

# Jacques Paillard , son œuvre et son rayonnement scientifique<sup>1</sup>

Jean Massion

*Ancien Directeur de Recherche au CNRS, Les Micocouliers, 16, route de Rognes, 13410 Lambesc*

François Clarac

*P3M CNRS, 31 chemin Joseph Aiguier 13402 Marseille*

Jacques Paillard nous a quitté le 26 Juillet 2006. Il a été un scientifique de renommée internationale dans le domaine de la Neurophysiologie et de la Psychophysiologie, le créateur d'un Centre de Recherche pluridisciplinaire qui a été unique à son époque, un participant actif aux instances dirigeantes du CNRS, le promoteur de la Psychophysiologie au niveau universitaire, l'initiateur en France de recherches dans le domaine des activités Physiques et sportives, un des fondateurs et organisateurs de la *Brain and Behaviour Society* au niveau européen. Toute sa carrière a été marquée par son dynamisme, sa curiosité au service d'une intelligence hors du commun, sa grande capacité d'innovation, son sens de l'écoute. Les quelques lignes qui vont suivre vont tenter de retracer les principaux points forts de sa recherche, le rayonnement de l'Institut de Neurophysiologie et de Psychophysiologie (INP) du CNRS qu'il a créé et l'impact qu'il a eu sur le plan international.

## I. L'entrée en matière

Il est né le 5 mars 1920 à Nemours. Son père, qui l'a certainement beaucoup influencé, était instituteur et héros, survivant de la guerre 14-18. Sa mère était originaire de Lunéville. Ses études secondaires ont été effectuées au Lycée Lakanal à Sceaux. Quoique intéressé par la philosophie, il était davantage attiré par les sciences expérimentales et l'enseignement. Il est entré au Lycée Saint-Louis à Paris, en 1938, dans une classe préparatoire au concours d'entrée à l'Ecole Normale Supérieure, avec l'objectif ultérieur d'une agrégation de sciences naturelles.

La guerre a bouleversé ce schéma bien établi. Prisonnier dès 1940, il a passé toute la durée de la guerre en Allemagne. Il a réussi à s'évader en 1944 après plusieurs tentatives et à rentrer à Paris. Malheureusement, il a été obligé de passer à son retour une année en sanatorium. De sorte que c'est seulement en octobre 1945 qu'il a pu envisager de reprendre ses études, sans avoir d'idées claires sur la voie à suivre. C'est réellement le hasard qui lui a permis de croiser les chemins d'Alfred Fessard et d'Henri Piéron. Il a en effet réussi le concours d'entrée d'élève-conseiller de l'Institut National d'Orientation Professionnelle (INOP), où l'un enseignait la Physiologie et l'autre la Psychologie. Pris par une boulimie de connaissance, il prépare en parallèle une licence de Sciences, le certificat de Psychophysiologie tout nouvellement créé par Henri Piéron, Pierre-Paul Grassé et Alfred Fessard, certificat qui a été à la base de ses orientations futures dans la recherche et l'enseignement. Il décide en parallèle de suivre plusieurs certificats de Psychologie. De sorte qu'en 1947 il obtient à la fois le diplôme de conseiller d'orientation et le diplôme de Psychologie appliquée.

Mais son orientation vers le CNRS et la recherche tient à l'invitation que lui a adressée Alfred Fessard, à l'examen final de l'INOP, de venir le voir à l'Institut Marey, dont il assurait la Direction en tant que Professeur au Collège de France. C'est ainsi que Paillard est entré au CNRS comme chercheur et accueilli provisoirement à l'INOP avant de rejoindre l'Institut Marey. Il y dispose d'un certain nombre de moyens destinés à l'exploration électrophysiologique chez l'Homme : aiguilles de Bronk pour l'électromyographie, oscilloscope cathodique, polygraphe de Offner utilisé pour l'EEG et pour l'étude de la réaction électrodermale qu'il a réalisée avec Vincent Bloch.

Pour comprendre ses orientations à la fois dans la recherche et l'enseignement, il faut se référer à sa « lignée scientifique » telle qu'il l'a transmise à Douglas Stuart Professeur à l'Université du Texas à Tucson vers les années 1990.

---

<sup>1</sup> Pour citer ce texte : J. Massion & F. Clarac. « Jacques Paillard, son œuvre et son rayonnement scientifique », in *Essor des Neurosciences, France 1945-1975*, Claude Debru, Jean-Gaël Barbara, Céline Chericci, eds. Paris, Hermann, 2008.

Henri Piéron (1881-1964) a été son modèle pour l'enseignement et aussi pour la recherche. Comme le souligne Georges Noizet dans son article sur Piéron de 1965, Piéron a proposé au début du siècle dernier une nouvelle approche du psychisme basée sur l'étude du comportement, qui permet à la Psychologie de prendre la place qui lui revient dans les sciences biologiques. Contrairement au behaviorisme, la Psychologie de Piéron accepte de pénétrer la boîte noire du cerveau tout en se distinguant de la physiologie. *« Il n'y a de science que du comportement, de l'activité, des réactions globales des organismes envisagés dans leur ensemble, cette science constituant la Psychologie, à la différence de la Physiologie qui s'adresse à des mécanismes partiels, à des systèmes limités de réaction. S'il importe de nettement séparer la place de la Physiologie et la place de la Psychologie, tout en marquant la continuité des deux investigations, c'est parce qu'une analyse des déterminants de la conduite ne peut être que partielle, en particulier lorsqu'il s'agit d'organismes sociaux dont les comportements sont conditionnés par leur histoire »*. La Psychologie se construit sur la Physiologie, elle est à son tour le support de l'étude des sociétés.

Deux autres idées d'Henri Piéron ont guidé l'œuvre de Jacques Paillard. La première a été d'affirmer que la Psychologie porte sur tous les organismes, de l'actinie à l'Homme, mais aussi de l'enfant à l'adulte, de l'être équilibré au malade. La Psychologie doit embrasser l'ensemble des comportements observables. La seconde a été de proposer qu'il existe dans la série animale une profonde unité dans les comportements, mais aussi des particularités. Pour identifier cette unité, il faut une Psychologie scientifique qui soit à la fois expérimentale et comparée. Une partie importante des lignes de recherche de Jacques Paillard répondent à ce souci d'approche comparative.

Une seconde ligne d'influence a été celle d'Auguste Tournay. Elève de Babinski dont il a écrit un article biographique (Tournay, 1967), ce neurologue a joué un rôle important dans l'inspiration de Paillard dans le domaine de la motricité, en lui faisant connaître les travaux de Duchenne de Boulogne et de Babinski qui ont présidé à l'étude des synergies. Il a aussi inspiré son intérêt pour la pathologie. Tournay l'a d'ailleurs hébergé un certain temps dans son service lorsqu'il a été obligé de quitter l'Institut Marey.

