent compte sans plus de la pensée, car celle-ci est un système d'implications, tandis que les aiguillages nerveux sont un système causal : or aucune « cause » n'explique pourquoi 2 et 2 font 4 ou pourquoi p implique q . Mais nous croyons qu'entre une coordination nerveuse réversible et une opération logique réversible il y a étroite parenté : en étudiant ces deux sortes de liaisons, on étudie le même objet à deux points de vue différents et en disant des choses complémentaires.

Dans l'article cité plus haut, A. Rey oppose l'explication par le système nerveux à l'explication par la pensée (en modérant d'ailleurs la thèse de la maturation par des précisions utiles (p. 232). Une telle opposition nous semble tournée vers le passé de la psychologie et faire trop bon marché des possibilités d'avenir de la science physico-mathématique. Si l'on reconnaît (ce que l'analyse de la pensée met en pleine évidence) que l'expérience et l'exercice n'expliquent pas tout, mais que le contact avec le réel est toujours relatif à une structuration antérieure (c'est ce que nous appelons l'assimilation mentale) ; et si, surtout, on ne fait pas de la pensée ou de l'intelligence des causes, mais que l'on s'en tient à une analyse rigoureusement relationnelle et opératoire, alors les structures que l'on découvre sont isomorphes à celles du système nerveux et non pas en conflit avec elles. Or, comme les instruments d'analyse logique et mathématique des implications sont singulièrement plus exacts que l'analyse causale correspondante, et comme la physiologie nerveuse, en se précisant, se mathématisera (et se logicisera donc) à peu près certainement, il y aura toujours davantage collaboration entre les deux sortes de recherches. Au reste,

¹ Voir LARGUIER DES BANCELS, *Introduction à la psychologie*, 2e éd., p. 149.

l'intériorisation de la motilité, qui sert à Rey d'occasion à sa profession de foi organiciste, est précisément la thèse centrale de la théorie des opérations et fournit ainsi un terrain d'entente entre les deux sortes d'analyses neurologique et opérationnelle.

Mais, par delà le parallélisme des méthodes, il y a surtout la recherche des mécanismes communs. La loi de l'intériorisation progressive des conduites et de la motilité n'est qu'un exemple de cette convergence. Il faut y ajouter surtout les lois intéressantes l'organisation et l'équilibre progressifs.

Malgré les complications successives du système nerveux, on observe, en effet, une évidente continuité fonctionnelle entre les formes les plus simples et les types les plus évolués d'organisation. Des appareils phylo-génétiquement les plus élémentaires (cellules neuro-musculaires des invertébrés inférieurs, puis cellules sensibles, cellules motrices et ganglion connecteur) aux plus spécialisés, l'évolution nerveuse résulte de différenciations graduelles au sein de totalités déjà organisées et d'intégrations subordonnant les appareils antérieurs aux nouveaux venus ; elle assure ainsi à chaque étape d'intégration, une plasticité plus grande dans les adaptations au milieu extérieur. Une telle image s'applique exactement au développement de l'intelligence elle-même, c'est-à-dire au système de toutes les liaisons débutant avec le contact perceptivo-moteur et s'achevant avec les mécanismes opératoires les plus mobiles. Dans les deux cas, les systèmes nouveaux ne se superposent pas simplement aux anciens, mais en procèdent par composition des éléments différenciés, pour englober ensuite ces systèmes antérieurs en une subordination intégrative d'ensemble ; et dans les deux cas chaque structuration nouvelle marque un accord plus étroit entre l'organisation interne et l'efficacité des actions exercées sur le milieu extérieur, sans que l'on puisse jamais dissocier de façon exclusive la part des influences externes et celle de l'organisation.

Ce serait donc une vue un peu courte que de faire de la maturation la cause unique de tout le développement, alors qu'elle est elle-même une résultante, et non pas un facteur indépendant. L'embryogénie ne se réduit pas, chacun l'accorde aujourd'hui, à une simple répétition héréditaire de la phylogénie, mais elle est caractérisée à son tour par certaines lois d'équilibre et d'organisation qui déterminent la maturation elle-même (neurobiotaxie, etc.). Il y a ainsi des lois communes aux développements

neurologique et psychologique, qui expriment les conditions d'une équilibration progressive et ces lois sont plus importantes que celles de la maturation puisqu'elles les englobent à titre de cas particulier. A cet égard, le passage du rythme aux régulations et de celles-ci aux coordinations réversibles domine toute la formation de l'intelligence¹ comme il semble exprimer les principales étapes de l'évolution nerveuse ; l'accroissement progressif de la réversibilité n'est pas autre chose, en effet, que le caractère essentiel de toute équilibration. Une telle formule ne constitue, certes, qu'une grossière approximation, mais c'est dans cette direction, croyons-nous, qu'une synthèse réelle pourra être trouvée entre les données neurologiques, les données psychologiques et les structures construites sur le plan déductif par la logique et les mathématiques.

¹ Voir notre *Psychologie de l'intelligence*, Conclusions.