



Observer la nature, ou observer les instruments

Trevor Pinch.

ON a vu émerger récemment dans la sociologie des connaissances scientifiques plusieurs études empiriques sur la pratique scientifique moderne. Ces études, qu'elles portent sur des controverses scientifiques¹ ou sur des laboratoires en particulier², sont caractérisées par un exposé détaillé de l'activité scientifique au niveau «écrous et boulons». Elles se montrent souvent aussi sensibles au contenu technique des sciences que l'histoire des sciences (les historiens se réfèrent même à certaines d'entre elles comme s'il s'agissait effectivement d'une «histoire des sciences», mais qui n'en aurait pas le nom³). Les philosophes des sciences commencent eux aussi à examiner les analyses détaillées d'épisodes scientifiques afin de parvenir à une philosophie des sciences plus adéquate à la nature de la pratique scientifique⁴. Ces études nouvelles promettent de nous aider beaucoup à comprendre comment les connaissances scientifiques se créent.

La plupart des nouvelles études sur la science utilisent les techniques de la sociologie interprétative : interviews approfondies, observation active et ethnographie. La faiblesse de ces méthodes est de ne pas intégrer leurs résultats. Comme elles ont besoin d'une approche par études de cas, il est parfois difficile de trouver

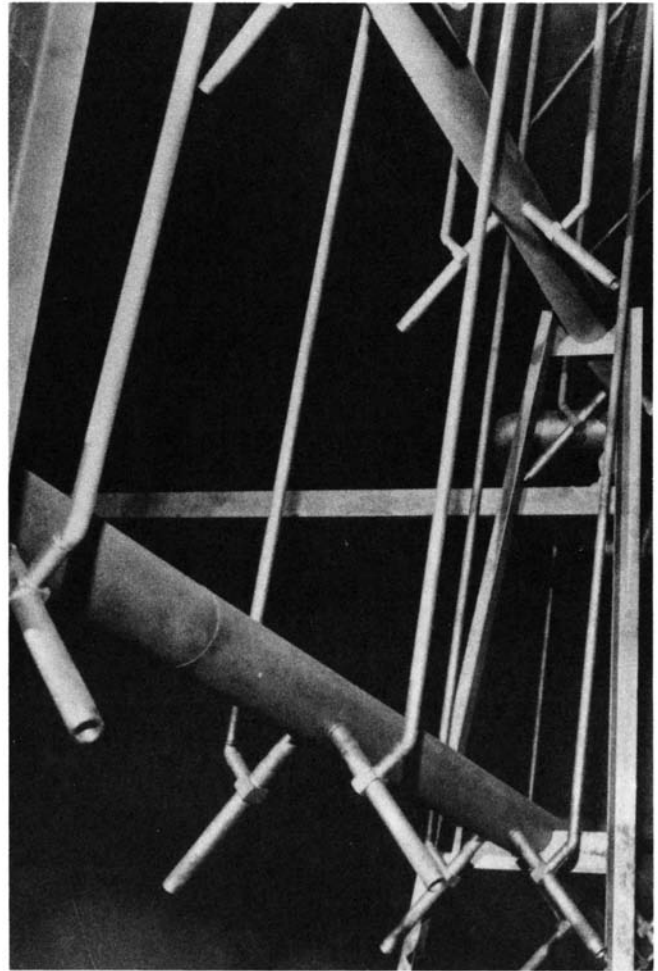
les conclusions générales qui s'en dégagent. L'état actuellement fragmentaire de la sociologie des connaissances scientifiques illustre cette difficulté⁵.

Si l'on veut avancer, il faut à mon avis poursuivre l'approche par études de cas, mais aussi dégager des principes plus généraux. C'est dans cette direction que je tenterai d'aller avec cet article. Je proposerai une analyse de l'observation scientifique que j'illustrerai de façon assez détaillée grâce à des matériaux tirés de deux études : l'une sur la détection des neutrinos solaires et l'autre sur les mesures de l'aplatissement du soleil. Ces deux études font partie d'un travail plus général sur la pratique scientifique, qui compare quatre cas en tout⁶.

Les deux cas envisagés ici ont un certain nombre de points communs : tous deux concernent la détection d'un phénomène solaire au moyen d'un appareillage très complexe qui se situe aux confins de la technologie expérimentale ; les expérimentations y sont en grande partie l'œuvre de savants isolés (Raymond Davis pour les neutrinos solaires et Robert Dicke pour l'aplatissement du soleil) ; ces savants sont généralement considérés comme des techniciens de génie et leur travail passe pour être du « niveau prix Nobel » ; les deux ensembles de résultats expérimentaux ont été publiés environ à la même époque (1967) ; et enfin, dans les deux cas, il faut considérer que ces résultats sont en contradiction avec les grandes théories physiques et astrophysiques. Il y a cependant une différence importante : les prétentions expérimentales concernant l'expérience sur les neutrinos solaires ont été dans l'ensemble acceptées, alors que celles sur l'aplatissement du soleil ont été généralement rejetées. Ces deux cas sont idéaux pour explorer la notion d'observation dans les sciences modernes, et notamment pour étudier les processus qui font que certaines prétentions expérimentales sont accréditées et d'autres non.

L'OBSERVATION DANS LES SCIENCES MODERNES : LE CAS DES NEUTRINOS SOLAIRES.

Je commencerai mon analyse en étudiant comment se font les observations sur les neutrinos solaires. J'ai choisi cet exemple parce que c'est l'un de ceux que je connais le mieux : je me suis en effet rendu sur le lieu des expériences et ai passé plusieurs jours à discuter avec les expérimentateurs et à les « observer⁷ ». Le processus d'observation à l'œuvre ici possède les mêmes caractéristiques que dans tous les autres cas que j'ai étudiés⁸. Les neutrinos solaires sont un sous-produit des réactions de fusion nucléaire censées se produire au centre du soleil. La détection de neutrinos solaires confirmerait l'un des principes fondamentaux de la théorie de l'évolution stellaire selon lequel les étoiles tirent leur énergie de la fusion nucléaire. Toutes les autres observations des étoiles reposent sur la détection des ondes électromagnétiques. Toutefois, ces ondes se produisent à la surface, alors que les neutrinos ont l'avantage d'être élaborés en profondeur. Comme ils interagissent très peu avec la matière (par l'interaction faible uniquement), les neutrinos passent à travers les couches externes du soleil et atteignent la terre huit minutes après avoir été pro-



2

duits par la fusion nucléaire au cœur du soleil. Leur faible niveau d'interaction les rend idéaux pour servir de sonde à l'intérieur du soleil. L'inconvénient, c'est qu'ils sont extrêmement difficiles à détecter.

En 1964, on montra qu'il devait être possible de détecter des neutrinos d'une énergie assez forte issus du cycle pp du soleil (le cycle pp ou proton-proton est la série de réactions nucléaires prédominante dans le soleil)⁹. On mit au point une expérience pour détecter ces neutrinos et, en 1967, les premiers résultats apparurent. Ils semblaient montrer que le flux attendu de neutrinos était absent et, durant les dix années suivantes, les observations continuèrent à révéler un écart avec les prédictions. Cet écart, qu'on appelle « problème des neutrinos solaires », constitue l'un des grands problèmes de l'astrophysique nucléaire actuelle.

Je vais maintenant décrire la façon dont on s'y prend pour observer (ou plutôt ne pas observer !) les neutrinos dans cette expérience. Comme les neutrinos sont des particules de charge et de masse nulles (on le pensait du moins jusqu'à ces derniers temps) qui ne subissent que l'interaction faible, l'expérimentateur n'a aucun moyen de « voir » directement les neutrinos solaires. La présence ou l'absence de neutrinos ne peut être révélée qu'indirectement à l'aide d'un appareil de mesure complexe. Cet appareil est en l'occurrence assez bizarre : il se compose d'un réservoir de 400 000 litres de perchloréthylène (C_2Cl_4 , plus connu comme liquide de nettoyage à sec), installé à 1 800 mètres sous terre dans



3

un puits de mine désaffecté. Le perchloréthylène contient un isotope du chlore (^{37}Cl) avec lequel peuvent interagir les neutrinos. Le résultat de cette interaction donne un isotope radioactif de l'argon, ^{37}Ar ($^{37}\text{Cl} + \nu \rightarrow ^{37}\text{Ar} + e^-$). La présence d'argon 37 dans le réservoir peut servir à prouver le passage des neutrinos. Le réservoir doit être placé à une grande profondeur sous la surface de la terre pour faire écran aux rayons cosmiques qui déclenchent eux aussi la réaction¹⁰.

En physique moderne, les entités à observer ne sont souvent détectables que par leur interaction avec d'autres entités. Dans le cas présent, on peut donc dire que l'argon 37 sert de substitut aux neutrinos solaires. Au lieu d'observer des neutrinos solaires, les expérimentateurs recherchent la présence ou l'absence d'atomes d'argon 37 . Cela veut-il dire qu'ils observent réellement des atomes d'argon 37 ? Non, pas dans ce cas, car la présence ou l'absence d'argon 37 ne se manifeste là encore qu'indirectement. Voici comment les choses se passent en pratique : après un certain laps de temps (généralement un mois), on extrait les atomes d'argon 37 accumulés dans le réservoir de perchloréthylène en y faisant passer de l'hélium gazeux (on ajoute aussi de l'argon 36 ou de l'argon 38 qui agissent comme porteurs d'argon). L'argon est récolté sur un collecteur au charbon à très basse température et placé dans un petit compteur Geiger où il se désintègre en émettant des électrons Auger d'une énergie caractéristique. Ce sont ces électrons que le compteur

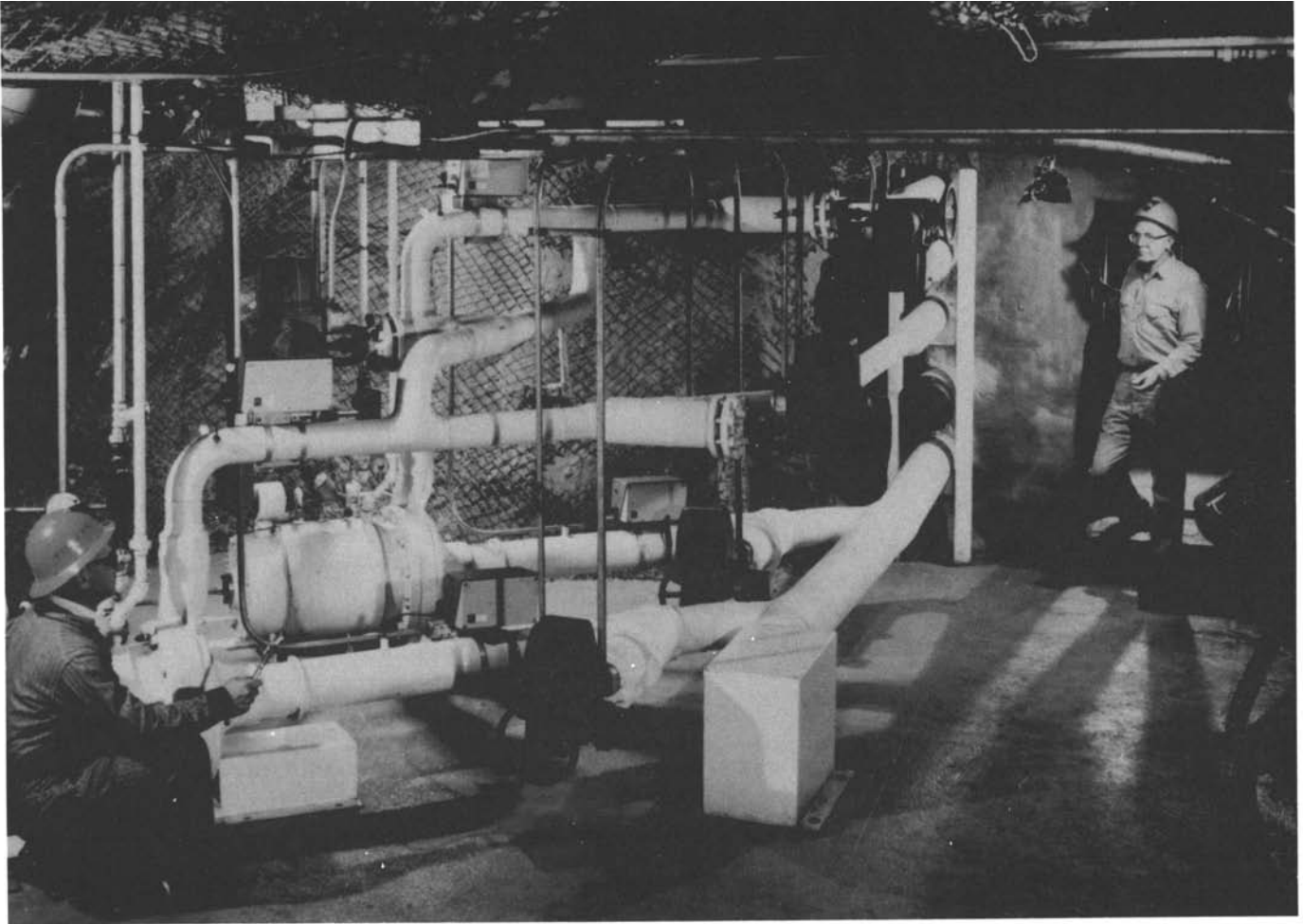
enregistre. Est-ce alors le bruit des « clics » du compteur Geiger qu'on observe dans cette expérience ? Non, car il faut encore faire un autre travail expérimental. Certains clics proviennent de sources totalement différentes, par exemple le bruit de fond du compteur. Pour séparer le signal du bruit de fond du compteur, il faut recourir à des dispositifs électroniques complexes et à une analyse poussée des données. Par exemple, l'énergie et le temps de montée de chaque impulsion sont enregistrés et le compteur est muni de systèmes à anticoincidence. La figure 1 montre les « données brutes » d'une expérience. Les mesures ou « coups » à l'intérieur du losange sont considérées comme du signal, et celles à l'extérieur comme du bruit.

