

La transdisciplinarité, concept et enjeux : la leçon des neurosciences

Jean-Gaël Barbara

Université Curie, UMR 7102 et Université Diderot, UMR 7219

Version auteur de J.G. Barbara, « La transdisciplinarité, concept et méthode : la leçon des neurosciences », in Claude Debru (sous la direction de), *La Transdisciplinarité. Comment explorer les nouvelles interfaces*, Paris, Hermann, collection Vision des sciences, 2011, (ISBN : 2705680675, 9782705680671).

La célébration du demi-millénaire de la naissance de Léonard de Vinci en 1952 a donné lieu à de multiples rencontres interdisciplinaires destinées à évaluer le génie propre de l'humaniste toscan dans tous ses domaines d'investigation¹. D'emblée, l'historien des sciences américain, George Sarton, met en garde, car « la plupart des auteurs qui se sont occupés de Léonard sont des hommes de lettres ou des critiques d'art, il est [par conséquent] nécessaire d'expliquer avant tout que l'historien de la science ne peut employer leurs méthodes sans danger. »² Le peintre, l'ingénieur de la Renaissance fait-il montre d'autant de génie et d'invention lorsqu'il scie un crâne humain, le dessine et montre l'intersection des axes de symétrie en son centre en se conformant à la conception de Galien, plutôt qu'en poursuivant son intention première de représentation du réel ? L'appréciation de l'œuvre de Léonard nécessite une recherche interdisciplinaire minutieuse, l'étude du contexte scientifique de ses œuvres, l'évaluation de sa connaissance des textes antiques et de ses pratiques scientifiques.

Tant de difficultés ont pour origine l'ambiguïté intrinsèque de l'œuvre de Léonard, homme curieux de tout, mû par des aspirations profondes et complexes, à l'entrecroisement de différentes cultures. La transdisciplinarité de Léonard est l'essence même de l'ingénieur-humaniste italien, dont André Chastel a saisi la tension centrale, en demandant si « [le] fonds de culture toscane [de Léonard] n'est [...] pas [...] distinct des ambitions de la culture humaniste ? »³ Sûrement, et fort heureusement, mais Léonard, qui n'a pas été imprégné dans sa jeunesse de culture latine, s'étant formé dans l'atelier de Verrocchio à la peinture, aux dissections humaines et aux arts mécaniques, a étudié plus tard les auteurs antiques avec l'aide d'amis lettrés. En analysant l'empreinte latine de ses écrits en dialecte toscan, Chastel conclut que « la culture de Léonard a le vrai caractère de la culture humaniste, latine ou vulgaire, de son temps, qui est d'utiliser inlassablement tous les ouvrages de la littérature aux fins qui lui sont propres [...] »⁴ En cela, certaines des œuvres de Léonard sont parmi les plus beaux exemples de travaux transdisciplinaires à l'aube de la science moderne.

En particulier, ses dissections anatomiques évoluent progressivement, depuis ses premières études topographiques appliquées à l'art, jusqu'aux relevés minutieux des organes en multipliant les angles de vue, en analysant la mécanique des parties du corps humain à la

¹ Un colloque international du CNRS a été consacré à ce sujet, à Paris, les 4-7 juillet 1952. *Léonard de Vinci et l'expérience scientifique au XVI^e siècle*, Paris, CNRS et PUF, 1952. Le volume comprend entre autres les présentations de Lucien Febvre, George Sarton, Paul-Henri Michel, Pierre Francastel, Alexandre Koyré et André Chastel.

² *Ibid.*, p. 11.

³ *Ibid.*, p. 254.

⁴ *Ibid.*

fois de façon dynamique et fidèle aux principes de déduction anatomique de Galien⁵. Un cadre nouveau s'ouvre où l'esprit de l'ingénieur s'aidant de la scie, du moulage à la cire et du dessin, côtoie celui du lettré humaniste. Les recherches de Léonard sur les valves du cœur sont exemplaires de cette forme de transdisciplinarité par constitution d'un dispositif de travail élargi, au sens de Nicolescu et Morin⁶, qui transcende les limites des disciplines existantes, les arts mécaniques, l'anatomie galénique et la médecine. Ces disciplines constituent chacune à leur manière un certain niveau de réalité, un système référentiel particulier, dont les passerelles s'établissent entre eux par la logique du *tiers inclus*⁷.

Cette logique, c'est finalement la reconnaissance, non seulement qu'un niveau de réalité ne constitue qu'une modalité particulière de description du réel, mais surtout que toutes celles dont on dispose ne suffisent pas pour décrire une intuition *autre* du réel. Léonard rejette l'érudition passive et l'usage unique de la mémoire dans la connaissance. Par sa sensibilité de découvreur, dessinateur et créateur de machines, il place l'imagination et la création au cœur de la connaissance en annonçant la démarche de Harvey. Plus généralement, ce type de recherche requiert que les savants « soient ouverts au dialogue, capables de reconnaître ce qui leur manque et ce qu'ils peuvent recevoir d'autrui »⁸.

