

# LA VÉRIFICATION DES THÉORIES SCIENTIFIQUES

Mario BUNGE

## 1. *Introduction*

Toute théorie scientifique de haut niveau est soumise à quatre batteries de tests: empiriques, interthéoriques, métathéoriques, et philosophiques. Certes, seulement la nécessité des premiers est admise couramment, et même la nature de ces épreuves n'a pas été bien éclaircie: en effet, on les présente d'ordinaire comme une simple confrontation des prévisions théoriques à des données empiriques, sans comprendre que celles-ci dépendent à leur tour d'autres théories. Quant aux tests interthéoriques, ils consistent dans l'examen de la compatibilité de la théorie en jeu avec le reste du savoir scientifique, en vue d'en assurer la cohérence globale. Que cette cohérence externe soit aussi importante que la cohérence interne et que l'appui de l'expérience nouvelle, est une chose bien connue des physiciens, qui utilisent plusieurs "principes de correspondance". Cependant, elle ne figure presque pas dans les traitements de la vérification, qui est regardée d'habitude comme étant purement empirique. Le troisième examen, celui de nature métathéorique, porte sur plusieurs caractères formels, tels que l'absence de contradiction, et sémantiques, tels que la possibilité d'une interprétation en des termes empiriques (habituellement à l'aide d'autres théories). Finalement, le souci de respectabilité philosophique n'est pas moindre: en particulier on soupçonnera toute théorie qui n'est pas conforme à la métaphysique dominante dans les cercles scientifiques: par exemple, on rejettera une psychologie qui ne fera pas de place aux processus organiques. Regardons tout cela plus de près, laissant de côté toutefois des détails et des applications qui sont traités ailleurs (1).

(1) M. BUNGE, *Scientific Research* (New York: Springer, 1967), en particulier I, pp. 499-504 et II, pp. 336-357.

## 2. *Les analyses non-empiriques*

Bien avant de faire le plan d'un test empirique, on se demande si la théorie est "raisonnable" et "vraisemblable": si elle est bien construite, si elle ne contredit pas tout ce qu'on croit savoir (cohérence externe), et si elle ne postule pas des entités métaphysiquement indésirables telles que l'élan vital. Ainsi, une théorie des neutrons postulant que ceux-ci sont à la fois ponctuels et étendus devra être rejetée à cause de son incohérence; si elle postule que les neutrons ont la faculté de la libre décision, on devra la rejeter comme incompatible avec la psychologie; et si elle suppose que les neutrons n'ont pas d'existence autonome, mais qu'ils sont des résumés pratiques de certaines données expérimentales, la théorie devra être écartée parce qu'elle n'est pas compatible avec la philosophie réaliste sous-jacente à la recherche scientifique (bien que des chercheurs eux-mêmes y échappent parfois) (\*).

Pourquoi ces examens non-empiriques avant même l'enquête empirique? Premièrement, par souci de clarté et de système: on veut avoir un édifice bien ordonné (un système hypothético-déductif), plutôt qu'un tas chaotique de formules, puisqu'on veut comprendre et on veut exploiter la logique et la mathématique. Deuxièmement, par souci de cohérence globale, qui multiplie le nombre et la variété des soutiens de toute sorte. Ainsi le psychologue qui étudie la mémoire comme un processus organique fait confiance à la biologie moléculaire, qui est à son tour basée sur la chimie, qui repose sur la physique, qui emploie la mathématique, qui renferme la logique. Introduisez la contradiction quelque part dans cette chaîne et vous aurez la fragmentation ainsi que le manque d'appui mutuel et de profondeur. C'est le même souci de cohérence globale qui nous pousse à chercher la compatibilité avec notre philosophie, ainsi qu'à réformer la philosophie afin de la mettre d'accord avec la science.

Bien sûr, ces examens non-empiriques ne sont pas faits toujours d'une façon explicite, détaillée et consistante. Tout de même, nulle théorie ne s'en passe et nulle ne devrait s'en passer, parce qu'ils

(\*) Cf. M. BUNGE, Ed., *Quantum Theory and Reality* (New York: Springer, 1967).

indiquent si les épreuves empiriques valent la peine d'être conduites et qu'ils pourront même suggérer (particulièrement les analyses interthéoriques) des épreuves empiriques. Si on ne les mentionne pas toujours, c'est par pudeur philosophique: parce que la philosophie déclarée des savants c'est l'empirisme, quoiqu'ils la trahissent dès qu'ils commencent à construire des théories et à les appliquer à la planification des expériences, puisque toute théorie est un ensemble infini (et ordonné) de propositions dépassant l'expérience.

### 3. *La préparation pour l'épreuve empirique*

On croit savoir comment on soumet une théorie scientifique à l'expérience: on dégage quelques conséquences des hypothèses de base et on planifie et exécute des observations pertinentes à ces théorèmes. Mais ceci est trop simple pour être vrai. La déduction de conséquences vérifiables comporte toujours l'addition d'hypothèses supplémentaires qui vont au delà de la théorie en question, et par conséquent la mettent en péril, tout en la sauvant de l'isolement par rapport à l'expérience. Ces suppositions se rapportent en partie aux particularités de l'objet concret auquel se réfère la théorie: elles en dessinent un modèle théorique compatible avec la théorie, construit avec les concepts de base de la théorie, mais qui ne fait pas partie des postulats généraux de la théorie<sup>(\*)</sup>. Ainsi, en théorie électromagnétique, pour calculer la forme et la puissance des ondes émises par un poste émetteur, on devra commencer par imaginer un modèle théorique des antennes. A cette simplification pourront s'ajouter des simplifications dans les solutions et même dans les équations de base.

Bref, ce qu'on choisit de soumettre à l'épreuve empirique, ce n'est pas la théorie toute entière et pure, mais un petit ensemble de théorèmes obtenus à l'aide de la théorie, enrichie de quelques hypothèses supplémentaires et appauvrie par quelques simplifications. L'ensemble de formules ainsi obtenues n'est pas seulement

(\*) Cf. M. BUNGE, *Foundations of Physics* (New York: Springer, 1967) et *Scientific Research*, I, pp. 494 ss.

fini, mais il est aussi en partie étranger à la théorie, puisqu'il enveloppe des hypothèses supplémentaires. En appelant  $T_1$  la théorie en question et  $S_1$  l'ensemble d'hypothèses et simplifications introduites au cours du travail de déduction, on a:  $T_1, S_1 \vdash T'_1$ . C'est de la performance de  $T'_1$  qu'on tirera des "conclusions" sur la valeur de  $T_1$ .  $S_1$  peut ruiner  $T_1$  mais, sans  $S_1$ , pas de  $T'_1$  et par conséquent pas de tests empiriques.

Nous voici devant  $T'_1$ , ce qu'on appelle incorrectement les conséquences observables de  $T$ . Sont-elles prêtes à affronter l'expérience? Pas encore:  $T'_1$  contiendra des concepts sans contrepartie empirique, par exemple "température", ou bien des concepts qui, tout en étant empiriques, comme "soif", ne sont pas directement contrôlables. Il faudra donc "traduire"  $T'_1$  dans un langage mi-empirique, mi-théorique. Par exemple, il faudra "traduire" les températures en longueurs et la soif en quantité d'eau bue. Cette traduction ou interprétation des concepts et des hypothèses théoriques est une affaire scientifique, non une affaire linguistique seulement. Il s'agit en effet d'introduire de nouvelles hypothèses reliant quelques-uns des inobservables de  $T'_1$  à des observables objectifs. Exemples: les équations qui relient la différence de potentiel à la température d'un thermocouple, et la mémoire à la performance de certaines tâches apprises. Ces hypothèses objectifiantes ou indices ne sont pas mises en question à l'occasion du test de  $T_1$ . Elles pourront être introduites à l'aide de  $T_1$ , mais elles vont au delà de  $T_1$ . D'ordinaire ces indices  $I_1$  sont conçus à l'aide de  $T_1$  et du corps  $A$  du savoir antécédent.

Même avec l'addition des hypothèses supplémentaires  $S_1$  et des ponts  $I_1$  entre la théorie et l'expérience,  $T_1$  n'est pas prête à affronter l'expérience. Il faudra encore ajouter des informations empiriques ("données") concernant l'objet de la théorie. Ce ne seront pas des données brutes tout à fait étrangères à  $T_1$ : elles résulteront de manipulations théoriques d'un ensemble de données empiriques; par exemple, l'expression d'observations astrométriques en des coordonnées coperniciennes. Appelons  $E_1$  les données proprement dites et  $E^*_1$  leur "traduction" en langage de la théorie  $T_1$ . Ces données raffinées, en conjonction avec  $T'_1$  et  $I_1$ , nous permettront de déduire un ensemble  $T^*$  de propositions particulières, appartenant à un langage mi-théorique, mi-empirique, qui pour-

ront être soumises au contrôle de l'expérience. Bref, le procédé a été le suivant:

*Déduction de théorèmes*  $T_1, S_1 \vdash T'_1$

*Traduction des données*  $A, T_1, E_1 \vdash E^*_1$

*Construction des indices*  $A, T_1 \vdash I_1$

*Conséquences vérifiables*  $T'_1, E^*_1, I_1 \vdash T^*$

Ce n'est que maintenant que notre théorie est prête à subir les tests de l'expérience.