C'est l'examen visuel des tracés tels que ceux de la figure 1 qui donne les informations dont on peut déduire le nombre de produits de désintégration de l'argon 37 . Ce nombre permet ensuite de calculer les événements induits par les neutrinos. La traduction des informations graphiques en une observation significative de neutrinos solaires est évidemment loin d'être un processus direct. Elle repose au moins sur une connaissance approfondie de la physique des procédés de détection, sur une compréhension du fonctionnement de l'appareil et sur une théorie statistique cohérente. Sans ces connaissances, la figure 1 peut aussi bien représenter un jeu pour enfants du genre « reliez les points entre eux » que le résultat d'une expérience de physique¹¹.

EXTÉRIORISATION DE L'OBSERVATION.

Comme on le voit, le processus d'observation décrit ci-dessus est fortement médiatisé par les manipulations et pratiques expérimentales, et les procédés d'interprétation. Les « points » observés (sans parler de tous les problèmes posés à l'expérimentateur pour arriver à les identifier) n'en viennent à signifier la présence de neutrinos solaires que par rapport à d'autres étapes de la détection. Il semble que le processus d'observation se soit affiné jusqu'au point où ce qu'on pourrait appeler les « perceptions sensorielles primitives » ou les résultats du « dispositif d'inscription » ne forment plus que le dernier élément d'une chaîne d'inférences¹². Pour montrer le rôle minimal joué par l'expérience sensorielle, j'appellerai « extériorisation de l'observation » la chaîne d'interprétations qui intervient lors d'une observation. C'est comme si, dans les observations scientifiques de ce type, nos récepteurs biologiques internes étaient extériorisés. Autrement dit, dans les sciences modernes, le processus d'observation est tel que les pratiques expérimentales et les interprétations théoriques y occupent une place centrale. Cette caractéristique de l'observation scientifique est confirmée par le fait que les discussions sur les observations ne concernent pas tant la fiabilité des perceptions sensorielles des chercheurs que la sûreté des pratiques et hypothèses comprises dans le processus d'observation. L'important, ce n'est pas ce que l'expérimentateur a « vu », mais le soin apporté à suivre les pratiques, la qualité des arguments, de l'analyse statistique, du programme informatique, etc.

L'extériorisation de l'observation, c'est le fait que l'observation revient à étudier une chaîne de phénomènes substitutifs par l'intermédiaire d'une série de mani-



4

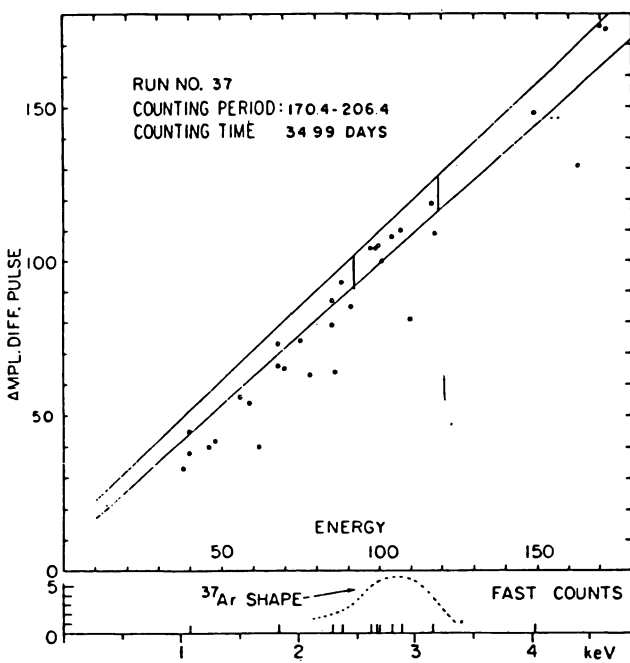


Figure 1

pulations et d'interprétations, ce qui met en lumière l'ambiguïté fondamentale de savoir *ce qui a été observé exactement*. Par exemple, dans le cas des neutrinos solaires, l'expérimentateur a-t-il observé des neutrinos solaires, des atomes d'argon 37, des produits de désintégration de l'argon 37, des « clics » dans le compteur Geiger ou des « points » sur un graphique ? Cette ambiguïté se révèle notamment dans le fait que l'expérience peut donner lieu à plusieurs comptes rendus d'observations différents. Par exemple, lorsqu'on regarde les articles scientifiques où sont énoncés les résultats de l'expérience sur les neutrinos solaires, on trouve :

« La limite supérieure du produit du flux de neutrinos par la section de choc de toutes les sources de neutrinos a été de 3×10^{-36} sec.⁻¹ par noyau de chlore 37¹³. »

Dans ce cas, le résultat exprime le nombre d'événements induits par les neutrinos dans la cible (qui est le produit des flux de neutrinos par la section de choc de leur interaction avec le chlore 37). Mais d'autres comptes rendus sont possibles. On trouve ainsi :

« Le taux moyen de production d'argon 37... est de $0,32 \pm 0,08$ atome d'argon 37 par jour¹⁴. »

Ici on parle du nombre d'atomes d'argon 37 formés et pas du nombre d'événements induits par les neutrinos. (On appelle événement un type de réactions produit par les neutrinos.) Dans certains cas, on trouve deux ou plusieurs comptes rendus d'observations différents à l'intérieur d'un même article.



5

On pourrait ainsi imaginer toute une gamme de comptes rendus différents, par exemple : « On a observé tels points sur un graphique » ou : « On a observé des neutrinos solaires. » Les comptes rendus renferment évidemment des informations quantitatives, mais celles-ci ne concernent pas notre propos.

On peut caractériser les différences entre tous les comptes rendus d'observations possibles d'une expérience par leur *degré d'extériorité*. Prenons comme illustrations trois comptes rendus hypothétiques d'une expérience sur les neutrinos solaires :

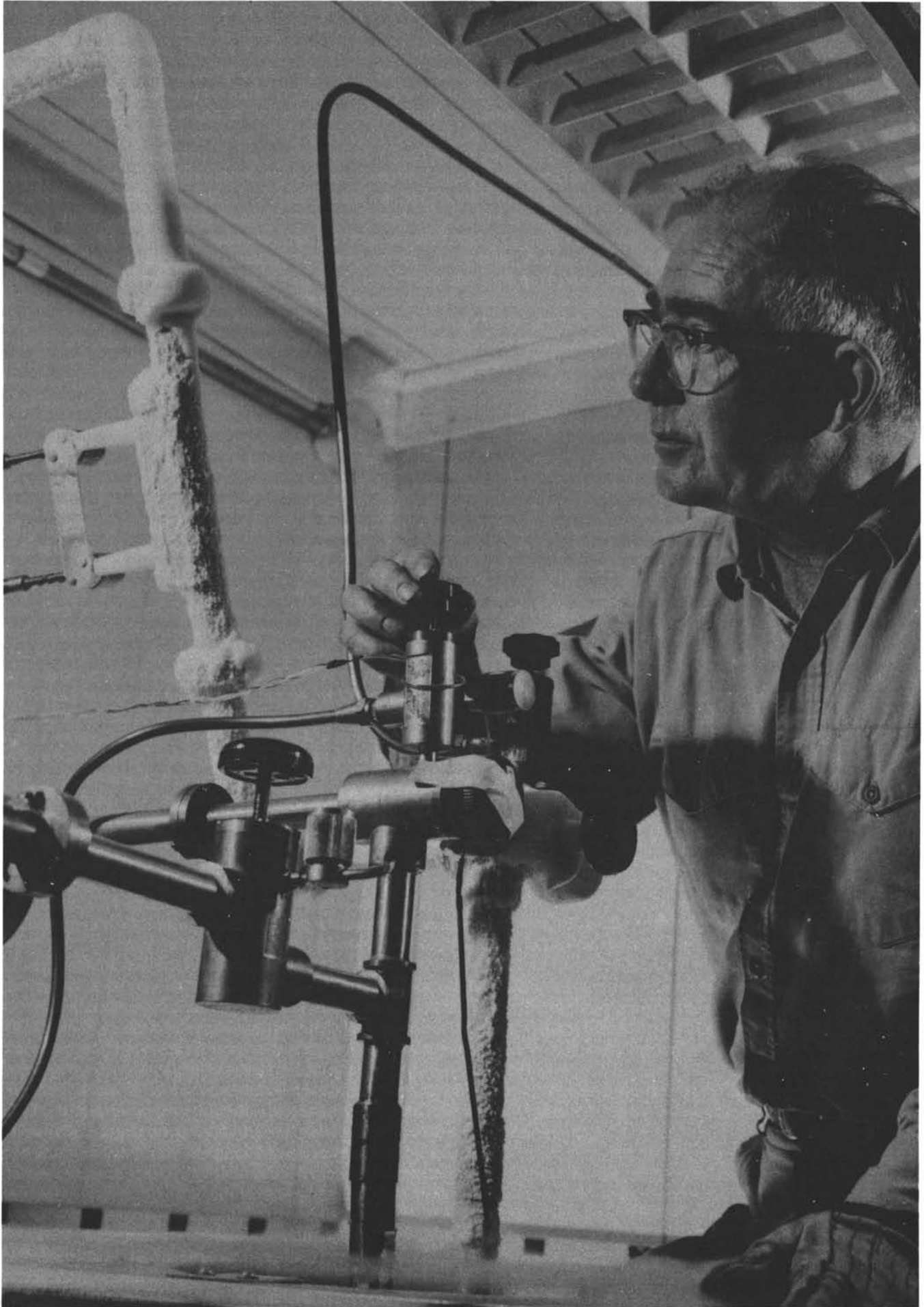
- a) On a observé des points sur un graphique.
- b) On a observé des noyaux d'argon 37.
- c) On a observé des neutrinos solaires.

On peut dire qu'entre a) et c) il y a un degré d'extériorité croissant, dans la mesure où il faut englober une part plus grande de la situation d'observation pour produire chaque énoncé. L'énoncé a) par exemple, qui est très proche de l'observateur, ne se rapporte qu'à une petite partie du processus d'observation : l'interprétation de points sur un graphique. L'énoncé b) est plus distant et englobe une part plus importante de la situation d'observation, car il comporte en plus l'interprétation de la partie du processus d'observation qui consiste à extraire et à compter les atomes d'argon 37. L'énoncé c) est encore plus distant et comprend non seulement le détecteur et le matériel qui lui est associé, mais aussi le centre du soleil et le transport des neutrinos depuis le soleil jusqu'au détecteur. Il peut sembler un peu étrange

à première vue que le soleil fasse partie de la situation d'observation, mais il n'y a rien d'inhabituel dans le fait d'inclure des sources. Si l'on parlait d'expériences où l'on observe des désintégrations issues de systèmes atomiques, on trouverait étrange d'exclure l'atome de la situation d'observation.

CONTEXTE DE PREUVE ET SIGNIFICATION DES OBSERVATIONS.

Lorsqu'on parle de l'observation en sciences, il ne faut jamais oublier que les observations sont généralement faites dans une intention précise, par exemple vérifier une théorie ou confirmer une autre observation. L'une des façons de le montrer est de se référer au contexte de preuve des observations. Le contexte de preuve peut se composer par exemple d'un corpus de connaissances, d'une théorie, loi ou hypothèse, d'un plan de classification ou d'une catégorie d'objets, d'un ensemble d'observations ou d'une observation. Le rapport entre le compte rendu d'observation et le contexte de preuve définit la signification de l'observation comme preuve. Différents rapports sont possibles. Le compte rendu d'une observation peut ainsi être semblable à d'autres observations, ou différent, ou meilleur (du point de vue des erreurs) ; il peut apporter la preuve de l'existence ou de la non-existence d'une catégorie d'objets ; il peut confirmer ou réfuter une hypothèse, une loi ou une théorie.