Est-il possible d'aller beaucoup plus loin dans la caractérisation de la transdisciplinarité, alors que tant d'études ont voulu se saisir du thème, le plus souvent, comme le reconnaissent parfois leurs auteurs eux-mêmes, sans grande conviction et de façon finalement assez superficielle ? Y aurait-il un avantage à multiplier les études de cas, à décrire combien *temporairement* et *localement* un cadre transdisciplinaire particulier a permis d'enchaîner par une alchimie fine, ô combien incertaine, des programmes de recherche féconds, en tirant parti pour développer les uns, des solutions trouvées, parfois aussi un peu par hasard, dans les autres ? Les succès d'un Claude Bernard ou d'un Louis Pasteur ne sont-ils pas tous nécessairement transdisciplinaires ? Et le renouvellement constant de son cadre de travail n'est-il pas absolument requis dès lors qu'on accepte, en suivant Bergson, comme le font quotidiennement tous les biologistes à la paille, les limites de son propre rationalisme : « On serait fort embarrassé, commente ainsi Bergson, pour citer une découverte biologique due au raisonnement pur. Et, le plus souvent, quand l'expérience a fini par nous montrer comment la vie s'y prend pour obtenir un certain résultat, nous trouvons que sa manière est précisément celle à laquelle nous n'aurions jamais pensé. »⁹

Tout discours sur un concept aussi général que celui de *transdisciplinarité* n'a d'intérêt que s'il s'appuie sur un terrain d'étude concret et approprié, et seulement s'il s'ancre dans des problématiques précises. Une première problématique qui semble aujourd'hui encore à l'ordre du jour relève de la caractérisation des formes d'interaction entre disciplines pour en comprendre les évolutions dans une perspective dynamique parfois encore négligée¹⁰. Une seconde relève de la politique scientifique mise en œuvre pour réorganiser les dispositifs de

⁵ Martin Kemp. « Dissection and Divinity in Leonardo's Late Anatomies ». *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, 1972, 35, 200-225.

⁶ Basarab Nicolescu. *La transdisciplinarité, manifeste*, Paris, Éditions du Rocher, 1996.

⁷ La logique du *tiers inclus* s'oppose au principe du *tiers exclu* de la logique classique, pour laquelle deux propositions contradictoires, vraie et fausse, ne peuvent être vraies ensemble.

⁸ Guy Michaud. « Conclusions générales », in *L'interdisciplinarité. Problèmes d'enseignement et de recherche dans les universités*, p. 297. Cité in Serge Cantin. « Interdisciplinarité et transdisciplinarité chez Fernand Dumont ». *Laval Théologique et Philosophique*, 1999, 55, 49-63, p. 52.

⁹ Henri Bergson. *L'évolution créatrice*. Introduction. Paris, PUF, 1907. Cité in Georges Canguilhem. *La connaissance de la vie*. Paris, Vrin, 1952, p. 17.

¹⁰ Michel Grossetti. « Interdisciplinarity or hybrid disciplines: the example of 'sciences for the engineer' in France », article présenté à la conférence internationale *Challenges in Innovation in Graduate Education*, Toronto, 2 - 5 novembre 2005.

recherche en favorisant par exemple le campus universitaire comme lieu d'interaction disciplinaire¹¹.

Or, il semble que le domaine des neurosciences, par le dynamisme et la multiplicité de ses sous-disciplines constamment engagées dans des processus d'hybridation, constitue un champ de recherche privilégié pour évaluer les modalités d'interactions disciplinaires jusqu'à la constitution de nouveaux champs transdisciplinaires, mais aussi pour réfléchir aux politiques de recherche actuelles et futures¹². Ce caractère des neurosciences avait été noté en 1997 par Pierre Karli, Professeur à l'Université Louis Pasteur de Strasbourg et membre de l'Institut : « [...] les démarches interdisciplinaires sont de nature très différentes selon qu'on reste - on non - au sein d'un même univers conceptuel et sémantique. C'est ainsi que dans le vaste domaine des "neurosciences", de nombreuses disciplines bien individualisées coopèrent aisément. Lorsqu'un neurophysiologiste fait appel à un cytoimmunologiste pour la mise en œuvre d'une méthode et d'une technique définies, il suffit que le premier fasse l'effort d'évaluer la pertinence et la fiabilité de la technique qui sera utilisée et que le second s'efforce de comprendre le problème posé en acceptant de s'y intéresser. »

L'histoire et l'épistémologie des neurosciences nous a récemment permis d'analyser ce qu'on peut entendre généralement par *pluridisciplinarité*, *multidisciplinarité*, *interdisciplinarité* et *transdisciplinarité*¹³. Car l'étendue des sciences du système nerveux dans ses thèmes de recherche, son histoire et ses géographies permettent d'identifier de nombreux programmes de recherche utiles pour préciser certaines modalités d'interaction entre champs disciplinaires distincts. En première approximation, la *pluridisciplinarité*, c'est l'étude d'un même objet, de manière non ou peu coordonnée, par des disciplines différentes ; la *multidisciplinarité* est une première tentative de discussion autour d'un concept unique commun ou d'un ensemble restreint de concepts objectivés par des approches différentes ; l'*interdisciplinarité* entre dans la logique du tiers inclus dès lors que le ou les concepts considérés dépassent les modes d'objectivation particuliers qui ont permis de les définir ; la *transdisciplinarité* constitue ces concepts et les coordonne, créant ainsi des *objets scientifiques*¹⁴ et définit des cadres théoriques neufs dans lesquels se développent de nouveaux programmes de recherche.

