Critique, 767, 329-338, 2011.

L'origine neurogéométrique de la géométrie

Jean Petitot
Neurogéométrie de la vision
Modèles mathématiques et physiques des architectures fonctionnelles

Paris, Les Éditions de l'École polytechnique, 2008, 419 p.

« Pour la philosophie qui vient, écrit Walter Benjamin, il est de la plus haute importance de distinguer et de séparer les éléments de la pensée kantienne qui doivent être assumés et entretenus, ceux qui doivent être remaniés et ceux qui doivent être rejetés[1]. » L'ouvrage de Jean Petitot, *Neurogéométrie de la vision. Modèles mathématiques et physiques des architectures fonctionnelles*, permet de décliner une telle évaluation selon la clé fournie par une des thèses majeures qui ouvre la première critique kantienne, à savoir la thèse de l'idéalité transcendantale de l'espace, de son caractère à la fois non réel (idéal) et constitutif de toute objectivité (« transcendantal » renvoyant ici aux conditions de possibilité de l'expérience). L'objectif de Petitot est en effet d'entériner le bien fondé de la thèse kantienne du caractère synthétique *a priori* de l'espace au moyen d'une modélisation (géométrique comme on le verra) des mécanismes neurologiques permettant de constituer, à partir du flux lumineux qui impressionne la rétine, les représentations visuelles d'un monde objectif, transcendant le champ de la conscience. Ce faisant, Petitot projette un problème généralement qualifié de philosophique sur un programme de recherche strictement scien-

1. W. Benjamin, *Sur le programme de la philosophie qui vient*, trad. M. de Gandillac, P. Rusch et R. Rochlitz, *Œuvres I*, Paris, Gallimard, coll. « Folio essais », 2000, p. 182.

tifique. Cette projection lui permet de mettre au service de la problématique transcendantale découverte par Kant la puissance technique et conceptuelle – ainsi que la rigueur formelle – des sciences de la nature. Cette entreprise incorpore notamment : 1) un vaste corpus de données expérimentales fournies par les neurosciences et la neuro-imagerie ; 2) des méthodes de formalisation physique et mathématique.

De l'idéalité transcendantale de l'espace...

Avant même de discuter cette modélisation, on peut s'interroger sur la pertinence d'un projet qui vise à asseoir la validité d'une thèse, celle de l'idéalité transcendantale de l'espace, que le développement de la physique semble avoir mis en question depuis près d'un siècle. Selon Kant en effet, l'espace externe, loin d'être fourni *a posteriori* par une expérience empirique, ne serait qu'une des formes pures *a priori* de la réceptivité sensible : on ne pourrait faire l'expérience des objets de la nature qu'en les immergeant « préalablement » dans un cadre géométrique « projeté » en quelque sorte par le sujet de l'expérience, cadre permettant de coordonner le divers de la sensation selon un ordre spatial de coexistences. En d'autres termes, ce n'est pas nous qui serions *là* dans l'espace, mais l'espace qui serait « en » nous. On comprend en quel sens cette hypothétique idéalité transcendantale de l'espace brouille la différence cartésienne entre qualités premières et qualités secondes : même les propriétés des objets de la perception qui relèvent de l'étendue, loin de pouvoir être attribuées à ce que Kant appelle la « chose en soi », résultent de l'articulation coordinatrice du sujet de l'expérience confronté au divers empirique fourni par la sensibilité. La croyance en l'existence d'une transcendance spatiale indépendante du sujet percevant ne serait ainsi qu'une extrapolation injustifiée de l'attitude naturelle précritique. C'est d'ailleurs une des vertus de la méthode transcendantale que de nous forcer à suspendre l'hypostase naturalisante de l'activité de coordination spatiale pour déplacer notre attention vers les opérations qui effectuent la « mise en espace » de l'expérience phénoménale.

