

La réduction, l'émergence, l'unité de la science et les niveaux de réalité

MAX KISTLER

1 – Introduction : unité des sciences, réduction et émergence

Nous faisons l'expérience d'un monde extrêmement varié. Le nombre de phénomènes naturels semble inépuisable. Toute cette diversité n'est-elle qu'apparence superficielle? Existe-t-il une unité profonde de la nature que la science est à même de nous révéler? Un coup d'œil sur l'organisation d'une institution de recherche scientifique suffit à montrer que la science elle-même n'est pas une, mais divisée en un grand nombre de matières et de départements. À la diversité et hétérogénéité des phénomènes semble donc correspondre la diversité des disciplines scientifiques. Toutefois, les rapports entre ces disciplines suggèrent que les phénomènes peuvent être structurés d'une manière approximativement hiérarchique. Il semble que les phénomènes étudiés par les différentes sciences soient ordonnés en une suite de niveaux. Dans une première approximation, on peut identifier un tel « niveau » avec un ensemble de phénomènes qui fait l'objet d'une science spécifique : les phénomènes étudiés par la sociologie occupent le niveau des faits sociaux, ceux qu'étudient la biologie et la médecine occupent le niveau des faits spécifiques aux êtres vivants. Pouvons-nous conclure que les entités du niveau sociologique sont des objets complexes dont les parties occupent un niveau inférieur? De manière analogue, sommes-nous justifiés de considérer que les molécules dont les êtres humains sont composés appartiennent à un niveau plus bas encore, et ainsi de suite jusqu'aux objets de la physique des particules élémentaires? Autrement dit, les rapports entre niveaux de réalité sont-ils simplement des rapports entre tous et parties?

Cette question nous conduit à l'un des grands problèmes de la philosophie des sciences : la multitude des sciences révèle-t-elle l'hétérogénéité objective et définitive des phénomènes, ou n'est-elle que provisoire, au sens où toutes les sciences apparaîtront tôt ou tard comme des branches spécialisées de la physique ? Il y a différentes raisons de penser que le découpage disciplinaire ne résulte que de la nécessité pratique de partager le travail de recherche, sans que la division entre différents champs de phénomènes soit imposée par la nature de ces phénomènes. Autrement dit, au prix d'un plus grand effort théorique, nous pourrions décider de fondre, par exemple, la chimie et la physique en une seule discipline. Dans l'hypothèse que ces deux sciences aient atteint le stade mûr d'une théorie axiomatisée, cela signifierait qu'il est en principe possible de déduire les énoncés qui jouent le rôle d'axiomes de la chimie, à partir des axiomes de la physique. Autrement dit, il serait en principe possible de considérer l'ensemble des connaissances physiques et chimiques comme un seul système théorique, dont les axiomes sont physiques. Il n'y aurait d'axiomes chimiques que relativement à notre découpage pragmatique des disciplines.

Les philosophes de l'empirisme logique du début du 20^e siècle s'appuyaient sur deux considérations pour justifier la thèse de l'unité des sciences que nous venons d'esquisser, selon laquelle le découpage disciplinaire n'obéit qu'à des considérations pragmatiques mais pourrait en principe être aboli. Du point de vue empiriste, la supériorité de la science sur toute autre manière d'obtenir des connaissances vient de son fondement dans l'observation. Tout énoncé empirique doit en dernière instance être justifié par l'observation. S'il ne porte pas directement sur un phénomène observable, cette justification est indirecte : prenons un énoncé E qui ne porte pas directement sur un phénomène observable, par exemple l'énoncé : « Dans cette chambre à bulles, un photon gamma vient de se transformer en un électron et un positron. » Nous avons des raisons de croire que E est vrai si (et seulement si) tous les énoncés qui découlent logiquement de E et qui portent sur des phénomènes observables¹ sont vrais. Autrement dit, pour savoir si un tel énoncé est vrai il faut tirer autant de conséquences logiques que possible qui portent sur des phénomènes observables, et ensuite contrôler l'adéquation de ces conséquences avec les observations correspondantes. Les empiristes logiques considéraient par ailleurs que l'observation n'était pas seule-

1. Dans les années 1920 et 1930, ces énoncés ont été appelés « énoncés protocolaires ». Cf. Barberousse, Kistler & Ludwig (2000 : chap. 1).

ment l'unique manière de *justifier* les énoncés portant sur le monde, mais que leur *contenu* objectif n'allait pas au-delà de ces observations. Ainsi l'ensemble d'énoncés d'observation qui découlent d'un énoncé théorique E ne fournissent pas seulement l'ultime source de sa justification mais aussi son contenu objectif.

En quoi cette doctrine fournit-elle une raison de penser que la division entre les différentes disciplines scientifiques n'est que provisoire sur le plan théorique (même si elle peut être maintenue à long terme pour des raisons pragmatiques de partage de travail)? S'il n'y a qu'une seule base observationnelle qui est la même pour toutes les sciences, tous les énoncés scientifiques partagent un même contenu empirique, à savoir l'ensemble des observations, réellement faites ou seulement possibles. Les différentes sciences n'existent que parce qu'elles imposent des grilles conceptuelles différentes sur le même ensemble d'observations directes. Grâce à ses concepts propres, la chimie découvre des structures et des régularités dans les phénomènes qui n'apparaissent pas du point de vue de la physique au sens étroit. À moins de construire à l'intérieur de la physique l'ensemble des concepts chimiques, les régularités concernant l'acidité ou la vitesse de réaction sont « invisibles » du point de vue de la physique.

Selon la thèse de l'unité des sciences, cette invisibilité est la conséquence d'un choix pragmatique : pour limiter le nombre de types de phénomènes et de régularités qu'un groupe de scientifiques s'emploie à étudier, on décide d'ignorer certains domaines de phénomènes. Les physiciens choisissent ainsi d'ignorer l'ensemble des phénomènes et régularités concernant l'acidité, pour laisser son étude à la chimie en tant que science institutionnellement séparée de la physique. Cependant, dans le cadre de la conception vérificationniste de la signification, qui fournit l'arrière-plan et la justification principale de la thèse de l'unité des sciences pour les philosophes de l'empirisme logique, tous les concepts scientifiques – physiques, chimiques, biologiques ou autres – dérivent leur signification en dernière instance de l'observation, ou de phénomènes observables : la position de l'aiguille sur un instrument de mesure, le nombre d'événements enregistrés par un compteur, le changement de couleur d'une substance chimique, etc. En d'autres termes, les phénomènes directement observables constituent les composants ultimes de la signification du vocabulaire de toutes les sciences. En vertu de cette « unité commune de conversion », il est en principe possible d'exprimer la signification de n'importe quel énoncé empirique (c'est-à-dire qui

n'est ni analytique² ni contradictoire) en langage physique. La thèse de l'unité du domaine des données conduit donc à l'idée selon laquelle les différentes sciences étudient différentes régularités qu'elles se donnent les moyens de décrire grâce à différents systèmes conceptuels, bien qu'il s'agisse de régularités au sein du même ensemble de phénomènes.

Ces deux thèses – à savoir qu'il y a un ensemble unique de phénomènes qui constitue l'objet unique de toutes les sciences, et que tous les énoncés scientifiques sont exprimés dans un langage unique (ou sont au moins en principe traduisibles en un langage unique) – constituent ce qu'on pourrait appeler la thèse *minimale* de l'unité des sciences. Cette thèse n'est pas pour autant triviale : en effet, elle exclut la possibilité d'intégrer dans la science des domaines de la réalité qui ne font pas l'objet d'observations et qui n'ont pas d'influence sur des phénomènes observables, tel que Dieu, les âmes, ou l'élan vital des êtres vivants, tous inaccessibles à l'observation sensorielle. Néanmoins, elle n'est que minimale au sens où elle est neutre quant à la possibilité d'établir des liens déductifs directs entre les différentes disciplines scientifiques.

Le débat sur la réduction et l'émergence porte précisément sur cette possibilité. Réductionnistes et émergentistes s'accordent sur le physicalisme minimal que nous venons d'esquisser. Cependant, le réductionnisme soutient que la science possède une unité bien plus grande : selon le réductionnisme, pour n'importe quelle discipline scientifique en dehors de la physique fondamentale, l'ensemble des lois qu'elle découvre (les axiomes et donc aussi les théorèmes) peut en principe être explicitement déduit à partir de lois d'une science plus fondamentale. Les lois concernant l'apprentissage par conditionnement sont par exemple d'abord découvertes par la psychologie. Mais le réductionniste soutient qu'il est en principe possible de déduire ces lois à partir des principes théoriques d'une science plus fondamentale, en l'occurrence la neurophysiologie. Les régularités que l'on observe à l'égard des processus d'apprentissage dans les différentes espèces animales sont fondées sur des régularités dans des processus cérébraux qui sous-tendent l'apprentissage. Ces processus obéissent à des lois neurophysiologiques. Une réduction de la

2. Un énoncé analytique est vrai uniquement en vertu de sa forme logique et de la signification des termes qu'il contient. Aucune observation n'est requise pour juger que l'énoncé « Aucun célibataire n'est marié » ou l'énoncé « Tous les célibataires sont des célibataires » soient vrais. Le second est un exemple d'une tautologie, c'est-à-dire un énoncé qui est vrai en fonction de sa seule forme logique, alors que le premier est un énoncé analytique au sens plus large où il est vrai en fonction de sa forme logique et de la signification de termes dont il est composé.

psychologie de l'apprentissage consiste à établir un lien déductif qui permet de montrer que les lois de l'apprentissage sont des conséquences logiques des lois qui gouvernent les processus cérébraux.