On peut dire que les comptes rendus d'observations n'ont de valeur qu'en fonction de la signification qu'on peut leur donner comme preuves. Néanmoins, il y a une propriété très intéressante liée à la signification en tant que preuve : *les comptes rendus d'observations peuvent revêtir une signification dans toutes sortes de contextes de preuves*. On peut le montrer avec l'exemple des neutrinos solaires. Lorsque les résultats de l'expérience furent connus, les phénomènes prétendument induits par les neutrinos furent placés dans deux contextes de preuves différents. L'un (qui apparut en premier) fut la vérification du cycle pp (et la signification des résultats fut de montrer que les neutrinos attendus n'étaient pas présents). Mais les résultats furent également placés dans le contexte de signification d'un autre cycle de réactions nucléaires qui peut se produire dans les étoiles : le cycle CNO. La signification des résultats dans ce contexte fut d'éliminer absolument le cycle CNO du soleil¹⁵.

La diversité des contextes de preuves dans lesquels les comptes rendus d'observations peuvent revêtir une signification est liée à l'extériorisation de l'observation. Il semble que plus le compte rendu est extériorisé, plus le contexte de preuve dans lequel les observations revêtent leur signification est spécifié. Si nous revenons aux hypothétiques comptes rendus de notre exemple des neutrinos solaires, nous voyons que les énoncés a), b) et c) possèdent bien une extériorité croissante, mais qu'ils spécifient aussi de plus en plus le contexte de preuve. Ainsi, l'énoncé a), celui des « points sur un graphique », pourrait être significatif dans un nombre virtuellement illimité de contextes de preuve. Aucun chercheur ne ferait un tel énoncé isolé en estimant qu'il veut dire quelque chose. L'énoncé b) réduit beaucoup les contextes possibles, mais laisse encore de nombreuses possibilités. On pourrait par exemple s'intéresser à la formation de l'argon 37 dans le cadre de l'étude des propriétés de l'argon 37 en soi, ou à la pureté du liquide de nettoyage à sec par rapport à sa contamination par l'argon 37 lorsqu'il est entreposé sous terre ; on pourrait aussi s'intéresser à l'interaction des rayons cosmiques (qui produit aussi de l'argon 37). Le compte rendu c) dit clairement que le contexte de preuve est celui des neutrinos produits par le soleil. Cependant, comme nous l'avons vu, bien qu'il soit beaucoup plus spécifié que les énoncés a) et b), il existe encore plus d'un contexte où cet énoncé c) peut revêtir une signification. Et si l'on voulait obtenir une spécificité plus grande, on pourrait faire un compte rendu ayant une extériorité encore supérieure. Il suffirait par exemple de dire :

d) On a observé des réactions pp.

Dans ce compte rendu, on se réfère à une nouvelle entité d'observation : les réactions pp. On voit que l'extériorité croissante attire l'attention sur le contexte de preuve spécifique.

Nous reviendrons plus loin sur le contexte de preuve et sur la signification des comptes rendus d'observations. Ces éléments constituent une partie importante de l'analyse, surtout lorsqu'il s'agit de comprendre les querelles d'observations en science. Comme nous le verrons, on peut interpréter ces querelles comme des

tentatives pour changer le contexte de preuve et la signification des comptes rendus d'observations.

LE POIDS THÉORIQUE DES OBSERVATIONS.

Le « problème » du poids théorique des observations a été discuté en détail dans la philosophie des sciences. Ce que je voudrais montrer ici, c'est que les questions soulevées peuvent être reformulées avec profit dans le cadre de l'analyse de l'extériorité des observations.

Si les observations sont chargées de théorie, la séparation entre théories et observations n'a plus de raison d'être¹⁶. Hanson donne un exemple d'observation chargée de théorie en présentant les observations de « cratères » à la surface de la lune faites par Galilée :

« Galilée a souvent étudié la lune. Celle-ci est criblée de trous et de discontinuités, mais dire qu'il s'agit de cratères, c'est introduire l'astronomie théorique dans ses observations... Parler d'une concavité en disant que c'est un cratère, c'est s'engager sur son origine, c'est dire que sa création a été rapide, violente et liée à une explosion¹⁷. »

Le terme de « cratère » n'est donc pas un pur énoncé d'observation, il contient des notions théoriques. Achinstein fait remarquer en prolongement de la discussion de Hanson, que le problème vient de ce que les scientifiques utilisent certains termes tantôt de façon théorique et tantôt pour rapporter une observation. Si l'on considère que les termes théoriques sont ceux qui permettent d'organiser les données et que les termes observationnels sont ceux qui décrivent les données à organiser, on trouvera par exemple que « dans certains contextes, le terme d'« électron » sert à organiser des données (telles que des traces dans une chambre à brouillard) et dans d'autres à décrire certaines données qu'il faut organiser (par exemple le rayonnement discontinu produit par les électrons dans l'atome)¹⁸. »

Achinstein poursuit en examinant diverses propositions où les termes théoriques et les termes observationnels pourraient être séparés et conclut en disant :

« Ce qu'on a montré, ce n'est pas que les divisions sont impossibles, mais qu'en utilisant n'importe lequel de ces critères, on fait apparaître de nombreuses distinctions... un terme classé comme observationnel (ou dépendant d'une théorie et ainsi de suite) selon un critère, ne le sera pas ainsi (ou sera indépendant de la théorie et ainsi de suite) selon un autre critère... En un mot, aucune de ces désignations n'engendrera cette sorte de distinction très large dont on fait souvent l'hypothèse en philosophie des sciences¹⁹. »

Le remède proposé par Achinstein consiste à étudier la façon dont tel ou tel terme est utilisé dans les observations :

« En un mot, pour caractériser tel ou tel terme employé par le chercheur, on peut procéder en soulevant des questions sur l'observation, la dépendance par rapport à la théorie, les conjectures, etc. Cependant, nos questions ne seront pas : « Ce terme est-il observationnel ? », « Dépend-il d'une théorie ? », « Est-il conjectural ? », mais plutôt : « De quelle façon (par opposition

à d'autres) est-il observationnel, dépend-il d'une théorie, est-il conjectural ? ». En répondant à ces questions, on avance un peu vers la compréhension du concept exprimé par le terme²⁰. »

Je dirai que l'analyse de l'extériorité donne un moyen de comparer les termes employés par les scientifiques. Elle nous permet de dépasser la caractérisation stérile en termes théoriques et observationnels et constitue un moyen d'opposer des termes différents employés par les scientifiques. Différents comptes rendus d'observations situés le long de la chaîne d'extériorisation peuvent par exemple être qualifiés d'observationnels dans le sens où ils se rapportent à ce que les scientifiques prétendent observer. Mais ils sont aussi « chargés de théorie » dans le sens où il faut faire appel à certaines hypothèses pour les établir. Même les comptes rendus les plus bas dans la chaîne (ceux qui ont la plus faible extériorité) ont besoin d'hypothèses (pour compter les points d'un graphique, il faut par exemple des hypothèses sur la possibilité de les séparer).

L'expression « chargé de théorie » n'équivaut cependant pas à celle d'« extériorité ». Comme nous l'avons noté, l'extériorité se définit en fonction de la part de la situation d'observation qu'il faut englober lorsqu'on fait le compte rendu. Plus celui-ci est extérieur, plus il faut y inclure d'hypothèses sur la situation d'observation. Ainsi, lorsqu'on fait un compte rendu d'observation sur les « neutrinos solaires », c'est-à-dire un compte rendu d'extériorité élevée, il faut faire des hypothèses sur l'interaction des neutrinos avec le chlore 37 (ce qui inclut notamment la théorie de l'interaction faible, qui est une théorie très formalisée) ; sur les propriétés chimiques de l'argon (par exemple que les ions d'argon deviennent immédiatement des atomes libres) ; et sur le comptage des désintégrations de l'argon 37 (par exemple qu'on peut séparer sans ambiguïté les désintégrations de l'argon 37 des autres signaux du compteur). Il y a bien d'autres hypothèses encore dans le réseau compliqué de pratiques et d'interférences que constitue la situation d'observation dans ce cas. Beaucoup sont intégrées aux pratiques professionnelles qui permettent de faire marcher telle ou telle partie du matériel expérimental. Par exemple, le réservoir doit être nettoyé d'une certaine façon pour éviter la contamination. On peut dire que les comptes rendus d'extériorité élevée sont très chargés en théorie, à condition d'utiliser le mot de « théorie » dans un sens très particulier. Comme nous l'avons souligné, les comptes rendus d'extériorité élevée comprennent souvent des *hypothèses sur le fonctionnement de l'appareil à des degrés inférieurs d'extériorité*. Ces hypothèses n'ont pas besoin d'être théoriques aux sens traditionnels du terme (tel que celui des connaissances générales, systématisées, formalisées). Ainsi l'hypothèse selon laquelle le meilleur moyen de nettoyer le réservoir est le grenailage s'insère dans un compte rendu d'observation sur les « neutrinos solaires », mais elle représente un aspect plus « chargé de pratique professionnelle » que de théorie. Les degrés différents d'extériorité des comptes rendus d'observation ne correspondent jamais directement aux degrés différents de « poids théorique » si l'on prend cette « théorie » au sens de connaissances systématisées et formalisées²¹.

LES CONTROVERSES SUR LES OBSERVATIONS.

La fécondité de l'analyse développée jusqu'ici se révèle dans les cas où les comptes rendus font l'objet de querelles. Il est important d'examiner ces querelles, car c'est souvent dans de telles occasions que les pratiques scientifiques considérées comme évidentes apparaissent au grand jour. Il existe déjà un certain nombre d'excellentes études sociologiques de controverses portant sur des revendications expérimentales en sciences. Mon intention n'est pas d'ajouter à ces études, mais de reformuler leurs conclusions en fonction de l'analyse développée ci-dessus²². Ce que ces études ont montré, c'est qu'au cours de ces querelles, les hypothèses à l'arrière-plan de ces observations sont contestées. Comme les résultats n'ont que la validité des hypothèses qui ont servi à les obtenir, le fait de mettre en doute ces hypothèses revient en effet à mettre en doute les résultats. Et comme nous l'avons vu, les hypothèses contestables ne manquent pas.

Cette propriété de l'observation scientifique n'a plus de secret pour les philosophes des sciences depuis la thèse de Duhem-Quine²³. Comme les énoncés d'observations dépendent d'un réseau d'hypothèses, on peut toujours supprimer la force logique d'une affirmation observationnelle réfractaire en opérant un changement ailleurs dans le réseau. Ce que montrent avant tout les études sociologiques, ce sont les efforts des scientifiques pour supprimer la force des observations réfractaires en contestant les hypothèses qui se trouvent à l'arrière-plan du processus d'observation. Dans la pratique scientifique, les hypothèses d'arrière-plan sont généralement acceptées sans problème. Ainsi, chaque fois qu'on utilise une balance de laboratoire (supposons que nous soyons dans un laboratoire qui n'a pas assez de crédits pour s'offrir une balance électronique !), on considère comme évident que la pression de l'air qui s'exerce sur chaque plateau est identique. Bien que cela signifie que tous les comptes rendus de pesage contiennent ce genre d'hypothèses, on ne s'attendrait pas que celles-ci soient jugées importantes, ni même qu'elles soient signalées. Cela fait partie de la clause « toutes choses égales par ailleurs » des revendications expérimentales. C'est seulement lorsqu'une observation est controversée que ces hypothèses d'arrière-plan viennent sur le devant de la scène.