Enfin une troisième ligne d'influence, en fait la plus importante, a été celle d'Alfred Fessard (1900-1982), rénovateur de la Neurophysiologie française, qui dans ses études sur l'Homme était lui-même très influencé par Piéron. Alfred Fessard avait été aussi passionné par la lecture des travaux de Wachholder, dont il avait traduit l'ouvrage principal en Français. Wachholder (1928, voir Wiesendanger, 1997) s'était interrogé sur l'origine centrale de la commande des muscles antagonistes, lors d'un mouvement du coude. Il avait démontré que si la commande était bien au départ d'origine centrale, les activités musculaires initiales précédant le début du mécanogramme du mouvement, elles étaient déterminées par le but défini pour le mouvement, et qu'elles étaient flexibles suivant les interactions au sein d'un système comprenant les commandes nerveuses, les rétroactions périphériques et les propriétés mécaniques du système. C'est ainsi qu'un des premiers travaux de Jacques Paillard conduit avec Livingstone, Tournay et Fessard en 1951, sur le mouvement d'opposition pouce index s'oppose à l'idée exprimée par Duchenne de Boulogne d'une prédétermination centrale des synergies au profit d'une certaine flexibilité comme l'avait décrite Wachholder. *« On ne peut manquer de considérer la synergie sous l'angle de l'utilité, de l'adaptation au but (ici la préhension d'un objet); et il est remarquable que les variations de sa structure apparaissent telles qu'elle s'atténue ou s'abolisse dès qu'elle n'est plus mécaniquement indispensable, et se renforce dans le cas contraire (Livingstone et al, 1951)»*.

Jacques Paillard s'interroge très tôt pour la critiquer sur l'approche réductionniste pratiquée en physiologie. Sur ce point, paradoxalement, il rejoint l'attitude de Marey vis-à-vis de Claude Bernard (Braun, 1992). Voici ce qu'il écrivait dans un de ses rapports de chercheur au CNRS *"Mon orientation neurophysiologique se précise, mais le contact journalier avec les problèmes du fonctionnement élémentaire du système nerveux et avec les pratiques de la physiologie opératoire laisse insatisfaites les aspirations du psychophysiologiste que je souhaite devenir.*

*Certes on ne peut sous-estimer l'importance théorique et pratique des données élémentaires acquises dans les conditions rigoureuses de l'expérimentation animale : elles constituent la charpente indispensable sur laquelle s'édifient nos connaissances du fonctionnement nerveux. Mais je mesure aussi le prix de ces acquisitions obtenues à partir de préparations animales anesthésiées, traumatisées, dans lesquelles la rupture de la solidarité organique semble la condition indispensable d'une analyse rigoureuse. La profondeur même des analyses à laquelle parvient ainsi la neurophysiologie animale ne risque-t-elle pas de désinsérer les faits du cadre biologique dans lequel ils trouvent leur véritable signification fonctionnelle » (Paillard, autobiographie, 1992)..*

C'est donc sur l'Homme qu'il va expérimenter. Mais il fallait trouver le sujet de sa thèse. L'exploration du fuseau neuro-musculaire, la découverte du système gamma, l'introduction des concepts de la cybernétique étaient à l'époque parmi les sujets de progrès importants dans l'étude du

système moteur. Les travaux d'Hoffmann (1934) offraient la possibilité d'explorer chez l'Homme, le réflexe monosynaptique. La découverte d'un tiré à part de cet auteur a servi de déclencheur. Grâce à la comparaison entre le réflexe monosynaptique ou réflexe H, déclenché par la stimulation électrique du nerf sensoriel au niveau du creux poplité, et court-circuitant de ce fait le récepteur, et le réflexe tendineux induit par la stimulation du tendon d'Achille, qui lui dépend de la sensibilité du récepteur, déterminée par la commande exercée par les fibres fusimotrices gamma (voir Matthews, 1964), il a pu déduire l'existence d'une activation relativement généralisée du système gamma d'origine centrale modulant la sensibilité des fuseaux neuromusculaires dans un certain nombre d'activations globales, comme la contraction de muscles distants, la fermeture des poings, (manœuvre de Jendrassik), le calcul mental, l'éveil attentif, etc. Il soutient sa thèse le 24 Mai 1955. Il a dès ce moment là, utilisé le réflexe comme un outil, un moyen d'accès vers l'état d'excitabilité centrale afin d'en comprendre les fluctuations internes. C'était pour lui l'exemple d'études de processus de modulations globales de la sensibilité des récepteurs en fonction de processus psychiques (Paillard, 1959). Les controverses sont allées bon train à cette époque sur le rôle du système gamma dans la sensibilité des récepteurs et dans le contrôle du mouvement. Merton (1952) avait proposé l'hypothèse du « servo-control » : le mouvement était le résultat d'une activation du système gamma prescrivant une nouvelle longueur de référence, hypothèse non confirmée du fait du gain trop faible de la boucle myotatique. Il n'est pas étonnant qu'en arrivant à Marseille le premier élève de Paillard, Jean-Pierre Vedel, un neurophysiologiste ait été chargé d'étudier chez le chat le contrôle cortical sur la boucle gamma et qu'il ait démontré une action différente sur les fibres fusimotrices statiques et dynamiques (Vedel 1970). Il est peut-être plus original qu'il ait proposé à François Clarac comme sujet de thèse d'analyser le rôle de récepteurs comparables chez le crabe et qu'il ait pu caractériser leurs interventions au cours de la locomotion (Clarac 1971).

Deux autres hypothèses sur le contrôle gamma et liées directement à la régulation spinale du mouvement ou de la posture, ont prévalu: celle de la servo-assistance, était basée sur l'existence d'une coactivation alpha-gamma lors de l'exécution du mouvement, destinée à maintenir la sensibilité du fuseau neuromusculaire pendant le raccourcissement du muscle, celle du rôle du système gamma dans la régulation de la raideur musculaire (voir Brooks, 1984). Le rôle du système gamma dans les états mentaux ne trouvait pas de support direct dans ces études. Aussi Jacques Paillard a-t-il été particulièrement heureux des résultats de ses élèves qui ont pu enregistrer l'activité de telles fibres par microneuronographie chez l'Homme et montrer qu'elle était modifiée entre autres au cours d'activités mentales cognitives (Ribot et al, 1986). Il attachait un très grand intérêt à de telles études et voyait dans cette boucle un moyen d'aborder de façon quantitative les processus cognitifs. Il soulignait la difficulté de l'approche et regrettait que des travaux n'aient pas été poursuivis dans cette voie.