Certes, de la pluridisciplinarité à la transdisciplinarité, l'intégration des disciplines est progressivement plus subtile et créatrice, alors que les interactions disciplinaires cessent d'être polarisées et hiérarchiques. Mais la pluridisciplinarité et la transdisciplinarité partagent une même propriété que n'ont pas la multidisciplinarité et l'interdisciplinarité ; elles sont à la fois *locales* et *globales*. C'est en revanche uniquement à l'échelle des laboratoires, le plus souvent à celle d'un ou deux chercheurs, que le caractère heuristique de la multidisciplinarité et de l'interdisciplinarité, telles que nous les définissons, se révèle dans le champ scientifique par des pratiques particulières. Les instituts, les cadres théoriques, les sociétés et les réseaux de chercheurs demeurent le plus souvent pluridisciplinaires ou définissent par une démarche programmatique globale un champ transdisciplinaire qui n'est réellement effectif – par le jeu de la multidisciplinarité et de l'interdisciplinarité – que dans quelques rares laboratoires.

Si l'on souhaite comprendre la spécificité de la transdisciplinarité, son fonctionnement dans les laboratoires à échelle locale et comment elle peut être suscitée à une échelle plus

¹¹ François Jacob, Philippe Kourilsky, Jean-Marie Lehn, Pierre-Louis Lions. « Donner un nouvel essor à la recherche française », Le Monde, 10 mars 2004, www.pasteur.fr/pasteur/dunerf.html.

¹² Pierre Karli. « Evolution transdisciplinaire de l'Université », conférence prononcée au congrès de Locarno, 30 avril – 2 mai 1997. Annexes au document de synthèse CIRET-UNESCO.

¹³ Jean-Gaël Barbara. *La naissance du neurone*, Paris, Vrin, à paraître ; Jean-Gaël Barbara. *Le paradigme neuronal*, Paris, Hermann, à paraître.

¹⁴ Jean-Gaël Barbara. « L'étude du vivant chez Georges Canguilhem : des concepts aux objets biologiques », in Anne Fagot-Largeault, Claude Debru et Michel Morange (éds.), *Philosophie et médecine. Hommage à Georges Canguilhem*, Paris, Vrin, 2008.

globale, il n'est pas inutile d'analyser les autres formes d'interactions disciplinaires et leur complexification croissante jusqu'à une forme émergente de transdisciplinarité. Il faudrait donc penser toutes ces formes d'interactions disciplinaires ensemble et de manière initialement interdépendante, non seulement dans le cadre des recherches locales, mais aussi dans les perspectives de l'enseignement, de la constitution de centres de recherche, des collaborations internationales et du développement de nouvelles disciplines.

La pluridisciplinarité est souvent à la fois un commencement et une condition nécessaire de la transdisciplinarité. Dans l'un des premiers instituts pluridisciplinaires en neurosciences, tel que celui créé à Marseille en 1963, par le psychophysiologiste Jacques Paillard (1920-2006), « l'organisation [...] assez révolutionnaire pour l'époque, comprenait à côté des départements, un ensemble très performant de services techniques, communs, placés chacun sous la responsabilité d'un ingénieur ou d'un technicien [...]. Le Service d'animalerie et chirurgie dirigé par Pierre Lucciani (1935-1999) pouvait accueillir de nombreuses espèces animales dont des primates. Il disposait d'une salle d'opération toute moderne. On comptait aussi un secrétariat de direction, une bibliothèque, un service de calcul, la microscopie électronique, le service d'histologie, celui de photographie, d'électronique, de radio-isotopes et de micromécanique. »¹⁵

La condition essentielle de l'essor des neurosciences après la Seconde Guerre mondiale¹⁶ est sans conteste le développement de sous-disciplines par l'emploi de nouvelles techniques, les radio-isotopes (neuropharmacologie), l'ultracentrifugation (neurochimie), la microscopie électronique (neuroanatomie), l'enregistrement intracellulaire (électrophysiologie). Mais si l'on retrace l'histoire de l'institut de Marseille, et la biographie scientifique de Jacques Paillard, il est aisé de repérer les racines plus profondes de cette pluridisciplinarité et de comprendre sa fonction dans ses recherches ultérieures.

Le souhait de Jacques Paillard était d'appréhender l'étude du mouvement volontaire chez l'homme par une approche de psychologie expérimentale, de psychophysique, associée à des techniques rigoureuses de physiologie neuro-musculaire. Ce programme s'est développé à la croisée de plusieurs traditions de recherche, celle d'Henri Piéron, d'Auguste Tournay et surtout celle d'Alfred Fessard¹⁷. Or, Fessard est dans l'histoire des sciences du système nerveux en France au XX^e siècle, la première grande figure à pratiquer la pluridisciplinarité¹⁸. Muni d'une licence ès sciences physiques en Sorbonne, il suit les cours de physiologie de Louis Lapicque et Paul Portier, tout en étant assistant au laboratoire de Lahy de l'hôpital psychiatrique Henri Rousselle dirigé par Édouard Toulouse. Pendant toute sa carrière, Fessard va étudier ensemble les « activités globales » et les « activités unitaires » du système nerveux, dans une double orientation de psychologie et de physiologie, malgré le manque initial de techniques permettant de comparer ces activités et de les comprendre dans un même cadre théorique. Ce caractère pluridisciplinaire est dans ce cas précis la conviction que la tradition « chronaxique » de Lapicque basée sur des mesures d'excitabilité des tissus nerveux ne peut avoir le monopole de l'explication du phénomène psychique, car la tradition de psychologie expérimentale y a également sa place. Comme pour Fessard, la pluridisciplinarité est donc déjà, le plus souvent, l'aveu d'une limite et d'une curiosité insatisfaite.