Parmi les exemples classiques de réductions accomplies, mentionnons la réduction de la température à une fonction de l'énergie moyenne moléculaire, la réduction des gènes à des segments d'ADN³, et la réduction du concept d'éclair à celui d'une décharge d'énergie électrique. La question de la réductibilité a fait l'objet de controverses importantes dans l'histoire des sciences. L'hétérogénéité radicale du monde sublunaire et céleste était par exemple un dogme central de la conception aristotélicienne de la nature. Mais ce dogme a été abandonné lorsque Newton a montré comment il était possible d'expliquer les phénomènes des deux types dans un cadre commun. En ce sens, la physique newtonienne a eu pour conséquence de « réduire » les régularités sublunaires et célestes à une théorie plus large.

En revanche, le débat reste ouvert notamment à l'égard de la biologie et de la psychologie. Presque tous les biologistes sont aujourd'hui physicalistes au sens où ils considèrent que les êtres vivants sont composés uniquement de parties matérielles, et que les propriétés des êtres vivants sont exclusivement déterminées par les propriétés de leurs parties, de leur articulation et de leur relations mutuelles, ainsi que par leurs interactions avec l'environnement physique. Néanmoins, la thèse réductionniste selon laquelle les théories biologiques sont en principe réductibles à des théories de sciences plus fondamentales et en particulier à la physique et la chimie, est controversée.

Nous revenons dans un instant sur l'interprétation de la réduction en termes de déduction logique. Mais il est important de prévenir tout de suite un malentendu qui fausse souvent la réflexion sur la réduction : on exprime souvent la thèse selon laquelle un phénomène se réduit à un autre en disant que la propriété réduite *n'est rien d'autre* que la propriété réductrice. Par exemple, on dit couramment que les éclairs ne sont rien d'autre que des décharges d'énergie électrique, ou que les gènes ne sont rien d'autre que des parties de l'ADN. Cette expression mène assez natu-

3. À mesure que l'on découvre les détails du mécanisme extrêmement complexe de l'expression des gènes, il devient plus difficile de déterminer ce qui, parmi les molécules et processus qui contribuent à ce mécanisme, joue le rôle du gène et peut donc être identifié avec le gène. Les segments d'ADN jouent certes un rôle crucial dans ce mécanisme, mais il apparaît désormais comme une simplification abusive d'identifier un gène à un segment d'ADN. Cf. Morange (1998).

(Cf. ici, Bary, Heams, Laforge ; ainsi que Tendero (2006). *NdÉ.*)

rellement à l'idée que les éclairs ou les gènes n'existent pas vraiment en tant que tels, et que ce qu'on croyait à tort être des éclairs et des gènes est en réalité quelque chose d'autre, à savoir des décharges électriques et des segments d'ADN. Cette interprétation de la réduction comme élimination inspire sans doute une grande part des réticences contre la possibilité d'une réduction de la psychologie : si la réduction d'une capacité cognitive, par exemple de l'apprentissage, à la neurophysiologie signifiait qu'il n'y a pas vraiment d'apprentissage et que ce qui nous apparaît comme l'apprentissage est en réalité une certaine modification de nos neurones et synapses, le réductionnisme à l'égard de la psychologie pourrait nous paraître absurde. Nous croyons plus fermement à l'existence de l'apprentissage qu'aux théories neurophysiologiques. Après tout, les dernières ne sont que des hypothèses faillibles, alors que nous faisons l'expérience directe du fait que nous apprenons. Mais nous allons voir qu'il existe des conceptions de la réduction qui ne l'assimilent pas du tout à l'élimination et qui, au contraire, permettent de concevoir que la réduction d'un type de phénomènes soit compatible avec une certaine forme d'autonomie des phénomènes réduits.

L'émergentisme est la doctrine selon laquelle il existe des phénomènes, ainsi qu'éventuellement des lois portant sur ces phénomènes et même des sciences entières, qu'il est impossible de réduire à d'autres sciences. Un émergentiste à l'égard de la biologie peut par exemple soutenir que les êtres vivants ont des propriétés irréductibles, telles que la propriété de se reproduire ou de poursuivre des buts. Dire que ces propriétés sont émergentes ou irréductibles signifie qu'elles obéissent à des lois qui ne peuvent pas être déduites d'une science ne contenant pas les lois de la biologie. Admettons que les régularités de la reproduction ou du comportement intentionnel apparaissent dans une biologie axiomatisée comme des axiomes, ou comme des théorèmes déductibles d'axiomes biologiques. L'émergentiste soutient que cette situation est définitive, autrement dit qu'aucun progrès dans la compréhension de processus, par exemple physiologiques ou chimiques, qui ont lieu dans un être vivant ne peut déboucher sur la possibilité de déduire ces régularités sans aucun axiome biologique, uniquement à partir d'axiomes appartenant à d'autres sciences, telles que la chimie et la neurophysiologie.

Avant de revenir sur quelques aspects importants du débat entre avocats du réductionnisme et de l'émergentisme, nous pouvons déjà noter qu'il s'agit avant tout d'un débat *épistémologique* plutôt qu'*ontologique*. Le désaccord entre ces deux doctrines porte sur la possibilité d'obtenir les *connaissances* d'un domaine scientifique à partir des connaissances

appartenant à un autre domaine. Un réductionniste peut par exemple affirmer, et un émergentiste nier, que la neurophysiologie contient – quoi qu'en partie implicitement – toutes les connaissances psychologiques. Le réductionniste n'est pas pour autant obligé de nier l'utilité de la psychologie. En effet, il est bien connu qu'il peut être extrêmement difficile et exiger des compétences techniques extrêmement sophistiquées, de développer explicitement des conséquences qui sont implicitement contenues dans un ensemble donné de propositions. Personne ne prétendrait par exemple que la tâche des mathématiciens est triviale, sous prétexte qu'elle consiste à découvrir de nouvelles conséquences d'un ensemble donné d'axiomes.

Sur le plan *ontologique*, toutes les parties du débat acceptent le physicalisme : tous les objets sont exclusivement composés de parties physiques ; et toutes leurs propriétés sont exclusivement déterminées par les propriétés physiques de ces parties physiques, ainsi que par les relations entre ces parties. La thèse controversée de l'émergentisme est que cette détermination objective n'implique pas qu'il soit possible de déduire, par exemple, les régularités biologiques à partir d'une connaissance supposée complète des états de choses physiques. L'émergentiste soutient que, même si on connaissait l'ensemble des états de choses physiques concernant les parties physiques de tous les animaux, et des objets dans leur environnement avec lesquels ils interagissent, on ne pourrait pas déduire de ces états de choses et des lois physiques, les phénomènes biologiques et les régularités auxquelles ils obéissent⁴.

2 – Paradigmes de réduction

2.1 – Réduction nagelienne

La réduction est un concept qui doit permettre de comprendre le processus de l'unification des différentes sciences en un système cohérent. En réduisant un type de phénomènes, décrit par une science donnée, à un autre type de phénomènes, décrit par une autre science, on met en évidence un lien profond entre les deux sciences et leurs objets d'étude. Sans devoir trancher la question de savoir si ce processus est promis à

4. Dans cette section, j'ai exposé le concept traditionnel d'émergence qui tient, comme nous l'avons vu, la différence entre les propriétés réductibles et les propriétés émergentes, pour une différence *épistémique*. Plus loin, j'esquisserai un concept *ontologique* d'émergence qui permet d'envisager une propriété réductible (donc non émergente au sens épistémique) et néanmoins émergente au sens ontologique : une propriété P d'un système complexe est ontologiquement émergente si elle est qualitativement différente des propriétés des parties du système.

aboutir un jour, on peut déceler dans l'histoire des sciences des étapes d'une telle intégration.

Le débat contemporain sur la réduction prend son origine dans l'ouvrage d'Ernest Nagel, *The Structure of Science*, publié en 1961. Pour Nagel, l'explication est le but primordial de la science. La réduction est conçue comme une forme particulière d'explication.

La réduction au sens où le mot est employé ici, est l'explication d'une théorie ou d'un ensemble de lois expérimentales établies en un domaine de recherche, par une théorie qui a été formulée, d'habitude quoique non de manière invariable, pour un autre domaine (Nagel 1961 : 338).

Nagel distingue les réductions homogènes des réductions hétérogènes. Dans une réduction *homogène*, les *concepts* utilisés par la théorie réduite sont déjà présents dans la théorie réductrice. Newton a par exemple montré que l'on peut réduire des lois de Kepler du mouvement des planètes autour du Soleil à la théorie générale du mouvement, associée à la loi de l'interaction gravitationnelle. Selon Nagel, cette réduction qui est une « étape normale au cours du développement progressif d'une théorie scientifique » (*ibid.*), est « d'habitude considérée comme assez peu problématique ». Les phénomènes décrits par la théorie réduite et les phénomènes décrits par la théorie réductrice sont « qualitativement homogènes » (*ibid.* : 339) : la théorie képlérienne n'utilise aucun concept qui serait absent de la théorie newtonienne.

En revanche, on parle de réduction *hétérogène* lorsque la science réduite utilise des concepts qui sont absents de la science réductrice. La réduction de la thermodynamique à la mécanique statistique est souvent considérée comme une réduction paradigmatique. La thermodynamique est la science des phénomènes liés à la chaleur ; ses objets sont macroscopiques. Or, la thermodynamique contient nombre de concepts, tels que température, pression, ou entropie, qui sont absents de la physique statistique qui a pour objet les propriétés des parties microscopiques des gaz, liquides ou solides qui sont les objets de la thermodynamique : les atomes ou molécules.

La réduction consiste en une dérivation des principes de la thermodynamique à partir des principes de la mécanique à laquelle on associe des hypothèses statistiques. Cela est par exemple possible pour la loi de Boyle-Mariotte⁵, selon laquelle le produit de la pression d'un gaz et du volume qu'il occupe est proportionnel à sa température.