## II. Sa réflexion scientifique

Avant d'aborder les différents travaux poursuivis après la thèse, il paraît nécessaire d'essayer de définir ses propres conceptions du monde biologique qui pour lui est ancré dans le domaine physico-chimique. Il écrit en 1986 " *Rien pourtant ne distingue les constituants chimiques élémentaires de la matière "vivante" de ceux de la matière inanimée. Il est aujourd'hui reconnu qu'il n'y a pas à proprement parler de "matière vivante" mais seulement de "systèmes vivants", des "êtres organisés" dont la seule spécificité, la seule unité reconnue sont du domaine de "l'organisation" des éléments matériels qui les composent.*" Il s'appuie sur les théories d'Atlan (1972), fait référence à Prigogine (1972) ou à Thom (1972) pour distinguer les perspectives ouvertes par les théories de l'information. Au centre de cette perspective sur le vivant se trouve pour Paillard, la notion d'organisation des éléments fonctionnels qui le composent. Les découvertes de la génétique ont montré l'existence à ce niveau d'un générateur d'ordre, qui est le génome. Il suit François Jacob lorsqu'il dit dans "la logique du vivant": " *On ne peut plus aujourd'hui dissocier la structure de sa signification, non seulement dans l'organisme mais dans la suite des événements qui ont conduit l'organisme à être ce qu'il est.*"

Un générateur d'ordre existe aussi au niveau du Système nerveux. " *Parler de la fonction d'organisation du système nerveux suppose l'identification d'une signification, d'une finalité fonctionnelle... On peut dire qu'une fonction d'organisation a pour expression une transformation du système sur lequel elle exerce son action en un nouvel ordre structural ou fonctionnel qui définit sa nouvelle organisation.*" Sa spécificité est de s'inscrire dans la logique des relations informationnelles qui s'organisent entre l'organisme et son environnement : c'est une machine à traiter l'information. L'organisateur d'ordre, d'origine génétique génère des programmes qui réalisent un ensemble de structures et de fonctions permettant la survie du système et sa fiabilité dans l'environnement où il doit subsister. Mais il existe aussi un ensemble de potentialités non figées par le programme génétique, au

niveau des connexions synaptiques, qui vont être à l'origine de la fonction auto-organisatrice du système nerveux. Celle-ci émerge, d'après von Neuman dans les systèmes d'un niveau de complexité suffisante (bruit, redondance, plasticité synaptique) pour devenir génératrice d'ordre.

L'individu vit dans ce système organisationnel et interagit avec ce monde environnemental. Il écrit en 1972: " *La cohérence de l'environnement spatial où nous localisons nos perceptions et où nous dirigeons nos actes est le résultat de la coordination et de l'intégration des informations collectées par nos organes des sens sur l'état et les événements du monde extérieur, sur la position et les déplacements de notre corps mobile dans cet univers ordonné et orienté.*" Le système nerveux devient l'élément clé de notre participation biologique. Pour Paillard il y a cohérence du monde sensible. Les différentes modalités sensorielles sont à même de fournir de la réalité une description particulière et spécifique du canal sensoriel utilisé. S'appuyant sur les travaux de Condillac (1754) qui le premier a introduit une distinction entre information passivement et activement reçue, il s'est interrogé sur la composante exploratoire de la perception. Se référant à Piaget et à ses conceptions du développement, il a supposé l'existence initiale chez le jeune enfant de schèmes moteurs élémentaires attachés à chaque modalité sensorielle. L'individu a besoin d'une coordination entre ces schèmes pour construire un espace physique unifié et stable où il pourra diriger ses actions. Il parlera plus ici de la "calibration" des espaces sensoriels pour bien insister sur le côté actif de la prise en compte.

Le fonctionnement nerveux s'organise en deux sous-ensembles, un premier stabilisé, mais flexible contrôlé par un ensemble d'autorégulations cybernétiques dont les rétroactions sensorielles, un deuxième doté de plasticité créatrice de structures d'ordres nouvelles permettant d'enrichir le répertoire de réactions de l'organisme à l'environnement.

L'article qu'il rédigea pour le *Handbook of Physiology, Section Neurophysiology*, « *The patterning of skilled movements* » (Paillard, 1960) a présenté une approche originale, annonciatrice de ses nouvelles conceptions sur le contrôle moteur et notamment celle de la programmation motrice, insistant sur les mécanismes de la flexibilité, de la plasticité et de l'apprentissage moteur. C'est ce chapitre qui l'a fait connaître dans le monde anglo-saxon.

Il propose un double traitement des informations au niveau cortical. D'une part une première analyse est réalisée par l'ensemble sensori-moteur où interviennent à la fois les circuits câblés, inscrits dans le répertoire des programmes mais aussi un ensemble de circuits construits au cours de l'apprentissage et qui avec leurs boucles de servo-assistance adaptent l'organisme au contexte environnemental. Ils sont eux-mêmes modulés par le jeu "du sélecteur hypothalamo-limbique". D'autre part, un traitement cognitif essentiellement au sein des structures néo-corticales qui s'organisent sur des mémoires représentationnelles. Ce niveau subit les processus attentionnels contrôlés par des schéma perceptifs complexes inscrits et appris.

Il abordera peu à peu les schémas d'organisation du psychisme et dans de nombreux articles traitera le problème de la conscience (1999). Son analyse est intéressante car elle décrit très précisément les différentes positions entre "monisme" et "dualisme". Il a pour Sperry et ses expériences sur les cerveaux bissectionnés où chaque hémisphère est capable de gérer ses fonctions cognitives indépendamment, une grande admiration. En résumé il propose une position moniste lucide et attentiste, il cherche.. " *...Une conception enfin qui trouve dans les modèles émergentistes d'inspiration systémique le cadre d'interprétation le plus cohérent et le plus compatible avec un monisme scientifiquement acceptable et s'ouvrant sur les possibilités d'une étude objective des opérations de contrôle exercées sous la supervision de la conscience.*"

Une telle vision du monde biologique a mené toute sa recherche et a donné "Une école Paillard" qui a influencé tous ses élèves et la majorité de la communauté du domaine. Les spécialistes actuels de la sensori-motricité et de l'action ne peuvent nier l'influence qu'il a eue sur eux (Jeannerod 1996, Berthoz 1998). Il est évident que chez Paillard, la réussite de l'espèce humaine replacée dans le cadre de l'évolution vient de cette cohérence biologique que l'humain sait mieux que tout autre comprendre et analyser.

### **III. Ses Thèmes de recherche**

Cette présentation théorique, doit nous permettre d'énumérer ses différents champs d'expérimentations et la façon dont il les a abordé. Dans son autobiographie, il retient en priorité deux thèmes qui seront privilégiés : l'étude des coordinations visuo-motrices et le thème de l'espace.