#### 4. *La production de données nouvelles*

Nous voulons planifier, exécuter et interpréter des expériences (observations, mesures, expérimentations) visant à mettre  $T^*$  à l'épreuve. Il ne s'agit pas d'observer quoi que ce soit, mais de produire un ensemble  $E^*$  d'informations comparables à  $T^*$ , c'est-à-dire exprimées dans le langage de  $T$ . Ceci impose un travail théorique préalable de la même ampleur que celui qui résulta en  $T^*$ .

On commencera par faire le plan des tests, par exemple des expériences de diffusion de "particules" chargées par une cible de composition et structure connues. Une quelconque de ces expériences se fondera sur  $T_1$  ainsi que sur le savoir antécédent  $A$ , en particulier des connaissances concernant les modes d'accélération et de détection des projectiles (par exemple, théories du cyclotron et du compteur à scintillation). On aura, presque comme dans le cas précédent, un corps  $T_2$  de connaissances théoriques (un tas de fragments de diverses théories), y compris une partie de  $T_1$ . On aura aussi un ensemble  $S_2$  d'hypothèses spécifiques concernant le plan expérimental, ce qui nous permettra de dégager des conséquences  $T'_2$  sur le fonctionnement de l'appareillage. Ensuite, on aura un ensemble  $I_2$  d'hypothèses-ponts, qui pourra renfermer  $I_1$ . Ce n'est que maintenant qu'on pourra commencer les manipulations au laboratoire.

Une fois les expériences exécutées et interprétées, on disposera

d'un ensemble  $E_2$  de données qu'il faudra lire en termes des théories  $T_1$  et  $T_2$ . Appelons  $E^*$  ce résultat final (bien que non définitif). Bref, on a la démarche suivante:

$$T_2, S_2 \vdash T'_2$$

$$A, T_2 \vdash I_2$$

$$E_2, I_2, T_1, T'_2 \vdash E^*$$

C'est cet ensemble  $E^*$  de données raffinées qu'il faudra confronter avec  $T^*$ .

### 5. La rencontre de la théorie et de l'expérience

Notre tâche est maintenant de mettre  $E^*$  vis à vis de  $T^*$  afin d'évaluer  $T_1$ . On rappellera que  $T^*$  est un échantillon fini, déformé et interprété de  $T_1$  et que, de la même manière,  $E^*$  est un échantillon, élaboré à l'aide de connaissances théoriques, de tout l'ensemble des expériences possibles. On ne devra pas être surpris si la détermination de la valeur de vérité de  $T_1$  n'est pas une affaire facile.

Evidemment, il n'y a que deux cas possibles: ou bien  $E^*$  est pertinent à  $T^*$ , ou il ne l'est pas. Supposons qu'il le soit, parce que autrement il faudra replanifier le test. Si  $E^*$  est pertinent à  $T^*$ , alors ou bien les deux s'accordent raisonnablement bien (\*) ou bien ils ne s'harmonisent pas. Au premier cas on concluera que  $E^*$  confirme  $T_1$  dans le domaine exploré, sans toutefois la vérifier définitivement. On devra s'attendre à ce qu'un nouvel ensemble de données, soit dans le même domaine, soit dans un autre, puisse réfuter  $T_1$ .

Mais si  $E^*$  est en désaccord avec  $T^*$ , c'est-à-dire si  $E^*$  contient un sous-ensemble  $E'^*$  de cas négatifs, il y aura deux possibilités, soit rejeter  $T_1$ , soit rejeter  $E'^*$ . La décision dépendra du soutien que  $T_1$  et  $E'^*$  pourront trouver ailleurs, c'est-à-dire au delà des nouvelles données. Si les preuves empiriques négatives  $E'^*$  ne sont pas fermes — soit à cause de la faiblesse de la théorie auxiliaire  $T_2$ , soit à cause de la présence probable des erreurs systématiques dans l'expérience — alors on devra replanifier ou tout

(\*) Cf. *Scientific Research*, II, p. 302.

au moins répéter les opérations empiriques. En tout cas, on devra suspendre le jugement sur  $T_1$ .

C'est seulement si les épreuves négatives  $E'^*$  sont soutenues fermement par l'arrière-plan théorique  $T_2$ , qu'on devra rejeter  $T^*$ . Mais la négation de  $T^*$  n'entraîne pas la négation de  $T_1$ , puisque  $T^*$  a été obtenue à l'aide de  $T_1$  et de plusieurs autres prémisses, en particulier  $S_1$ ,  $I_1$  et  $E_1$ . Il s'agit donc de trouver les coupables. Cette recherche est difficile mais possible.

Deux cas peuvent se présenter: ou bien  $T_1$  est prestigieuse, ou bien elle n'a pas encore prêté des bons services. Dans le premier cas on soupçonnera soit les suppositions  $S_1$  constituant le modèle de la chose qu'on étudie, soit les lois-ponts  $I_1$ , soit les données  $E_1$ . On les examinera critiquement, parfois en les soumettant à des tests empiriques indépendants. Ensuite on modifiera ou remplacera les composantes qui ne marchent pas, jusqu'à obtenir un accord raisonnable, bien que temporaire, entre une nouvelle  $T^*$  compatible avec  $T_1$ , et  $E^*$ . Le cas échéant, on déclarera  $T_1$  fautive dans le domaine qui vient d'être exploré, bien qu'elle puisse être approximativement vraie dans d'autres domaines<sup>(5)</sup>.

Si, au contraire,  $T_1$  est nouvelle, alors toutes les prémisses entraînant  $T^*$  devront être critiquées pas à pas. D'habitude les prémisses les moins sûres sont les axiomes de  $T_1$  et les hypothèses supplémentaires  $S_1$ , ce qui n'exclut pas les présuppositions génériques de  $T_1$ , telle que la théorie du temps que présuppose  $T_1$ . Pour mieux reconnaître les parties responsables de l'échec il sera convenable d'axiomatiser la théorie<sup>(6)</sup>. Cette axiomatisation, en montrant les présuppositions génériques et les hypothèses spécifiques de  $T_1$ , facilitera la fouille et empêchera la fuite des coupables.

Le premier pas dans cette poursuite sera de tenter d'isoler les prémisses les plus suspectes, qui seront les plus spécifiques, en séparant les membres de  $T^*$  qui en dépendent de ceux qui en sont indépendants, et en mettant les conséquences des hypothèses soupçonnées en rapport avec les "données" empiriques. Si on réussit à

<sup>(5)</sup> Pour une théorie axiomatique de la vérité partielle, cf. M. BUNGE, *The Myth of Simplicity* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1963).

<sup>(6)</sup> Cf. M. BUNGE, "Physical Axiomatics", *Reviews of Modern Physics*, 39, 463, (1967).

capturer les coupables, le deuxième pas sera de les remplacer ou même de les laisser tomber, en produisant une nouvelle théorie ne différant pas trop de l'antérieure. On procédera de cette façon jusqu'à obtenir un accord raisonnable avec  $E^*$ . Le cas échéant on abandonnera  $T_1$  complètement, en sauvant peut-être quelques fragments; mais on pourra s'attendre même à un changement de point de vue.

Le procédé de vérification — ou plutôt de mise en épreuve — est donc graduel. La confirmation ou la réfutation d'une théorie ne sont si directes que dans le cas d'une hypothèse isolée. On accumulera des preuves favorables ou/et défavorables à la théorie, sans qu'elles parviennent à être définitives, soit pour l'acceptation soit pour le rejet de la théorie dans son ensemble: nulle théorie qui ait réussi aux examens non-empiriques n'est entièrement fautive, et aucune qui ait réussi à tous les examens ne peut être entièrement vraie non plus. Cela devrait suffire, puisque la science n'a pas besoin de certitude définitive, mais seulement de corrigibilité (?).

### 6. *Conséquences philosophiques*

Dans la mesure où la méthodologie qui vient d'être esquissée est conforme à la pratique de la recherche scientifique, les diverses philosophies des sciences sont inadéquates. L'empirisme, parce qu'il méconnaît le rôle des théories dans la production des "données" empiriques, en même temps qu'il exagère le poids de la confirmation ou soutien inductif au dépens des appuis non-empiriques. Le réfutationisme n'est pas adéquat non plus, parce que lui aussi suppose que le seul test des théories est de nature empirique, parce qu'il méconnaît la valeur de la confirmation, et parce qu'il suppose la possibilité de la réfutation concluante, ce qui vaut pour des hypothèses isolées, mais non pour des systèmes hypothético-déductifs ayant réussi aux examens non-empiriques. Enfin le conventionnalisme aussi échoue, parce qu'il admet des rema-

(?) Cf. M. BUNGE, *Intuition and Science* (Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962).

niements *ad libitum*, ne satisfaisant ni la condition de contrôle empirique ni les conditions de cohérence.