On peut illustrer le processus de contestation des hypothèses d'arrière-plan en évoquant de nouveau le cas des neutrinos solaires. Lorsque les premiers résultats sur les neutrinos solaires apparurent, on assista à de nombreuses tentatives pour trouver ce qui n'allait pas dans les observations — après tout, elles contredisaient l'un des points d'appui théoriques essentiels de l'astrophysique. L'une des réactions consista à attaquer une hypothèse considérée comme évidente dans le processus d'observation : celle selon laquelle on pouvait se servir de la théorie de l'interaction faible pour calculer la capture des neutrinos par le chlore 37. Bandyopadhyay proposa une théorie modifiée de l'interaction faible indiquant une section de choc beaucoup plus faible pour cette capture, ce qui permettait d'expliquer qu'on n'ait

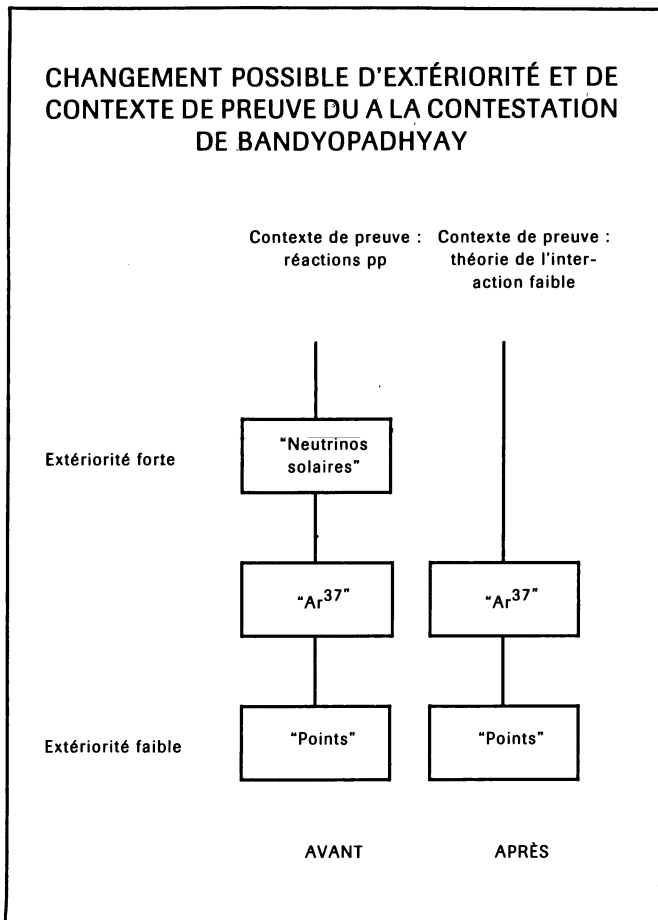


Figure 2

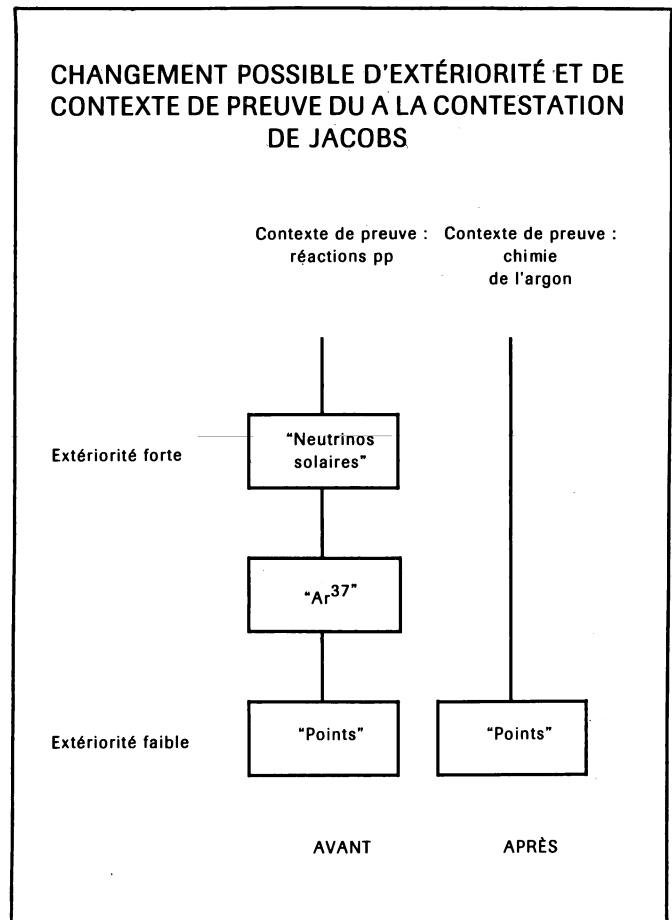


Figure 3

pas détecté le flux de neutrinos attendu²⁴.

L'une des façons de comprendre les contestations d'hypothèses dans le processus d'observation est d'y voir des *tentatives pour changer le contexte de preuve du compte rendu d'observation*. Par exemple, si la mise en doute par Bandyopadhyay des résultats sur les neutrinos solaires avait abouti, le contexte de preuve approprié à l'interprétation des résultats aurait été la théorie de l'interaction faible et non les neutrinos solaires. Les résultats seraient restés significatifs, car ils auraient montré que la théorie standard de l'interaction faible devait être remplacée par celle de Bandyopadhyay. Cependant, le contexte aurait changé. Une autre réaction aux résultats sur les neutrinos solaires consista à mettre en question la chimie de l'argon. Jacobs publia dans *Nature* un article tendant à montrer que dans certaines circonstances, le perchloréthylène pouvait former des polymères, piégeant ainsi les ions d'argon 37 dans le réservoir, ce qui les empêchait de former des atomes neutres, et donc d'être extraits²⁵. Si Jacobs avait raison, le contexte de preuve des résultats passerait des neutrinos solaires à la chimie de l'argon²⁶.

Je n'ai mentionné ici que deux contestations, mais durant ces années, toutes sortes d'hypothèses d'arrière-plan du processus d'observation des neutrinos solaires furent contestées²⁷. Dans le cas étudié ici, aucune des contestations n'aboutit, et l'expérimentateur réussit à maintenir le fait que le contexte de preuve approprié aux résultats était la vérification des prédictions sur le flux de neutrinos solaires.

Je voudrais maintenant examiner ce qu'il advient

de l'extériorité des comptes rendus quand une de ces hypothèses d'arrière-plan est contestée. On voit tout de suite qu'une *contestations réussie a pour effet de changer l'extériorité du compte rendu d'observation*. Dans le cas des neutrinos solaires, si la contestation des hypothèses sur la théorie de l'interaction faible aboutissait, cela voudrait dire qu'il serait devenu impossible de soutenir les comptes rendus d'observations sur les « neutrinos solaires ». En effet, il ne serait plus légitime d'extrapoler des informations à partir des observations sur les argons 37 pour en tirer des conclusions sur les « neutrinos solaires », puisque dans une théorie différente de l'interaction faible, les neutrinos solaires ne pourraient pas produire d'argon 37 à l'occasion de cette expérience. Ou, pour exprimer les choses autrement, l'argon 37 ne serait plus un substitut approprié des neutrinos solaires. Cependant, si l'on modifiait un compte rendu d'extériorité moindre, cela pourrait ne pas soulever de difficultés. Les comptes rendus d'observations qui parlent d'« argon 37 » ou de « points sur un graphique » pourraient par exemple rester valables. On ne pourrait seulement plus les traduire en comptes rendus sur les neutrinos solaires. La chaîne d'inférences serait brisée (voir figure 2)²⁸.

Si l'on examine la contestation qui porte sur la chimie de l'argon, on voit qu'elle implique un changement semblable dans l'extériorité du compte rendu. Comme l'argon 37 ne pourrait être extrait du réservoir, les comptes rendus qui parlent de « neutrinos solaires » ou d'« argon 37 » deviendraient incorrects. Néanmoins, ceux qui possèdent une extériorité moindre resteraient

valables. On pourrait donc continuer à parler de « points sur un graphique », mais on ne pourrait plus traduire ces points en un compte rendu sur l'argon 37 ou les neutrinos solaires. Les points ne seraient plus un substitut approprié des argons 37. La chaîne serait de nouveau brisée, mais à un degré d'extériorité moindre que dans la contestation de l'interaction faible (voir figure 3). Cette fois encore, l'effet de la contestation serait de laisser un résidu de comptes rendus d'observations corrects, mais à un niveau inférieur d'extériorité.

CHANGEMENTS D'EXTÉRIORITÉ : LE CAS DE L'APLATISSEMENT SOLAIRE.

J'examinerai ici les comptes rendus d'observations faits par les chercheurs et leur caractérisation par d'autres chercheurs durant cette querelle, en vue de montrer les tentatives faites pour changer le contexte de preuve et l'extériorité. Comme je l'ai dit précédemment, cet exemple permet une comparaison intéressante avec le cas des neutrinos solaires, car les observations furent, dans ce cas, contestées avec succès.

L'aplatissement solaire est la mesure de la distorsion du soleil par rapport à la forme sphérique. Si le soleil est aplati, il a un diamètre équatorial différent de son diamètre polaire. Par exemple, si son diamètre équatorial est plus grand, il aura une apparence plate vers les pôles et renflée à l'équateur. Les premières mesures de l'aplatissement du soleil furent faites par des astronomes optiques entre la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e. Cependant, dans les années 1960, il apparut que des mesures plus précises étaient nécessaires, et qu'on ne pouvait les effectuer qu'en faisant appel aux techniques d'observation les plus modernes. Le regain d'intérêt pour l'aplatissement solaire vint du physicien de Princeton Robert Dicke. En 1961, Dicke et un étudiant en doctorat Carl Brans proposèrent une théorie qui devint par la suite une des grandes rivales de la théorie de la relativité générale d'Einstein. La différence entre la « théorie de Brans-Dicke » et la relativité générale, c'est que dans la première les effets de la gravitation résultent d'un champ scalaire qui s'ajoute aux effets produits par le tenseur métrique d'Einstein. En recourant à un paramètre ajustable sans dimension, on peut faire en sorte que la théorie de Brans-Dicke w coreproduise tous les résultats de celle d'Einstein.

En 1964, Dicke s'intéressa à l'aplatissement du soleil, qu'il voyait comme un moyen de choisir entre les deux théories. L'un des grands succès de la théorie de la relativité générale fut d'expliquer l'avance du périhélie de Mercure. Jusque-là, on avait proposé de nombreuses explications de cette anomalie du mouvement de la planète (43 secondes d'arc par siècle)²⁹. On avait par exemple suggéré qu'il existait une autre planète non observée (Vulcaïn) tout près du soleil. Ou que le soleil était aplati et que le mouvement anormal de Mercure était dû au moment quadrupolaire gravitationnel engendré par le mouvement de rotation interne du noyau du soleil (le noyau en rotation transférerait de la masse vers l'équateur, ce qui aplatiserait le soleil). Lorsqu'elle fut proposée pour la première fois, cette explication du mouvement de Mercure fut rejetée, car le moment quadrupolaire

gravitationnel devait aussi entraîner des effets observables sur le mouvement des autres planètes, effets qui n'avaient pas été observés. De toute façon, ces explications devinrent inutiles lorsque la théorie d'Einstein permit d'expliquer exactement les 43 secondes d'arc observés. La théorie de Brans-Dicke pouvait aussi expliquer l'avance du périhélie, mais la part de l'effet qu'elle pouvait justifier dépendait de la valeur exacte de w . En prenant des valeurs raisonnables de w , on put prédire une avance du périhélie plus petite que celle qui est observée. Quant à la partie restante de l'avance du périhélie, on pouvait peut-être l'expliquer d'une autre façon. Dicke montra en effet qu'on ne connaissait pas assez bien l'aplatissement du soleil pour l'exclure comme explication même partielle du mouvement de Mercure. De plus, en mesurant précisément l'aplatissement, on pourrait déterminer la valeur de w .

Dicke et deux de ses collègues de Princeton, Mark Goldenberg et Henry Hill, dessinèrent et construisirent un télescope capable de mesurer l'aplatissement du soleil avec une précision suffisante pour vérifier la théorie de la relativité. Cet appareil est beaucoup plus sensible que les télescopes conventionnels. La différence recherchée est de l'ordre de 35 kilomètres. Le télescope se compose d'une série de miroirs et de lentilles qui suivent le déplacement du soleil et donnent une image solaire. Cette image est projetée sur un disque occultant. Une petite portion se projette au-delà du disque et passe à travers une roue exploratrice en rotation, munie de deux ouvertures diamétralement opposées. La lumière qui traverse ces ouvertures est détectée par une cellule photoélectrique. Si le soleil est aplati, il doit y avoir un peu plus de lumière transmise à la cellule lorsque l'ouverture récolte la lumière des régions équatoriales. La différence radiale $\Delta r = r_e - r_p$ est mesurée 244 fois par seconde. Après deux étés de mesures, Dicke et Goldenberg³⁰ (Hill avait quitté le groupe entre-temps) rapportèrent un signal d'aplatissement de $\Delta r/r = 5.0 \pm 0.7 \times 10^{-5}$. Cela signifiait que 8 % de l'avance du périhélie de Mercure était causée par le moment quadrupolaire du soleil aplati. La valeur de Ω nécessaire pour permettre à la théorie de Brans-Dicke d'expliquer le reste de l'avance du périhélie était jugée raisonnable. Les mesures d'aplatissement du soleil semblaient donc contester sérieusement la théorie de la relativité généralisée et soutenir les théories du tenseur scalaire telles que celle de Brans-Dicke.

J'ai beaucoup simplifié cette description du processus d'observation : la mesure de l'aplatissement solaire est en fait une observation plus compliquée que celle des neutrinos solaires. La lumière pose plus de problèmes à l'observateur que les neutrinos, car elle subit de nombreux facteurs de distorsion tels que la réfraction. Dans les expériences sur l'aplatissement solaire, il faut éliminer toutes sortes d'effets systématiques, dont les effets de brillance de la photosphère solaire, la réfraction atmosphérique et les distorsions du système optique du télescope.