L'étude des coordinations visuo-motrices a été réalisée principalement à l'aide du geste de pointage suivi de saisie manuelle (voir Paillard, 1992). Celui-ci est initié par la vue de l'objet à saisir sur lequel le regard est dirigé. Viennent ensuite des commandes « anticipatrices » : celle du prépositionnement de la main à l'objet à saisir. Le geste lui-même comprend deux composantes, le

transport balistique du membre vers la cible et l'ajustement terminal de la main sur l'objet. L'intérêt principal dans cette tâche a été d'identifier le rôle des rétroactions visuelles dans le guidage du mouvement vers la cible, au cours de la phase de transport et de la phase d'ajustement terminal. L'étude du rôle de la vision dans ce guidage est d'autant plus intéressant qu'il existe en fait deux systèmes visuels ; l'un, le système visuel fovéal, parvocellulaire, impliqué dans la reconnaissance des formes, de nature statique, l'autre, le système visuo-spatial de la périphérie rétinienne, magnocellulaire, de nature dynamique, qui détecte la direction du mouvement. La distinction entre les deux systèmes avait été proposée par Ingle (1967), Schneider, (1969) et Trevarthen (1968). Son principal collaborateur pour ce travail a été Daniel Beaubaton, qui a utilisé entr'autres la technique du cerveau dédoublé importé à Marseille par Colwynn Trevarthen, élève de Sperry. L'originalité du travail effectué chez le singe (Beaubaton et al, 1980) a été de montrer que le système visuel fovéal de reconnaissance des formes, intervient non seulement pour déclencher l'action, mais aussi dans la phase finale du mouvement pour guider la main vers la cible et ajuster la main à l'objet à saisir. Par ailleurs, la contribution du système magnocellulaire de vision du mouvement intervient lors de la phase de transport du membre : la seule vision du mouvement de la main au cours de la trajectoire, en l'absence de vision de la cible, pouvait améliorer la précision du geste. (voir Conti et Beaubaton, 1976, Paillard, 1982). Il y avait donc l'intervention des deux systèmes, l'un, le magnocellulaire, dynamique, au cours du déplacement du membre, l'autre le parvocellulaire, plus statique, au cours de l'ajustement terminal de la main à la cible. Ce travail de grande portée théorique a été repris et développé par la suite par Marc Jeannerod et ses collaborateurs ( Jeannerod et Prablanc 1983.)

Le thème de l'espace a été sans doute celui dans lequel Jacques Paillard s'est le plus investi et sur lequel sa contribution a été la plus originale. Influencé par les travaux de Wallon et de Piaget, ses conceptions ont à leur tour suscité de nombreux travaux en France et à l'étranger. Il a réuni à Marseille entre 1965 et 1985 au cours de cinq «Forum Espace » psychologues et biologistes, ainsi que les spécialistes des activités physiques et sportives. Le Colloque international organisé en 1990 à l'occasion de son départ à la retraite consacré au thème «Brain and Space, publié par Oxford University Press (Paillard,a,1991), a été pour lui l'occasion d'une synthèse des travaux internationaux auxquels ses recherches ont apporté des éléments importants. Dans sa vision de l'espace, Jacques Paillard insiste sur l'organisation primordiale des organes de capture: ce sont les yeux avec la fovea, la bouche avec sa fonction alimentaire et la main qui sert à l'exploration des objets et leur préhension. Au cours de l'ontogenèse, ces organes qui fonctionnent de façon autonome avec leurs propres régulations sensorimotrices sont à l'origine de comportements élémentaires. Ensuite une coordination s'établit entre ces organes de capture et une construction de l'espace prend naissance. Elle s'effectue autour des mouvements actifs du sujet, de son déplacement dans l'environnement et des réafférences qui les accompagnent : c'est une autoorganisation de l'espace qui prend naissance pour extraire les invariants et les covariants en fonction des conditions rencontrées dans l'environnement. A ce titre, on pourrait parler d'un espace écologique.

Ces travaux effectués avec Michèle Brouchon et Laurette Hay ont été au départ du développement conceptuel de ses recherches en montrant notamment le rôle du mouvement actif dans le sens de la position (Paillard et Brouchon, 1974), dans l'adaptation visuo-motrice lors du port de lunettes prismatiques (voir Paillard et al, 1981). Il a ainsi été amené à concevoir l'existence d'une double organisation fonctionnelle de l'espace basée sur un espace sensorimoteur ou espace des lieux, inconscient, d'une part et sur des cartes de représentation spatiales, de nature consciente d'autre part.

L'espace sensorimoteur ou espace des lieux est *inconscient* ; il est construit par les mouvements du sujet et les réafférences sensorielles visuelles et proprioceptives qui interviennent pour le calibrer (pour la vision, il s'agit surtout des réafférences de la rétine périphérique liées au système magnocellulaire, et codant la vitesse). Il est au départ multiple : espace visuo-oculomoteur, espace céphalique pour coder la direction du regard, espace de pointage pour diriger la main dans l'espace, espace visuo-locomoteur, pour le déplacement du sujet dans son environnement, espace tactilo-moteur, espace de la main pour la manipulation et l'exploration des objets, espace de la bouche, l'espace postural...Les espaces sensorimoteurs locaux exigent l'existence dans l'espace des lieux d'un référentiel postural commun ou schéma corporel postural (Paillard, 1971, 1991b, Head, 1920 ) destiné à former le *référentiel égocentrique*. Celui-ci est à son tour référencié par rapport au monde extérieur par la verticale gravitaire, détectée par les récepteurs otolithiques vestibulaires qui forme le *référentiel géocentré*. Ainsi, la position et le déplacement des objets dans l'espace peuvent-ils être référenciés par l'intermédiaire de leur projection rétinienne à la position de la tête et du au tronc pour permettre leur préhension ou leur manipulation.

Cette construction de l'espace des lieux est essentiellement adaptable. Lors du port de lunettes prismatiques, qui dévient la vision de l'objet à atteindre, la correction de la trajectoire de la

main vers l'objet s'observe après répétition du mouvement, par une recalibration du référentiel postural sous l'effet des réafférences visuelles de la rétine périphérique et des afférences proprioceptives musculaires (Paillard et al, 1981). Cette recalibration se généralise à de nouvelles coordinations, mais elle obéit à une hiérarchie rostro-caudale : elle reste localisée aux mouvements distaux, si seuls ceux-ci ont été soumis à l'adaptation, mais elle est généralisée à l'ensemble de la musculature si les mouvements proximaux ont été inclus dans le processus d'adaptation.