Il nous faut donc une nouvelle philosophie des sciences, alliée à une méthodologie réaliste de la recherche et reconnaissant la valeur de la solidarité du savoir tout entier <sup>(6)</sup>.

McGill University, Montréal, Canada

Mario BUNGE

M. BUNGE

La lecture de mon rapport vous aura montré que ma position au sujet de la vérification des théories scientifiques n'est pas la position orthodoxe. Peut-être une anecdote vous expliquera-t-elle pourquoi je ne peux pas partager les vues courantes, soit le confirmationisme à la Carnap, soit le réfutationisme à la Popper.

Alors que je commençais mes études de physique, il y a déjà une trentaine d'années, on m'assigna la tâche de faire certaines mesures employant une balance de précision. J'avais lu, bien entendu, le fameux manuel de physique expérimentale de Kohlrausch, qui donnait un ensemble des règles d'opérations. Ces règles étaient efficaces, mais naturellement je voulais savoir pourquoi.

En répondant à ma question, mon professeur me dit: «Pour comprendre cela vous devez étudier l'article de mon frère sur la théorie de la balance». Son frère était le professeur de physique théorique. Alors je commençai à lire l'article mais, à la deuxième page, je me heurtai à des difficultés insurmontables. Je ne pouvais pas le comprendre parce que la théorie de la balance est une application de la mécanique rationnelle, théorie que je n'avais pas encore étudiée. C'est pourquoi je dus remettre l'étude détaillée de la balance de précision à l'année suivante. Je retournai au labo tout à fait insatisfait, résigné à opérer tout comme un technicien de laboratoire qui a un certain *know-how* mais ne possède pas le *know-why* que seule la physique théorique peut lui donner. C'est le physicien plutôt que le technicien qui doit expliquer le fonctionnement de la balance, la corriger et même

(6) Pour un traitement systématique, voir *Scientific Research*.

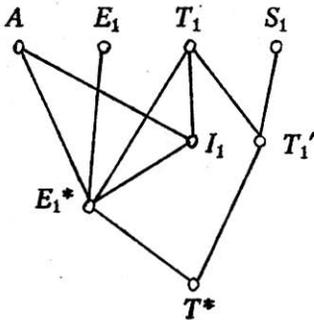
inventer des nouveaux types de balances. Et tout ça demande de la théorie aussi bien que de l'ingéniosité.

En somme, cette petite expérience d'apprenti-physicien me montra l'importance de la théorie dans les procédés expérimentaux. Cela va sans dire, ma foi dans la philosophie officielle, selon laquelle l'expérience est le fondement des théories, s'affaiblissait. Je compris désormais qu'il n'y a pas d'expérience scientifique sans théorie, même si la théorie doit être contrôlée par des expériences, puisque la planification et l'interprétation des expériences se font à la lumière des théories.

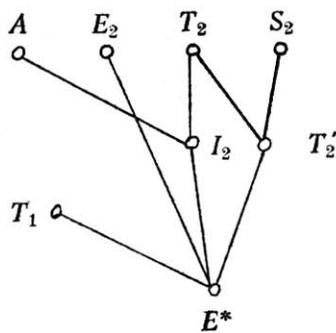
Dans l'impossibilité de répéter le texte de mon rapport, permettez-moi d'en extraire l'essentiel. L'essentiel se trouve indiqué dans le tableau que voici :

$A$ = connaissances préalables	$T_2$ = théorie auxiliaire
$T_1$ = théorie à vérifier	$S_2$ = hypothèses auxiliaires
$S_1$ = hypothèses subsidiaires	$E_2$ = nouvelles «données» obtenues
$E_1$ = données expérimentales préalables	$I_2$ = hypothèses-ponts (indices)
$E_1^*$ = traduction de $E_1$ en langage de $T_1$	$T_2'$ = conséquences sur l'appareillage
$I_1$ = hypothèses-ponts (modèles)	$E^*$ = «données» traduites en langage mi-théorique.
$T_1'$ = conséquences particulières	
$T^*$ = échantillon interprété de $T_1$	

(1) Préparation à la théorie



(2) Production de «données» pertinentes



(3)  $T^* \leftarrow$  Confrontation  $\rightarrow E^*$

/ non pertinentes à  $T_1$

$E^*$	/ accord	/ suspendre le jugement sur $T_1$ si $T_1$ est novice
\ pertinentes à $T_1$	/ rejeter $E^* \subset E$	\ Continuer à utiliser $T_1$ si $T_1$ est vénérable
	\ désaccord	/ suspendre le jugement sur $T_1$ , critiquer $S$ , $E$ ou $I$
	\ rejeter $T_1$	\ rejeter $T_1$ en supposant que $S_1$ , $E_1$ et $I_1$ sont vérifiées indépendamment.

Tout d'abord nous avons le code qui nous dit ce que désignent les diverses lettres. Puis, on voit que le processus de vérification se compose de trois étapes. La première, c'est celle de la préparation de la théorie  $T_1$  qui devra être soumise aux tests. La deuxième étape, c'est celle de la production des «données» pertinentes. («Données» entre guillemets, puisqu'elles ne nous sont pas données: il faut aller les rechercher.) La troisième étape, c'est celle de la confrontation entre certains résultats théoriques et certains résultats expérimentaux.

Nous partons du corps des connaissances préalables: on ne part jamais de zéro. Ensuite nous avons la théorie qu'on veut vérifier, par exemple la mécanique des fluides, ou l'électromagnétisme de Maxwell, ou la mécanique quantique. Une théorie générale comme celles-ci ne fait pas des hypothèses spécifiant en détail les propriétés de l'objet. Pour l'appliquer à des objets concrets il faudra en construire un modèle: il faudra ajouter à  $T_1$  un ensemble  $S_1$  d'hypothèses subsidiaires. Il faudra aussi ajouter quelques données expérimentales concernant l'objet concret: il faudra donc ajouter des prémisses  $E_1$ . Finalement, il faudra aussi ajouter des hypothèses-ponts reliant des concepts théoriques à des concepts observationnels, ce que certains appellent des «définitions opérationnelles». Par exemple, si on fait des mesures de basses températures, on mesurera peut-être la pression et on en déduira la valeur de la température au moyen d'une

formule théorique. Ces hypothèses-ponts ou indices ne sont pas des définitions ni des règles sémantiques: ce sont des hypothèses. De tout ceci on dégagera un ensemble (fini, bien entendu) de ce qu'on appelle des *conséquences vérifiables* de la théorie à vérifier. Cette dénomination n'est pas tout à fait correcte, parce qu'on a employé plusieurs prémisses étrangères à la théorie. Parmi ces hypothèses pourront se trouver des simplifications, par exemple des linéarisations des équations de base de la théorie.

Supposons donc que nous ayons dégagé un ensemble de conséquences de notre théorie: il faudra alors l'assujettir à l'expérience. Pour cela il faudra commencer par planifier une expérience. Comme d'habitude on commence par ce qu'on croit savoir déjà, en particulier on se servira d'un ensemble  $T_2$  de théories concernant le complexe constitué par l'objet (atome, organisme, etc.) et son milieu, en particulier les appareils qui entreront en interaction avec lui. Ces théories serviront aussi pour donner un sens aux résultats des opérations empiriques. Supposons, par exemple, qu'on veuille vérifier une théorie mécanique. Puisque toutes nos mesures employent le sens de la vue, on aura besoin de l'optique comme théorie auxiliaire. Dans toute mesure moderne interviennent à titre auxiliaire plusieurs théories servant à expliquer le fonctionnement de l'appareillage. Il faudra aussi ajouter des hypothèses-ponts nous permettant de lire nos instruments. Finalement, il faut aussi employer la théorie qui est à vérifier, puisque en fin de compte il s'agit de faire des observations de l'objet de cette théorie. Le résultat de ce tas d'opérations conceptuelles et empiriques ce sera un ensemble  $E^*$  de «données» expérimentales lues à la lumière des théories en jeu.

L'étape finale du processus sera la confrontation des conséquences  $T^*$  de la théorie et des résultats expérimentaux  $E^*$ . La première question qui se pose est celle de savoir si  $E^*$  est pertinent à  $T_1$ . (Ce n'est pas une question sottise, parce que c'est la théorie  $T_1$  elle-même qui devra décider ceci, à l'aide des hypothèses-ponts, ce qui pose un problème méthodologique aussi délicat que la désignation du juge par l'accusé.) Si les résultats sont pertinents à la théorie, alors il y a deux possibilités: ou bien ils s'accordent honorablement, ou bien ils ne s'accordent pas. Ce problème de l'accord, ou mieux du degré de cet accord, est à mon avis *le problème de l'induction*, qui n'est pas traité par la logique inductive ou par le calcul des probabilités mais

par la statistique mathématique et la théorie des erreurs d'observation.