Je ne donnerai ici que les détails les plus schématiques du débat provoqué par les mesures de Dicke. On a assisté à une controverse longue et souvent acerbe sur toutes sortes d'aspects de la technique expérimentale, de l'analyse statistique et de la physique solaire. Je ne

m'occuperai que de la première période du débat (entre 1967 et 1973)³¹. Pour de nombreux astrophysiciens, le problème fut résolu en 1974, lorsque Henry Hill (ancien membre de l'équipe de Dicke) mesura l'aplatissement par une autre technique et trouva un résultat qui s'accordait avec la théorie d'Einstein³².

Examinons la première présentation des résultats de Dicke afin de voir comment il établit son compte rendu d'observation et le contexte de preuve qu'il voulait lui donner. Les premiers résultats furent publiés dans les *Physical Review Letters*. Dans leur article, les auteurs parlaient à plusieurs reprises d'«aplatissement du soleil³³». Dicke et Goldenberg écrivaient ainsi dans le résumé :

«Les nouvelles mesures de l'aplatissement solaire ont donné une valeur de la différence fractionnaire entre le rayon équatorial et le rayon polaire égale à $(5.0 \pm 0,7) \times 10^{-5}$.»³⁴

Le contexte de preuve dans lequel ils plaçaient leur compte rendu d'observation était, comme nous l'avons déjà montré, la vérification des théories de la gravitation. Le lien était assuré par la chaîne d'inférences suivante : l'aplatissement solaire est la preuve d'un moment quadrupolaire du soleil causé par un noyau en rotation rapide ; le moment quadrupolaire du soleil provoque une avance du périhélie de Mercure ; l'origine solaire d'une partie de l'avance du périhélie met en question l'explication concurrente de l'avance totale : la théorie de la relativité générale.

Parler d'«aplatissement du soleil» n'était qu'une des formes possibles de compte rendu. Les auteurs auraient pu parler aussi d'«avance du périhélie induite par le soleil», de «moment quadrupolaire du soleil», ou d'«excès de flux de lumière solaire³⁵». Ces comptes rendus ont une extériorité décroissante du fait qu'il faut y incorporer une part décroissante de la situation d'observation. Le compte rendu sur l'«aplatissement solaire» se situe entre celui sur le «moment quadrupolaire du soleil» et celui sur l'«excès de flux de lumière solaire», car il possède moins d'extériorité que le premier et plus que le second.

Après la publication des résultats de Dicke et Goldenberg, plusieurs articles parurent pour les mettre en doute. La plupart des premières contestations portèrent sur les hypothèses du réseau d'inférences qui menait de l'aplatissement au moment quadrupolaire. Par exemple, avant de pouvoir décrire le moment quadrupolaire du soleil, il fallait définir une surface de potentiel constant dans le soleil. Un certain nombre de chercheurs mirent en question l'existence d'une telle surface. Ils expliquèrent que les champs magnétiques ainsi que d'autres phénomènes physiques compliquaient la situation et empêchaient de la définir. Si elle n'existait pas, il pouvait ne pas être légitime d'extrapoler le moment quadrupolaire du soleil de l'aplatissement solaire. Ces contestations étaient des tentatives pour changer le contexte de preuve des observations de Dicke et Goldenberg en le faisant passer de la théorie de la relativité à une propriété quelconque du soleil susceptible de provoquer une distorsion dans la surface équipotentielle³⁶. Si cette contestation aboutissait, elle ne changerait pas l'extériorité du compte rendu de Dicke et Goldenberg, car celui-ci (qui parle d'«aplatissement

solaire») est déjà, dans la chaîne d'inférences, à un niveau d'extériorité inférieur à celui sur lequel portait la contestation (le «moment quadrupolaire du soleil»). Cela voudrait seulement dire que la mesure de l'aplatissement solaire ne peut plus servir de preuve en faveur ou à l'encontre de la théorie de la relativité générale. Dans les articles énonçant ce genre de contestations, on ne trouve donc aucune attaque contre les comptes rendus de Dicke et Goldenberg, mais plutôt une mise en question de l'interprétation ou des inférences tirées du compte rendu. Les auteurs de ces articles ne contestent donc pas le fait que Dicke et Goldenberg aient effectivement mesuré l'aplatissement du soleil et caractérisent généralement leurs résultats en termes d'«aplatissement solaire³⁷». Roxburgh écrit par exemple :

«Dicke a mesuré l'aplatissement du soleil... En principe, une mesure de l'aplatissement peut révéler le moment quadrupolaire du soleil³⁸.»

Et Cocke :

«Dicke et Goldenberg ont signalé récemment qu'ils avaient observé que la photosphère du soleil était aplatie... Selon eux, ces mesures révèlent un moment quadrupolaire de la masse interne³⁹.»

Dicke réagit peu après à ces articles⁴⁰. Cependant, une autre contestation suivit, beaucoup plus sérieuse celle-là, car elle se plaçait à un niveau d'extériorité inférieur et supposait donc que Dicke et Goldenberg se trompaient en disant avoir observé un «aplatissement du soleil». Autrement dit, leur compétence d'observateurs semblait mise en question.

L'argument émis contre eux, et invoqué pour la première fois dans un article de *Nature* signé par Durney et Roxburgh, fut qu'en réalité ils avaient mesuré non pas l'aplatissement du soleil, mais une différence de température entre le pôle et l'équateur⁴¹. Durney et Roxburgh affirmèrent que les procédures expérimentales suivies par Dicke et Goldenberg, et destinées à montrer que l'aplatissement était indépendant de la brillance (les deux chercheurs utilisaient notamment trois disques occultants de tailles différentes), n'éliminaient pas tous les effets de la distribution de température. Si Durney et Roxburgh avaient raison, les flux lumineux ne pouvaient plus être un substitut valable de l'aplatissement. Leur contestation visait à montrer que le contexte de preuve approprié aux observations était les différences de températures de la photosphère solaire et non la théorie de la relativité. L'argument de Durney et Roxburgh impliquait que les comptes rendus d'observations sur l'«aplatissement solaire» n'étaient plus exacts, mais que ceux d'extériorité inférieure restaient valables. Comme nous le voyons, ils ne disaient donc pas que Dicke et Goldenberg avaient mesuré l'«aplatissement solaire», mais redécrivaient les observations en termes de comptes rendus d'extériorité moindre :

«Dicke et Goldenberg ont mesuré la différence entre les flux (lumineux) polaires et équatoriaux issus du limbe solaire et en ont conclu que la surface équipotentielle du limbe est aplatie de 35 kilomètres⁴².»

Il est donc clair que l'aplatissement n'est que la «conclusion» d'un compte rendu d'extériorité moindre. Si Durney et Roxburgh ont raison, les comptes rendus sur l'«aplatissement solaire» ne sont plus légitimes et il faut décrire les observations à un degré d'extériorité

inférieur, en parlant par exemple de « différence entre les flux polaires et équatoriaux ». On retrouve la même tentative de changement de l'extériorité dans un article d'Ingersoll et Spiegel qui montre assez en détail pourquoi la procédure expérimentale de Dicke et Goldenberg n'élimine pas une certaine répartition de la température solaire susceptible de provoquer également leur signal⁴³. Là encore, les mesures sont décrites en termes d'un « flux » qui peut servir à « tenter de déterminer » l'aplatissement solaire :

« Dicke et Goldenberg ont tenté de déterminer l'aplatissement solaire en mesurant la variation avec la latitude du flux à la limite externe du disque solaire⁴⁴. »

L'article d'Ingersoll et Spiegel implique que les comptes rendus d'observations sur l'aplatissement solaire ne sont plus corrects. C'est d'ailleurs évident dans leur conclusion :

« Le "signal d'aplatissement" observé peut s'expliquer par un excès modéré de la température équatoriale⁴⁵. »

Les « citations moqueuses » à propos du « signal d'aplatissement » tendent à montrer qu'il est devenu inexact de le décrire comme une observation de l'aplatissement.

Dicke ne pouvait pas laisser passer ces nouvelles attaques sans réagir. Le débat entre lui et Ingersoll et Spiegel fut même l'un des plus agressifs de toute la controverse⁴⁶. Cette agressivité vint sans doute du fait que la dernière contestation était plus sérieuse que les précédentes. Du fait qu'elle se situe à un niveau d'extériorité inférieur dans le processus d'observation, elle ne représente pas seulement une tentative pour changer le contexte de preuve, elle laisse aussi penser que les comptes rendus d'observations de Dicke et Goldenberg sont incorrects. Ce n'est plus l'interprétation des observations qui est critiquée, ce sont les observations elles-mêmes. C'est désormais la crédibilité de Dicke et Goldenberg qui est en cause⁴⁷.

Comme nous l'avons dit précédemment, la controverse sur l'aplatissement solaire fut réglée aux yeux de la plupart des scientifiques lorsque Hill rapporta de nouvelles mesures différentes de celles de Dicke⁴⁸. Ces mesures renforcèrent apparemment l'opinion selon laquelle Dicke et Goldenberg s'étaient trompés en parlant d'aplatissement et accentuèrent les doutes sur leur compétence d'observateurs.

LE DILEMME DE L'EXPÉRIMENTATEUR

Si l'observation est très extériorisée et si plusieurs comptes rendus différents situés à des niveaux différents d'extériorité sont possibles pour une même expérience, la question se pose immédiatement de savoir comment l'expérimentateur décide du compte rendu qu'il va faire. Les caractéristiques des comptes rendus de faible et forte extériorité sont résumées dans le tableau 1.

On voit que l'expérimentateur qui doit rapporter une observation se trouve face à une sorte de dilemme. Les comptes rendus d'extériorité élevée auront plus de chances de contribuer aux connaissances, étant donné leur fort caractère de preuves, mais ils seront risqués. Ils le seront parce qu'ils englobent de nombreux aspects de

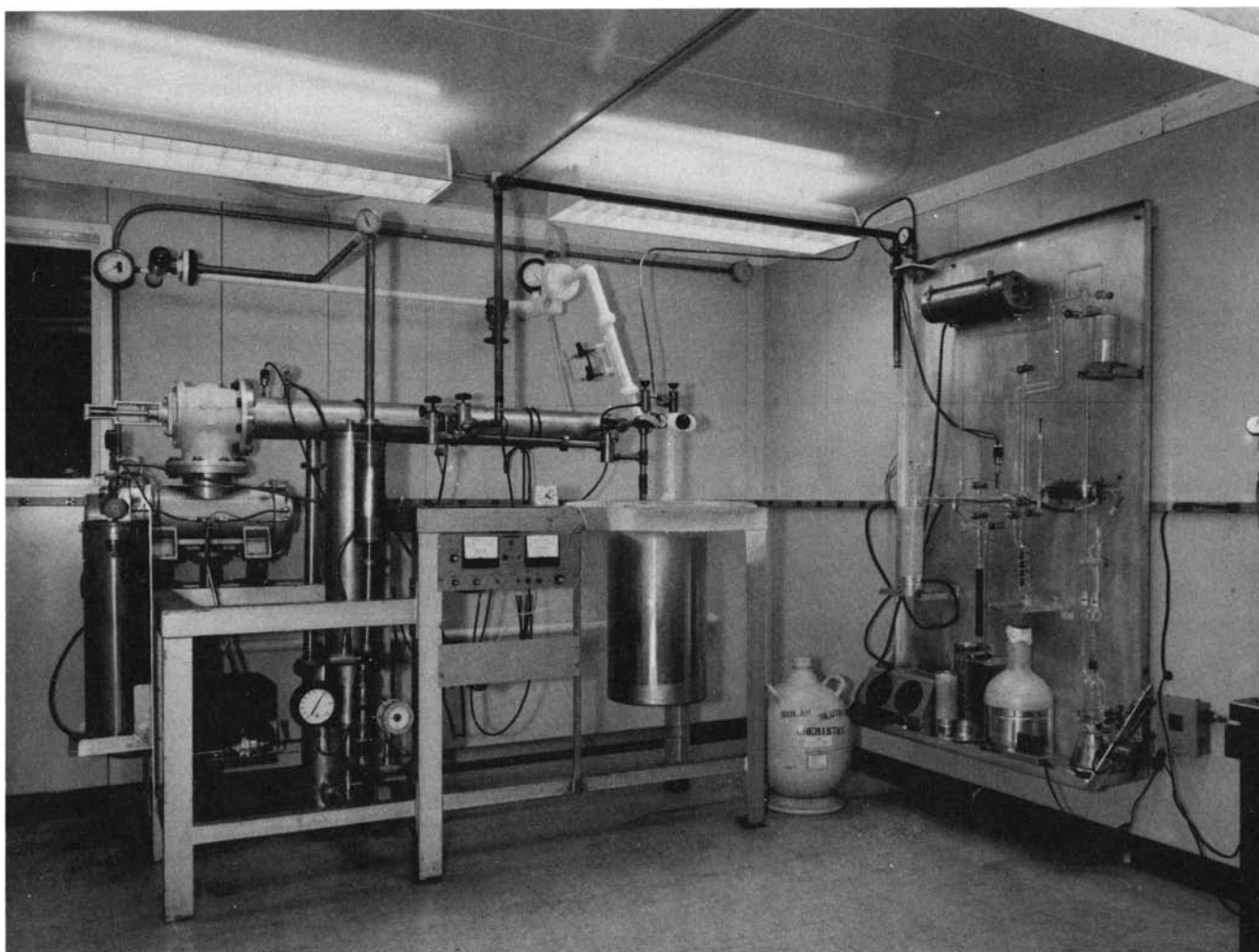
la situation d'observation et laissent donc plus de place à la critique. En revanche, les comptes rendus d'extériorité faible sont moins risqués et plus faciles à accepter, mais ils sacrifient en profondeur. Ils conviennent à tant de contextes de preuve qu'ils en deviennent virtuellement inutiles.