5. Nagel l'appelle « loi de Boyle-Charles ».

Voici une esquisse de la réduction de cette loi. On considère un gaz enfermé dans une volume V . On suppose ce gaz composé de molécules en très grand nombre, sphériques et parfaitement élastiques, et on suppose que le volume occupé par les molécules est négligeable par rapport au volume du gaz, autrement dit que le diamètre des molécules est négligeable par rapport à la distance moyenne entre les molécules. Un gaz qui satisfait ces suppositions approximativement – et qui obéira donc approximativement à la loi que l'on dérive dans ce cadre – est appelé un gaz « idéal ». On suppose ensuite que les molécules sont en mouvement permanent et que les seules forces qui s'exercent sur elles sont dues aux chocs entre molécules et aux chocs avec les parois du récipient. Par conséquent, le mouvement des molécules peut être expliqué par les lois de la mécanique.

On pose maintenant le problème de calculer la pression *macroscopique* exercée par les chocs *microscopiques* des molécules sur les parois. C'est ici qu'il est nécessaire d'introduire des hypothèses statistiques. On suppose que les vitesses et les positions des molécules sont distribuées de manière uniforme sur l'espace des vitesses et des positions possibles. L'état de chaque molécule est déterminé par sa position dans un espace abstrait appelé « espace de phase » qui a six dimensions : trois pour la position de la molécule et trois pour sa vitesse. On suppose cet espace de phase découpé en un très grand nombre de « cellules de phase », toutes de la même taille. Le volume de ces cellules doit être très petit par rapport à V mais grand par rapport au volume occupé par une molécule.

L'hypothèse statistique cruciale consiste à supposer que la probabilité qu'une molécule donnée occupe une cellule donnée est la même pour toutes les cellules, et que cette probabilité est indépendante de l'état des autres molécules. Grâce à cette hypothèse, jointe aux lois de la mécanique, on peut déduire que la pression macroscopique est une fonction de l'énergie cinétique moyenne des molécules E : $p = 2E/3V$.

Maintenant on *compare* cette relation avec la loi de Boyle-Mariotte : $pV = kT$ (k étant la constante Boltzmann).

Cette dernière loi a été établie sur le plan thermodynamique, sans aucun recours à des considérations microscopiques concernant les molécules composant les gaz. La comparaison de ces deux équations permet de conclure que la valeur numérique de la température T est identique à une fonction de l'énergie moléculaire moyenne : $2E/3k$.

Ce sont les réductions hétérogènes qui suscitent le soupçon de conduire à une élimination : le concept de température tient compte d'un phénomène qui est bien réel puisque nous pouvons en faire l'expérience

et puisqu'il a des effets. L'augmentation de la température d'un gaz peut par exemple causer son évaporation. La réduction de la température à une théorie dépourvue du concept de température peut sembler résulter en une élimination du phénomène lui-même : étant donné que l'ensemble des phénomènes liés à la température peut être expliqué sans faire appel au concept de température, le phénomène qui correspond à ce concept semble n'être qu'une illusion. La réduction semble donc nous faire perdre un certain nombre de phénomènes. Elle semble effacer des distinctions que la science réduite avait établies, car des phénomènes que la science réduite avait distingués sont traités, à la lumière de la science réductrice, comme identiques.

On peut alors être tenté par des conclusions philosophiques extravagantes : soit on interprète le résultat de la réduction comme signifiant que la température, par exemple celle de l'air dans cette pièce, n'est qu'apparente, ou seulement subjective, alors que la réalité objective de l'air ne consiste qu'en des molécules en mouvement. Soit on adopte la position antiréaliste selon laquelle c'est au contraire la température qui est réelle alors que les molécules ne sont que des fictions théoriques.

Nous verrons qu'il existe des interprétations plus conservatrices de la réduction : chacune des théories en jeu décrit des phénomènes réels entre lesquels il existe des relations de dépendance et de détermination en vertu de lois. La réduction est la découverte et la mise en évidence des lois en fonction desquelles les mouvements moléculaires déterminent la température, la pression et l'entropie d'un corps macroscopique.

2.1.1 – Condition formelle centrale

Selon Nagel, le but d'une réduction est d'« établir que les lois expérimentales de la science secondaire ou réduite (et si cette science possède une théorie adéquate, cette théorie aussi) sont des conséquences logiques des hypothèses théoriques de la science première » (Nagel 1961 : 352). Cela est logiquement impossible pour les réductions hétérogènes. En effet, dans une déduction valide, le contenu de la conclusion ne peut pas excéder le contenu de l'ensemble des prémisses. En particulier, la déduction ne peut pas être valide si la conclusion contient des termes qui n'apparaissent dans aucune prémisse⁶.

Cependant, la réduction devient envisageable si deux conditions supplémentaires sont satisfaites.

6. Ce raisonnement présuppose que le sens des termes de la théorie réduite est exclusivement déterminé par l'usage du terme dans cette théorie.

1. *Condition de connectabilité.* Dans une réduction hétérogène, la théorie réduite contient des termes – tels que, dans notre exemple, la température « T » – qui ne font pas partie du vocabulaire de la science réductrice. Si l'on associe à la théorie réductrice – qui joue le rôle de « base de réduction » – des hypothèses telle que « $T = 2E/3k$ », qui établissent des relations appropriées entre ces termes et des expressions du vocabulaire de la théorie réductrice – dans notre exemple, il s'agit de « E », l'énergie cinétique moyenne des molécules –, il devient envisageable qu'on puisse tirer des conclusions sur, par exemple, la température d'un gaz, à partir de prémisses portant sur les propriétés des molécules qui le composent.

2. *Condition de dérivabilité.* Toutes les lois de la science réduite peuvent être logiquement déduites des lois de la science réductrice, auxquelles on associe les conditions de connectabilité.

Il est nécessaire de poser la condition de dérivabilité puisqu'il s'avère, comme nous le verrons dans un instant, que la dérivabilité garantit la connectabilité, mais que la réciproque n'est pas vraie. Autrement dit, la connectabilité est nécessaire mais non suffisante pour la réduction. La possibilité de la dérivation des axiomes et théorèmes de la théorie réduite, à partir de la théorie réductrice, que Nagel considère comme l'essence logique de la réduction, doit donc faire l'objet d'une condition séparée.

Nagel envisage trois manières d'interpréter la nature des hypothèses de liaison – également appelées « principes de liaison », « hypothèses pont », ou « lois pont » – requises par la condition de connectabilité.

(A) À partir de la conception de la science avancée par l'empirisme logique et esquissée plus haut, il peut paraître plausible qu'il existe entre la température et l'énergie cinétique moléculaire un lien de *synonymie*. Selon cette interprétation, l'hypothèse pont « $kT = 2E/3$ » est un énoncé *analytique*, autrement dit un énoncé qui est vrai en vertu de la signification des termes qu'il contient. Cela implique notamment que ce n'est pas la recherche empirique qui nous permet de découvrir cette hypothèse. En tant que vérité analytique, n'importe quel locuteur du français qui maîtrise ces termes est en principe capable de découvrir leur équivalence par la seule analyse de leur contenu, de la même manière qu'il suffit d'analyser le sens des mots « célibataire » et « marié » pour se convaincre de manière *a priori*, sans aucun recours à l'expérience, qu'aucun célibataire n'est marié.

Seule la doctrine de l'empirisme logique selon laquelle tous les énoncés théoriques sont traduisibles en, c'est-à-dire synonymes de certains énoncés observables peut faire apparaître plausible l'interprétation A

selon laquelle le mot « température » est synonyme de l'expression « énergie moléculaire cinétique ». Car il paraît au contraire clair que l'on peut maîtriser le mot « température » sans rien savoir de l'énergie cinétique moléculaire. L'interprétation A est fautive parce que l'équivalence des deux, si elle est réelle, est le résultat d'une découverte empirique.

(B) Selon la seconde possibilité d'interpréter la nature des principes pont, il s'agit de *conventions* linguistiques et conceptuelles. Afin de rendre la réduction possible, on stipule que « $kT = 2E/3$ ». Les expressions « T » et « E » deviennent donc synonymes en vertu d'une définition coordonnatrice qui associe une signification expérimentale à un terme théorique de la science réductrice. Cette interprétation reçoit une certaine plausibilité de la manière dont l'hypothèse « $T = 2E/3k$ » est introduite dans la réduction de la loi de Boyle-Mariotte : comme nous l'avons vu, on découvre d'une part de manière empirique la loi $pV = kT$, et on dérive d'autre part l'équation $pV = 2E/3$, dans le cadre de la mécanique statistique. Dans cette situation, on peut considérer que l'équation $kT = 2E/3$ exprime l'identité des significations de l'expression thermodynamique « T » et l'expression « $2E/3K$ » de la mécanique statistique microscopique, autrement dit qu'elle identifie le contenu empirique de ces expressions. Cependant, la considération suivante plaide contre l'interprétation linguistique des principes pont : même après l'introduction de l'hypothèse de liaison, il semble possible de maîtriser parfaitement le mot « température », sans rien savoir du mouvement moléculaire sous-jacent, mais en connaissant sa signification thermodynamique, ce qui implique notamment de savoir comment on la mesure et quels liens existent entre la température et d'autres propriétés thermodynamiques, ainsi que des expériences subjectives.

(C) Cela suggère une troisième interprétation. Les hypothèses de liaison sont des énoncés de fait. On découvre de manière empirique – plutôt que de le découvrir de manière *a priori* comme le dit l'interprétation A et plutôt que de le stipuler comme le dit l'interprétation B – que la température d'un gaz est proportionnelle à l'énergie cinétique moyenne des molécules du gaz. Étant donné que kT et $2E/3$ sont corrélés de manière universelle, on peut concevoir leur équivalence comme une loi de la nature.