¹⁵ François Clarac et Jean Massion. « L'institut de Neurophysiologie et de Psychophysiologie (INP) de Marseille (1963-1986) », *Revue pour l'histoire du CNRS*, N°19, Printemps 2008.

¹⁶ Claude Debru, Jean-Gaël Barbara, Céline Cherici, (éds.). *L'essor des neurosciences : France, 1945-1975*, Paris, Hermann, 2008.

¹⁷ Jean Massion et François Clarac. « Jacques Paillard, son œuvre et son rayonnement scientifique », in *Essor des Neurosciences, France 1945-1975*, Claude Debru, Jean-Gaël Barbara, Céline Cherici, éds. Paris, Hermann, 2008.

¹⁸ Jean-Gaël Barbara. « La neurophysiologie à la française : Alfred Fessard et le renouveau d'une discipline », *Revue pour l'histoire du CNRS*, N°19, Printemps 2008.

L'histoire complexe des rapports entre l'anatomie et la physiologie dès le XVI^e siècle contient également de très nombreux cas d'études pluridisciplinaires conçues comme des tentatives particulières et locales pour appréhender un même objet par son aspect ou l'une de ses propriétés physiologiques. La contractilité du muscle d'Albrecht von Haller et la réaction à la flamme d'une bougie des membranes décrites par Xavier Bichat sont des essais pour rassembler ces deux approches, plébiscités dans le *Cours de Philosophie Positive* d'Auguste Comte. Mais cette pluridisciplinarité n'est jamais sereine, et réellement symétrique entre les deux disciplines en interaction ; elle est toujours la revendication de ne pas négliger le domaine d'autorité¹⁹ de l'auteur en y annexant l'autre domaine distant. Gall crée sa physiologie cérébrale basée sur une minutieuse anatomie, tandis que Magendie conçoit de manière toute différente sa physiologie expérimentale, amenant son élève Claude Bernard à l'abandon du principe galénique de déduction anatomique²⁰. Mais dans tous les cas, ce manque de représentation comblé par l'annexion minimaliste des méthodes d'une autre discipline est à la fois un premier pas dans la constitution d'un objet par objectivation multiple, et une tentative vaine de création d'un nouveau champ scientifique.

Cette dimension de l'objet mi-anatomique, mi-physiologique, mais non réellement constitué par *articulation* des modes d'objectivation différents, est celle du neurone au cours de la période 1891-1930. Le neurone demeure en réalité l'objet particulier d'une seule discipline, l'histologie. Une discipline, commente ainsi Pierre Bourdieu, « définie par un *nomos* particulier, un principe de vision et de division, un principe de construction de la réalité objective irréductible à celui d'une autre discipline – selon la formule de Saussure : « le point de vue crée l'objet » [...] »²¹ Avant la constitution de la *neurophysiologie* par les programmes de recherche d'Edgar Adrian et Charles Sherrington, les Prix Nobel de physiologie ou médecine de 1932, tous les manuels d'enseignement présentent le *neurone* comme un concept cellulaire d'histologie microscopique. Puis, dans l'ordre des présentations, on lui rapporte alors toutes les propriétés découvertes sur des nerfs vivants isolés dont le célèbre paradigme est le nerf sciatique de grenouille. Cette pluridisciplinarité attendue de l'étudiant excitant le nerf de grenouille et dessinant la silhouette noire d'une arborisation neuronique ne fait que susciter de multiples problèmes qui ne seront résolus qu'un demi-siècle plus tard. Les neurones partagent-ils les propriétés des nerfs ou ont-ils des propriétés spécifiques ?²²

L'amitié, la rencontre et les discussions théoriques de Cajal et Sherrington permettent de comprendre le passage de cette pluridisciplinarité entre l'anatomie et la physiologie du neurone à une première forme de *multidisciplinarité*. Cette interaction disciplinaire des dernières années du XIX^e siècle apparaît comme un rapport relativement symétrique entre les deux hommes et leurs disciplines en présence, ce qui fut l'une des conditions essentielles de sa transformation ultérieure en une interdisciplinarité féconde. Cajal était parvenu à une connaissance anatomique suffisamment précise de la structure de certains réseaux neuroniques pour émettre des hypothèses physiologiques sur le sens de propagation de l'influx nerveux dans les neurones, depuis l'axone de certains neurones aux dendrites de certains autres, puis dans l'axone de ces derniers. Une conséquence physiologique possible de cette vue était que la propagation de l'influx devait être *polarisée* dans le neurone. La connaissance d'un certain domaine (ici l'anatomie) peut donc engendrer une hypothèse dans

¹⁹ Pour le concept d'autorité scientifique, voir Pierre Bourdieu. « Le champ scientifique et les conditions sociales du progrès de la raison », *Sociologie et sociétés*, 1975, 7(1), 91-117.