Les cartes des représentations spatiales sont conscientes, et dépendent de la vision fovéale, elles sont sous-tendues par des représentations internes ou images codées sous des formes abstraites ou symboliques basées sur un *référentiel allocentrique* (basé sur l'espace). Ce référentiel permet de considérer le corps comme un objet dans l'espace et de construire son image. L'image du corps doit être distinguée du schéma corporel postural inconscient. Elle permet de reporter sur une carte corporelle le lieu sur lequel une stimulation est appliquée.

Les deux espaces, sensorimoteur inconscient et de représentation consciente, peuvent être dissociés lors de lésions centrales ou périphériques des voies sensorielles chez le patient neurologique. C'est le cas de la vision « aveugle », ou du tact « aveugle ». Ce dernier par exemple est lié à des lésions centrales des voies somesthésiques, où le sujet ne perçoit pas le stimulus cutané. Il est néanmoins capable de diriger l'index de l'autre main sur le point stimulé, sans comprendre pourquoi (Paillard et al, 1983). C'est donc une opération inconsciente de l'espace sensorimoteur qui se maintient malgré la perte de la sensibilité cutanée consciente. Par contre, chez le patient atteint de neuropathie périphérique, privé d'afférences cutanées et proprioceptives, le tableau inverse apparaît : l'identification et la localisation de stimulations périphériques est toujours possible et reportée sur une carte du corps (il s'agit alors de stimulations protopathiques (froid), seules préservées, Cole et Paillard, 1995). Il y a donc maintien de la carte de représentation spatiale consciente pour le tact. Par contre le guidage du mouvement vers la partie stimulée qui est lié à l'espace sensorimoteur inconscient est devenu erroné en l'absence de vision. Pour Jacques Paillard (1991b), les cartes de représentation visuelles conscientes dépendent non pas de la vision périphérique, comme pour l'espace postural, mais de la vision fovéale qui identifie la forme des objets et leur localisation spatiale.

Après sa retraite en 1990, Jacques Paillard a pu recommencer une nouvelle carrière de recherche, principalement à Montréal et à Québec. Adopté par la communauté scientifique locale, il parlait avec beaucoup d'attachement de ses expériences québécoises. Ses travaux ont surtout porté sur la patiente déafférentée de Montreal (GL), dont il a organisé le séjour dans de nombreux laboratoires européens. Ces travaux ont permis le recueil d'une foison de résultats passionnants, portant sur le rôle de la proprioception dans la construction d'images en miroir, dans l'utilisation des référentiels égocentriques et allocentriques, dans la commande temporelle, dans la perception du poids ou de l'effort, dans la perception de la rotation du corps, etc. Ainsi Jacques Paillard a pu confirmer, en partie grâce à la patiente « déafférentée » de Montréal, l'hypothèse qu'il avait émise au début de sa carrière en tant que chercheur au CNRS, selon laquelle la synchronisation des mouvements de la main et du pied différaient selon que le mouvement était déclenché par un signal externe (dans ce cas c'est le mouvement de la main qui précède celui du pied) ou que le mouvement était autoinitié (dans ce cas le mouvement du pied précède celui de la main. Paillard, 1948). Il avait alors émis l'hypothèse que dans le mouvement déclenché par un signal externe, le retard du mouvement du pied s'expliquait par la distance plus grande à parcourir par les influx moteurs d'origine corticale pour atteindre les muscles de la cheville, tandis que pour le mouvement autoinitié, la précession du mouvement du pied avait pour finalité de permettre aux réafférences proprioceptives respectives de la main (plus proche) et du pied (plus distant) d'atteindre de manière synchrone les aires corticales. Cette hypothèse a été confirmée par le fait qu'en l'absence d'afférences proprioceptives, (patiente déafférentée), le mouvement de la main précède toujours le mouvement du pied, aussi bien pour les mouvements déclenchés que pour les mouvements autoinités. (Bard et al 1992). Il a montré en outre de manière intéressante que le cervelet est impliqué de manière spécifique dans le mouvement autoinitié sans doute pour permettre la synchronisation des réafférences issues de la main et du pied (Blouin et al 2004).

#### **IV. La création de l'Institut de Neurophysiologie et de Psychophysiologie (INP)**

Après sa thèse et un passage au CNRS, Jacques Paillard est entré dans la carrière de l'enseignement, en tant qu'assistant de Psychophysiologie du Professeur Soullairac, à la Sorbonne en 1955. Après l'échec de sa candidature au poste de Maître de conférence que devait occuper Madame Fessard à la Sorbonne, il a accepté, un peu à contrecœur, un poste de Maître de Conférence à Marseille, en 1957, (il aurait préféré Toulouse pour se rapprocher d'Yves Laporte spécialiste des fuseaux neuro-musculaires) pour y créer les enseignements de la psychophysiologie et développer la

recherche. Il mènera de front des fonctions universitaires, à la Faculté des Sciences de St Charles, à celle de St Jérôme puis à celle de Luminy et créera, ce sera son oeuvre majeure, l'Institut de Neurophysiologie et de Psychophysologie (INP) du CNRS, dont il a été le principal artisan.

Jacques Paillard a été à l'origine de nombreuses structures d'enseignement et de recherche, notamment à Marseille : les Laboratoires de Psychophysologie, l'Institut de Biométrie Humaine (IBOP), l'Institut de Neurophysiologie et de Psychophysologie du CNRS. Il a de plus contribué de manière importante au développement du pôle Universitaire et de recherche en activités Physiques et sportives, à Luminy. Il aura au plan national, pendant près de trente ans une intense activité d'administration de la recherche et de l'enseignement en Psychophysologie. Par sa présence dans de très nombreux comités ou commissions que ce soit au CNU ou au Comité National de la recherche. Il siègera près de vingt ans à la commission de Psychophysologie qu'il présidera à deux reprises en 1966-1970 et 1983-1987. Il donnera à ce secteur un dynamisme et une audience qui lui permettront d'y intégrer le plus logiquement possible l'ensemble de la communauté des Cognosciences pour lequel l'inscription en science du vivant était évidente. Mais l'oeuvre de Paillard sans conteste restera l'Institut de Neurophysiologie et de Psychophysologie du CNRS (1963-1986).

Le projet d'un Institut de Psychophysologie a été inscrit au 3<sup>e</sup> plan sous l'instigation de Julien Drach, alors Directeur adjoint du CNRS. La création n'a pu se faire à Paris, du fait de la priorité donnée à la décentralisation. C'est dès lors Marseille qui en a bénéficié, d'autant qu'existait déjà sur place des pôles forts dans le domaine de la Physiologie, de la Médecine et de la Psychophysologie.