Loin d'être une simple extravagance philosophique, la thèse kantienne sur l'idéalité transcendantale de l'espace

visait à justifier un aspect potentiellement problématique de la physique newtonienne, à savoir la nécessité de présupposer un « contenant » spatio-temporel « absolu » comme cadre cinématique fixe pour le déroulement des phénomènes naturels. Or, on sait aujourd'hui qu'une telle conception de l'espace-temps, loin d'exiger une « fondation » philosophique (comme le croyait Kant), était en réalité liée à une véritable insuffisance de la physique newtonienne, insuffisance qui devait être résolue au sein de la physique elle-même. C'est en effet la théorie générale de la relativité d'Einstein qui a finalement permis, dans le sillage du relationnisme leibnizien et de la critique de la mécanique newtonienne effectuée par Mach, de remplacer (au moins partiellement) le cadre géométrique apriorique de la mécanique classique par un nouveau système physique, le champ « *inertio-gravitationnel* ». On serait donc tenté de dire, en première approximation, que la tentative kantienne de résoudre les problèmes soulevés par la physique newtonienne au moyen d'une « subjectivisation » transcendantale de l'espace-temps a été invalidée par la « physicalisation » einsteinienne de ce dernier.

Quelle pourrait donc être aujourd'hui, au-delà de son importance historique, l'actualité de la thèse qui réaffirme l'idéalité transcendantale de l'espace ? Afin de répondre, il faut tenir compte du fait que, par définition, le questionnement transcendantal, loin d'avoir comme objectif de comprendre l'ordre rationnel intrinsèque de la nature « en soi », ne vise qu'à étudier les conditions aprioriques de l'expérience humaine[2]. Sauf à confondre l'idéalisme transcendantal avec un idéalisme ontologique, la constitution transcendantale est une constitution de l'expérience humaine de la nature, et non pas de la nature en tant que telle. Or une des premières choses que l'on peut dire sur la structure de notre expérience empirique est que, indépendamment de la structure ultime de l'espace-temps physique, elle est de fait ordonnée selon un

2. Une telle différentiation ouvre un problème crucial pour l'avenir de la philosophie transcendantale, celui de savoir dans quelle mesure la réflexion transcendantale implique nécessairement la forme particulière d'« idéalisme épistémologique » que lui associe Kant, et qui constitue un des motifs du thème de la « finitude ».

ordre spatial de coexistences et un ordre temporel de succession. Autrement dit, les corrélats intentionnels des vécus perceptifs immanents apparaissent comme des unités objectives « transcendantes » : 1) placées dans un espace « externe », euclidien et tridimensionnel et 2) évoluant le long d'une dimension temporelle unidimensionnelle et irréversible. La méthode transcendantale appliquée à l'étude de la perception visuelle formule d'abord une exigence : celle de suspendre l'hypostase naturalisante de cette activité de coordination géométrique – et l'identification précritique qu'elle implique généralement entre l'espace-temps phénoménologique et une hypothétique étendue « en soi » – afin d'analyser les processus subjectifs immanents qui rendent possible la « mise en espace-temps » de l'expérience phénoménale.

... à la neurogéométrie

Une fois justifiée la légitimité du questionnement transcendantal à l'ère postnewtonienne, on peut aborder l'étude transcendantale de la perception visuelle et chercher à comprendre les processus « transcendantaux » qui permettent de constituer, à partir du flux temporel immanent des vécus subjectifs, les représentations d'un monde structuré selon un ordre spatial de coexistences. Petitot aborde ce problème de façon directe, en étudiant les processus neurophysiologiques qui opèrent les diverses médiations entre le flux lumineux impressionnant la rétine et les représentations spatiales que nous formons d'un monde transcendant, objectif et hautement structuré.

On sait que, schématiquement, les photorécepteurs de la rétine transforment les signaux lumineux en signaux électrochimiques (neurotransmetteurs), lesquels sont à leur tour convertis en signaux électriques circulant à travers les réseaux neuronaux. Dans le premier chapitre de son ouvrage, Petitot décrit de façon très minutieuse les opérations de filtrage du signal optique correspondant à ce premier niveau de formatage neurologique, au terme duquel les « entrées » lumineuses « sortent » sous forme de cascade de signaux électriques. Les fibres du nerf optique conduisent cette cascade vers la partie du cerveau chargée de traiter les informations visuelles, à savoir le cortex visuel. À partir de ce flux temporel de signaux

électriques, le cortex visuel « implémente » un deuxième formatage neurologique, lequel permet de (re)construire toute la richesse perceptive des représentations spatiales (images tridimensionnelles, colorées, en mouvement, etc.). En termes husserliens, on pourrait dire que les représentations spatiales « noématiques » résultent d'un formatage « noétique » effectué par le cortex visuel lorsque ce dernier agit sur la matière « hylétique » qu'est le flux des photons.