Le dilemme pour l'expérimentateur, c'est de choisir entre un compte rendu sûr de niveau faible qui a peu de chances d'être contesté et un compte rendu plus audacieux et risqué qui souligne la profondeur des observations par rapport à un contexte de preuve spécifique. On remarquera avec intérêt que, formulés en termes épistémologiques, ces choix correspondent aux choix rationnels mis en valeur par les philosophes des sciences⁴⁹. On peut dire qu'un compte rendu de faible extériorité correspond à la véracité maximum, tandis qu'un compte rendu de forte extériorité correspond à la signification théorique maximum. Il y a une tension entre le besoin de profondeur et le besoin de véracité. Les comptes rendus d'observations qui ont la plus grande véracité ont des chances d'être plus banals, et les comptes rendus les plus profonds risquent d'être réfutés.

Mon problème n'est pas ici de faire de l'épistémologie⁵⁰. Ce que j'ai voulu en développant cette analyse de l'extériorité et de la *signification de preuve des comptes rendus d'observations*, c'est être plus descriptif qu'épistémologique. J'ai cherché un moyen de comparer empiriquement des épisodes de l'évolution scientifique, et plus particulièrement des querelles dans le domaine de l'observation. Et comme nous l'avons vu, on peut donner des références empiriques aux concepts d'extériorité et de signification comme preuve. Afin d'étendre l'analyse sociologique, il nous faut indiquer quelques-uns des facteurs qui déterminent le choix entre des comptes rendus d'observations différents et montrer comment certains de ces comptes rendus sont éliminés après négociation au cours des controverses. Quelques-uns de ces facteurs ont déjà été mentionnés dans d'autres études ; ce n'est donc pas de ce côté-ci que j'étendrai mon analyse⁵¹. Je consacrerai plutôt le reste de cet article à énoncer quelques-uns des problèmes qui semblent éclairés par cette forme d'analyse.

LE TORT CAUSÉ AUX OBSERVATIONS ET LES DEGRÉS D'EXTÉRIORITÉ.

Nous avons dit que les mises à l'épreuve imposées aux comptes rendus d'observations pouvaient être considérées comme des tentatives pour changer le contexte de preuve de ces observations. Bien qu'il n'y ait aucune raison pour que le nouveau contexte ne soit pas significatif (par exemple, dans le cas des neutrinos solaires, le contexte de la théorie de l'interaction faible peut très bien être plus significatif que ce qui était voulu dans l'expérience d'origine), la plupart du temps, le nouveau contexte rendra très peu significatif le compte rendu d'observation. Outre qu'elles ont pour effet de changer le contexte de preuve, ces contestations font plus ou moins de « tort » à l'expérience. Le degré de ce tort dépend du degré d'extériorité du compte rendu attaqué. En général, plus le degré d'extériorité du compte



7

rendu contesté est bas, plus le tort causé à l'expérience est grand. Ceci vient du fait qu'une contestation réussie rend superflu tout le processus d'observation, y compris l'appareillage utilisé aux niveaux supérieurs de la chaîne d'inférences.

On peut illustrer ce phénomène en prenant de nouveau l'exemple des neutrinos solaires. Si la contestation liée à la chimie de l'argon avait abouti, tout le processus d'observation lié à la production des énoncés d'extériorité supérieure tels que ceux qui parlent d'« argon 37 », de « neutrinos solaires » ou de « réactions pp » serait devenu superflu. Cela veut dire qu'on aurait déployé en vain de nombreux efforts théoriques, mais aussi qu'une expérience coûteuse serait devenue à peu près sans objet. Quel serait en effet l'intérêt de calculer les flux de neutrinos du soleil et de dépenser 600 000 dollars pour construire une piscine olympique de perchloréthylène à deux mille mètres sous terre pour faire des découvertes sur la chimie de l'argon ? Les attaques portées à un niveau supérieur d'extériorité causent souvent moins de tort, car une partie plus importante du processus d'observation et des calculs qui s'y rattachent reste valable. Si c'était un compte rendu de niveau supérieur, par exemple sur les « neutrinos solaires », qui était mis en question, l'essentiel de l'appareillage resterait utile et le tort causé à l'expérience serait moins grand. Bien que des contestations portant sur des comptes rendus de faible

extériorité puissent causer plus de tort, elles ont moins de chances d'aboutir dans ce cas, car ces comptes rendus reposent sur des hypothèses relatives au fonctionnement de l'appareil. Les énoncés d'extériorité plus faible comportent généralement des instruments plus « boîte noire » ou plus standard, dont le fonctionnement est en grande partie impossible à modifier⁵². Il semble par exemple peu probable que les compteurs Geiger ou les appareils enregistreurs reposent sur des hypothèses contestables.

La différence entre les préoccupations épistémologiques et sociologiques apparaît clairement dans l'analyse du « tort ». Du point de vue épistémologique, on ne voit pas bien pourquoi les attaques aux niveaux inférieurs d'extériorité causeraient plus de soucis. Du point de vue sociologique en revanche, on le comprend aisément. Comme les expériences exigent de gros investissements en temps et en talent, il est évident que les contestations réussies portant sur des niveaux faibles d'extériorité doivent une partie de leur efficacité au fait qu'elles réduisent à néant ces investissements. De telles attaques mettent évidemment aussi en doute les compétences expérimentales de l'observateur. Nous avons vu que cet élément était important dans la controverse sur l'aplatissement solaire. Cependant, les problèmes de compétence ne suffisent pas à expliquer la différence de tort causée par les contestations qui portent sur des niveaux différents d'extériorité. La

compétence de l'expérimentateur des neutrinos solaires serait autant ternie par son incapacité à extraire correctement l'argon que par son incapacité à expliquer correctement les phénomènes liés au compteur dans l'interprétation des points d'un graphique. Mais dans ce dernier cas, le « tort » causé serait bien plus grand.

L'ACCÈS AUX DONNÉES ET LEUR EXTÉRIORITÉ.

Les niveaux différents d'extériorité des comptes rendus d'observations attirent aussi l'attention sur le rôle des différentes sortes de données dans les expériences. Les observations très extériorisées supposent souvent que l'expérimentateur a dû manipuler des appareils très complexes. L'expérimentateur, qui ne fait qu'un avec ses appareils, traite durant ses observations de grandes quantités de données obtenues à des niveaux différents d'extériorité. Comme on ne présente dans la plupart des articles que les données qui permettent le compte rendu le plus extérieur, il est parfois difficile de découvrir ce qui s'est passé aux niveaux d'extériorité inférieurs. Dans le cas des neutrinos solaires et dans celui de l'aplatissement du soleil, par exemple, les premiers comptes rendus d'expériences ne mentionnèrent que peu de « données brutes » (telles que les points de la figure 1).

Le fait de publier des mesures très extériorisées peut donc poser des problèmes à ceux qui veulent examiner toutes les données. On le voit bien dans les querelles sur les observations en physique moderne, où il est couramment admis que l'accès aux données joue souvent un rôle important. Ainsi, dans toutes les situations que j'ai étudiées, j'ai eu affaire à des chercheurs qui prétendaient que certains de leurs confrères n'étaient pas francs sur leurs données, ou que d'autres devaient être félicités pour leur ouverture⁵³. Ce problème est mis en évidence par notre analyse. La plupart des données publiées dans des revues à propos des expériences ne concernent que quelques comptes rendus très extériorisés⁵⁴. Les données de base permettant des comptes rendus inférieurs ne sont pas communiquées au public. Cela veut dire que des facteurs tels que la confiance et les relations personnelles entre expérimentateurs et théoriciens jouent un rôle proportionnel à l'extériorité des comptes rendus d'observations.

LES CHANGEMENTS D'EXTÉRIORITÉ EN TANT QUE PROPRIÉTÉS DU LANGAGE.

Jusqu'ici, nous nous sommes occupés de l'extériorité et de la signification de preuve des comptes rendus d'observations tels qu'ils se présentent dans les articles scientifiques. Mais il faut aussi considérer que notre analyse peut s'étendre à l'utilisation générale du langage en science. Après tout, les comptes rendus d'observations ne sont pas réservés aux articles scientifiques. On en trouve dans d'autres contextes : conférences publiques, communiqués à la presse, discussions informelles et même entretiens avec des sociologues. Il est tout à fait possible de trouver aussi dans ces contextes des niveaux

différents et des changements d'extériorité. Autre possibilité intéressante : le fait que des changements d'extériorité se produisent systématiquement d'un contexte à l'autre. On m'a ainsi suggéré l'idée que les médias parlaient des sciences en faisant des comptes rendus plus extériorisés que ceux qui paraissent dans les articles sur lesquels ils s'appuient⁵⁵.

Le degré d'extériorité des comptes rendus d'observations semble être une propriété des descriptions d'observations qui rappelle un peu la propriété des « modalités » décrite par Latour et Woolgar⁵⁶. A partir de conversations informelles autour de la table de manipulations du laboratoire, Latour et Woolgar identifient des changements progressifs dans le nombre des modalités employées par les chercheurs pour décrire les faits. Selon eux, il y a une correspondance directe entre le nombre de ces modalités et la solidité subjective des faits décrits. Les énoncés suivants font par exemple apparaître entre a) et c) un nombre croissant de modalités qui correspond à une solidité subjective décroissante du fait décrit (l'existence de X) :

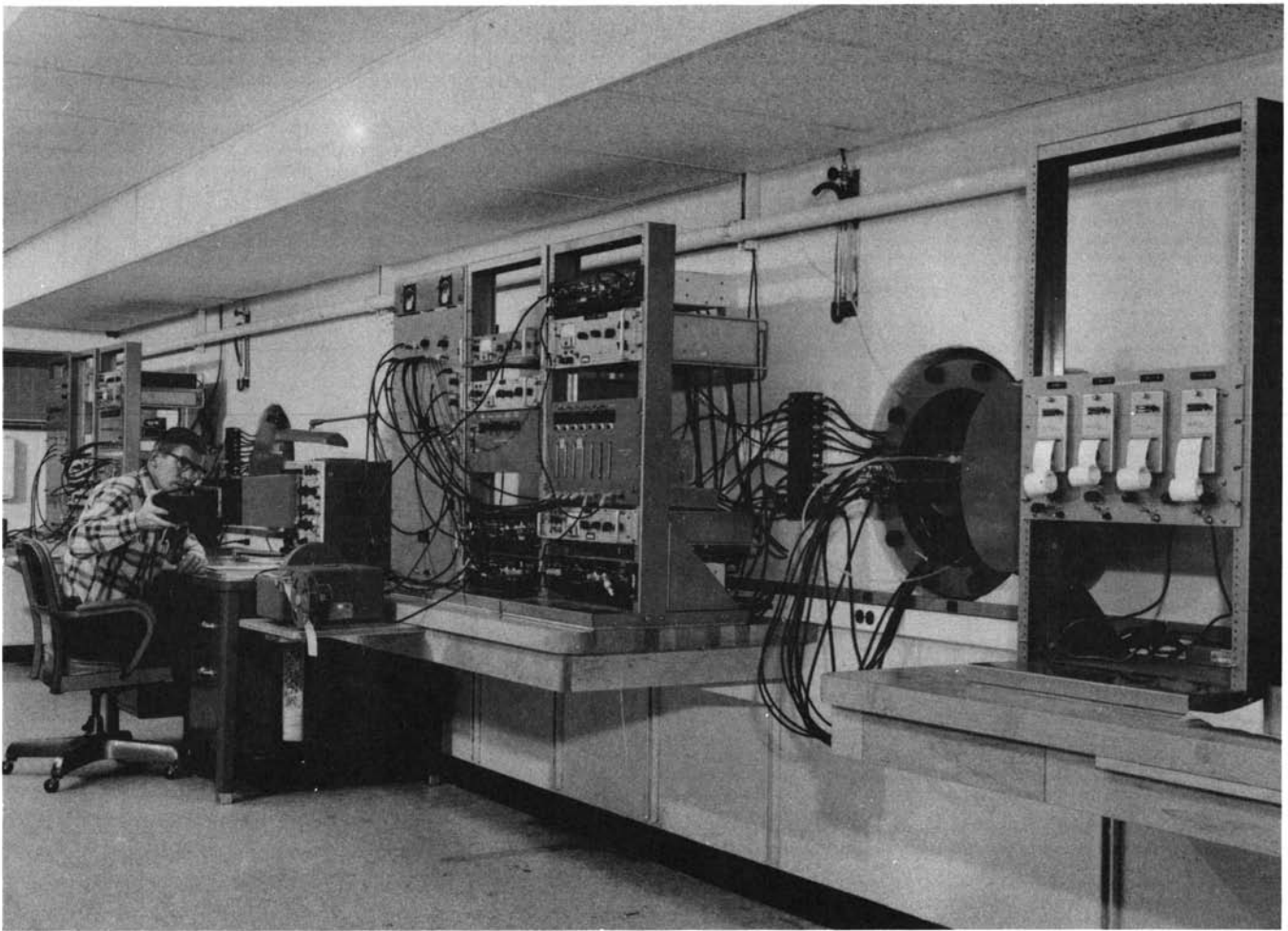
- a) X existe,
- b) les expériences montrent que X existe,
- c) on a dit que les expériences montraient que X existe.