Que faire s'il y a désaccord entre  $E^*$  et  $T^*$ , de sorte qu'il y a un sous-ensemble  $E'^*$  de  $E^*$  qui est loin de s'accorder avec  $T^*$  ? L'empiriste n'hésitera pas à rejeter la théorie  $T_1$ . Le savant procédera autrement: il se demandera si les éléments théoriques intervenant dans la production des «données» expérimentales sont vrais ou ont été bien appliqués; il répétera les observations; il ira jusqu'à critiquer le plan de l'expérience. Il pourra de cette sorte arriver à la conclusion que les «données» anormales  $E'^*$  doivent être écartées. Son attitude envers la théorie  $T_1$  dépendra des services que celle-ci a rendus dans le passé. Si c'est une bonne théorie il continuera à l'utiliser, sans pour cela croire à la théorie. Mais si la théorie est novice et intéressante, il vaudra la peine de replanifier les expériences.

Si les expériences sont bien fondées, si leur plan résiste à la critique, et si on les répète en obtenant des résultats pareils en contradiction avec les prévisions théoriques, alors il faudra les accepter, du moins provisoirement. L'acceptation de  $E^*$  entraînera en ce cas le rejet de  $T^*$ . Mais le rejet de ces conséquences théoriques ne condamnera pas la théorie  $T_1$  comme fausse. On pourra ou bien critiquer les prémisses auxiliaires, notamment  $S_1$ , ou bien, si on a des raisons pour supposer que celles-ci sont vraies ou approximativement vraies, alors on devra rejeter la théorie  $T_1$  elle-même. La décision à prendre dépendra des services rendus par cette théorie dans le passé. Si le passé de la théorie est honorable, on s'efforcera de critiquer les diverses prémisses auxiliaires, particulièrement le modèle  $S_1$  et les hypothèses-ponts  $I_1$ , bien que les données  $E_1$  puissent aussi être responsables de l'échec (comme ce fut le cas de la prétendue réfutation expérimentale de la loi de la radiation de Planck par des valeurs expérimentales erronées de la charge de l'électron).

En tout cas on voit que le procédé est bien compliqué, mais qu'il n'est pas impossible. En principe il est possible, bien que difficile, de trouver les hypothèses fausses, et ceci malgré le pessimisme de Duhem, qui le porta vers le conventionnalisme. Autrement dit, ce qu'on peut appeler *le problème de Duhem* est soluble pas à pas.

Je suppose que, de toute mon histoire, la partie la plus difficile à croire est le deuxième point, celui de la conversion des données expérimentales en des preuves pour ou contre une théorie. On me permet-

tra donc d'illustrer mon argument avec un exemple typique de la science moderne, savoir l'analyse des structures cristallines à l'aide des rayons X. Celle-ci est devenue l'une des techniques expérimentales principales du cristallographe ainsi que du métallurgiste et du biologiste moléculaire. Les données sont des figures de diffraction: ce sont des taches concentriques. Elles ne vous diraient rien à moins que vous puissiez les interpréter à l'aide des théories. Alors qu'est-ce qu'on fait ? Tout d'abord, on admet que l'optique est vraie et qu'elle explique la nature des rayons X. On ne discute pas dans ce cas l'optique mais on l'utilise comme une théorie auxiliaire  $T_2$ . Mais cette théorie serait inutile sans l'aide d'une autre théorie, si provisoire qu'elle soit, sur la nature du cristal, qui pourrait être, disons, une molécule de protéine, qui a donc quelques milliers d'atomes. Bref, on construit un modèle théorique  $T_1$  de cet objet. Ce modèle est un système de propositions: ce n'est pas nécessairement un modèle mécanique mais un schéma théorique de l'objet que nous voulons expliquer. A partir de ces deux théories on déduit la figure de diffraction qui doit correspondre à la structure imaginée. Naturellement, ce n'est pas une chose qu'on voit; il faut donc l'objectifier. Celle-ci est la mission de la plaque photographique, qui enregistre les rayons X émergeant du cristal. Mais puisque les taches qu'on voit sur la plaque photographique pourraient être dues à d'autres causes, il faudra une troisième théorie pour justifier l'hypothèse qu'elles sont des images plus ou moins fidèles de la figure de diffraction. Cette troisième théorie c'est la photochimie. Encore une fois, l'explication de ce qu'on voit c'est un processus déductif au sein d'un ensemble de théories enrichies d'hypothèses auxiliaires et de données.

Bien sûr l'expérimentateur ne procède pas toujours ainsi, parce qu'il y a *a priori* une infinité de structures moléculaires ou cristallines possibles. Il part de sa plaque photographique impressionnée par des rayons X diffractés par un cristal et il se demande ce que «signifient» les taches qu'il voit, ce qu'elles indiquent sur la structure cristalline. Il ne met en doute ni la photochimie ni l'optique, qu'il pourra critiquer une autre fois, en admettant en revanche d'autres théories. Quand le cristal est très complexe, comme c'est le cas des protéines, le travail de deviner la structure sera très complexe, si complexe qu'il faudra commencer par écarter une partie de l'information. En effet, on commencera par utiliser des appareils à faible résolution, qui donneront les

traits essentiels. Cet ensemble réduit d'informations permettra peut-être d'individualiser le type de structure. Ce n'est que après avoir obtenu une première approximation de cette sorte que l'expérimentateur recourra à un appareillage plus compliqué, tout comme le théoricien qui commence avec un modèle très grossier pour le compliquer graduellement en quête de la vérité, qui n'est jamais simple. Autrement, c'est à dire sans des simplifications méthodologiques, on ne saurait trouver des régularités. Un modèle grossier vaut mieux qu'une indigestion de données. Une vérité partielle mais profonde vaut mieux qu'un tas d'informations précises mais chaotiques.

L'histoire ne finit pas ici. L'idéal du théoricien n'est pas d'accepter aveuglément les modèles théoriques des structures moléculaires: son idéal sera de les déduire d'une théorie. Cette théorie, capable de prévoir les configurations moléculaires possibles, c'est la chimie quantique. A présent cette théorie ne peut s'appliquer qu'à des cas simples: les grosses molécules qui intéressent le biologiste sont encore au delà des possibilités actuelles. Mais personne ne doute que ce soit possible: qu'un jour viendra où le théoricien pourra calculer les diverses structures physiquement possibles à l'aide de la théorie générale (la mécanique quantique) et des hypothèses bien fondées sur les actions mutuelles de leurs composantes. On a l'impression que ce sera la prochaine révolution en biologie moléculaire. En tout cas, cette révolution ne dépendra pas de techniques expérimentales plus raffinées, puisque celles-ci le biologiste peut les emprunter au physicien. Ce sera un triomphe de l'imagination théorique aidé de calculatrices encore plus rapides que les actuelles. Si on réussit à faire ça on pourra interpréter ou lire une foule de photographies de diffraction des rayons X qui sont à présent des données aveugles, qu'on ne comprend pas. Ces données motivent donc une recherche plus approfondie mais elles ne constituent pas la base des théories à venir. Ici comme ailleurs, le rôle des données est double: elles posent des problèmes et elles mettent les théories à l'épreuve.

En somme, le processus de vérification est complexe, premièrement parce qu'aucune théorie ne donne à elle seule des résultats portant sur des faits d'expérience, et deuxièmement parce qu'aucune expérience scientifique ne se fait sans l'aide de plusieurs théories.

N. RESCHER

I should like to apologize for what may well be a point of significant incompleteness in my discussion this afternoon. I have not yet seen Professor Bunge's just-published book entitled «Scientific Research», and I think that some of the matters that I shall touch on are, no doubt, treated there in significantly greater detail than he was able to devote to them in the written paper with which we are concerned here.

The role of a discussant is usually conceived in terms of criticism. Now, if I look at my assignment in that light, it is going to be a very hard one, because I really do not feel very critical toward a great deal of the material that is to be found in Bunge's paper. I, unfortunately perhaps, incline to agree with much of the position that he sketches, and think that there are many interesting, important and true observations contained in that paper. But, precisely because the paper is quite brief, and his position is developed in a necessarily sketchy way, there are some points in the paper that need very badly to be elaborated in greater detail. And I think that these are points on which a discussion can profitably focus, and so I shall try to point to this by some of the remarks that I will make.

I wanted to dwell on three points that seem to me to be particularly worthwhile discussing, and I shall take them up in a sequential order of increasing seriousness for the general position that Bunge is developing in his paper, and therefore also, I think, of increasing fruitfulness for general discussion. Moreover, since some of these points are connected with ideas that he did not sketch in his brief oral summary presentation this afternoon, I think that, in this way, I may afford him a welcome chance to elaborate on aspects of his position that he did not have a chance to develop before us in his earlier remarks.