C'est à ce stade qu'intervient à strictement parler ce que Petitot appelle la « neurogéométrie ». Cette nouvelle discipline vise à modéliser les processus de constitution des représentations spatiales « implémentées » matériellement par le cortex visuel au moyen d'outils géométriques très sophistiqués (provenant notamment de la géométrie symplectique et de la géométrie sous-riemannienne). Étant donné que la transmission d'information entre la rétine et les couches corticales préserve la distribution spatiale sur la rétine, on peut établir une correspondance (nommée projection *rétinotopique*) entre chaque couche corticale et la surface de la rétine. La réponse des neurones tapissant chaque couche corticale dépend des caractéristiques géométriques des signaux lumineux reçus par la rétine, telles que l'orientation de l'objet perçu, la couleur, les directions de mouvement, etc.

Petitot restreint son analyse aux neurones sensibles à l'orientation, lesquels présentent la particularité de donner une réponse maximale lorsque le bord de l'objet perçu est aligné avec une certaine direction préférentielle, caractéristique du neurone considéré. Ce qui est ainsi décelé, finalement, est un ensemble d'*orientations locales*, ensemble associant une orientation spatiale particulière à chaque position rétinienne. Or, ces différentes orientations locales peuvent être interprétées comme les tangentes aux courbes qui décrivent les contours de l'objet perçu. Autrement dit, la détection d'une orientation pour chaque position rétinienne constitue un ensemble de données locales *dont l'intégration globale décrit potentiellement un contour*. Il devient ainsi possible de formaliser *more geometrico* la thèse, développée notamment dans le cadre de la psychologie gestaltiste de la perception, selon laquelle la perception d'objets résulte d'opérations qui permettent de passer du local au global, c'est-à-dire d'*intégrer* des données locales en des structures géométriques glo-

bales (bords, surfaces, formes, etc.). On peut donc dire que le caractère global des représentations spatiales des objets de l'expérience, loin d'être donné immédiatement, est en réalité *(re)constitué* par le cortex visuel. Or comment peut-on modéliser un tel passage du local au global ? Il se trouve que l'étude des structures formelles permettant de constituer des structures géométriques globales à partir d'une intégration cohérente de données locales infinitésimales est un sujet majeur de la géométrie moderne. L'idée directrice de l'ouvrage de Petitot est que certains outils mathématiques permettant d'intégrer globalement des données locales peuvent être utilisés pour modéliser les processus intégratifs propres aux processus neuronaux qui sous-tendent la perception visuelle.

Si la première tâche de la neurogéométrie est d'étudier les structures géométriques internes qui permettent de passer du local au global, la deuxième est de décrire comment une telle géométrie « immanente » est implémentée *matériellement* – voire neuronalement – dans ce que, dans les termes du métier, on appelle l'*architecture fonctionnelle*, c'est-à-dire l'organisation des connexions neuronales du cortex visuel. Cela signifie que la géométrie immanente qui permet d'effectuer l'intégration des traits géométriques locaux se trouve « neuronalement câblée » dans l'architecture fonctionnelle. En plus d'implémenter matériellement des opérations géométriques capables d'intégrer des bords locaux en bords globaux (intégration de contours), l'architecture fonctionnelle permet de « câbler » le principe gestaltiste de « bonne continuation », c'est-à-dire de compléter des données lacunaires en mobilisant des mécanismes intégratifs (contours illusoires). Comme l'explique Petitot, de la même façon que la révolution computationnelle a permis d'expliciter les opérations matérielles (*hardware*) qui sous-tendent les idéalités logiques, la neurogéométrie vise à rendre explicites les opérations neuronales qui sous-tendent les idéalités géométriques. On peut donc dire que la *géométrie immanente* implémentée neuronalement par l'architecture fonctionnelle modélise les opérations « transcendantales » qui permettent de constituer la *géométrie transcendante* de l'espace perceptif, c'est-à-dire de l'espace externe, tridimensionnel et euclidien.