Cela voudrait dire par exemple que durant une controverse sur des expériences, on devrait voir les chercheurs employer un nombre variable de modalités selon qu'ils veulent imposer l'existence de X ou la contester. Ceux qui veulent mettre en doute l'existence de X utiliseront des énoncés où les modalités seront nombreuses, alors que ceux qui veulent montrer que l'existence de X est bien établie choisiront des énoncés comportant peu de modalités⁵⁷.

Le degré d'extériorité des comptes rendus d'observations peut être un autre moyen pour les chercheurs d'augmenter ou de diminuer la solidité de ces comptes rendus. Ils peuvent par exemple passer à un compte rendu d'extériorité plus faible (qui donne une véracité plus grande) si leurs expériences sont attaquées. On trouve une illustration de ce processus dans la querelle sur la détection des ondes de gravité. Dans les années 1960, Joseph Weber, de l'université du Maryland, affirma avoir détecté des sursauts énergétiques en coïncidence dans deux barres d'aluminium séparées. Il les interpréta, ainsi que d'autres chercheurs, comme des mesures de flux élevés d'ondes gravitationnelles. Mais ensuite, les observations de Weber furent attaquées. Pour se défendre, celui-ci présenta ses observations (dans des entretiens) sous la forme de comptes rendus de faible extériorité : il parla de « coïncidences dans deux barres d'aluminium⁵⁸ ». Cette manœuvre affaiblit grandement la signification de preuve des observations, car celles-ci pouvaient dès lors s'insérer dans de nombreux contextes de preuves différents, mais elle préserva leur véracité.

CONCLUSION.

Je voudrais conclure en attirant l'attention sur quelques buts et quelques conséquences plus larges de cette analyse. La force de la nouvelle sociologie des



8

connaissances scientifiques tient dans les détails qu'elle a mis en lumière sur la pratique scientifique. Sa faiblesse, c'est de n'avoir pas su intégrer les résultats des études de cas. Les idées théoriques ne manquent pas, mais il faut les relier aux travaux empiriques. Pour décrire des cas différents, il nous faut un langage utilisable dans plus d'un cas, mais auquel on puisse aussi donner une signification théorique plus grande. Ce que nous voulons dire ici, c'est que les concepts d'extériorité et de contexte de preuve sont des étapes utiles dans l'élaboration de ce langage. Ils permettent effectivement de comparer et d'opposer certaines caractéristiques des observations scientifiques.

Ce qui est peut-être moins évident, c'est la façon dont notre analyse se relie aux préoccupations théoriques plus larges de la sociologie des connaissances scientifiques. Ce que nous voyons dans les controverses sur les expériences, c'est un processus de fabrication et de destruction des comptes rendus d'observations. Et nous voyons aussi un processus de fixation du contexte de preuve approprié à ces comptes rendus. Mais à la fin, ce processus s'achève et l'on assiste à l'acceptation d'un compte rendu situé à un certain degré d'extériorité et du contexte de preuve qui l'accompagne. L'hypothèse de notre analyse, c'est que ces querelles se règlent non pas en fonction de maximes épistémologiques, mais à la suite d'un processus de « négociation ». Et je pense que cet article contribue à notre compréhension dans la mesure où il conceptualise la façon dont on peut relier

les processus d'observation isolés aux ressources et aux intérêts généraux d'autres groupes de chercheurs. La meilleure façon de l'illustrer, c'est d'examiner ce qui fait qu'une querelle d'observation se règle.

Comme nous l'avons vu, pour qu'une querelle se règle, il faut qu'on ait fixé un contexte de preuve et l'extériorité du compte rendu d'observation. Mais *en même temps*, la validité du processus d'observation utilisé pour produire le compte rendu doit être établie. C'est ce qu'on pourrait appeler la « mise en boîte noire » du processus d'observation. Le processus d'observation est à présent un instrument « en boîte noire » (ainsi, bien sûr, que les pratiques qui lui sont liées). Citons comme exemples de ce genre d'instruments les compteurs Geiger et les enregistreurs graphiques. Ces dispositifs sont couramment utilisés par les scientifiques, mais ils ne servent jamais en eux-mêmes de contextes de preuve aux comptes rendus d'observations. Les expériences à la pointe de la physique actuelle ne sont pas faites pour découvrir des faits nouveaux sur la physique de l'enregistrement graphique ! Mais la raison n'en est pas que ces appareils sont par principe impossibles à corriger ou possèdent une garantie épistémologique spéciale. Tout matériel a été à un stade ou à un autre une « boîte ouverte ». On pourrait ouvrir les boîtes noires actuelles grâce à l'histoire. C'est-à-dire qu'on pourrait revenir en arrière et étudier par exemple les problèmes et les querelles soulevés lorsque ces appareils furent utilisés pour la première fois. Mais on peut aussi adopter la stratégie du



présent article et examiner les futures boîtes noires telles qu'elles sont socialement construites ici et maintenant, en se concentrant sur les querelles d'observations actuelles⁵⁹. Il se peut que les « télescopes » à neutrinos solaires deviennent partie intégrante de l'équipement standard des astronomes, comme c'est le cas pour les télescopes optiques actuels.

La « mise en boîte noire » suppose, comme nous l'avons vu, qu'on fixe un contexte de preuve à l'instrument. On pourrait dire que l'appareil est mis en boîte noire selon le contexte de preuve. Par exemple, si le contexte de preuve approprié à l'expérience des neutrinos solaires était devenu la chimie de l'argon, l'appareil (ou au moins les parties situées au niveau du captage de l'argon et en dessous) aurait été mis en boîte noire comme système à « capter l'argon ». Le contexte de preuve se cristallise dans une partie spécifique du matériel (et dans les pratiques qui s'y rattachent). Chaque fois qu'on utilise un instrument, on reproduit son contexte de preuve⁶⁰. L'importance de tout cela pour la sociologie, c'est que la communauté des scientifiques en général est concernée par le contexte de preuve. Les réseaux généraux de connaissances sont donc entièrement liés aux instruments en boîtes noires.

Cette description de la façon dont les instruments et les pratiques qui s'y rattachent sont liés à l'ensemble plus général des connaissances est éclairante sur le plan sociologique, car elle attire l'attention sur l'importance qu'il y a à étudier la façon dont les contextes de preuve sont déterminés entre des groupes différents de scientifiques. Il est tout à fait possible par exemple que certains domaines de connaissances soient mieux « intégrés » que d'autres⁶¹. Peut-être la chimie de l'argon était-elle un ensemble de connaissances mieux intégré que la physique solaire, ce qui expliquerait que l'on n'ait pas réussi à placer dans ce contexte de preuve l'expérience des neutrinos solaires. Peut-être les intérêts, les ressources et les pratiques des scientifiques, considérées comme évidentes, étaient-ils liés à la connaissance de la chimie de l'argon, de telle sorte qu'ils ne laissaient pas de place à un système de captage de l'argon qui menace les hypothèses soutenant cette connaissance⁶². La mise en boîte noire des instruments ne doit être sous-estimée dans aucune des théories sociologiques qui s'occupent de la façon dont la culture scientifique est produite et reproduite⁶³. Une fois mis en boîte noire, les instruments peuvent être produits en série et distribués. Les laboratoires du monde entier (et de l'espace) peuvent alors être mobilisés pour reproduire et solidifier les contextes de preuve. Les instruments mis en boîte noire peuvent être intégrés à d'autres, qui reproduiront à leur tour les contextes de preuve qui s'y rattachent. L'observation scientifique, en ce qu'elle crée entièrement le contexte de preuve et les instruments en boîte noire, est peut-être la clef qui permet de comprendre le succès et la stabilité de telle ou telle culture noétique (dans la connaissance) au sein de la science. Et ce problème est finalement le grand problème actuel de la sociologie des connaissances scientifiques.

Remerciements.

Nous remercions *Social Studies of Science* de nous avoir permis de traduire cet article à paraître en 1985. Nous remercions Françoise Praderie d'avoir revu la traduction. Après ses vérifications, le flux de neutrinos solaires mesuré n'est pas zéro mais 2.3 ± 0.3 Solar Neutrinos Units (S.N.U.), alors que les calculs prédisent 7.2 ± 3.3 S.N.U.

Notes.

1. Voir par exemple H. M. Collins, « Les Sept Sexes. Etude sociologique de la détection des ondes gravitationnelles », in M. Callon et B. Latour (eds), *La science telle qu'elle se fait*, Pandore, 1982 ; T. J. Pinch, « What does a Proof do if it does not Prove? : A Study of the Social Conditions and Metaphysical Divisions Leading to David Bohm and John von Neumann Failing to Communicate in Quantum Physics », in E. Mendelsohn, P. Weingart and R. Whitley (eds), *The Social Production of Scientific Knowledge, Sociology of the Sciences Yearbook*, vol. 1, (Dordrecht, Reidel, 1977), 171-215 ; Bill Harvey, « Plausibility and the Evaluation of Knowledge : A Case-Study of Experimental Quantum Mechanics », *Social Studies of Science*, vol. 11 (1981), 95-130 ; A. Pickering, « Constraints on Controversy : The Case of the Magnetic Monopole », *ibid.*, 63-94 ; G.D.L. Travis, « Replicating Replication? Aspects of Social Reconstruction of Learning in Planarian Worms », *ibid.*, 11-32 ; et H.M. Collins and T.J. Pinch, *Frames of Meaning : The Social Construction of Extraordinary Science* (Londres, Routledge and Kegan Paul, 1982).

2. B. Latour et S. Woolgar, *Laboratory Life* (Londres et Beverly Hills, Sage, 1979) ; K.D. Knorr-Cetina, *The Manufacture of Knowledge : An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science* (Oxford, Pergamon, 1981) ; et M. Lynch, *Art and Artefact in Laboratory Science : A Study of Shop Work and Shop Talk in a Research Laboratory* (Londres, Routledge and Kegan Paul, à paraître en 1984).

3. Voir M. Rudwick, « Report of Meeting "New Perspectives in the History and Sociology of Scientific Knowledge" », *Society for Social Studies of Science News-letter*, vol. 5, n° 2 (1980), 43 ; et S. Shapin, « L'Histoire des sciences et ses reconstructions sociologiques », in M. Callon et B. Latour, *Les Scientifiques et leurs alliés*, à paraître chez A.-M. Métailié.

4. T. Nickles, « ERISS and Internal Sociology of Science », article présenté lors de la sixième réunion annuelle de la Society for Social Studies of Science (Atlanta, 5-7 nov. 1981) ; D. Shapere, « The Concept of Observation in Science and Philosophy », *Philosophy of Science*, vol. 49 (1982), 484-525 ; et D. Gooding, « The Making of Meaning : Experimental Realism and the Reference of Scientific Terms », article présenté lors de la réunion mixte de la British Society for the Philosophy of Science et de la British Society for the History of Science, « The Acceptance and Rejection of Scientific Theories » (Leicester, 28-30 mars 1983).

5. Voir K. D. Knorr-Cetina and M. J. Mulkay (eds), *Science Observed — Perspectives on the Social Study of Science* (Londres et Beverly Hills, Sage, 1983).

6. Les deux autres cas portent sur les mesures des oscillations globales du soleil et la détection de flux élevés d'ondes gravitationnelles. Presque tous les scientifiques qui ont participé au débat ont été interrogés. On trouvera une partie des résultats de cette étude dans T. J. Pinch, « L'Anomalie des neutrinos solaires : comment réagissent les théoriciens et les expérimentateurs ? », in *La science telle qu'elle se fait*, Pandore, 1982 ; *idem*, « The Sun-Set : On the Presentation of Certainty in Scientific Life », *Social Studies of Science*, vol. 11 (1981), 131-158 ; *idem*, *The Development of Solar Neutrino Astronomy* (thèse de doctorat non publiée, University of Bath, 1982) ; et *idem*, « Theory Testing in Science — The Case of Solar Neutrinos : Do Crucial Experiments Test Theories or Theorists ? », *Philosophy of the Social Sciences* (à paraître en 1985).

