

# LA SCIENCE ET LES CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES : POINTS DE VUE DE FUTURS ENSEIGNANTS

Ezio Roletto

*L'idée de science chez des enseignants en formation a été explorée à l'aide de questionnaires. Les aspects concernés sont la nature et le statut des connaissances scientifiques, les démarches pour les atteindre, les critères de démarcation entre science et non-science, les relations entre science et vérité, etc. Une certaine hétérogénéité des points de vue est retrouvée selon les aspects traités. La majorité des sujets partage un point de vue empiriste, quant à la nature des connaissances scientifiques ; réaliste, quant à leurs objets ; inductiviste, quant à leurs démarches ; relativiste et contextualiste, quant à leur statut. En outre, les sujets accordent très peu d'importance à la dimension sociale des sciences et aux aspects créatifs de l'activité des scientifiques.*

*Les résultats sont discutés du point de vue aussi bien de l'enseignement des disciplines scientifiques que de la formation des enseignants.*

Pendant les vingt dernières années, les chercheurs en didactique se sont beaucoup intéressés au problème de rendre efficace l'enseignement des sciences expérimentales. Les approches proposées découlent d'une conception "constructiviste" de l'apprentissage, d'après laquelle les connaissances sont le résultat d'opérations cognitives d'un sujet intellectuellement actif. L'apprenant ne reproduit pas simplement ce qu'on lui apprend, mais il construit des signifiés ; il n'est pas une "cire molle" sur laquelle l'enseignant peut laisser la marque du savoir, tout sujet étant porteur de conceptions lui permettant de donner du sens aux événements de son expérience quotidienne.

Du point de vue pratique, le constructivisme a suggéré un véritable changement de l'enseignement traditionnel des sciences expérimentales, en proposant une nouvelle conception de l'apprenant et des activités de la classe. Le premier est placé dans la situation de coacteur d'un processus de construction de connaissances au sein d'une communauté d'apprenants engagés dans la résolution de problèmes où l'enseignant joue le rôle d'expert. La classe est vue comme un laboratoire de recherche permettant aux apprenants de mettre en œuvre les démarches des scientifiques dans la construction de connaissances. L'apprentissage se produit à la suite d'une "déformation intellectuelle" où interagissent informations et structure mentale, cette déformation débouchant sur une mutation radicale de la structure mentale et

un modèle  
d'apprentissage

donc sur une transformation du système de pensée de l'apprenant.

caractériser  
l'idée de  
science...

Ce modèle d'apprentissage postule une stratégie pédagogique dont l'adoption demande, de la part de l'enseignant, la prise en compte d'options méthodologiques et épistémologiques cohérentes. Du côté de l'épistémologie, il faut se demander si les points de vue des futurs enseignants à l'égard de la science sont en accord avec les conceptions du savoir scientifique partagées par les didacticiens qui ont proposé ces approches. Il s'agit d'un problème majeur car l'éducation aux sciences demande non seulement l'acquisition des connaissances scientifiques mais aussi l'appropriation des modes de pensée des scientifiques.

...de futurs  
enseignants

Cette recherche\* vise donc à caractériser l'idée de science auprès de deux populations de futurs enseignants français jusqu'à présent peu étudiées de ce point de vue. Les idées de science chez les futurs enseignants ont été étudiées par un certain nombre de chercheurs (1-8) ; parmi ces recherches deux seulement (3, 7), à notre connaissance, ont pour objet de futurs enseignants de l'école primaire. D'autres recherches ont été menées afin d'étudier l'idée de science chez les élèves et les enseignants en activité ; une mise au point a été publiée par Lederman (9) en 1992.

## 1. LA PROBLÉMATIQUE

un lien entre  
pratiques  
pédagogiques  
et conceptions  
de la science

Cette recherche se situe dans le contexte de la formation des futurs enseignants en sciences expérimentales, formation qui devrait prendre en compte les variables significatives de leur métier. Parmi ces variables on trouve non seulement les contenus et les stratégies pédagogiques, mais aussi les idées personnelles et souvent implicites des enseignants à propos de la science, de ses fondements, de son origine, de ses relations avec la vérité, etc. Les recherches menées par différents chercheurs (5, 8, 10-12) ont montré, comme l'écrit Hashweh, que : *"The effects of science teachers'epistemological beliefs in teaching seem to be strong and stable across teachers' field of expertise in science, the educational level at which they teach, or the culture to which they belong"*. La façon d'enseigner les sciences dépendrait donc de la conception que les enseignants ont du savoir scientifique, quels que soient le domaine scientifique, le niveau de scolarité ou le contexte culturel.