Now to my first point. In the last few pages of his paper, Bunge discusses in some detail the subject of what he calls the «confrontation between experience and theory». And I think that it is quite clear from his discussion that he thinks in the main of this confrontation as something that occurs in the laboratory, and that he thinks of it primarily in terms of laboratory tests. To judge by what he says in that place to which I've referred, an empirical test, for him, is to be con-

ceived in terms of laboratory experimentation. But I think that this point of view is much too narrow. In physical cosmology, for example, which is after all quite a reputable scientific enterprise in which theories are formulated and tested against the empirical facts, we have a domain in which actual experimentation in the sense of manipulation plays a very limited role. In short, if one thinks of empirical testability in terms of laboratory manipulation of the relevant parameters of those theories involved, one renders, I think, quite thin the link between various branches of established sciences, and his realm of what is, on that particular conception of the matter, empirically testable. This is especially true, I believe, of various social sciences, such, for example, as microeconomics which has made a tremendous progress in the last generation. And I think that Bunge's somewhat narrow and laboratory-oriented view of the nature of empirical tests is perhaps an outcome of a general tendency which is, I think, to be deplored. This is the tendency on the part of philosophers of science, to dwell upon the standard situation in physics and chemistry as representing a scientific paradigm, to the neglect of other branches of scientific inquiry whose methodology tends to be somewhat different. And I want to add, from this point of view, also that I have serious doubts about Professor Mercier's remark in his intervention this morning to the effect that we must, if I quote him rightly, look to physics to learn what laws of nature are, and to observe what their proper mode of expression is.

My second point relates to Bunge's distinction between the empirical and the metatheoretical modes of theory testing. It seems to me that the basis of the distinction is very much open to question. And I think that this is so for two reasons.

First of all, I think that many writers have recently contended that observations, in the sciences, are almost invariably theory-laden in character. This is quite obvious, I think, in the case of observations made by the use of instruments, optical or electronic or different in character, as virtually all scientific observations are, and as is quite apparent from the sketch of that situation in Bunge's discussion earlier. And, of course, those instruments and our understanding of their functioning and our interpretation of the results that they yield are heavily laden with theoretic suppositions and information. In going beyond that, I think, a good case can be built up for saying that even

rough classificatory observations, made quite without instruments, are generally articulated against the background of some sort of theory. Even measurements made with a yardstick involve a great number of suppositions about the thermal behaviour of rods and about the kinds of strength-tough-materials considerations, about the sorts of things that aren't at work to doubt on findings that they are not deformed by being re-oriented in a magnetic field, etc... So, first of all, I think that the very concept of an empirical observation is, in general, shot through with theoretic considerations.

And secondly, again, I think, Bunge's discussion gives us the very materials for building this point — theories are, after all, seldom if ever, tested in isolation. In applying a theory in some way to derive observational expectations from it, other kinds of theoretical material are almost inevitably brought in. For example, when we attach a weight to a spring to test out Hook's law, all sorts of other things come into the picture: the theory of gravitation, the strength of materials, etc... This general point, I think, is quite clearly recognized in Bunge's description, and also in his criticism of the doctrine of refutationism. But it seems to me that the theoretic discussion of his own systematization really does not take sufficient account of this network aspect of theory testing. The fact is that theories come together in clusters — that when we speak of a discipline like aerodynamics, this is a great structure that houses many theories, all of which have to be brought to bear before anyone of them can be seen to be at work — and these structures are very much like houses of cards that, if one fundamental part is pulled out, then the rest of it also collapses. I think that his own reference to scientific revolutions reminds one of the structures of Thomas Kuhn's book on this subject. And that the overthrow of one aspect of a wider network, the shift, say from classical to relativistic mechanics, involves, because of the coherence between the theories that make up such a cluster, the simultaneous tackling of a broad network of theoretical propositions. I think, once this is taken into proper account, the result will be to erase the rather neat line of division between what Bunge calls the «empirical» and what he calls the «intertheoretical» modes of theory testing. This does not, of course, erase this as a theoretical division that can be drawn when one thinks about these things in the abstract, but as an operative division of which one can make some applied use in

understanding what goes on in scientific research, and in the interpretation of its results.

I come now to my third and, I think, principal point which relates to something that, unfortunately, Bunge did not touch on at all in his earlier remarks, namely to what he calls the «philosophical test of a scientific theory». This, as he explains it, has to do with considerations of what he, at the outset of his paper, refers to as «philosophical» respectability», or again, as «conformity to the metaphysics dominant in scientific circles», or what in his intervention in the discussion yesterday, he called «agreement with our *Weltanschauung*». I think that this is perhaps the most important and the most challenging thesis of his paper. And if I understand aright his brief observations on the topic, I think that what he has in mind here is the sort of consideration that led many scientists of the time, for example, to reject Newton's theory of gravitation, as unscientific and a fraud, because it envisaged the possibility of action at a distance in a way that grate very sharply against the dominant mechanism of the day. And, of course, there are many other examples of this sort of thing. The outright rejection of Freud's psychology by many psychologists because it did not accord with the currently favoured metaphysical, or methodological conceptions of the nature of the psychological mechanisms. The dislike of physicists in the earlier days of the century of theories that tended to dispense with a luminiferous ether, or, to come down to a more recent time, the very savage attacks that many scientists, again for doctrinal reasons, launched against the astronomical speculations of Vlakowski. Now, I think that an openminded examination of cases of this kind, in which Bunge's philosophical test was applied in the appraisal of a scientific theory, suggests that the imposition of this test may well be simply a great mistake. I do not want to suggest that this is not what is in fact done in practice. I think, no doubt, one finds scientists resorting to this sort of thing. But, of course, from the angle of the epistemologist the question is: «*ought* this kind of test to be imposed?» Why, after all, should we ask more than what the other tests provide for in total, namely that the theory be self-consistent, or that it be coherent with others, that it give us some data, some suppositions about what goes on in the domain at issue, and it deal in an efficient and effective way with the problems of explanation and prediction of the phenomena of its domain. Why, in short, should

we insist on imposing the test of what Bunge characterises as philosophical respectability, or conformity to the metaphysics dominant in scientific circles. This, I think, is a question that can very profitably be explored in the subsequent discussion. And, in this connection, I would like to offer one or two very brief further observations.

First of all, I want to emphasize that the philosophic test is, in any event, of a kind very, very different from the others. We can see this clearly by noting the position of affairs that results when a theory flunks this particular test. For, if a theory fails one of the others, if, for example, it is self-inconsistent, or is mutually incompatible with other well-established theories, or runs a foul of the experimental facts, then the theory is in very, very hot water indeed. Then we must simply be prepared to face very seriously the prospect of giving a theory up. But the case when a theory flunks the philosophical test seems to me to be a quite different one, and the water in which it then finds itself strikes me as being at the very, very worst, rather lukewarm. I can't do any more than bring this home to you by an example. If I go to see the doctor and he tells me that I have some disease that, in general, in the absence of treatment, is virtually certain to prove fatal, I will turn quite white. Now, if he says «Ah, but, of course, there is a remote possibility for you. There is this rather strange and fringe theory, I really hate to give it sufficient credence to act on it by way of giving you a prescribed course of treatment. To be sure it is internally self-consistent, and it is, I suppose, as far as we know in general compatible with what we know to go on in these areas. And the empirical evidence, I must confess, is really quite impressive in the cases where it has been administered. The cure based on this theory is 99.9 % effective, but I'm very loath to prescribe it to you, because, after all, dear chap, it fails completely to accord with the dominant metaphysics accepted by medical practitioners of our time. Well, if he tells me that, I need not amplify what the nature of my reaction will be.

I have only a moment of time left, so I will skip summarize my discussion by saying that the point of view that I am trying to sketch does, in fact, seem to me to go against our professional grain. As philosophers, we certainly feel it would be very nice and very flattering, if we could reasonably insist that the scientists' theories had to pass the test of conformity to the systems that are the products or by-

products or mis-products of the work of our profession. But it seems to me very dubious that this is something that we reasonably can insist upon. And, indeed, I wonder if such an insistence would not be rightly regarded by scientists as a distinctly unwarranted kind of professional imperialism.

M. BUNGE

We do not really disagree on the first point for, as I say at the beginning of Section 4 of my paper, the procedures for putting a theory to the test of experience are observation, measurement, and experiment. It is true that my examples are taken from experiment rather from observation. But it is also true that, in any advanced science, observation is quantitative. As to physical cosmology, I do not think it is an exclusively observational science: after all, cosmology is just metaphysics, that is, an application of basic physical theories, tested in the laboratory, to stars, star-clusters, galaxies, and so on. So, after all, experiment does enter serious cosmology in a vicarious way.