²⁰ Jean-Gaël Barbara. « Auguste Comte et la physiologie cérébrale de son temps ». Conférence prononcée à la journée « Physiologie et psychologie au temps d'Auguste Comte », le 27 mars 2009, Collège de France, organisée par Laurent Clauzade et Vincent Guillin.

²¹ Pierre Bourdieu, *Science de la science et réflexivité*, Paris, Raison d'agir, 2001, p. 103.

²² Cette question constitue la problématique générale de la physiologie nerveuse et de la neurophysiologie des années 1910 aux années 1950.

un autre (la physiologie). Ce qui permet de mettre l'hypothèse à l'épreuve par un autre mode d'objectivation que celui de sa conception initiale. Un même concept devient dans ce cas l'objet de deux disciplines, comme cela fut le cas pour la « polarisation dynamique » du neurone.

De son côté, en tant qu'ancien anatomopathologiste, Sherrington connaissait les techniques élémentaires de l'histologie. Il avait pour le concept de neurone un intérêt que la plupart des physiologistes ne partageaient pas. Son amitié pour Cajal et la connaissance de ses travaux l'amena à reprendre des expériences classiques de physiologie sur des cas de conduction nerveuse inverse pour tester la « polarisation dynamique » des nerfs. Il put ainsi démontrer une conduction *antidrome* (inverse) et réfuter l'idée d'une polarisation de l'influx dans les fibres nerveuses constitutives des nerfs, et constituant l'axone des neurones. Il réfutait ainsi la conception selon laquelle la polarisation dynamique du neurone était due à une propriété de son axone²³. La conception de l'histologiste espagnol était attaquée et Cajal aurait pu répliquer que cette polarisation était en fait due à une propriété des dendrites ou du soma neuronique. Mais, jugeant plus prudent d'accepter la propriété de conduction à double sens dans tout l'espace du neurone²⁴, il adopta le point de vue de Sherrington, à savoir que la « polarisation dynamique » était une propriété de la zone de contact entre les neurones, la *synapse*, un concept de physiologie fonctionnelle créé au même moment par Sherrington, que Cajal adopta prudemment, mais sans réserve, en préférant tout de même utiliser le terme d'« articulation »²⁵.

Avec ce concept de *synapse*, l'anatomie et la physiologie du système nerveux conçoivent ensemble un nouvel objet qui n'est pas seulement mi-anatomique et mi-physiologique, mais réellement *anatomophysiologique*, puisque la synapse, ce n'est pas seulement un bouton synaptique (une structure ayant l'aspect d'un renflement nerveux), ni simplement une convention du passage intercellulaire de l'influx nerveux, mais bien *les deux à la fois*. La synapse est un concept co-constitué par deux modes d'objectivation et le premier résultat d'une nouvelle équation où l'addition de deux disciplines crée un troisième terme. Le rationalisme du concept de synapse saisit les limites de chacune de ses modalités de constitution et requiert de penser physiologiquement une structure anatomique, mais de manière concertée entre l'objectivation anatomique des préparations microscopiques et l'objectivation physiologique des réflexes par des expériences de vivisection.

La généralisation de cette approche à l'étude des réflexes chez le chien réalisée par l'école de Sherrington est la première voie du développement d'une *neurophysiologie* comme un champ interdisciplinaire autonome, nouveau et amené à remplacer tout un pan de la physiologie nerveuse des réflexes. Ce remplacement partiel est dû à l'explication des propriétés des réflexes et de leurs principes d'organisation dans l'animal par des interactions entre nerfs, localisées dans le corps cellulaire des motoneurones de la moelle épinière. Cette dimension théorique demeura très spéculative pendant les premières décennies d'élaboration de cette discipline (années 1930-1940). Mais elle fut unanimement adoptée lorsque les concepts imaginés relevant des mécanismes internes du neurone purent être objectivés par des mesures directes au cours des années 1950, par les élèves de Sherrington, dont John Eccles, Prix Nobel de physiologie ou médecine en 1963.

Un autre exemple d'interdisciplinarité particulièrement saisissant fut la constitution du concept de *vésicule synaptique* lorsqu'on reconnut au cours des années 1950 que les structures

²³ Charles Sherrington. Double (Antidrome) Conduction in the Central Nervous System. *Proc Roy Soc Lond*, 1897, 61, 243-246. Voir pour l'analyse, Jean-Gaël Barbara, *La naissance du neurone*, Paris, Vrin, à paraître.

²⁴ Ceci est implicite chez Cajal. Ce jugement ne fut généralement pas accepté par les physiologistes du XX^e siècle. Pour ce qui est de la conduction inverse dans les dendrites, elle ne fut découverte que dans les années 1990 par le groupe du Prix Nobel Bert Sakmann.