La création de l'INP a été pour l'essentiel au départ l'oeuvre commune de Georges Morin, Doyen de la Faculté de Médecine et premier directeur de l'Institut et de Jacques Paillard, nommé sous-directeur. Etant à son tour devenu directeur de l'INP en 1969, c'est donc sous la responsabilité de Jacques Paillard que s'est fait la partie la plus importante du développement de l'INP.

La création de l'INP a bénéficié d'un contexte local favorable qui a incité la direction du CNRS d'implanter le futur Institut à Marseille. Du côté de la Faculté de Médecine, la chaire de Physiologie était placée sous la responsabilité du Doyen Georges Morin, futur Directeur de l'INP. Originaire de l'école de Physiologie de Lyon, il avait créé en 1959 avec Jacques Paillard et le Professeur Benoit, tous deux Professeurs à la Faculté des Sciences, un 3<sup>e</sup> Cycle de Neurophysiologie qui a formé de nombreux étudiants en science et de nombreux médecins. Henri Gastaut, dont l'élève Robert Naquet devait rejoindre l'INP, occupait la Chaire d'Anatomie Pathologique, mais son intérêt principal était l'électroencéphalographie dont il a été un des principaux promoteurs en France. Il avait été à l'origine de la création du Centre Saint Paul, spécialisé dans l'étude de l'épilepsie, de l'Unité de Neurobiologie de l'Inserm et d'un enseignement spécialisé sur l'EEG, qui attirait de nombreux médecins européens et américains. Georges Serratrice avait développé dans son service de Neurologie une série de travaux sur les maladies dégénératives neuro-musculaires qui lui ont valu une réputation internationale, et suscité par la suite des collaborations avec des équipes de recherche de la Faculté des Sciences et de l'INP.

A la Faculté des Sciences, Jacques Paillard avait développé le Laboratoire de Psychophysologie bientôt rejoint par Maurice Hugon qui reprendra son poste d'Enseignant. Du côté de la Physiologie, dont le titulaire était le Professeur Benoît, Michel Dussardier a rejoint Marseille, comme Professeur de Neurophysiologie. Il a ouvert la voie à un ensemble de recherches dans le domaine de la neurophysiologie végétative dont il fera un pôle important.

L'INP comportait au départ 7 Départements scientifiques et une plate-forme technique importante représentée par les « Services Communs ».

Le choix des Départements scientifiques était au départ défini par des considérations de disciplines mais aussi d'opportunité. C'est ainsi que parmi les Départements, 4 avaient le terme de Neurophysiologie dans leur intitulé, même si leur spécificité était très différente. Ainsi, à côté de la Neurophysiologie cellulaire (Angèle Arvanitaki) étaient représentés la Neurophysiologie végétative (Michel Dussardier, Noël Méi), la Neurophysiologie générale (Valentine Bonnet, Jean Massion), la Neurophysiologie appliquée (Robert Naquet). Trois autres Départements étaient centrés sur la Psychophysologie et le Comportement : le Département de Psychophysologie générale (Jacques Paillard), le Département de Comportement animal (M Deleurence), le Département de Psychophysologie comparée (Georges Le Masne). Si le souci de créer une structure pluridisciplinaire était dominante dans le choix des équipes, des considérations d'opportunité ont guidé certains choix. Une partie des scientifiques étaient issus des Laboratoires universitaires de la Faculté des Sciences ou de la Faculté de Médecine (Jacques Paillard, Michel Dussardier, Robert Naquet). D'autres étaient issus du Laboratoire du professeur Cordier de Lyon (Angèle Arvanitaki, Valentine Bonnet). Enfin nombreux étaient ceux qui étaient issus du Laboratoire d'évolution des êtres organisés de Paris, dirigé par Pierre-Paul Grassé, un des cofondateurs avec Henri Piéron et Alfred Fessard du certificat de Psychophysologie de la Sorbonne en 1946.

Les Services communs apportaient un ensemble de moyens importants aux équipes de recherche dans un grand nombre de domaines : bibliothèque, histologie, radioisotopes, microscopie électronique, informatique, mécanique, électronique. Le service d'animalerie-chirurgie était particulièrement remarquable, aussi bien dans ses capacités d'intervention chirurgicale que dans l'hébergement de nombreuses espèces animales et en particulier des primates.

Il faut dire aussi un mot sur l'originalité de l'organisation de l'INP, à laquelle Jacques Paillard tenait beaucoup. Elle était innovatrice et a servi de modèle pour d'autres Instituts du CNRS. La gestion de l'INP reposait sur sa Direction mais aussi sur le Conseil de l'Institut. L'originalité de ce conseil tenait à sa composition, dans lequel siégeaient les membres de droit, dont les Directeurs des départements, nommés par la Direction du CNRS, mais aussi les membres élus par le personnel chercheur, ingénieur et technicien. Les décisions budgétaires, administratives et de politique scientifiques prises par ce conseil rencontraient dès lors une large approbation du personnel de l'INP.

Dans son rôle de Directeur Jacques Paillard apportait un dynamisme remarquable, attirant de nouvelles équipes, favorisant les contacts internationaux et l'organisation de Colloques. Les Séminaires généraux de l'Institut attiraient les meilleurs scientifiques de la communauté internationale du moment. D'une manière générale, Jacques Paillard était un animateur hors pair, toujours à l'affût de nouvelles idées, brillant et parfois polarisant la parole dans les discussions scientifiques, défenseur acharné de la psychophysiologie. Il était pour ses interlocuteurs un homme d'une grande courtoisie, laissant s'exprimer ses auditeurs, ne voulant jamais imposer sa volonté et tentant d'obtenir l'accord des autres par consensus. C'était particulièrement impressionnant au niveau des Conseils de Laboratoire où il tentait d'obtenir l'adhésion des membres par consensus de sorte qu'il n'était pas rare que les discussions se prolongent au-delà de la demi-journée pour permettre au consensus de se faire. C'était aussi pour Jacques Paillard, en fin psychologue qu'il était, de voir se révéler les caractères des uns et des autres. Il était aussi chaleureux et généreux, fidèle en amitié, apportant son soutien à ses collaborateurs.