Il s'avère que la condition de connectabilité entre les concepts de la théorie réductrice (par exemple l'énergie cinétique moléculaire E) et des concepts de la théorie réduite (par exemple T) n'est pas en général suffisante pour permettre de réduire T à E. Si nous partons de l'interprétation C selon laquelle les énoncés pont sont des lois de la nature, ces lois peuvent avoir deux formes logiques : *conditionnelle* ou *biconditionnelle*.

Si la loi qui relie E à T est de forme *conditionnelle*, le fait d'avoir E est une condition suffisante pour le fait d'avoir T : pour tout objet x d'un certain genre (par exemple tous les gaz), si les composantes moléculaires de x possèdent l'énergie cinétique moyenne E, alors x a la température $T = 2E/3k$.

Si la loi a une forme *biconditionnelle*, alors E est non seulement suffisant pour T mais aussi nécessaire. Autrement dit (et en simplifiant l'expression), non seulement tous les x qui ont E ont T, mais aussi tous les x qui ont T ont E. Tous les objets qui ont une température sont composés d'atomes ou de molécules dont l'énergie cinétique moyenne est E.

La loi pont a une forme *simplement conditionnelle* lorsque la propriété réduite est « multiréductible »⁷. La température est multiréductible, au sens où il existe des objets qui ont une température mais dans lesquels la température ne se réduit pas à l'énergie cinétique moléculaire. La distribution de l'énergie du rayonnement sur la gamme des fréquences constitue par exemple une autre base de réduction de la température, en vertu de la loi de Planck⁸ qui permet d'attribuer une température au rayonnement, autrement dit à quelque chose qui n'est pas composé d'atomes ou de molécules.

L'existence de propriétés multiréductibles⁹ est souvent utilisée comme prémisse dans un argument pour l'*irréductibilité* de certaines propriétés et lois, notamment des propriétés et les lois psychologiques et plus généralement des sciences dites spéciales¹⁰, par exemple la biologie, la géologie ou l'économie. Cependant, un tel argument n'est concluant que

7. On peut être tenté de parler de « multiréalisabilité ». Je préfère l'éviter parce que ce serait, à strictement parler, un abus de langage. Les termes « multiréalisabilité » et « multiréalisation » désignent le rapport entre une fonction et les différentes propriétés qui permettent de la réaliser. La propriété fonctionnelle (autrement dit, la propriété de second ordre) d'être le porteur de l'information héréditaire est réalisée dans les êtres vivants sur Terre par l'ADN et par l'ARN. En ce sens c'est une propriété multiréalisable. Ce n'est pas le même rapport que celui entre une propriété réduite et la propriété qui permet de la réduire. Nous avons affaire à la « multiréductibilité » lorsqu'une propriété donnée R peut être réduite, dans différents contextes ou dans différents types de systèmes, à différentes propriétés B_i , qui font l'objet d'une ou de différentes théories plus fondamentales. J'y reviendrai.

8. La loi de Planck indique la dépendance de l'intensité du rayonnement à chaque longueur d'onde émis par un corps noir, en fonction de sa température T .

9. Cet argument est souvent présenté sans distinguer la multiréalisabilité de la multiréductibilité.

10. Une « science spéciale » est une science dont le domaine d'application est restreint : c'est le cas de toutes les sciences en dehors de la physique fondamentale. En ce sens, la météorologie est une science spéciale parce qu'elle ne traite que des atmosphères, la biologie parce qu'elle ne traite que des êtres vivants et la psychologie parce qu'elle ne traite que des propriétés et processus cognitifs des êtres vivants.

si l'on présuppose que les lois de liaison doivent être de forme biconditionnelle. Dans ce cas, l'argument est : la réduction du concept M requiert l'existence de lois pont entre M et une propriété sous-jacente P. Les lois pont doivent être biconditionnelles ; or la multiréductibilité de M exclut l'existence de lois pont biconditionnelles avec P. Donc, M est irréductible à P. Beaucoup de philosophes de l'esprit considèrent notamment qu'un tel argument permet d'établir que la psychologie est irréductible à la neurophysiologie¹¹ : ils utilisent la prémisse que différentes structures et processus neurophysiologiques sont, par exemple dans des espèces animales différentes, sous-jacentes à un même état psychique, par exemple la douleur, autrement dit que la douleur est multiréductible.

À y regarder de plus près, la situation est la suivante. Si les principes de liaison ont une forme biconditionnelle, la connectabilité seule suffit pour la dérivabilité. Admettons que pour une propriété donnée, par exemple la propriété cognitive M d'être conditionné à saliver au son d'une cloche, on découvre qu'il existe une loi biconditionnelle $(x) (Mx \leftrightarrow Px)$ en vertu de laquelle tous les systèmes x qui ont une propriété neuronale P ont M et seulement ces systèmes ont P, autrement dit tous les systèmes qui ont M ont aussi P. Autrement dit, on découvre que M n'est pas multiréductible. Supposons en outre que l'on ait découvert des lois biconditionnelles pour toutes les propriétés cognitives avec lesquelles M entretient des relations de dépendance nomologique, par exemple la propriété N, d'être exposé à un certain protocole expérimental de conditionnement, de telle sorte que $(x) (Nx \rightarrow Mx)$. Disons que la loi biconditionnelle pour N est $(x) (Nx \leftrightarrow Rx)$. Supposons en outre que l'on ait découvert une loi neurophysiologique selon laquelle la base neuronale de N, à savoir R, détermine de manière nomologique (et éventuellement causale) la propriété sous-jacente à la propriété M, à savoir P. On peut alors dériver la loi cognitive selon laquelle N implique M : $(x) (Nx \rightarrow Mx)$, à partir de la loi neurophysiologique selon laquelle R entraîne P : $(x) (Rx \rightarrow Px)$. Cela suit de la transitivité de l'implication universelle et des prémisses : $(x) (Nx \leftrightarrow Rx)$, donc $(x) (Nx \rightarrow Rx)$, $(x) (Rx \rightarrow Px)$, et $(x) (Mx \leftrightarrow Px)$, donc $(x) (Px \rightarrow Mx)$.

En revanche, si les principes de liaison ont une forme seulement conditionnelle, la seule connectabilité ne suffit pas pour la dérivabilité. Car il est alors possible que la propriété antécédente de la loi de haut niveau, par exemple N dans la loi psychologique $(x) (Nx \rightarrow Mx)$, soit multiréductible. Dans ce cas, il n'existe pas de propriété neurophysiologique unique

11. Cet argument remonte à Putnam (1967) et Fodor (1974).

sous-jacente à N; et il n'y a pas de loi de forme $(x) (Nx \rightarrow Rx)$, ou $(x) (Nx \leftrightarrow Rx)$. C'est par exemple le cas si l'on trouve que le fait de subir le protocole expérimental s'accompagne dans l'espèce 1 de la condition neurophysiologique R_1 , et dans l'espèce 2 de la condition R_2 . Le physicalisme minimal garantit¹² qu'il y a des lois « spécifiques à l'espèce », de la forme $(x) (R_1x \rightarrow Nx)$ pour l'espèce 1 et $(x) (R_2x \rightarrow Nx)$ pour l'espèce 2. Mais l'absence de loi « vers le bas » garantissant la présence d'une propriété neurophysiologique bien déterminée à chaque occurrence de la propriété cognitive N, rend la dérivation de la loi cognitive $(x) (Nx \rightarrow Mx)$ à partir de la neurophysiologie logiquement impossible.

Nagel tient compte du fait que toutes les hypothèses pont ne permettent pas de déduire les lois de la science réduite, en soumettant la possibilité de dériver les lois de la théorie réduite à une seconde condition de la réductibilité: la dérivabilité.

2.1.2 – Conditions non formelles pour la réduction

La condition formelle de dérivabilité n'est pas la seule contrainte qui s'impose aux réductions réelles de l'histoire des sciences. On peut s'en convaincre en remarquant que ces conditions formelles seraient satisfaites si l'on inventait ou postulait, de manière purement *ad hoc*, l'existence d'une propriété neurophysiologique sous-jacente à chaque propriété psychologique mentionnée dans une certaine théorie, les énoncés de liaison appropriés, ainsi que l'existence de lois dont la structure reflète celle des lois psychologiques, propriétés et lois auparavant inconnues. Celles-ci deviennent ainsi formellement réductibles à la neurophysiologie. Une telle dérivation à partir de prémisses stipulées *ad hoc* serait bien entendu triviale et sans intérêt scientifique. Pour qu'une réduction soit scientifiquement fructueuse, il faut qu'elle s'accompagne de réelles avancées dont la plus importante est de conduire à la découverte de lois nouvelles qui permettent de faire des prédictions plus précises et de donner des explications plus satisfaisantes.

On suppose par exemple, lors de la dérivation de la loi de Boyle-Mariotte, que le volume occupé par une molécule est négligeable par rapport aux distances entre les molécules, et que les seules forces agissant sur les molécules sont les forces résultant de chocs. Mais la réduction à la physique statistique n'a pas simplement permis de retrouver la loi de Boyle-Mariotte, déjà connue expérimentalement avant la réduction.

12. En réalité, il faut aussi présupposer que les propriétés psychologiques d'un individu ne sont pas relationnelles, autrement dit, qu'elles sont déterminées par sa nature intrinsèque plutôt que par ses relations à autre chose.

Lorsqu'on abandonne, dans la dérivation, ces hypothèses simplificatrices pour prendre en considération le volume non-négligeable des molécules et des forces d'attraction entre les molécules, on établit une nouvelle équation thermodynamique plus complexe : la loi de van der Waals. Cette loi décrit de manière plus précise la dépendance entre la pression, le volume et la température de différents gaz. Son domaine d'application est beaucoup plus vaste que celui de la loi de Boyle-Mariotte et sa découverte grâce à la réduction constitue donc un réel progrès scientifique.