²⁵ *Ibid.*

rondes des clichés de microscopie électronique étaient *homologues* des structures isolées par ultracentrifugation contenant le neurotransmetteur, mais aussi des potentiels miniatures de la plaque motrice d'amplitude discrète (théorie quantique de la neurotransmission). Tous ces faits furent réunis dans le cadre interdisciplinaire de la théorie chimique de la neurotransmission, mais plus encore par le jeu de l'interdisciplinarité – avec le concept central d'*homologie* – lorsqu'on comprit que la neurotransmission était réalisée par libération de quantités discrètes de neurotransmetteur à partir de vésicules synaptiques en créant sur la membrane post-synaptique un potentiel, dont l'unité est le courant porté par l'ouverture des canaux-récepteurs au neurotransmetteur à l'ouverture d'une seule vésicule synaptique.

La constitution de nouveaux *objets scientifiques* est l'activité élémentaire de l'interdisciplinarité par l'articulation de modes d'objectivation différents. Dans le cas de la constitution du *neurone* comme objet scientifique²⁶, l'interdisciplinarité n'aboutit à une transdisciplinarité qu'au moment où le concept de neurone réalise une sorte de recréation de sa discipline d'origine, ce que nous avons illustré par le terme de *paradigme neuronal*²⁷. Alors que l'objet central de la physiologie nerveuse fut le nerf et sa fibre nerveuse élémentaire, la neurophysiologie des années 1930-1940 n'explique plus les réflexes, les sensations, le mouvement volontaire et les activités cérébrales par différentes propriétés nerveuses réelles ou imaginées, mais par des propriétés intrinsèques de neurones et de réseaux neuroniques. Le terme de paradigme neuronal décrit ce grand bouleversement dans la physiologie du système nerveux depuis 1930 et les dernières décennies du XX^e siècle, lorsque le neurone se place désormais au-devant de la scène dans les modèles et dans toute explication fonctionnelle du système nerveux par l'essor de la neurophysiologie, puis par la synthèse disciplinaire des neurosciences.

La transdisciplinarité de la neurophysiologie, puis celle des neurosciences entières, constituent une posture intellectuelle, un cadre d'étude précis qui recouvre la définition de transdisciplinarité de Jean Piaget. Il ne s'agit plus d'interactions disciplinaires locales ou polarisées, mais la constitution d'une rationalité propre qui circule dans tous les champs antécédents du savoir. Cette transdisciplinarité s'est manifestée en France par l'émergence de foyers interdisciplinaires, souvent importés des Etats-Unis, qui ont donné lieu autour des premières années de la décennie 1970, à la création de nouveaux laboratoires par de jeunes chercheurs en neuropharmacologie, en neurobiologie ou encore en neurochimie.

A l'aube du XXI^e siècle, le nouveau cadre transdisciplinaire des sciences cognitives amène progressivement à un changement du cadre conceptuel classique des neurosciences par un retour à une conception des années 1940, dans laquelle on privilégiait les propriétés de réseaux neuroniques plutôt que les propriétés intrinsèques de neurones et les propriétés de paires de neurones²⁸. Ce nouveau cadre conceptuel plus vaste encore que celui des neurosciences suscite une nouvelle synthèse en redéfinissant les mécanismes cérébraux par le jeu de réseaux complexes par convergence des données électrophysiologiques et d'imagerie cérébrale.

Il ressort de l'étude des interactions disciplinaires au sein des neurosciences que leur moteur se situe à l'échelle de quelques chercheurs, lorsque leurs modes d'objectivation parviennent à dialoguer et à créer ensemble le germe d'une nouvelle rationalité. Ce caractère de l'hybridation disciplinaire requiert une ouverture intellectuelle et des pratiques locales particulières à certains savants ou certains laboratoires seulement. Mais le résultat obtenu est généralisable, car, selon la perspective de Pierre Bourdieu, « un savant est un champ scientifique fait homme, dont les structures cognitives sont homologues de la structure du

²⁶ *Ibid.*

²⁷ Jean-Gaël Barbara. *Le paradigme neuronal*, Paris, Hermann, à paraître.

²⁸ Richard Miles, Jean-Christophe Poncer. Paired recordings from neurones. *Curr Opin Neurobiol.*, 1996, 6, 387-394.

champ et, de ce fait, constamment ajustées aux attentes inscrites dans ce champ. »²⁹ Le premier produit obtenu peut n'être qu'un simple concept ou la première ébauche d'un objet scientifique, placé au cœur de l'interaction disciplinaire. Son statut mixte nécessite un cadre pluridisciplinaire antérieur, le sentiment d'une lacune dans les représentations du monde. Mais ce cadre ne suffit pas, puisque la juxtaposition des descriptions disciplinaires ne fait que créer en creux la complexité du concept en quête d'objectivation. Une fois le concept ou l'objet établi consubstantiellement à la croisée des disciplines par l'entrecroisement de leurs modes de constitution, le champ est libre pour forger un cadre transdisciplinaire qui n'existe pas concrètement et ne devient véritablement heuristique que lorsque les concepts et les objets sur lesquels il repose parviennent à reformuler les questions des cadres précédents en en proposant d'autres. Il n'y a plus de révolutions des cadres transdisciplinaires que de révolutions scientifiques ou de successions de paradigmes disjoints dans les sciences biologiques ; tout est question de reformulation, de transfert d'autorité entre un domaine qui englobe le plus souvent une large partie du précédent.