Vers une naturalisation spéculative de la philosophie transcendantale

La légitimité de la projection « naturalisante » d'une question transcendantale sur un problème spécifiquement scientifique, en l'occurrence le passage du transcendantal au neuronal, est loin d'être évidente[3]. On pourrait en effet objecter qu'une telle démarche brouille la distinction fondatrice de la philosophie transcendantale entre l'empirique et le transcendantal. En d'autres termes, le sujet transcendantal constituant, en tant que condition de possibilité de la nature constituée, ne pourrait pas être identifié au sujet empirique étudié par les sciences de la nature (en l'occurrence les neurosciences). En termes husserliens, la conscience transcendantale ne pourrait pas être naturalisée[4]. Pourtant, une telle critique du projet de naturalisation de la philosophie transcendantale relève d'une extrapolation illégitime de la constitution transcendantale de l'expérience à une constitution ontologique de la réalité physique en tant que telle. En effet, si la nature n'était que le rêve d'un ego transcendantal, ce rêveur ne pourrait pas être légitimement identifié à son avatar onirique, c'est-à-dire au sujet empirique localisé au sein de la scène rêvée. Mais la nature ne se réduit pas à un rêve, et en oubliant la différence qui existe entre une constitution transcendantale de l'expérience phénoménale et une autoconstitution (que l'on pourrait appeler « immanentale ») de la nature en tant que telle, on se rend coupable d'une hypostase (littéralement) métaphysique du sujet constituant. Si l'on entend au contraire rester fidèle à la thèse selon laquelle ce qui est constitué par la structure transcendantale d'un sujet n'est pas la nature en tant que telle mais l'expérience objective qu'un tel sujet peut en faire, alors la thèse qui affirme la dépendance de toute expérience possible par rapport à la structure générique (voire transcendantale) du sujet de l'expérience est tout à fait compatible avec la naturalisation de ce sujet, c'est-à-dire avec la thèse selon laquelle ledit sujet

3. Voir J. Petitot, F. J. Varela, B. Pachoud et J.-M. Roy (éd.), *Naturaliser la phénoménologie. Essais sur la phénoménologie contemporaine et les sciences cognitives*, Paris, CNRS Éditions, 2002.

4. Voir E. Husserl, *La Philosophie comme science rigoureuse*, trad. M. B. de Launay, Paris, PUF, 1993.

est une entité naturelle parmi les autres, entité dont la structure transcendantale propre (physiologique, psychologique, linguistique, etc.) rend possible un type particulier d'expérience de la nature. En conséquence, l'étude des opérations de constitution de l'expérience humaine ne requiert pas de présupposer une coupure ontologique entre le *transcendantal* et l'*empirique*, c'est-à-dire entre un sujet constituant non naturel et une nature absolument constituée par un tel sujet. Il n'y a donc aucune obstruction *de jure* à concevoir que la structure transcendantale de l'être humain puisse être comprise comme le résultat d'une genèse naturelle. Comme l'affirme clairement Petitot, « les *a posteriori* de la phylogénèse sont les *a priori* de l'ontogénèse » (p. 396). De cette façon, la réactivation naturalisante de la problématique transcendantale exige de déployer le cercle vertueux selon lequel le sujet transcendantal constituant est à son tour une instance naturelle constituée.

Il vaut la peine de remarquer qu'une telle naturalisation du sujet transcendantal n'implique pas nécessairement un réductionnisme matérialiste éliminativiste, qui tiendrait que la conscience n'est qu'un épiphénomène complètement réductible à son infrastructure neuronale (voir à ce sujet le chapitre XII intitulé « Le problème de la conscience visuelle et la neurogéométrie[5] »). En effet, Petitot argumente de façon fort convaincante que le réductionnisme neuronal « est inséparable de concepts antiéliminativistes tels ceux d'*émergence*, de *supervenience* et de *fonctionnalisme* » (p. 365). C'est ainsi que le « réductionnisme causal », selon lequel le niveau macro est causalement réductible à des interactions complexes au niveau micro, doit être complété selon Petitot par un « émergentisme objectif », position selon laquelle les lois du niveau macro sont *objectives* (voire empiriquement fondées et mathématiquement formalisables), même si elles ne possèdent pas de contenu ontologique propre. En particulier, Petitot explique que l'existence d'un macro-niveau proprement géométrique ou morphologique (dont la modalisation constitue la tâche propre de la neurogéométrie) consti-

5. Voir aussi P. S. Churchland, *Brain-Wise. Studies in Neurophilosophy*, Cambridge (Mass.), MIT Press, 2002 ; T. Metzinger, *Being No One*, Cambridge (Mass.), MIT Press, 2003.

tue le « chaînon manquant » permettant d'interpoler entre le microniveau neurophysique d'une part et l'expérience visuelle *émergente* d'autre part.