Dans ce contexte, Nagel attire notre attention sur le fait que la réduction a toujours lieu entre des théories élaborées à un certain moment dans l'histoire. Cela implique que les affirmations de déductibilité (qui est, dans le modèle de Nagel, équivalente à la réductibilité) ou irréductibilité sont toujours relatives à ces théories. Or, il est possible qu'à un certain stade de l'évolution de certaines sciences, la réduction à des sciences plus fondamentales puisse ne pas avoir de conséquences fécondes. Nagel donne l'exemple de la botanique à une époque où elle vise avant tout la classification des organismes vivants : tenter de réduire la botanique à la chimie et à la physique n'aurait été dans ce contexte qu'une perte d'énergie.

Ce constat peut nous permettre d'approfondir notre compréhension de la portée d'une réduction : nous avons commencé par rappeler que la réduction était, pour les empiristes logiques, une entreprise sémantique. Il s'agissait de découvrir ou d'introduire des liens entre les significations des termes appartenant aux discours propres à différentes sciences. Dans la conception de Nagel, la réduction ne concerne plus des *mots* mais des *théories* et les *concepts* théoriques. Cependant, aucune de ces conceptions ne pourrait attribuer un sens à l'idée d'une réduction entre les *phénomènes*, entre les *propriétés* ou entre les *substances* naturelles. La réduction, et les affirmations de réductibilité ou d'irréductibilité ne concernent que les théories qui rendent compte des phénomènes et non ces phénomènes elles-mêmes. Qu'un concept soit réductible ou non, réductionnistes et émergentistes s'accordent sur la thèse ontologique du physicalisme (minimal) selon lequel tous les phénomènes naturels sont objectivement déterminés par les états de choses physiques.

Prendre conscience du fait que le débat sur la réduction porte sur des théories et non sur les phénomènes eux-mêmes peut certainement contribuer à rendre ce débat moins susceptible d'être influencé par des passions. Une autre manière de rendre une réduction plus acceptable est de faire remarquer que la réduction d'un concept ne conduit pas à son élimination, et à plus forte raison ne conduit pas à contester la réalité du phénomène qui faisait l'objet du concept réduit.

2.2 – *Le paradigme de Kemeny et Oppenheim*

Nagel soutient que la fécondité d'une réduction est cruciale pour qu'elle puisse être acceptée en tant qu'avancée scientifique significative. Pour être féconde, une réduction doit notamment déboucher sur la formulation de nouvelles hypothèses. Cependant le modèle de Nagel suppose qu'une réduction ne modifie ni ne remet en question aucune loi contenue dans une théorie avant la réduction. Or dans la réalité historique, de nombreuses réductions conduisent à une modification de la théorie réduite. Dans le cas extrême, certains concepts de la théorie réduite sont abandonnés au cours de la réduction. Un exemple classique qui permet d'illustrer cette situation est le remplacement de l'alchimie par la chimie au 18^e siècle. L'explication alchimique de la combustion en vigueur avant Lavoisier était fondée sur l'hypothèse que les substances combustibles contiennent une substance appelée « phlogistique ». Lors de la combustion, le phlogistique était censé quitter la substance, ne laissant qu'un résidu, tel que les cendres. En revanche, selon la théorie de la combustion de Lavoisier, la substance qui brûle subit une oxydation : elle se lie à l'oxygène de l'air environnant. La théorie de Lavoisier réduit la théorie alchimiste, dans la mesure où elle permet d'expliquer et de prédire toutes les observations que l'on pouvait expliquer et prédire dans le cadre de la théorie du phlogistique.

Cependant, dans la nouvelle théorie chimique de la combustion, rien n'occupe la place théorique occupée par le concept de phlogistique qui disparaît donc, ou est « éliminé » de la science. Par conséquent, il ne peut pas y avoir des principes nagéliens de liaison ou de connectabilité liant des termes de la science réductrice (la nouvelle chimie de Lavoisier) au terme « phlogistique » de la théorie réduite.

La conception de l'empirisme logique, selon laquelle le contenu d'un énoncé empirique consiste toujours dans l'ensemble de ses conséquences observables, permet de considérer le remplacement de la théorie du phlogistique par la théorie de l'oxydation comme une réduction. Selon Kemeny et Oppenheim (1956) la théorie TB réduit la théorie TR si et seulement si TB permet de prédire et d'expliquer tous les faits observables que la théorie réduite TR permet de prédire et d'expliquer, ainsi que d'autres faits observables que la théorie réduite TR ne permet pas de prédire et d'expliquer.

Ce modèle, qui situe l'essence de la réduction uniquement sur le plan des conséquences observables des théories en jeu, a l'avantage de pouvoir rendre compte à la fois de réductions « conservatrices » où la

théorie réductrice permet de conserver et de justifier la théorie réduite, et de réduction « éliminatrices » qui conduisent à l'abandon de la théorie réduite. La conception de Nagel n'autorise pas à considérer le remplacement de la théorie du phlogistique par celle de Lavoisier comme une réduction, dans la mesure où l'on est conduit à penser que la théorie du phlogistique était erronée. Il est donc exclu que la théorie du phlogistique puisse être dérivée de la théorie de la combustion par oxydation développée par Lavoisier.

La faiblesse du modèle de Kemeny et Oppenheim tient à son incapacité de rendre compte du fait que la fécondité d'une réduction tient en général à l'existence de liens qui se situent entre les concepts théoriques, et non au niveau de leurs conséquences observables.

2.3 – *La critique de Popper, Feyerabend et Kuhn*

À partir des années 1950, un certain nombre d'auteurs, dont les plus éminents sont Karl Popper, Paul Feyerabend et Thomas Kuhn, ont montré, à l'aide de nombreux exemples de l'histoire des sciences, que les réductions, même si elles n'éliminent pas la théorie réduite, conduisent presque toujours à la modifier.

La loi de la chute libre de Galilée stipule par exemple que la distance d parcourue par un corps en chute libre est proportionnelle aux carrés du temps t de la chute : $d = gt^2/2$ (g est considéré dans cette loi comme une constante : c'est l'accélération près de la surface de la Terre).

La réduction de cette loi aux axiomes de la mécanique newtonienne ainsi qu'à la loi de la gravitation universelle ne permet pas de dériver exactement la loi de Galilée. Car la loi de la gravitation universelle implique que l'accélération n'est pas constante au cours de la chute, mais augmente au fur et à mesure que l'objet se rapproche du centre de la Terre. Cependant, la théorie newtonienne permet de dériver une *autre* loi qui constitue une bonne approximation de la loi de Galilée à condition que la distance d soit petite en comparaison du rayon de la Terre. Le fait que la loi réduite constitue une bonne approximation de la loi galiléenne explique pourquoi cette dernière est approximativement vraie et pourquoi elle a été confirmée par l'observation bien qu'elle soit, à strictement parler, fausse.

Feyerabend et Kuhn tirent de leur constat la conclusion qu'il n'y a, entre des théories qui se suivent au cours de l'histoire des sciences, pas de rapports de réduction. Mais cette conclusion ne se justifie que dans la mesure où l'on présuppose le modèle de Nagel qui contient implicitement la thèse selon laquelle la théorie réduite n'est pas modifiée au cours de

la réduction. Il semble donc plus prudent de tirer la conclusion que les réductions historiques ne correspondent pas exactement, où correspondent seulement approximativement, au modèle de Nagel.

2.4 – Le « paradigme général de réduction » (Schaffner-Churchland-Hooker-Bickle)

Pour tenir compte du fait que la plupart des réductions réelles, accomplies dans l'histoire des sciences, conduisent à corriger la théorie qu'il s'agissait de réduire, Schaffner a proposé d'introduire une modification importante dans le modèle de Nagel. Appelons la théorie à réduire TR. Prenons l'exemple de la troisième loi du mouvement des planètes de Kepler, selon laquelle le cube du rayon de l'orbite a d'une planète quelconque, divisé par le carré de sa période T (a^3/T^2) est une constante, la même pour toutes les planètes. Newton a montré que cette loi peut être réduite à sa théorie générale du mouvement, à laquelle on associe la loi de la gravitation. Cependant, ce qu'on peut dériver dans le cadre newtonien est une autre loi : la réduction montre que a^3/T^2 n'est pas une constante mais est égale à la somme de la masse du corps central (ici, le Soleil) et de la planète. Étant donné que cette somme diffère peu de la masse du Soleil, elle est approximativement constante¹³. Le « paradigme général de réduction » (Schaffner 1967 : 144) tient compte du fait que la théorie actuellement dérivée TR* n'est qu'une approximation de la théorie à réduire TR. Ce modèle permet de mieux comprendre pourquoi la réduction n'a pas seulement un intérêt philosophique, au sens de justifier l'hypothèse d'une unification progressive des sciences, mais accomplit un progrès scientifique : TR* a un plus grand domaine d'application, et permet de faire des prédictions et explications qui correspondent mieux aux observations que TR.

Le modèle de Schaffner montre qu'il est possible de tenir compte des corrections que les réductions apportent en général aux théories qu'il s'agit de réduire, sans pour autant conclure, comme Feyerabend et Kuhn, qu'il n'y a pas de réductions dans l'histoire des sciences. Les réductions historiques ne sont en effet pas conformes au modèle nagelien ; cependant, le modèle de Schaffner justifie qu'on les considère néanmoins comme des réductions. En un sens, le modèle de Nagel correspond au cas limite où la réduction n'apporte aucune correction à l'ancienne théorie, c'est-à-dire où TR est identique à TR*. Mais il y a une différence entre

13. L'équivalent newtonien de la loi képlérienne s'applique aussi à d'autres corps en orbite, par exemple au mouvement des lunes de Jupiter. Dans ce cas, c'est la somme des masses de Jupiter et de la lune en question qui est égale à a^3/T^2 .

les deux modèles, même dans le cas de ces réductions conservatrices : Schaffner interprète les hypothèses de liaison comme des énoncés d'identité, alors que le modèle de Nagel laisse ouverte la possibilité qu'il ne s'agisse que de corrélations nomologiques. La réduction montre qu'un gaz idéal donné a une température T si et seulement si les molécules qui le composent ont une énergie moyenne E égale à $3kT/2$. Cela suffit à conclure que, dans le domaine des gaz idéaux, la propriété d'avoir la température T et la propriété d'être composé de molécules ayant l'énergie cinétique moyenne $E = 3kT/2$ ont la même extension. Cependant, cela n'est pas suffisant pour conclure que ces propriétés sont identiques. La propriété d'être une espèce animale dotée de reins a la même extension que la propriété d'être une espèce animale dotée d'un cœur, sans que ces propriétés soient identiques. Ou encore, la propriété d'être un triangle ayant trois côtés égaux n'est pas identique à la propriété d'être un triangle ayant trois angles égaux, alors que ces propriétés partagent leur extension. Le fait qu'une propriété A soit réduite à une autre propriété B ne suffit donc pas à justifier la thèse selon laquelle A et B sont identiques, et non pas seulement corrélées par une loi de la nature.