Ce schéma des interactions disciplinaires peut donner lieu à une lecture du projet de réforme de l'organisation de la recherche française par François Jacob, Philippe Kourilsky, Jean-Marie Lehn, Pierre-Louis Lions, dans leur article « Donner un nouvel essor à la recherche française », paru dans *Le Monde*, le 10 mars 2004. Proposer que le campus universitaire soit plus autonome, plus dynamique, plus centré sur l'excellence de ses équipes de recherche, en partie par une meilleure gestion locale de ses personnels d'enseignement et de recherche, fait du campus un lieu *possible* de transdisciplinarité. Ou plutôt un lieu d'une *possible transdisciplinarité*, tant les restructurations ainsi permises, dont on attend qu'elles facilitent l'obtention de grands équipements et qu'elles suscitent des transferts de connaissances techniques et des collaborations scientifiques, ne sont que l'une des conditions matérielles et locales de la réalisation d'interactions scientifiques de nature interdisciplinaire. Il y a confusion entre les possibilités d'interdisciplinarité locales et la constitution internationale de cadres transdisciplinaires émergents, novateurs et heuristiques.

L'interdisciplinarité effective est une alchimie non contrôlée dont émerge un concept ou un objet scientifique par une reconnaissance *distante* d'homologies non prévisibles entre des concepts et des objets constitués chacun par des modes de constitution particuliers. Qui parierait que de tels concepts et objets scientifiques puissent être créés *localement*, à l'intérieur d'un même campus universitaire ? Lorsque Whittaker isole des structures ayant des vitesses de sédimentation plus importantes que celle prévue pour les vésicules synaptiques (parce qu'il avait en réalité isolé des boutons présynaptiques, des synaptosomes contenant des vésicules), c'est le spécialiste de microscopie électronique des synapses corticales George Gray qui fait comprendre à Whittaker qu'il a isolé des « *pinched-off nerve endings* », contenant des vésicules identiques à celles que Gray visualise quotidiennement sur ses clichés de microscopie électronique³⁰. Pour des domaines avancés en voie de constitution, chacun sait que l'interdisciplinarité effective n'a des chances réelles de se produire qu'avec des équipes de recherche décelées à l'échelle internationale.

Ainsi, l'université peut donner des moyens matériels d'interactions interdisciplinaires entre équipes de recherche, mais elle peut également agir en amont sur la formation des étudiants. Car garantir l'interdisciplinarité en privilégiant la transdisciplinarité de manière institutionnelle ne peut réellement fonctionner que de deux façons. D'une part, par la formation et la création de masters pluridisciplinaires à l'initiative d'enseignants-chercheurs innovants, comme l'ont été de nombreux DEA, tels ceux de Jacques Paillard (Université de Marseille), Pierre Buser (Université Pierre et Marie Curie) ou Vincent Bloch (Université de Lille, Université d'Orsay). D'autre part, par une transdisciplinarité suscitée, hors du cadre trop

²⁹ Pierre Bourdieu, *op. cit.*, 2001, p. 84.

³⁰ Jean-Gaël Barbara, *La naissance du neurone*, Paris, Vrin, à paraître.

local du campus universitaire, par le financement et le soutien de programmes nationaux par l'entremise des organismes de recherche, sélectionnant des équipes selon leur niveau d'excellence, par des experts choisis dans un domaine en voie de constitution. De tels programmes garantissent ainsi des moyens pour une évolution rapide des recherches dans des ensembles de domaines ciblés en voie d'émergence. Il va sans dire que ce type de sélection est sans comparaison possible avec une évaluation centralisée, basée sur des critères bibliométriques objectifs, semblant légitimer le choix d'experts qui ne sont pas toujours dans les domaines de compétence réelle des équipes évaluées. D'ailleurs comment des évaluateurs pourraient-ils juger le travail de toutes les équipes d'instituts pluridisciplinaires de taille croissante ou à une échelle nationale ? Il y a dans ce système une contradiction interne. Qu'on veuille noter l'excellence des équipes par le niveau de publication est une chose qu'on peut défendre si le seuil d'excellence ne rend pas la césure inéquitable en l'absence d'une expertise appropriée. Mais favoriser l'interdisciplinarité et son rôle dynamique dans l'hybridation des approches et la création de nouveaux champs de recherche, avant que ces efforts ne soient récompensés par l'excellence des niveaux de publication, est un jeu délicat qu'ont pourtant bien réussi les anciens programmes comme, par exemple, l'Action Concertée Incitative « Dynamique du Neurone » (DGRST) présidée par Jean-Pierre Changeux (1977-1983). D'autre part, l'interdisciplinarité peut et doit être favorisée par la création de nouveaux laboratoires par des politiques locales dans des environnements transdisciplinaires avec la collaboration des organismes de recherche, dont l'action de prospective s'est montrée essentielle par le passé. Citons par exemple l'installation, non sans difficulté, du laboratoire de neurobiologie créé par Philippe Ascher à l'École normale supérieure au tout début des années 1970. Le soutien de disciplines naissantes encore peu structurées, ou n'ayant pas toujours un appui suffisant, requiert une politique scientifique locale et globale et non pas seulement une évaluation insuffisamment adaptés à la spécialisation croissante des équipes.