## **V. L' INP et le contexte International**

Les fonctions sensori-motrices, au sens large, représentaient un des axes forts de l'INP. Il trouvait sa source dans l'intérêt de Jacques Paillard pour ce domaine de recherche, sous l'influence de ses travaux initiaux effectués à Paris avec Alfred Fessard. Au moment de la création de l'INP, les conceptions sur l'organisation des mouvements étaient en pleine évolution, et une sorte de révolution culturelle s'imposait dans ce domaine. Jusqu'alors, l'organisation de la motricité était dominée par le concept de réflexe. Le mouvement volontaire en était l'émanation, qui pour Sherrington était l'expression d'une chaîne de réflexes. Vers les années 50-60, on a assisté à l'abandon du schéma d'organisation des mouvements basé sur les réflexes au profit de la notion de programmation centrale du mouvement avec ses étapes de planification, de programmation et d'exécution, supportées par des structures spécifiques, l'introduction de la cybernétique avec le rôle des rétroactions sensorielles et la notion de comparateur entre commande centrale et réafférence sensorielle apportant la flexibilité au programme, l'apprentissage lié à l'activité du sujet apportant la plasticité des programmes et des représentations. Les travaux de l'INP et plus particulièrement du groupe de Jacques Paillard étaient parmi ceux qui ont contribué de manière importante à cette évolution. En parallèle, l'approche réductionniste dominante des neurophysiologistes a été progressivement remplacée par l'étude du fonctionnement nerveux dans le cadre d'activités naturelles, ce qui a conduit à rapprocher dans une certaine mesure les questionnements des neurophysiologistes de ceux des psychophysiologistes.

L'évolution des concepts avait conduit au niveau européen à créer une nouvelle Société, l'European Brain and Behavior Society. Jacques Paillard en était un des membres fondateurs avec Akert, Berlucchi, Kuypers, Ploog, Elizabeth Warrington et Weiskrantz et la première réunion a eu lieu à Marseille en 1969. L'INP était devenu un lieu de passage attirant les nombreux spécialistes des fonctions sensori-motrices au sens large, ce qui a permis le passage de conférenciers de très haut niveau et la présence de nombreux chercheurs étrangers. En fait, l'INP était à l'époque avec l'Institut für Hirnforschung de Zurich, dirigé par Konrad Akert, une des principales concentrations de scientifiques dans le domaine de ce qu'on appellerait maintenant les Neurosciences et les sciences cognitives. La participation active de l'INP à ce mouvement international a permis d'organiser en 1973 à Aix-en-Provence un Symposium, appelé «Motor aspects of Behaviour and programmed motor activities – Aspects moteurs du comportement et activités nerveuses programmées » qui avait réuni les principaux spécialistes internationaux de cette évolution.

L'INP a-t-il rempli sa mission de centre interdisciplinaire autour de la Neurophysiologie et de la Psychophysiologie, susceptible de développer progressivement autour de disciplines aussi diverses



que la biologie, l'analyse du comportement et l'éthologie un langage commun conduisant à des concepts nouveaux ?

Dans le rapport qu'il a rédigé à l'occasion du 20<sup>e</sup> anniversaire de l'INP, Jacques Paillard écrivait à ce sujet ce qui suit. « *L'essentiel des forces de quatre départements de l'I.N.P. a essaimé vers l'extérieur pour créer ou renforcer d'autres laboratoires. De nouvelles équipes sont aussi venues de l'extérieur renforcer ses rangs. Dix chercheurs étrangers en moyenne, sont accueillis annuellement dans nos laboratoires. L'I.N.P. possède aujourd'hui avec ses 16 Directeurs et Maîtres de Recherche, un taux d'encadrement exceptionnel qui explique pour une part, une productivité exceptionnelle : 38 Thèses de Doctorat d'Etat, et autant de Thèses de Doctorat de 3ème Cycle ont été soutenues au cours des dix années écoulées ; 542 Mémoires ont été publiés et plus de 580 notes. 220 Séminaires généraux, 17 journées thématiques, 14 manifestations scientifiques de niveau national, 11 Colloques internationaux se sont tenus dans le cadre de l'I.N.P. »*

Sur le plan international, l'INP a accueilli de nombreux post-doctorants étrangers, a participé au grand courant d'échanges européen et transatlantique de l'époque, il a été au total un acteur important dans l'évolution de la pensée scientifique dans les années 60-80. C'est au génie organisateur et conceptuel de Jacques Paillard que nous devons le succès de cette Institut.

Pour terminer ce survol, il faut apporter quelques commentaires sur la notoriété internationale de Jacques Paillard.

Si il est vrai qu'en France son action a été particulièrement importante, sur le plan international il a aussi joué un rôle essentiel. Il était en relation avec la plupart des grands centres de recherche dans le domaine de la Neurophysiologie et du Comportement. Il était dès lors invité à de nombreuses manifestations scientifiques. Il a effectué de nombreux séjours prolongés à l'étranger : à la Rockefeller University, à l'Université de Los Angeles, Oxford, Cambridge, Louvain, Bruxelles, au Max-Planck de Munich, etc. Il a été nommé docteur honoris causa de l'Université de Genève.

Il a été Secrétaire Général de l'International Union of Biological sciences (section Experimental Psychology and animal behaviour) et co-fondateur de l'European Brain and Behaviour Society, regroupant les scientifiques s'intéressant au cerveau et au Comportement. Il en a été le Président et était le Président honoraire. Cette association a joué un rôle important dans l'élaboration de nouveaux concepts dans ce domaine.

## Conclusions

Paillard aura marqué plusieurs générations d'enseignants et de chercheurs entre 1960 et 1990 au moment où se mettaient en place les Neurosciences. Son rôle fondamental aura été d'intégrer les comportements et leurs complexité d'approches au cœur des mécanismes physiologiques. Il aura aussi participé à l'émergence d'une motricité cognitive avec ses conceptions de la sensori-motricité et de l'action. Il aura favorisé tout au cours de sa carrière une association étroite entre la recherche et l'enseignement. Ainsi L'INP aura bénéficié d'un environnement universitaire de grande qualité, de 2e et de 3e cycles apportant un potentiel de formation de haut niveau aux étudiants et jeunes chercheurs. Il a apporté à son tour un potentiel d'accueil et de formation important aux étudiants et enseignants de la faculté des Sciences et de la Faculté de Médecine, et a favorisé l'éclosion de nouvelles formations, comme celle de la faculté des sciences du Sport à Luminy. Le pari de Jacques Paillard d'accéder à une recherche pluridisciplinaire a été rempli, grâce à une ouverture d'esprit aux nouvelles démarches scientifiques dans nos disciplines et au-delà.