2.5 – La réduction fonctionnelle (Kim)

La thèse selon laquelle une réduction conduit à identifier un concept appartenant à la théorie réduite à une entité conçue dans les termes de la théorie réductrice, est également primordiale dans le modèle de « réduction fonctionnelle ». Cette conception de la réduction, élaborée par Jaegwon Kim (1998 ; 2000) surtout afin de rendre compte du statut de la psychologie par rapport à la neurophysiologie, est pourtant censée s'appliquer également à d'autres réductions. Kim s'inspire d'une version de la théorie de l'identité due à David Armstrong (1968) qui était, elle aussi, d'abord destinée à rendre compte du rapport entre concepts psychologiques et neurophysiologiques, mais avait aussi vocation à être un modèle général de l'identification réductrice. Dans sa *Théorie matérialiste de l'esprit*, David Armstrong (1968) explique que les concepts des sciences spéciales, de la chimie et de la biologie à la psychologie, sont des concepts *fonctionnels* : ils s'appliquent à un objet non pas en vertu de sa nature intrinsèque, mais en vertu de ce que cet objet *fait*, autrement dit en vertu de ce qu'il cause et de ce qui le cause. Un gène est par exemple ce qui permet la transmission de caractères héréditaires d'une génération d'êtres vivants à la génération suivante. La douleur est ce qui est causé par un dommage au corps et qui provoque un comportement apte à éviter cette cause. Au lieu de conclure, comme Putnam (1967), de la conception

fonctionnelle d'une propriété à son irréductibilité, Armstrong montre qu'une telle conception est compatible avec l'identité de la propriété à une propriété microscopique. Le fait que le gène soit conçu de manière fonctionnelle n'a pas empêché la découverte que ce qui joue le rôle de transmettre les caractères héréditaires est un objet microscopique : un segment d'ADN.

Kim montre que la thèse armstrongienne de l'identification d'un concept défini de manière fonctionnelle avec l'entité microscopique qui exerce la fonction, peut servir de modèle de la réduction qui est également applicable à des propriétés multiréalisables. Kim distingue trois étapes dans une réduction fonctionnelle.

Au cours de la première, la « fonctionnalisation », on découvre, par une analyse conceptuelle *a priori*, qu'un certain concept C est de nature fonctionnelle. On définit la propriété d'être C (d'être un gène, d'être une douleur, etc.) comme étant *la propriété d'avoir une propriété* qui est causée par un ensemble de conditions D et qui cause un ensemble de conditions E.

Le fait d'attribuer à un individu la propriété d'être porteur d'une maladie héréditaire, comme par exemple la phénylcétonurie (PCU)¹⁴, revient à lui attribuer la propriété (de second ordre) d'avoir une propriété microscopique, à savoir une mutation génétique, que l'individu a reçu de ses parents et qui peut, chez les individus ayant deux allèles de la mutation, causer des symptômes bien particuliers : dans le cas de la PCU, il s'agit des conséquences de l'incapacité de l'organisme à décomposer la phénylalanine, acide aminé contenu dans les protéines.

La seconde étape de la réduction fonctionnelle consiste en la découverte d'une propriété qui exerce, dans un organisme ou type de système donné, la fonction identifiée lors de la première étape. Dans le cas de la PCU, c'est la découverte de la mutation précise dans le gène de la phénylalanine-hydroxylase qui lui a été génétiquement transmise par ses parents et qu'il peut éventuellement transmettre à ses enfants.

Dans une troisième étape finale, on montre comment la propriété identifiée à la seconde étape joue le rôle analysé à la première étape : on montre dans le détail comment la mutation identifiée lors de la seconde étape est transmise à la génération suivante et comment elle provoque,

14. La phénylcétonurie est une maladie « monogénique », c'est-à-dire une maladie due à un seul gène non fonctionnel. Une mutation dans ce gène empêche la production de la phénylalanine-hydroxylase, enzyme nécessaire à la décomposition du phénylalanine. En l'absence de traitement, les conséquences pour le développement et le fonctionnement du cerveau sont extrêmement graves.

dans les individus porteurs de deux allèles du gène muté, les symptômes de la maladie.

Il y a deux grandes différences entre le modèle de la réduction fonctionnelle de Kim et le modèle de Nagel. La première tient au fait que le modèle de la réduction fonctionnelle peut rendre compte de la multi-réductibilité : certains concepts sont réductibles à différentes propriétés microscopiques dans différents systèmes. Les molécules qui interviennent dans le mécanisme de la fixation de la mémoire à long terme ne sont pas les mêmes chez la mouche *Drosophila* et chez l'homme¹⁵. Dans chaque espèce qui satisfait le concept cognitif de pouvoir fixer des représentations dans la mémoire à long terme, celui-ci fait l'objet d'une réduction « locale » spécifique à cette espèce.

En second lieu, le modèle de Kim ne semble pas faire appel à des principes de liaison. Kim soutient que son modèle permet d'analyser une réduction sans faire appel à des *propriétés* de haut niveau qu'il faudrait mettre en correspondance avec des propriétés microscopiques. Ce qui nous apparaît comme une *propriété* de haut niveau n'est qu'un *concept* « de second ordre » : Kim explique que la « fonctionnalisation » d'une propriété, c'est-à-dire sa re-description en termes fonctionnels, donne au prédicat qui l'exprime la forme logique d'un *prédicat de second ordre* : un prédicat de *premier ordre* s'applique à des objets, alors qu'un prédicat de *second ordre* s'applique à des propriétés de ces objets. Un prédicat de premier ordre, tel que « est rouge » exprime une propriété de premier ordre : la propriété d'être rouge. En revanche, le prédicat « est une couleur » est de second ordre : il s'applique à des propriétés, par exemple à la propriété d'être rouge. Un tel prédicat de second ordre exprime donc une propriété de second ordre : une propriété d'une propriété.

Or Kim soutient que seuls les prédicats de premier ordre désignent des propriétés réelles : les mutations bien particulières dans le génome d'un organisme. En revanche, le prédicat de second ordre qui dit d'un individu qu'il a l'une ou l'autre parmi un certain nombre de mutations génétiques possibles, n'exprime pas une propriété réelle¹⁶. Il exprime un concept abstrait, et non pas une propriété qui pourrait influencer des relations causales : seules les propriétés de premier ordre le peuvent.

15. Cependant, Bickle (2003) montre que ces molécules – et l'ensemble du mécanisme – se ressemblent beaucoup à travers tout l'arbre phylogénétique des espèces.

16. En logique des prédicats, l'affirmation de l'existence d'une propriété (ici une mutation dans un gène) équivaut à une généralisation sur des propriétés. Un prédicat défini en termes d'une telle généralisation existentielle est donc de second ordre logique.

Au lieu d'une mise en rapport de deux propriétés réelles, la réduction fonctionnelle de Kim consiste donc à découvrir une propriété réelle – de premier ordre et microscopique – qui joue le rôle spécifié par un concept de second ordre. Il s'agit d'une identification¹⁷. Cependant, celle-ci n'est plus pensée dans le contexte des lois pont, mais prend la forme de la découverte d'une propriété qui satisfait un concept de second ordre.

La question de savoir si une réduction doit nécessairement faire appel à des énoncés de liaison est cruciale. En effet, tant que les énoncés de liaison restent des postulats irréductibles à la théorie réductrice, la réduction ne semble pas avoir été totalement accomplie. Cette irréductibilité suggère même que des propriétés qui sont réductibles au sens de Nagel peuvent néanmoins être *émergentes* : c'est le cas lorsque les lois pont utilisées dans la réduction ne peuvent pas être expliquées, autrement dit s'il s'agit de corrélations brutes. En effet, une propriété est traditionnellement considérée comme émergente si 1) sa présence est déterminée en fonction de propriétés sous-jacentes par une loi de la nature, mais si 2) cette loi est un fait brut qui ne peut être expliqué, et ne peut en particulier pas être dérivé des lois et états de choses appartenant au niveau réducteur¹⁸.

Le concept de réduction fonctionnelle Kim accomplit un progrès important dans la réflexion sur la réduction entre théories, dans la mesure où il montre qu'il est possible de réduire certains phénomènes sans faire appel à des lois « brutes » et inexplicables. Cependant, le modèle de Kim commet en quelque sorte l'erreur inverse du modèle de Nagel : pour Nagel, il est possible de réduire une loi en vertu d'une loi pont qui est une corrélation brute, au sens où l'on la constate empiriquement mais sans pouvoir l'expliquer. Pour Kim au contraire, la seule contribution empirique consiste dans la découverte, à la seconde étape de la réduction fonctionnelle, de la propriété qui remplit le rôle défini à la première étape. En analysant la logique de la réduction uniquement en termes du lien entre prédicats de premier et de second ordre, Kim néglige une étape cruciale de la réduction qui concerne la découverte de la détermination des propriétés *macroscopiques* d'un système par les propriétés de ses composantes *microscopiques*.