Concerning your second point, I think it splits into two: one is the distinction between empirical and nonempirical tests, the other the claim that theories come in clusters. As to the first point, I think that while every empirical test in advanced science involves some theory or other, no metascientific test employs experience. Thus an internal consistency test is a purely logical affair and the test for the consistency of a given theory with other bodies of knowledge is likewise a conceptual operation. As to Professor Rescher's thesis that theories come together in clusters, I agree, if I may, with half of it. They do come that way but let us recall that some of these clusters are internally inconsistent. Take, for instance, quantum mechanics, or general relativity. An empirical test of any of these theories calls for classical theories (mechanics, optics, thermodynamics, and electrodynamics) that are logically inconsistent with them. A split cluster like this is no easy matter.

Finally we come to the most delicate point: the problem of the philosophical test of scientific theories. I am not advocating that we ask the philosopher to say the last word: he must certainly be heard but he should pass no sentence *qua* philosopher. My point is a purely

historical one, namely that, for better or for worse, every scientific theory is in fact subjected to a test of consistency with certain philosophical views, in the first place those upheld by its inventor. This test is double-edged, as I have shown in my book *The Myth of Simplicity*. On the one hand it serves to weed out crackpot views such as parapsychological; but on the other hand it may be wielded to discredit valuable scientific theories, as was the case with genetics. Therefore, a servile subjection to the prevalent *Weltanschauung* should not be advocated: science and our world-view, in particular our philosophy, should adjust to each other and control one another. Such a mutual adjustment would prevent a lot of dogmatism in science as well as in philosophy.

#### N. ROTENSTREICH

I have two points to make: One is related to the last remark of Mr. Rescher concerning the relationship between scientific theory and philosophy. If it is a historical statement, as, for example, that on page 148 of Mr. Bunge's written presentation, it is certainly correct. But I wonder whether we may extrapolate this point and take it as more than a historical statement, i.e. as a statement about patterns of thinking. Historically speaking, we can easily point to scientists who worked in the same field and yet entertained different metaphysical or philosophical systems like Newton and Leibniz, Planck and Niels Bohr. We may perhaps introduce a slightly revised concept: to distinguish between a philosophical doctrine which deals e.g. with psycho-physical parallelism or even with causality which is a concern with science on a higher level, and what may be an *ad-hoc* expression, a «framework-metaphysics». For instance, the statement of Leibniz and Kant expressed quantitatively, is a statement within a certain framework. This is not a statement about events; it is related to a frame of reference of our thinking. To express it differently: we deal with objects. Objects, as such, do not interfere with us, do not have a status in themselves embodying mythological entities, or souls or whatever may be. This is not a doctrinal statement in terms of a specific philosophical system; it is the frame of reference of different

soils of thinking. It seems that modern science somehow presupposes this view.

The second point I would like to raise is on Mr. Bunge's presentation. I notice that in the course of his oral presentation he added quotation marks to the *donnée* on the second part of the chart. But on page 151, bottom, he has even «données empiriques» in quotation marks.

I would like to ask Mr. Bunge to elaborate this. Isn't the term «datum», «data», used in the scientific theory somehow equivocal: is the «datum», «*das Gegebene*» which we know from classical epistemology? There, «*das Gegebene*» is related to senses and as such is understood to have some sort of an ultimate status as a primitive datum. But a datum in a scientific theory is never ultimate. It is related to the scientific theory. The genetic code, for instance is related to biochemistry or to genetics. It doesn't have any meaning whatsoever beyond the scope of that theory. It is a datum in this sense that it is not derived from the theory we are dealing here and now. But it is still related to the whole frame of reference of a specific branch of science. I wonder, Mr. Bunge, whether you would like to elaborate on the epistemological character of the datum in a scientific theory proper.

M. BUNGE

Concerning the first point raised by Professor Rotenstreich, the important thing seems to be this. No scientist can get rid of his philosophy, and moreover almost every scientist has two philosophies: a sound implicit philosophy which he puts to work, and a lamentable philosophy which he explains in forewords and popularisation articles. Thus Newton, while professing to apply Bacon's inductivism, was in fact using the method of hypothesis. And Bohr, while claiming to deal with that which appears to an observer, was actually concerned to explain the structure of matter and light.

As to the word 'data', I put quotation marks around it because I think it is a misnomer behind which a wrong epistemology lurks. Indeed, what is given to us, i.e. the datum, is hardly of any use to science. At most it is a raw material that has got to be checked and translated into intelligible terms. Take a «datum» like the value of the electronic charge, or the composition of haemoglobin, or the present

population of Liège: all these have been searched for in the light of hypotheses. Moreover, they are pretty hypothetical themselves. No matter how much experience may have got into finding them, they are not reports of sense experience. I would rather speak of *circum*, but this term, too, would be misleading, because *circa*, i.e. data, are not the only thing we are after. Whatever the final decision may be, one thing is certain, namely that problems of terminology have often a philosophical background.

#### G. HIRSCH

Je voudrais évoquer ici un point qui se rattache à la dernière remarque du Professeur Rescher et qui concerne les deux premières parties de l'exposé du Professeur Bunge: l'exigence de la cohérence globale, tout comme la méthode même de vérification de la théorie avec ses hypothèses subsidiaires, reposent sur des «connaissances préalables» (que M. Bunge, dans son livre, appelle «reasonably well-tested knowledge»<sup>(1)</sup>, qui ne sont pas mises en question. Ces connaissances préalables sont, en partie, une extrapolation de ce que nous apporte le bon sens; les remarques du Professeur Rescher sont confirmées par ce que dit Philipp Frank, dans un article de 1941<sup>(2)</sup>, à propos de l'opinion des philosophes dans laquelle il voit une *physique pétrifiée*, c'est-à-dire une physique qui, après avoir été acceptée seulement après une résistance parfois assez longue, s'est trouvée finalement élevée au rang de vérité philosophique incontestable, où elle devient bientôt à son tour un obstacle à l'introduction des théories nouvelles. A côté de l'affirmation de Herbert Spencer pour qui (en 1860) la conservation de la matière était une «nécessité de l'esprit», Frank mentionne aussi les difficultés que rencontra Newton pour faire admettre la possibilité d'une action à distance et le principe d'inertie, théories jugées alors «mathématiquement vraies» mais «philosophiquement inacceptables», tandis que, devenues a priori dans la philosophie de Kant, ces mêmes notions vont à leur tour être invoquées pour réfuter le théorie de la

(1) *Scientific Research* (Berlin, Springer Verlag, 1967), vol. II, p. 352.

(2) «Why do scientists and philosophers so often disagree about the merits of a new theory?», in *Review of Modern Physics*, 13 (1941), p. 171.

relativité. Ces exemples — et on pourrait en citer d'autres, parmi lesquels diverses conséquences de la théorie quantique — montrent que certaines des théories les plus importantes et les plus profondes n'ont pu être formulées que parce qu'on acceptait de remettre aussi en question ces connaissances préalables qu'on avait crues inébranlables.

A propos de ces théories — la relativité et la physique quantique précisément — je voudrais relever encore une autre exigence énoncée par le Professeur Bunge dans son ouvrage déjà cité et aussi dans un article consacré à la physique quantique<sup>(3)</sup> : il s'agit de la nécessité d'apporter une description objective, indépendante de toute référence au sujet, et cela, dit le Professeur Bunge<sup>(4)</sup> «by drawing a line separating the inquiring subject from his object of research». Cette dernière procédure me paraît imprudente, voire même dangereuse, d'un point de vue méthodologique et philosophique, car nous ne savons pas d'avance, en général, où la séparation devra être tracée. J'en donnerai deux exemples simples : le premier est fourni par l'arc-en-ciel, qui donne à l'observateur l'illusion qu'on pourra le repérer dans l'espace, alors que nous savons, par les théories optiques, que l'aspect de l'arc-en-ciel est fonction de la position de l'observateur. Un deuxième exemple, moins trivial, est celui de la notion de simultanéité qui, d'après la théorie de la relativité, dépend de la vitesse de l'observateur.

Bien entendu, nous disposons, dans chacun de ces cas, d'une théorie «objective» qui permet de donner de ces phénomènes une description invariante, mais la description apparemment objective qui se présentait d'abord comme la plus naturelle (et qui fut d'ailleurs longtemps admise pour la simultanéité) était plutôt un obstacle à l'établissement de la théorie la plus adéquate. Prétendre dissocier le sujet et l'objet et se refuser, dans la description, à toute référence à l'observateur ne me paraît justifié que si nos connaissances dans le domaine en question sont assez sûres et assez vastes pour nous permettre d'affirmer à l'avance que tel ou tel caractère de l'observateur (sa position, lorsqu'il s'agit de l'arc-en-ciel, sa vitesse, pour la notion de simultanéité) aura ou n'aura pas d'influence sur les phénomènes que nous étudions. Les

(3) «The Turn of the Tide», in *Quantum Theory and Reality*, Berlin, Springer-Verlag, (1967).