En conclusion, la transdisciplinarité est souvent un cadre de pensée en voie de constitution, l'objet légitimant une politique de recherche ou un projet non réellement effectif qui s'appuie néanmoins sur les expériences réussies de certains laboratoires pionniers. Ces lieux d'émergence transdisciplinaire reposent sur des réalisations interdisciplinaires et souvent sur des possibilités d'interactions entre projets de recherche dans des sites circonscrits disposant de moyens suffisants pour développer des programmes de recherche pluridisciplinaires. Car le moteur de la transdisciplinarité est l'interaction interdisciplinaire anticipée et locale, ou distante entre équipes de recherche travaillant de manière subtilement complémentaire.

Si les neurosciences peuvent être également considérées comme transdisciplinaires par la richesse et la multiplicité de leurs interactions avec les sciences humaines, la constitution de cadres théoriques larges, comme ceux concernant par exemple l'étude de la conscience, relève le plus souvent d'une quête de transdisciplinarité, plutôt que de réelles interactions disciplinaires. L'une des collaborations de ce type a été celle qui a réuni durablement Pierre Jacob et Marc Jeanneord. Pierre Jacob annonce que « lorsque deux disciplines scientifiques constituées donnent naissance à une nouvelle discipline, ce processus peut être qualifié d'interdisciplinarité forte », avant de conclure : « Marc et moi n'avons jamais pratiqué l'interdisciplinarité forte : nous n'avons jamais conçu ni réalisé ensemble une expérience scientifique originale. »³¹ D'autre part, lorsque Lionel Naccache évalue les concepts de Freud à la lumière des données de l'imagerie cérébrale, toute comparaison multidisciplinaire montre par ses limites l'impossibilité d'une réelle interdisciplinarité³². De façon similaire, les travaux

³¹ Pierre Jacob. « Les réflexions d'un philosophe sur ses interactions avec un spécialiste des neurosciences ». Conférence au colloque *Repenser l'interdisciplinarité*, <http://www.interdisciplines.org/interdisciplinarity>.

³² Lionel Naccache. *Le Nouvel Inconscient. Freud, Christophe Colomb des neurosciences*. Paris, Odile Jacob, 2006.

de Jean-Pierre Changeux demeurent théoriques, spéculatifs et programmatiques en présentant une transdisciplinarité en attente d'un réel moteur interdisciplinaire, espéré pourtant par tous, avec l'avancée des neurosciences cognitives par l'imagerie cérébrale.

Dans des cadres plus limités, à l'intérieur des neurosciences et des neurosciences cognitives, une dynamique créatrice est possible par le couple « transdisciplinarité – interdisciplinarité », garantie par les deux éléments définis par Pierre Bourdieu³³ : (1) son autonomie et (2) « l'un des principes de la spécificité du champ scientifique résidant dans le fait que les concurrents ne peuvent pas se contenter de se *distinguer* de leurs devanciers déjà reconnus, mais sont contraints sous peine d'être dépassés et « déclassés », d'intégrer leurs acquis dans la construction distincte et distinctive qui les dépasse. »³⁴ Les politiques de recherche devraient avoir une vision aussi optimiste que celle-ci de la dynamique évolutive interne de la science, même si la confiance n'était accordée aux équipes de recherche qu'au delà d'un seuil d'excellence défini, à condition qu'un tel contrôle négatif soit contrebalancé par une évaluation positive récompensant et favorisant les nouveaux champs de recherche par la mise en place de comités d'experts qui y seraient déjà engagés avec succès.

La clarification de la transdisciplinarité dans le complexe disciplinaire des neurosciences met en avant une transdisciplinarité *effective* telle qu'elle peut être pratiquée par des réalisations interdisciplinaires concrètes. De même que les nouvelles appréciations de la nature des théories scientifiques s'éloignant de modèles purement syntactiques et logico-empiriques en considérant les pratiques de la création théorique³⁵, le concept de transdisciplinarité ne doit plus être seulement considéré comme un cadre purement *formel*. Les politiques de recherche doivent créer les conditions d'existence de la transdisciplinarité et mettre en place des rétrocontrôles positifs garantissant des effets d'entraînement riches, enthousiasmants, innovants et productifs. Mais qu'attend-on de tout cela ? Pierre Bourdieu le reformule d'une manière magistrale, dans la page finale de son dernier cours au Collège de France, par la métaphore du Dieu « géométral de toutes perspectives » de Leibniz comme « le lieu où s'intègrent et se réconcilient tous les points de vue partiels, le point de vue absolu depuis lequel le monde se donne en spectacle, un spectacle unifié et unitaire, la vue sans point de vue, *view from nowhere* et *from everywhere* d'un Dieu sans lieu, qui est à la fois partout et nulle part. Mais ce « géométral de toutes les perspectives » n'est autre que le champ [scientifique] [...] »³⁶ Car l'intégration transdisciplinaire est le réel moteur de la science, le principe de la dynamique des disciplines et le créateur des nouveaux objets scientifiques.

³³ Pierre Bourdieu, 1975, *op. cit.*

³⁴ *Ibid.*, p. 95.

³⁵ Voir la thèse de Marion Vorms, « Théories, modes d'emploi. Une perspective cognitive sur l'activité dans les sciences empiriques », soutenue le 5 décembre 2009.

³⁶ Pierre Bourdieu, 2001, *op. cit.*, p. 222.