On peut compléter l'analyse de Kim en utilisant une distinction qu'il a lui-même contribué à clarifier (cf. Kim 1997 ; 1998). On peut utiliser le

17. On retrouve dans le modèle de Kim l'exigence que Schaffner avait imposée aux lois pont, à savoir que la réduction doit déboucher sur une identification.

18. Une telle conception de l'émergence a été défendue par Broad (1925). Cf. McLaughlin (1992).

terme « niveau » pour exprimer la distinction entre des propriétés d'un système et les propriétés de ses composantes. Une propriété A appartient à un *niveau* plus élevé que la propriété B si les objets auxquels s'applique B sont des *parties* des objets auxquels s'applique A. En ce sens, les propriétés des molécules qui composent un animal sont de niveau inférieur au niveau auquel appartiennent les propriétés de l'animal lui-même. Les dysfonctionnements cognitifs, telles que les troubles de la concentration et les difficultés à mémoriser qui caractérisent les crises de la PCU chez des personnes soignées, ainsi que le retard du développement mental qui affectent les malades en l'absence de traitement, sont des propriétés d'*individus* qui souffrent de la PCU, alors que les propriétés mentionnées dans l'explication réductrice appartiennent à des *parties microscopiques* de ces individus : il s'agit notamment de propriétés des molécules de phénylalanine et des chromosomes porteurs de la mutation.

L'articulation entre les propriétés microscopiques et macroscopiques est insuffisamment mise en relief dans le modèle de Kim. En effet, Kim néglige l'importance de cette distinction, en considérant que les propriétés qui exercent les fonctions décrites au niveau macroscopique, sont essentiellement microscopiques.

La propriété F d'être porteur de la PCU est une propriété *macroscopique* de second ordre : c'est une propriété qui ne peut appartenir qu'à des individus et non à des molécules qui font partie de leur corps. La propriété P de premier ordre dont on découvre qu'elle joue le rôle causal décrit par le prédicat « F », est elle aussi une propriété macroscopique : c'est une propriété de l'individu entier, car le mécanisme de la procréation qui permet de transmettre les caractères héréditaires, et le mécanisme de l'expression des gènes qui conduit éventuellement aux symptômes de la maladie, contiennent de nombreuses autres parties du corps en dehors de l'ADN. La propriété causalement responsable du fait que les enfants d'un individu malade de la PCU sont tous porteurs, sains ou malades, de cette maladie, est donc une propriété structurelle complexe macroscopique qui appartient à l'individu, et non à l'une de ses parties microscopiques.

Une explication réductrice complète doit comporter une étape au cours de laquelle on montre comment différentes parties microscopiques de l'individu, plus précisément les molécules qui participent dans le mécanisme de la reproduction génétique, interagissent pour donner à l'individu le pouvoir causal de transmettre la maladie.

On peut compléter l'analyse de la réduction proposée par Kim, en y introduisant une étape relative à la découverte de l'articulation entre les parties microscopiques d'un système complexe et le pouvoir causal

macroscopique que l'interaction entre ces parties donne au système. Les deux premières étapes du modèle de Kim accomplissent ce que l'on peut appeler la réduction du rôle à l'occupant du rôle (cf. Kistler 2005). Dans notre exemple, on découvre une propriété macroscopique structurelle P qui appartient à l'individu et qui est causalement responsable d'une part de son apparition à la prochaine génération, et d'autre part, dans les individus malades, de l'apparition des symptômes caractéristiques de la PCU. P est un mécanisme qui fait intervenir toutes les parties du corps nécessaires à la procréation ou à l'expression du gène concerné. Une troisième étape, que l'on peut appeler « réduction macro-micro », a pour objet de découvrir comment les composantes microscopiques de ce mécanisme, parmi lesquelles figure bien entendu le segment de l'ADN qui correspond au gène de la phénylalanine-hydroxylase, interagissent pour donner à l'individu la propriété P qui lui permet de transmettre la maladie.

L'étape de la découverte de l'articulation du niveau microscopique avec le niveau macroscopique est implicite dans la troisième étape du modèle de Kim, qui a pour objet de montrer *comment* la propriété P, dont on a découvert à la seconde étape *qu'*elle joue le rôle F, parvient à jouer ce rôle. Cependant, Kim introduit, pour caractériser les propriétés P, un concept de « propriété macroscopique microbasée » (MMB) qui suggère que la découverte du lien entre les molécules microscopiques et la capacité qu'elles confèrent à l'individu macroscopique, soit une affaire de *logique* : en effet, les MMB appartiennent logiquement à l'individu, mais elles sont le résultat d'une conjonction logique de prédicats désignant des propriétés microscopiques de parties de l'individu¹⁹.

En réalité, la découverte de la manière dont l'interaction entre les différentes molécules concernées donne lieu à la transmission de la maladie à la génération suivante, ainsi qu'à l'expression du gène dans les individus malades, puis aux processus conduisant à l'apparition des symptômes, est essentiellement empirique, et non logique. Ce constat remet en cause la thèse de Kim selon laquelle la réduction fonctionnelle peut se passer des énoncés de liaison. Certes, le simple énoncé du fait que, par exemple, telle mutation dans le gène de la phénylalanine-hydroxylase donne à l'individu la propriété d'être porteur de la PCU, n'explique pas complètement *pourquoi* cette propriété microscopique donne lieu à cette propriété macroscopique. Mais cela signifie simplement pas que l'élaboration de la réduction ne prend pas fin avec la découverte d'une telle loi de liaison. Une réduction complète, même si elle est fonctionnelle, ne peut pas faire

19. J'ai critiqué cet aspect de l'analyse de Kim dans Kistler (2000 et 2006).

l'économie de l'explication de la corrélation qui fait, dans le modèle de Nagel, l'objet d'un énoncé de liaison. Lors de l'étape « macro-micro » d'une réduction, on *explique comment* certaines propriétés microscopiques – dans notre exemple, notamment celle d'avoir une mutation du gène de la phénylalanine-hydroxylase – donnent lieu, par leurs interactions avec le milieu cellulaire, à la propriété macroscopique d'être porteur de la PCU. La description de la manière dont les parties microscopiques donnent à l'individu la propriété d'être porteur de la PCU correspond à l'énoncé de la loi pont dans le modèle de Nagel. Cependant, dans la mesure où la corrélation ne fait plus simplement l'objet d'un constat brut mais d'une explication, la réduction complète d'un phénomène n'est plus compatible avec l'affirmation de son émergence : au sens du concept épistémique d'émergence introduit plus haut, un phénomène E est émergent s'il est impossible d'expliquer *pourquoi* il apparaît dans les circonstances microscopiques avec lesquelles il est corrélé.

3 – Deux concepts d'émergence

Étant donné l'histoire des réductions couronnées de succès, la thèse de l'émergentisme classique selon laquelle il existe des propriétés qui sont émergentes au sens d'être définitivement irréductibles, semble peu plausible : nous n'avons aucune raison positive de penser que de telles propriétés existent. Cependant, la conclusion qu'il n'existe pas de propriétés émergentes ne s'impose qu'aussi longtemps que l'on se limite à considérer le concept *épistémique* d'émergence. Selon celui-ci, une propriété est émergente – relativement à un ensemble donné de connaissances – si nous ne pouvons pas *expliquer pourquoi* elle apparaît dans des circonstances déterminées D. Nous n'avons pas, semble-t-il, de raisons de penser qu'il existe des propriétés épistémiquement émergentes au sens absolu où il n'existe – non seulement maintenant, mais en principe – aucune théorie ni aucun ensemble de connaissances d'arrière-plan qui nous permettraient de comprendre pourquoi la propriété en question apparaît dans les circonstances D.

En revanche, on peut rendre compte de l'intuition que les systèmes complexes, et notamment les êtres vivants, possèdent des *propriétés qualitativement différentes* de toutes les propriétés que peuvent posséder leurs parties, en construisant un concept *ontologique* d'émergence. Contrairement à l'interprétation traditionnelle de l'émergence, ce concept rend l'émergence compatible avec la réduction : la propriété P d'un système complexe est *ontologiquement émergente* si 1) elle est systémique, c'est-à-dire aucune partie du système ne la possède, 2) elle est quali-

tativement différente des propriétés que possèdent les parties du système, 3) elle respecte le physicalisme, c'est-à-dire elle est intégralement déterminée par les propriétés des parties du système, ainsi que par leur interactions mutuelles et avec l'environnement²⁰, et 4) elle est stable ou « robuste », c'est-à-dire invariante par rapport à des petites perturbations dans les propriétés microscopiques sous-jacentes.

Pour donner un exemple dans la matière inorganique, la forme macroscopique d'un cristal de glace est une propriété émergente en ce sens : la forme géométrique la plus simple que peut prendre un cristal de glace est un prisme hexagonal, un cylindre dont la coupe horizontale a la forme d'un hexagone régulier. Cette forme est une propriété systémique du cristal car aucune de ses molécules composantes (H_2O) n'a une forme hexagonale ; elle diffère des propriétés de ces molécules de manière qualitative ; cette forme est déterminée exclusivement par l'interaction entre les molécules H_2O ; elle est robuste, c'est-à-dire indépendante de nombre de différences microscopiques au niveau des molécules.