(4) *Scientific Research*, vol. I, p. 291.

«révolutions» qui ont bouleversé la physique, apparemment solidement établie, de la fin du 19<sup>e</sup> siècle me font penser qu'il y a très peu de domaines où nous pouvons avoir pareille certitude.

Je serais même enclin à croire que, dans certains domaines, le désir d'obtenir des théories dans lesquelles le sujet et l'objet sont nettement séparés est une obstacle au progrès de ces théories. Tel pourrait être le cas pour le problème de la reconnaissance des formes et des structures et pour la compréhension de la nature des activités logiques et mathématiques du cerveau humain, dont von Neumann disait, dans les dernières pages de son livre, malheureusement inachevé, «The Computer and the Brain»<sup>(5)</sup>, que la structure de leur langage, dans notre cerveau, doit être essentiellement différente de celle des langages de notre expérience habituelle.

La théorie de l'information, telle qu'elle est appliquée jusqu'ici a été développée surtout par des ingénieurs des télécommunications, qui avaient d'emblée à leur disposition un langage «objectif». Ne serait-ce pas dans ce souci d'objectivité qu'il faut voir la cause du manque de souplesse de cette théorie, qui, par exemple, n'a pas pu apporter jusqu'ici une description satisfaisante des processus conduisant à la reconnaissance des formes et des structures ou à la formation des concepts, et cela peut-être justement parce que son mode d'expression ne lui permet pas de tenir compte de la néguentropie de l'observateur ?

M. BUNGE

Il me semble que nous sommes en désaccord concernant les deux points principaux que vous avez soulevés: la question des présuppositions et celle de l'observateur. Quant à la première, quand je dis qu'on part toujours d'un corps de connaissances préalables, je veux dire qu'il n'y a pas du commencement *ex nihilo*, mais je ne dis pas que ces connaissances préalables soient définitives. En science tout doit être critiquable: d'accord. Mais rien ne peut être critiqué si ce n'est à la lumière de certaines prémisses qu'on accepte provisoirement. Si on critique une théorie physique, on admettra la logique et la mathématique; si on critique une théorie biologique, on supposera toute la

(5) New Haven, Yale University Press, (1958).

physique. En somme, il est logiquement impossible de mettre en question tout à la fois. La critique scientifique doit donc être graduelle. Autrement on tombe ou dans le scepticisme ou dans l'irrationalisme.

Quant à la séparation entre l'objet et le sujet, c'est vrai que, depuis Mach, cette séparation a été contestée par plusieurs physiciens. Je suis complètement en désaccord sur ce point de vue si voisin du subjectivisme. Je crois, tout comme Planck et Einstein, que l'idéal de la science factuelle ou empirique c'est l'objectivité, et que le phénoménisme positiviste est un retour à l'anthropocentrisme. Les trois exemples cités, ceux de l'arc-en-ciel, de la relativité restreinte et des quanta, n'appuient pas la gnoséologie positiviste. Descartes montra que l'arc-en-ciel est un fait purement physique plutôt qu'un phénomène subjectif. Seulement la possibilité de l'observer dépend de l'observateur, d'ailleurs comme tout autre événement.

Quant aux formules de la relativité restreinte, c'est vrai que, dans les formulations habituelles, influencées par la philosophie positiviste, on dit que tout dépend de l'observateur. C'est une erreur élémentaire: ce n'est pas l'observateur mais le repère, soit un système purement physique, qui y intervient. La preuve en est que les formules de la mécanique relativiste sont valables dans un référentiel inertiel, et qu'aucun repère de cette sorte n'est habité. Nous appliquons la relativité à l'intérieur des étoiles, bien que celles-ci ne contiennent des observateurs. C'est pourquoi on doit toujours remplacer 'observateur' par 'référentiel', comme je le fais dans mon livre *Foundations of Physics*, où je donne des formulations axiomatiques des deux relativités en des termes purement physiques.

*Mutatis mutandis*, dans la mécanique quantique il vaut la même chose: ici, c'est le milieu macrophysique qui doit remplacer l'observateur des formulations positivistes. Parfois, ce milieu est absent: on a alors le cas de la particule libre ou du champ électromagnétique libre. Parfois, le milieu consiste en d'autres systèmes physiques, tels des champs extérieurs agissant sur l'atome. Et quelques fois le milieu est sous le contrôle de l'expérimentateur. Mais celui-ci n'intervient pas comme sujet, il intervient à travers ses appareils, en exerçant une influence purement physique sur l'objet. Une analyse des problèmes les plus communs, tels que ceux des spectres atomiques et de la radioactivité, nous montre que l'introduction de l'observateur est artificielle et obéit seulement à l'impératif d'une philosophie surannée. De plus,

il n'y a qu'une formulation axiomatique de la mécanique quantique, celle qu'on trouve dans mon livre *Foundations of Physics*, et elle est strictement physique. La formulation dite de Copenhague n'est pas axiomatique et elle est psychophysique, puisqu'elle fait intervenir l'esprit de l'observateur, de sorte qu'elle ne mérite pas le nom de théorie physique.

G. G. GRANGER

L'interprétation du processus scientifique qu'a fait le Professeur Bunge m'a paru extrêmement instructive et tout à fait convaincante. Je me faisais une seule réserve concernant la justification philosophique dont il a parlé, mais cette réserve a été en grande partie levée par les discussions qui ont suivi.

Je voudrais simplement dire un mot sur la dernière phrase du Professeur Bunge: il nous faut donc une *nouvelle* philosophie des sciences alliée à une méthodologie réaliste de la recherche et reconnaissant la valeur de la solidarité du savoir tout entier. Je pense que c'est être un peu trop sévère pour nos contemporains, car je connais au moins deux philosophies des sciences qui sont déjà tout à fait compatibles avec ce schéma: ce sont celle de Gaston Bachelard et celle de Ferdinand Gonseth, par exemple. Et il y en a certainement d'autres.

M. BUNGE

Ce n'est que tout récemment que j'ai lu quelques-unes des pages de M. Gonseth. Nous avons travaillé indépendamment, lui dans la tradition philosophique européenne, moi plus proche de l'anglo-saxonne; lui en quête d'une nouvelle philosophie toute entière, moi en m'efforçant de faire des analyses de détail. Quant aux idées de Bachelard, je confesse que je n'ai pas eu la patience de lire aucun de ses livres: il m'a paru que chacun d'eux pourrait être synthétisé en une ou deux pages. Ce ne sont pas des déclarations génériques qu'il nous faut, mais des analyses exactes et des théories.

A. J. AYER

I was very much interested by Professor Rescher's concluding remarks about philosophical presuppositions. A point which was also brought out very well, I thought, by Professor Hirsch, is that, very often, philosophical presuppositions, so called, are fossilized science, and hold up scientific theories. A very good example was given us by Professor Gonsseth, this morning, of the extreme emotional resistance to the possibility of space's being other than Euclidian. When I was an undergraduate at Oxford, not very recently, but still not all that long ago, my masters still knew *a priori* that space was Euclidian. And there is a similar resistance, even in our day, to some aspects of the quantum theory. I think Bohr's theories meet with a resistance which is as much philosophical, *a priori*, as scientific. And in the end, here I think Rescher is quite right, science on the whole wins out. These things then get respected, and I am afraid, as Professor Hirsch says, become the new orthodoxies which impede future research. But there is a kind of middle ground. I think that Professor Bunge's position could be defended in the sense that there are certain ways in which we no longer look at the world. Science does presuppose an idea of how the world works, and some ideas which have historically obtained no longer hold. For instance, take an extreme example. In one of his more pragmatic moments, Quine says that, epistemologically, physical objects are no better than Homeric gods. He just chooses to posit physical objects for pragmatic reasons. Let's set aside the provocative aspect of that remark. It remains true that, at one time, people did explain things by reference to the moods of a deity; now, we don't. Now it would seem absurd to account for any misfortune that one suffered on the ground that we had displeased Zeus, or any other deity. Perhaps not totally absurd to everyone in the case of one deity, but anyhow dubious. Another good example would be witchcraft. I mean, not all that long ago, in the seventeenth century, scores of thousands of unfortunate women were put to death on account of witchcraft. That no longer happens. Witch-hunting, of course, still happens, and in some of the same countries. But it's not quite the same. Neither the results nor the procedures are quite the same. Now the idea that the milk has turned because I have a witch living next door to me, just isn't on. Not, I think, because it has been refuted

scientifically, no one has really put it to a statistical test, but because we don't believe in witches any more. Now there are some very nice intermediate cases. Astrology is a nice one. You see, in parts of the world astrology is still believed in. In Southern India you wouldn't get married without consulting your horoscopes. I don't know if it has been refuted scientifically, I don't know whether it was tested and discovered that marriages made in this fashion, turn out less well than the ones we go in for, but anyhow, in the parts of the world where science, in the sense we are talking about it, prevails — astrology just is not an acceptable hypothesis, it does not conform to our idea of how the world works. E.S.P. is a very interesting case. I am not sure that it can be dismissed so summarily as Bunge suggested. I think what's wrong with E.S.P. is that the results are so dubious. They are not very impressive anyway, and they risk being fudged, consciously or unconsciously. But if the results weren't fudged, then we should, I suppose, look for some explanation. Why is it that some people are better at guessing cards in other rooms? But here I think Bunge was again right. We probably shouldn't say «It is because they have a divine inspiration», or anything of this sort. We should try to find an explanation which fits into our current theories of the way the world works. I don't know how much this contradicts what Rescher was trying to say. Perhaps he'll answer.