## Références

- Atlan H 1972 L'organisation biologique et la théorie de l'information. Hermann, Paris, 269pp
- Bard C, Paillard J, Lajoie Y, Fleury M, Teasdale N, Forget R, Lamarre Y. 1992 Role of afferent information in the timing of motor commands : a comparative study with a deafferented patient. *Neuropsychologia*, 30 : 201-206
- Beaubaton D., Grangetto A., Paillard J. 1980 Contribution of positional cues to visuomotor reaching in split-brain monkey. In I. Steele-Russel, MW van Hoff, G. Berlucchi Eds, *Structure and Function of cerebral Commissures* 371-384 Macmillan, London.
- Berthoz, A. (1998). *Le sens du mouvement*. O. Jacob. Paris.
- Blouin JS, Bard C, Paillard J 2004 Contribution of the cerebellum to self-initiated synchronized movements : a PET Study *Experimental Brain Research* 155 : 63-68
- Braun M, 1992, *Picturing time : the work of Etienne-Jules Marey (1830-1904)* The University of Chicago Press, Chicago

- Brooks V.B. 1986 The neural basis of motor control. Oxford University Press, Oxford.
- Clarac, F. 1971. Structures et fonctions proprioceptives chez les Crustacés décapodes marcheurs. Thèse de doctorat ès-Sciences Naturelles. Faculté des Sciences de Marseille. 120 p.
- Cole J., Paillard J., 1995 Living without touch and information about body position and movement. Studies on deafferented subjects. In J. Bermudez, A. Marcel, N. Iylan Eds The Body and Self, The MIT Press, Cambridge, Mass pp 245-268.
- Condillac E.B. 1754. Traité des Sensations.
- Conti P., Beaubaton D. 1976 Utilisation des informations visuelles dans le contrôle du mouvement. Etude de la précision des pointages chez l'Homme. Travail humain : 69 : 19-32
- Head H 1920 Studies in Neurology. Hodder and Stoughton, t2
- Hoffmann F.A. 1934 Die Physiologischen eigenschaften der Eigenreflexe Ergebn Physiol. 36 : 15-108
- Ingle D. 1967 Two visual mechanisms underlying the behavior of fish Psychol. Forsch. 31 : 44-51.
- Jacob, F. 1970. La logique du vivant, une histoire naturelle. Gallimard. Paris.
- Jeannerod, M. 1996. De la physiologie mentale. Jacob, O. Paris.
- Jeannerod, M. Prablanc, C. 1983. Visual control of reaching movements in man. Adv Neurol.. 39:13-29.
- Livingston RB, Paillard J, Tournay A, Fessard A. 1951 Plasticité d'une synergie musculaire dans l'exécution d'un mouvement volontaire chez l'Homme. J. Physiol. (Paris) 43 : 605-619
- Matthews P.B.C. 1964 Muscle spindles and their motor control, Physiol. Rev, 44 : 219-288
- Merton P.A. 1953 Speculations on the servo-control of movement, in The spinal cord, Ciba Foundation Symposium, Churchill, London, 247-260
- Noizet, G. 1965 Henri Piéron et la promotion de la Psychologie Cah.Psychol., VIII, N°1, 1-9
- Paillard, J. 1948 Quelques données psychophysiologiques relatives au déclenchement de la commande motrice. Année psychologique 47-48 : 28-47
- Paillard, J. 1959 Functional organization of afferent innervation of muscle studied by monosynaptic testing Am. J. Physiol. Med. 38 : 239-247
- Paillard, J. 1960 The patterning of skilled movements. In: J.Field,H.W. Magoun and V.E. Hall(Eds.), *Handbook of Physiology, Neurophysiology*, Vol. III, American Physiological Society, Bethesda, pp. 1679-1708.
- Paillard J. 1971 Les déterminants moteurs de l'organisation de l'espace. Cahiers de Psychologie, 14 : 261-316
- Paillard J, 1980 A propos de l'explication biologique en Psychologie. In M. Richelle et M. Sernon Eds in "L'exploration biologique en Psychologie" Symposium de l'APSLF (Liège) Section II ; 117-129
- Paillard J., 1982 The contribution of peripheral and central vision to visually guided reaching. In D.S. Ingle, M.A. Goodale, D.J.W. Mansfield Eds Analysis of visual behaviour MIT Press, Cambridge, Mass. P 367-385
- Paillard J 1986 Système nerveux et fonction d'organisation. In J. Piaget, P. Mounoud, J P Bronckart (eds) Psychologie, Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard, Paris pp 1378-1441
- Paillard J.,(Ed) 1991a Brain and space, Oxford University Press, Oxford Paillard J., 1991b Motor and representational framing of space. In Paillard J. Ed Brain and space, Ch 10 pp 163-182, Oxford University Press, Oxford
- Paillard J., 1991b Knowing where and knowing how to get there. In Paillard J. Ed Brain and space, Ch 24 pp 461-481, Oxford University Press, Oxford
- Paillard J., 1992 Autobiographie in Psychologues de Langue française. Eds : Françoise Parot et Marc Richelle, Presses Universitaires de France, Paris.
- Paillard, J. 1999. L'approche neurobiologique des faits de conscience: vers une science de l'esprit. Psychologie Française. 44 (3), 245-256.
- Paillard J., Brouchon M. 1974 A proprioceptive contribution to the spatial encoding of position cues for ballistic movements Brain Research, 71 : 273-284
- Paillard J., Jordan P, Brouchon M. 1981 Visual motion cues in prismatic adaptation : evidence of two separate and additive processes. Acta Psychologica 48 : 253-270
- Paillard J, Massion J 1974 Motor aspects of Behaviour and programmed nervous activities - Comportement moteur et activités nerveuses programmées Brain Research 71: n° 2/3
- Paillard J, Michel F., Stelmach G. 1983 Localization without content : a tactile analogue of blind sight. Archives of Neurology, 40 : 548-51
- Prirogine I 1972 La thermodynamique de la vie. La Recherche, 24 : 547-562
- Ribot E., Roll J.P., Vedel J.P. 1986 Efferent discharges from single skeletomotor and fusimotor fibers in man. J. Physiol. 375 : 256-68

- Schneider G.E. 1969 Two visual systems *Science*, 163 : 895-902
- Tournay, A., 1967. La vie de Joseph Babinski. Elsevier publishing company Amsterdam-London-New York. pp.130
- Thom R 1972 Stabilité structurelle et morphogenèse. Essai d'une théorie générale des modèles. Benjamin Inc. Reading Mass. 362p
- Trevarthen C.B. 1968 Two mechanisms of vision in Primates *Psychol. Frosch.* 31 : 299-348
- Vedel, J.P. 1970. Etude de la régulation de la sensibilité des fuseaux neuromusculaires par les structures nerveuses centrales chez le chat. Thèse de Doctorat Es Sciences Naturelles. Faculté des Sciences de marseille. 165 p.
- Wachholder, K. 1928 Willkürliche Haltung und Bewegung. *Ergeb. Physiol.*, 26: 568-775
- Wiesendanger, M., 1997. Path of Discovery in Human Motor Control. In Hepp-Reymond, M.C., Marini, G., eds : *Perspective of Motor Behavior and Its Neural Basis.* : pp 103-134, Karger, Basel.