La principale difficulté qui se pose à la construction du concept ontologique d'émergence consiste à clarifier la notion intuitive de *différence qualitative*. Selon une hypothèse prometteuse, pour qu'un système possède des propriétés qualitativement différentes des propriétés de ses parties, il est nécessaire que les lois qui déterminent les propriétés du tout en fonction des propriétés de ses parties soient non additives (ou « non-linéaires »). On appelle « résultantes » les propriétés qui sont au contraire déterminées de manière additive. La masse d'un objet complexe est souvent utilisée comme exemple de propriété résultante : la masse du camion chargé est la somme de la masse du camion et du chargement. Si le camion pèse 3 tonnes et le chargement une tonne, la propriété du tout de peser 4 tonnes ne semble pas être une propriété qualitativement différente de la propriété du camion de peser 3 tonnes et de la propriété du chargement de peser une tonne. De manière générale, les propriétés résultantes R d'un système complexe, déterminées de manière additive par les propriétés P des parties du système, semblent toujours être qualitativement égales aux propriétés P.

La théorie des systèmes dynamiques contient des concepts qui permettent d'expliquer, au moins pour certains types de systèmes, pourquoi les interactions non additives donnent lieu à des propriétés qualitative-

20. Cette clause tient compte de la conviction physicaliste selon laquelle il n'y a pas de propriété (absolument) émergente au sens *épistémique* : toute propriété est en principe réductible. La réduction peut être accomplie par la découverte des lois qui déterminent l'existence de la propriété.

ment différentes des propriétés des parties. Un phénomène émergent important est la transition de phase. Si l'on refroidit l'eau à 0 °C, elle se cristallise et devient de la glace. Lorsqu'on la chauffe à 100 °C, elle s'évapore. Ces changements d'état qui ont lieu à des températures et à des pressions spécifiques pour chaque type de substance, sont appelés « transitions de phase »; la « phase liquide », la « phase solide » et la « phase de vapeur » sont des états d'une même substances à différentes conditions de température et de pression. Lors d'une transition de phase, par exemple lors de la cristallisation, les molécules de la substance dont les distances et orientations mutuelles subissent des changements permanents à l'état liquide, se fixent à des distances mutuelles bien précises et adoptent une orientation précise les unes par rapport aux autres. Cette orientation et position rigide au niveau microscopique donne lieu, au niveau macroscopique, à une forme bien particulière du cristal²¹.

On peut utiliser l'exemple de la cristallisation pour illustrer deux notions d'émergence ontologique, l'émergence *diachronique* et l'émergence *synchronique*. Par émergence « diachronique », on entend l'apparition, avec le temps, de propriétés nouvelles qui n'étaient pas présentes auparavant. La forme des cristaux de glace est une propriété qui apparaît, dans le temps, au moment où l'eau gèle; il n'y a pas de cristaux hexagonaux dans l'eau liquide.

L'explication même du concept d'émergence diachronique appelle un autre concept d'émergence, à savoir celui d'« émergence synchronique ». Car ce qui détermine l'existence et la forme des cristaux, c'est l'état des molécules de l'eau *au moment même* où les cristaux apparaissent. Selon le physicalisme, les propriétés macroscopiques M d'un objet ou système sont toujours déterminées, de manière synchronique, c'est-à-dire à un moment donné, par les propriétés des parties microscopiques P du système et leurs interactions. Cette détermination synchronique peut donner lieu à des propriétés émergentes si les propriétés M du système sont qualitativement différentes des propriétés P des composantes. Cela semble

21. Il existe des tentatives de trouver des critères rigoureux au sens mathématique de ce qui compte comme « qualitativement différent ». Rueger (2000a et 2000b) a notamment proposé d'utiliser la forme de la trajectoire d'un système dans son « espace de phase », comme critère de l'émergence diachronique. (L'espace de phase permet de représenter l'état d'un système physique. On attribue une nouvelle dimension à chaque « degré de liberté » du système, c'est-à-dire à chaque paramètre par rapport auquel son état peut subir des variations. L'espace de phase d'un pendule simple a par exemple deux dimensions: l'une pour sa position, mesurée par l'écart angulaire de la position vertical, l'autre pour sa vitesse.) Lorsque la forme de la trajectoire subit un changement « topologique », par exemple lorsqu'il passe d'une forme circulaire à une forme en spirale, son évolution compte comme qualitativement nouvelle.

être le cas de la forme des cristaux de glace car aucune des molécules d'eau n'a, même approximativement, de forme hexagonale.

En ayant recours à un tel concept ontologique d'émergence, il semble possible de tenir compte de l'intuition de la différence qualitative des propriétés caractérisant des systèmes de complexité croissante, des particules élémentaires jusqu'aux êtres vivants et aux systèmes cognitifs, tout en maintenant la conviction physicaliste de l'unité des sciences. Cela est possible dans la mesure où l'émergence ontologique est compatible avec la réductibilité : les propriétés émergentes des systèmes complexes sont des propriétés qui sont 1) qualitativement différentes de celles que possèdent leurs parties et 2) telles que l'on peut expliquer leur apparition à partir des propriétés microscopiques des parties de ces systèmes et de leurs interactions.

4 – Conclusion

Dans les modèles de la réduction proposés par Nagel et Schaffner, les énoncés de liaison jouent un rôle clé : ce sont eux qui permettent de franchir le fossé conceptuel entre la théorie réductrice et la théorie réduite. Tant que ces énoncés ne peuvent pas être eux-mêmes déduits à partir des lois du niveau réducteur, la réduction ne semble pas achevée. Imaginons par exemple que l'on découvre qu'un genre bien particulier d'activation de neurones dans un cerveau humain donne systématiquement lieu à l'expérience qualitative qui accompagne la perception d'une couleur bleue, et imaginons en outre que l'on ne dispose d'aucune explication pourquoi cet état neuronal donne lieu à cette expérience plutôt qu'à une autre, disons celle d'entendre un sol joué par une trompette. Dans la mesure où la loi de liaison est un fait brut qui ne peut pas être expliqué dans le cadre de la théorie réductrice, l'expérience qualitative est émergente au sens épistémique. La question de savoir si l'expérience qualitative est absolument épistémiquement émergente fait l'objet d'un débat controversé. La qualité de l'expérience fait à cet égard figure d'exception, dans la mesure où l'on considère en général que toutes les autres propriétés macroscopiques ne sont épistémiquement émergentes que provisoirement, c'est-à-dire relativement à un certain cadre de connaissances et de théories.

La réflexion sur l'explication des phénomènes macroscopiques des systèmes complexes, et notamment des propriétés biologiques et cognitives des personnes par leurs composantes cellulaires et moléculaires, a été renouvelée grâce à l'introduction, par Kim, du concept de « réduction fonctionnelle ». Une propriété donnée, comme la propriété d'être porteur d'une maladie héréditaire, est d'abord « fonctionnalisée », c'est-à-dire

re-décrite en termes de ce qu'elle cause et de ce qui la cause. Lors d'une seconde étape, on découvre une propriété structurelle de l'organisme qui joue ce rôle causal dans l'organisme. Dans le cas de la maladie héréditaire, il s'agit du mécanisme de transmission héréditaire et du mécanisme de l'expression des gènes dans le phénotype, qui donne lieu aux symptômes de la maladie. Dans une troisième étape – qui n'est pas analysée de cette manière dans le modèle de Kim – on découvre comment les parties microscopiques de la structure identifiée lors de la seconde étape, et leurs interactions entre elles et avec le milieu organique, donnent à l'organisme le pouvoir causal qui correspond à la description fonctionnelle de la première étape.

Cette troisième étape est décisive : tant que l'on ne parvient pas à expliquer pourquoi et comment la base neuronale donne lieu à une expérience de bleu plutôt qu'à l'expérience de rouge, ou à celle d'un sol joué par une trompette, la qualité de l'expérience est épistémiquement émergente. Dans le modèle de la réduction fonctionnelle de Kim, l'importance et la difficulté de cette étape n'apparaissent pas clairement. En effet, Kim conçoit les propriétés dont on découvre à la seconde étape qu'elles remplissent le rôle déterminé à la première étape, comme des macropropriétés microdéterminées (MMB). Ce sont des propriétés des parties microscopiques de l'individu que l'on attribue techniquement à l'individu. La possibilité de cette attribution étant garantie par la seule logique, rien ne garantit qu'une MMB soit une propriété réelle au sens d'avoir une efficacité causale. On peut former un prédicat qui attribue une propriété MMB au tout composé de l'hémisphère gauche de votre cerveau et de l'hémisphère droite de mon cerveau. En revanche, les propriétés réelles de mon cerveau n'existent pas grâce à la seule logique mais grâce à l'interaction entre ses parties : la découverte de la manière dont les neurones de mon cerveau me donnent mes propriétés cognitives n'est pas une affaire de simple logique.

Il semble donc que la réduction fonctionnelle ne puisse pas se passer d'une étape équivalente à la découverte d'un énoncé de liaison : dans les deux premières étapes, qui font l'objet de la « réduction rôle-occupant », on découvre la propriété macroscopique P qui joue le rôle F. P est en général une macropropriété complexe d'un système : un mécanisme. Dans la troisième étape, la « réduction macro-micro », on découvre la contribution des différentes parties microscopiques du mécanisme P à sa capacité d'exercer la fonction F. Cette contribution nomologique est découverte de manière empirique et correspond à l'objet d'un énoncé de liaison. Cependant, contrairement à ce que suggère la conception de ces

énoncés dans les modèles de Nagel et de Schaffner, l'analyse d'un mécanisme est un processus complexe, et son résultat n'est pas un simple fait brut. Il est possible de comprendre pourquoi telle articulation de parties accomplit telle fonction. Par conséquent, si la capacité du mécanisme de jouer son rôle est épistémiquement émergente, ce n'est que de manière provisoire, le temps qu'on comprenne comment elle est déterminée par la structure microscopique du mécanisme. Mais nous avons vu aussi que le concept d'émergence ontologique permet de rendre compte de l'intuition que certaines propriétés globales d'un système, comme les capacités cognitives d'un humain, sont des propriétés qualitativement différentes de toutes les propriétés que peuvent avoir les parties du système, et notamment ses neurones²².

22. Je tiens à remercier François Athané, Édouard Machery et Marc Silberstein pour leurs remarques critiques.