#### N. RESCHER

We all have our philosophic vision as to how the world works — the scientist as much as anyone else — and we are often quite closely attached to it. The main point of my remark was that we have to be prepared to take a quite different attitude towards the situation that confronts us when something disaccords with the way in which, according to our prior philosophic conception, things go on in the world. When that kind of thing happens, the situation is, I think, by no means as serious as when we find out that the world just does not work the way we think because the facts, as it were, strike us in the face. I did not mean to suggest that we do not apply these philosophic tests, or to deny that they ranke useful heuristic guides. I mean once «things go wrong», we obviously look to the easy way of

patching matters up before the more far-fetched, and what is easy and far-fetched is judged in terms of our general ideas about how things go... When the chips are down, and the wind of the facts as it were, blows the other way, then we have to be prepared to turn the weathervane of our tendency of thought around and so the philosophic test is not even in the same arena as the others.

M. BUNGE

I am flattered by Professor Ayer's agreement with my general schema. It would seem that we disagree only on one point, namely the scientific status of parapsychology. My complaints against ESP are essentially these: (a) it states no scientific law that can be tested and expanded into a theory consistent with the rest of our knowledge: it restricts itself to stating the existence of certain phenomena and it declares dogmatically that these phenomena are not explainable by normal science: (b) it is statistically fallacious, as shown long ago by the mathematician William Feller; and (c) it conflicts with physics, biology and psychology, as well as with several fertile epistemological and metaphysical principles — as acknowledged candidly by its defender the philosopher C. D. Broad.

Concerning witchcraft, Professor Ayer's most opportune reference to it reminds me of the beautiful recent papers by his colleague Professor Trevor Roper, who shows clearly that «the mythology created its own evidence, and effective disproof became ever more difficult». The belief in witchcraft, Trevor Roper argues, did not decline as a result of new adverse empirical evidence or of rational criticism, but as a result of the triumphs of the new science and the new cosmology associated with it. Something similar is happening nowadays with parapsychology, psychoanalysis, and other pseudosciences: they are not dying out as a result of our criticisms, but because scientific theories proper, such as learning theory, are emerging in the field.

J. HERSCH

Je voudrais dire quelques mots au sujet du «fond» philosophique dont M. Bunge a parlé.

Jusqu'ici, presque tout le monde en a parlé négativement, soit comme de résidus scientifiques fossilisés, soit comme de restes de superstition.

A mon avis, ce «fond» philosophique peut aussi bien jouer en faveur des conceptions nouvelles que leur barrer le passage. Il ne représente pas nécessairement une survivance du passé. Ce qui est vrai, c'est qu'on le perçoit lorsqu'on croit l'avoir dépassé, qu'on n'y adhère plus, alors qu'on ne perçoit pas le contexte philosophique dans lequel on est encore soi-même plongé. D'où l'illusion selon laquelle on appartient à une époque libre de tout contexte de ce genre, et selon laquelle on pratique une recherche scientifique que nul «fond» de cet ordre n'influence désormais. Plus on s'identifie à un tel fond, moins on s'aperçoit de sa présence. Mais cela ne l'empêche pas d'être là.

Il ne faut pas, d'ailleurs, je crois, s'en défendre. Un tel «fond» me paraît être un élément permanent du progrès scientifique, un contexte qui lie le progrès scientifique à l'histoire culturelle de l'humanité et l'empêche de lui devenir étranger. Peut-être faudrait-il trouver pour ce «fond» un autre qualificatif que «philosophique». Ce n'est pas tout à fait cela.

Il s'agit plutôt d'un style, qui concerne parfois moins le contenu de la science nouvelle que la démarche de son développement, l'intention qui anime le chercheur, ce qui fait qu'il poursuit ou s'arrête, qu'il se satisfait à telle ou telle étape, qu'il aspire à telle sorte de cohérence plutôt qu'à telle autre. La cohérence n'est pas quelque chose d'univoque en soi; elle dépend de nombre de facteurs qui affectent la cristallisation des concepts, le mode de classification des données, la manière dont on les interprète et les explique. Ces facteurs eux-mêmes sont de l'ordre du style et ils en ont la profondeur.

M. BUNGE

Je suis tout à fait d'accord.

## J. HYPPOLITE

Je voudrais seulement faire une remarque à propos du dialogue qui s'est amorcé sur le sujet et l'objet.

Je crois que si l'on prend ces mots sujet et objet dans le sens de l'observation et de la chose observée, cette relation entre à certains égards dans la physique elle-même. L'information acquise en laboratoire coûte de la néguentropie, je suis pour ma part très sensible à ce que la théorie de l'information a pu apporter de nouveau dans le champ interdisciplinaire. Nous commençons à entrevoir une relation physique de l'information humaine et de son action sur le monde. Cela rejoint peut-être les découvertes biologiques sur l'information génétique. Il me semble que des perspectives sur des problèmes anciens sont ainsi découvertes par les sciences contemporaines. Il s'agit là d'une problématique qui nous indique seulement des recherches difficiles.

## M. BUNGE

Je suis d'accord que la théorie de l'information est importante et qu'elle pose plusieurs questions intéressantes. L'une de celles-ci c'est de dégager ce qu'il y a de littéral de ce qu'il y a de métaphorique dans les textes scientifiques employant le langage informatique. Je ne comprends pas bien ce qui se passe dans le cas de l'information génétique, mais j'ai l'impression qu'on ne se sert pas de la théorie de l'information pour la calculer, ce qui suggère que l'emploi du terme 'quantité d'information' est ici métaphorique. En tout cas, on lui donne un sens purement objectif: le sujet n'y intervient pas si ce n'est pour faire des calculs et des observations. Quand on parle d'information en physique, on le fait toujours au sens métaphorique, puisque la théorie de l'information ne permet pas de calculer l'accroissement d'entropie. C'est donc faux d'interpréter cet accroissement comme une perte d'information de la part du sujet: il s'agit d'un processus objectif. L'épanouissement du langage informatique ne prouve pas que la théorie de l'information embrasse toute la science, mais plutôt qu'il y a des modes. Même si l'informatique pénétrait la science entière on n'aurait pas subjectivisé la science, puisque le concept de sujet (ou d'observateur) ne fait pas partie de la théorie de l'information.

A. G. M. VAN MELSEN

If we speak of the influence of the *subject* (in the philosophical sense) on the observation, is then the construction of theories and hypotheses, which determine the experimental set-up, not much more important for the influence of the *subject* in the process of knowledge than the so-called influence of the observer on the observation ?

M. BUNGE

Yes, we do need such bridges between the object and the subject. But they do not belong in physical theory, which concerns the physical object. Those bridges occur at the experimental stage, when a contact between theory and fact is sought. For instance, in order to test the hypothesis that an electric current flows in a circuit, one may use a further hypothesis relating the current intensity to the angle of deviation of a magnetic needle: this hypothesis will allow us to interpret the phenomenon of seeing the motion of the needle when brought near the circuit. In short, observational terms must certainly be introduced but only at the test stage and then on the basis of further theoretical statements rather than arbitrarily.

H. L. VAN BREDA

Est-ce que M. Bunge ne simplifie tout de même pas trop en voulant remplacer complètement l'observateur par l'appareil ? Comme si un appareil pouvait révéler une signification s'il n'y a d'observateur pour comprendre le message de l'appareil. C'est une grave illusion entretenue par une certaine philosophie des sciences contemporaine de vouloir partout remplacer l'observateur par l'appareil.

A ma grande satisfaction, M. Bunge affirme qu'il y a une philosophie implicite dans l'activité même du savant. J'ajouterais toutefois une question: s'il n'y a pas d'observateur, est-ce qu'il y a encore une philosophie impliquée dans l'usage d'un appareil ?

M. BUNGE

Bien sûr, l'appareil demande un sujet capable de le manipuler et d'en comprendre le fonctionnement. Mais cette compréhension se fait en fonction de certaines théories. Quant au processus même de la compréhension, puisqu'il est du domaine de la psychologie, il ne peut pas être abordé par la physique. En tout cas, si on se refuse à distinguer l'objet du sujet on tombe dans une confusion complète et on perd de vue la finalité de la recherche, qui est de bâtir une image objective de la réalité.