Cette traversée naturalisante de la « bifurcation de la nature » (Whitehead) entre l'empirique et le transcendantal fait barrage aux tentatives d'utiliser une telle distinction pour définir la différence entre les sciences (empiriques) et la philosophie (transcendantale). Autrement dit, la continuité ontologique entre le sujet constituant (de son expérience) et la nature se redouble d'une continuité disciplinaire : la réflexion transcendantale sur les conditions de possibilité de l'expérience humaine, loin de relever d'un type de conceptualité strictement « philosophique », en surplomb discontinu par rapport aux sciences de la nature, doit devenir une prérogative de ces dernières. Or, si la réflexion transcendantale est une opération intrascientifique locale, elle ne peut pas être invoquée pour définir globalement les limites juridiques de la science elle-même. En d'autres termes, la réflexion transcendantale, au lieu d'être une « négativité abstraite » visant à établir dogmatiquement les limites prétendument infranchissables de la connaissance scientifique, doit être comprise comme une « négativité déterminée », c'est-à-dire comme une opération strictement intrascientifique au service d'un franchissement effectif des limites conjoncturelles de la recherche scientifique et d'une production positive de connaissances. De même que la révolution copernicienne a rendu possible le développement d'une astronomie scientifique rigoureuse, affranchie des limites associées à la méconnaissance de la position et de l'état de mouvement de la terre au sein de l'univers, une révolution copernicienne proprement transcendantale devrait rendre possible une progressive libération de la connaissance scientifique par rapport à l'anthropocentrisme transcendantal de la science précritique. Ainsi la récusation de l'*idéalisme ontologique via* la naturalisation de la philosophie transcendantale comporte une récusation concomitante de tout *idéalisme épistémologique*. En particulier, la mise en évidence du caractère constitué de nos représentations spatiales devrait nous permettre de délester les tentatives de comprendre la nature physique ultime de l'espace et du temps de toute extrapolation précritique sur la base de notre expérience visuelle.

Pourtant, au lieu d'aller jusqu'au bout d'une telle naturalisation de la philosophie transcendantale, Petitot préserve la thèse kantienne selon laquelle les sciences de la nature ne peuvent étudier, pour des raisons de droit, que les structures objectives de la phénoménalité[6]. Dans le cas de la perception visuelle, la thèse (correcte) selon laquelle le caractère global des représentations visuelles résulte d'une constitution neuro-transcendantale de l'expérience n'implique aucunement que ce qui est visé par une telle expérience ne possède pas de structure géométrique globale propre. Une naturalisation conséquente de la réflexion transcendantale exigerait qu'on se demande dans quelle mesure les percepts géométriques globaux, loin de relever d'une constitution neuronale agissant sur une matière hylético-photonique *dépourvue de toute consistance globale propre*, peuvent être pensés comme la *re*constitution, au niveau neuronal, d'une structure géométrique globale qui appartiendrait déjà en propre au corrélat visé par l'expérience visuelle en question, structure qui serait portée de façon latente par le flux lumineux qui impressionne la rétine. Tout compte fait, on pourrait dire que la virtuose, puissante et innovatrice démarche neuro-transcendantale de Petitot demeure en attente de son *Aufhebung* proprement spéculative.

Gabriel CATREN

6. Selon Petitot, « le principe de restriction aux observables interdit aux sciences tout contenu ontologique de ce type [*i.e.* « celui de l'être en soi d'une réalité qui serait indépendante de tout accès phénoménal et de toute connaissance »] » (p. 365) ; voir aussi J. Petitot, *La Philosophie transcendantale et le problème de l'objectivité*, Paris, Éd. Osiris, 1991. Or, la thèse selon laquelle la physique contemporaine, et notamment la mécanique quantique, aurait entériné la distinction transcendantale entre une phénoménalité objective observable et une nouménalité soustraite à l'emprise théorico-expérimentale est loin d'être évidente ; voir G. Catren, « Can Classical Description of Physical Reality Be Considered Complete ? », dans M. Bitbol, P. Kerszberg et J. Petitot (éd.), *Constituting Objectivity. Transcendental Perspectives of Modern Physics*, The Western Ontario Series in the Philosophy of Science, vol. 74, Berlin, Springer, 2009.