7. On trouvera un autre compte rendu sur les observations de neutrinos solaires dans Shapere, *op. cit.* note 4. L'analyse de Shapere est très intéressante ; néanmoins, il se sert d'études historiques circonstanciées sur des épisodes expérimentaux pour construire une théorie épistémologique de l'observation. Notre analyse en revanche est guidée par des considérations plus sociologiques qu'épistémologiques.

8. Il faut cependant dire que tous ces cas portent sur des phénomènes astrophysiques observés à partir de la terre. La question est de savoir dans quelle mesure notre analyse peut être étendue à d'autres domaines et à d'autres époques. Steven Shapin m'a proposé l'idée qu'on pouvait observer les mêmes processus dans le débat entre Boyle et Hobbes sur le fonctionnement de la pompe à air de Boyle. Voir S. Shapin, « Une pompe de circonstance », dans ce recueil. En s'appuyant sur ses études de Faraday, David Gooding a développé des idées partiellement semblables à celles de notre article ; voir D. Gooding, « Empiricism in Practice : Teleology, Economy and Observation in Faraday's Physics », *Isis*, vol. 73 (1982).
9. Ces neutrinos sont issus de la réaction de désintégration :
- $$B^8 \rightarrow Be^8 + e^+ + \nu.$$
10. Les expériences ont lieu dans un puits de mine de Lead, dans le Dakota du Sud. On trouvera un récit de leur histoire dans J.N. Bahcall and R. Davis, « An Account of the Development of the Solar Neutrino Problem », in C. Barnes, D. Clayton and D. Schramm (eds), *Essays in Nuclear Physics* (Cambridge University Press, 1982).
11. Le rôle de ces connaissances dans le processus d'observation est également souligné dans Shapere, *op. cit.* note 4.
12. B. Latour a souligné l'importance des dispositifs d'inscription dans l'analyse des sciences. Voir Latour and Woolgar, *op. cit.* note 2 et B. Latour, « Les Vues de l'esprit », dans ce recueil.
13. R. Davis, D.S. Harmer and K.C. Hoffman, « Search for Neutrinos from the Sun », *Physical Review Letters*, vol. 20 (1968).
14. R. Davis and J. Evans, « Neutrinos from the Sun », in J.A. Eddy (ed), *The New Solar Physics* (Boulder, Colorado, Westview Press, 1978), 35-58, 43.
15. Voir par exemple J.N. Bahcall, N.A. Bahcall and G. Shaviv, « Present Status of the Theoretical Predictions for the ^{37}Cl Experiment », *Physical Review Letters*, vol. 20 (1968).
16. On trouvera une autre discussion de ce problème dans R.E. Grandy (ed), *Theories and Observation in Science* (Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall).
17. N.R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge University Press, 1958), 56.
18. Peter Achinstein, *Concepts of Science: A Philosophical Analysis* (Baltimore et Londres, Johns Hopkins Press, 1968), 181.
19. *Ibid.*, 199.
20. *Ibid.*, 200.
21. Il se trouve que dans le cas des neutrinos solaires (ainsi que dans le suivant), l'extériorité augmente avec la charge en théorie. Elle semble aussi augmenter avec le nombre des théories conjecturales. Mais il se peut que cela ne soit vrai que pour les observations de type astronomique. En général, les sources astronomiques ne sont pas soumises à un contrôle expérimental. On trouvera une autre discussion des degrés de charge en théorie dans W.V. Quine, « Grades of Theoricity », in L. Foster and J.W. Swanson (eds), *Experience and Theory* (Boston, University of Massachusetts Press, 1970).
22. Voir par exemple les études citées dans la note 1.
23. Voir S.G. Harding (ed), *Can Theories be Refuted? Essays on the Duhem-Quine Thesis* (Dordrecht, Reidel, 1976).
24. P. Bandyopadhyay, « Solar Neutrinos and the ^{37}Cl Neutrino Absorption Experiment », *Journal of Physics*, A, vol. 5, (1972).
25. K.C. Jacobs, « Chemistry of the Solar Neutrino Problem », *Nature*, vol. 256 (1975), 560-561.
26. En présentant ces contestations, je fais l'hypothèse qu'elles produisent un effet suffisant pour changer le contexte. Certaines contestations d'hypothèses à l'arrière-plan n'ont par exemple pour effet que de changer le résultat numérique exprimé dans le compte rendu d'observation.
27. On trouvera une synthèse de ces contestations dans Pinch, *op. cit.* note 6, 1982. Dans la plupart des cas, les hypothèses attaquées faisaient partie de la théorie astrophysique ; autrement dit, la contestation s'est faite à un haut degré d'extériorité et contre les théories les plus conjecturales.
28. Pour une analyse philosophique de ces chaînes observationnelles causales, voir K.F. Schaffner, « Correspondence Rules », *Philosophy of Science*, vol. 36 (1969), 280-290.
29. On trouvera un récit historique de l'évolution de ce problème dans N.T. Roseveare, *Mercury's Perihelion: From the Verrier to Einstein* (Oxford University Press, 1983).
30. R.H. Dicke and H.M. Goldenberg, « Solar Oblateness and General Relativity », *Physical Review Letters*, vol. 18 (1967).
31. Pour une discussion de certains de ces problèmes, voir R.H. Dicke, « The Oblateness of the Sun and Relativity », *Science*, vol. 184 (1974).
32. H.A. Hill, P.D. Clayton, D.L. Patz, A.W. Healy and R.T. Stebbins, « Solar Oblateness, Excess Brightness and Relativity », *Physical Review Letters*, vol. 33 (1974).
33. On peut souvent déduire très facilement le compte rendu d'observation des résumés, introductions ou conclusions d'articles expérimentaux. C'est l'énoncé « en ligne directe » des résultats, et il est généralement exprimé numériquement avec une barre d'erreur appropriée.
34. Dicke and Goldenberg, *op. cit.* note 30, 313.
35. Ces comptes rendus possibles peuvent être obtenus en reconstruisant le processus d'observation et en considérant toutes ses étapes, comme nous l'avons fait pour l'analyse de l'expérience sur les neutrinos solaires.
36. Voir par exemple I.W. Roxburgh, « Implications of the Oblateness of the Sun », *Nature*, vol. 213 (1967) ; W.T. Cocke, « Alternative Cause of the Solar Oblateness », *Physical Review Letters*, vol. 19 (1967) ; et P.A. Sturrock and J.J. Gilvarry, « Solar Oblateness and the Magnetic Field », *Nature*, vol. 216 (1967).
37. Pour les autres expériences, c'est généralement dans le paragraphe d'introduction de l'article que le compte rendu d'observation est caractérisé.
38. Roxburgh, *op. cit.* note 36, 1077.
39. Cocke, *op. cit.* note 36, 609. Cependant Cocke dit que ce qui est « aplati », c'est la « photosphère du soleil », alors que Roxburgh parle du soleil lui-même. Cette distinction recouvre sans doute des degrés subtils d'extériorité.
40. R.H. Dicke, « The Solar Oblateness and the Gravitational Quadrupole Moment », *The Astrophysical Journal*, vol. 159 (1970).
41. B.R. Durney and I. Roxburgh, « Model Atmosphere Calculation of the Solar Oblateness », *Nature*, vol. 221 (1969).
42. *Ibid.*, souligné par moi.
43. A.P. Ingersoll and E.A. Spiegel, « Temperature Variation and the Solar Oblateness », *The Astrophysical Journal*, vol. 163 (1971).
44. *Ibid.*, 375.
45. *Ibid.*, 381.
46. Voir la réponse de Dicke à Ingersoll et Spiegel dans R.H. Dicke, « Solar Oblateness and Equatorial Brightening », *The Astrophysical Journal*, vol. 180 (1973).
47. Étant donné le caractère plus grave de cette contestation à un niveau inférieur d'extériorité, les éventuelles faiblesses situées plus haut dans la chaîne d'extériorité deviennent négligeables. Par exemple, ni Ingersoll et Spiegel, ni Durney et Roxburgh n'attirent l'attention sur les précédentes contestations d'extériorité supérieure. Plus le niveau d'extériorité auquel l'observation est attaquée est bas, plus les torts causés à l'expérience sont grands (voir plus loin la discussion sur les « torts »).
48. Hill *et al.*, *op. cit.* note 32.
49. On peut ainsi considérer que la philosophie de Popper met l'accent sur l'audace théorique, tandis que les inductionnistes et les tenants de l'empirisme logique mettent l'accent sur la véracité des énoncés d'observations.
50. On trouvera quelques remarques épistémologiques sur ce problème dans Shapere, *op. cit.* note 4. Shapere dit que les scientifiques devraient toujours donner leur description « la plus forte » (celle qui a le maximum d'extériorité) et ne pas « faire retraite » vers d'autres descriptions lorsque apparaissent des motifs de « doute ». Le problème, c'est que le doute s'apprécie en fonction du contexte de l'expérience. Durant les controverses sur une expérience, tout peut même être mis en doute, y compris la compétence de l'expérimentateur. En tout cas, il semble que les scientifiques ne donnent pas toujours les comptes rendus d'observations qui ont la plus haute extériorité : si c'était le cas, Davis aurait exprimé ses résultats en parlant de chaîne pp et non de phénomènes induits par les neutrinos.
51. Voir les études citées note 1.
52. La notion de « boîte noire » sera développée dans la conclusion.
53. Il est important de ne pas sous-estimer ce problème. De nombreux spécialistes de neutrinos solaires opposent le comportement exemplaire de Davis à cet égard (très franc sur ses données) à l'attitude d'autres expérimentateurs qui ne communiquent pas leurs données brutes. Ce problème semble lié à celui de la reproduction des expériences. Lorsqu'on compare les résultats des reproductions, il faut prendre en considération les couches de données d'extériorité différente. On trouvera dans Collins, *op. cit.* note 1, une discussion éclairante sur la reproduction des expériences en physique.
54. Cela explique qu'en science les accusations de tricherie soient rarement directes. La plupart des données qui pourraient être obtenues en trichant se situent à des niveaux d'extériorité inférieurs à ce qui apparaît dans les articles publiés.
55. Pour une présentation plus détaillée de la façon dont, dans le langage scientifique, le « factuel » est construit de manière différente selon les forums (tels que les mass media), voir T.J. Pinch and H.M. Collins, « Private Science and Public Knowledge: The Committee for the Scientific Investigation of Claims of the Paranormal », soumis à *Social Studies of Science*. Voir aussi L. Fleck, *The Genesis and Development of a Scientific Fact* (The University of Chicago Press, 1979).
56. Latour and Woolgar, *op. cit.* note 2.
57. Comme l'ont signalé Latour et Woolgar, il faut faire très attention à ne pas mélanger les contextes auxquels conviennent éventuellement les différents degrés de modalisation. On pourra ainsi trouver dans les « conversations autour de la table de manipulations » plus de modalités que dans les énoncés des articles scientifiques.
58. Le contenu de cet entretien (1981) est en possession de Weber. Pour une étude de la querelle sur les ondes gravitationnelles, voir Collins, *op. cit.* note 1 et Collins, « Son of Seven Sexes: The Social Destruction of a Physical Phenomenon », *Social Studies of Science*, vol. 11 (1981).

59. On peut aussi décrire cette stratégie en employant la métaphore des faits scientifiques (bateaux) mis en bouteille (validité) ; voir Collins, *op. cit.*, note 1.

60. Patrick Heelan propose une autre approche des instruments scientifiques qui offre quelques ressemblances avec celle-ci. Voir notamment P. Heelan, « Natural Science as Hermeneutic of Instrumentation », *Philosophy of Science*, vol. 50 (1983).

61. Sur l'extension de l'idée d'intégration dans un réseau de concepts et la façon dont des comptes rendus d'observations ayant des niveaux d'extériorité différents affectent des parties différentes du réseau, voir H. M. Collins, *Changing order* (à paraître).

62. Les travaux de Pickering sur l'importance des groupes de théoriciens pour comprendre le développement de la science relèvent clairement de cette analyse. Voir par exemple A. Pickering, « Rôle des intérêts en physique des hautes énergies », in M. Callon et B. Latour, *op. cit.*, note 3.

63. On trouvera une autre approche qui montre l'importance sociologique des instruments scientifiques dans l'article de Latour inclus dans ce recueil.

Légendes

Photo 1. 1 800 mètres sous terre, le réservoir de perchloréthylène dans un puits de mine désaffecté.

Photo 2. Vue intérieure du réservoir.

Photo 3. Vue intérieure du réservoir.

Photo 4. Les pompes et l'installation annexe.

Photo 5 bis. L'installation souterraine.

Photo 6. L'expérimentateur, Ray Davis, ouvre le robinet d'hélium liquide.

Photo 7. Système d'extraction et de purification d'Argon 37.

Photo 8. L'équipement électronique utilisé pour compter les atomes d'Argon 37.

Photo 9. L'examen des résultats !