L'objectif de ce travail est donc de recueillir les points de vue de futurs enseignants à l'égard de la science en les mettant en relation avec quelques éléments d'épistémologie de

\* Cet article recouvre en partie la thèse de doctorat en sciences de l'éducation (option : didactique des disciplines scientifiques) préparée par E. ROLETTO sous la direction de Mme Danièle CROS à l'Université Montpellier II.

sciences. Il s'agit donc d'étudier, d'analyser un facteur intrinsèque au processus d'éducation aux sciences, et par conséquent de recueillir des informations nouvelles pouvant nous aider à mieux réfléchir sur quelques aspects concernant aussi bien l'enseignement des sciences que la formation initiale et continue des enseignants.

## **2. ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES**

### **2.1. Les populations visées**

Cette recherche concerne les conceptions sur la science de futurs enseignants de l'école primaire et secondaire qui auront tous la tâche d'éduquer les jeunes aux sciences. Ces conceptions ont été étudiées auprès d'élèves professeurs des écoles (PE) et des lycées et collèges (PLC). Plus précisément, pour les PE : 120 sujets en deuxième année de formation ; pour les PLC : 171 sujets en première année de formation. Tous les PLC sont titulaires d'une licence de physique, de chimie ou de sciences physiques. Les sujets appartenaient aux IUFM de Bordeaux, Marseille/Aix-en-Provence, Montpellier, Perpignan et au CFP de Marseille. Le choix des populations est expliqué par leur formation initiale différente, les PE étant généralement de formation non-scientifique contrairement aux PLC.

### **2.2. L'instrument**

des Q.C.M....

Une partie des recherches menées afin de caractériser l'idée de science chez les élèves et les enseignants, en formation ou en activité, utilise des répertoires d'énoncés et demande aux sujets d'exprimer leur accord ou bien leur désaccord (1, 2, 13-15). Il s'agit d'une approche quantitative qui permet de chiffrer les résultats et de toucher beaucoup de sujets à la fois. Face à ces deux avantages, on trouve un inconvénient majeur : ces répertoires sont fondés sur le postulat implicite qu'aussi bien le sujet questionné que le chercheur ont la même perception des énoncés. Cependant, face à un énoncé que le chercheur a jugé "objectif", c'est au sujet questionné qu'il revient de construire sa propre perception.

... aux entretiens

D'autres chercheurs ont utilisé une approche semi-quantitative ou bien qualitative avec des questionnaires à questions ouvertes (3, 4, 7) ou avec des entretiens individuels (6). Dans les deux cas, il appartient au chercheur de catégoriser les réponses des sujets, ce qui devrait permettre une compréhension plus profonde et plus contextuelle de l'idée de science partagée par les sujets questionnés.

Pour cette recherche nous avons adopté une approche semi-quantitative en utilisant un questionnaire préparé à partir de l'analyse d'une série d'entretiens avec des enseignants en activité. Le questionnaire a été conçu de manière à per-

mettre aux sujets d'exprimer leurs points de vue à l'égard de certains thèmes fondamentaux de l'épistémologie et les raisons pour lesquelles ils soutiennent leurs opinions. Ces opinions sont repérables dans les écrits des sujets à deux conditions : leur laisser une grande liberté d'expression, aborder la même problématique sous des formes différentes. La première condition a été assurée aux sujets en leur posant surtout des questions ouvertes pour lesquelles ils devaient élaborer des réponses originales, en utilisant les termes les plus significatifs à leurs yeux. Lorsque les sujets avaient à choisir entre plusieurs propositions, on leur demandait de justifier leur choix. Ainsi l'argumentation constitue la partie prépondérante de la réponse, le choix entre les options jouant plutôt le rôle de "déclencheur" de la justification. La deuxième condition a été assurée en posant aux sujets des questions qui se recoupent et d'autres qui s'imbriquent, nous permettant ainsi d'aborder les mêmes problèmes par différents canaux.

Les questions posées devraient donc permettre à chaque sujet de préciser, à l'aide de son propre vocabulaire et de son argumentation, ses points de vue à l'égard des thèmes abordés. Il est indéniable que les réponses des sujets nous donnent, dans la plupart des cas, des pensées ni achevées, ni objectives et que leur signification est loin d'être unique. Mais le fait de retrouver dans les réponses à des questions différentes des éléments communs autorise à donner une certaine interprétation de ces éléments et permet donc de tirer certaines conclusions.

### **2.3. L'analyse des données**

Les réponses ont été analysées en utilisant la technique de l'analyse de contenu (16), permettant de passer d'une information purement descriptive à des inférences et à des interprétations. Cette analyse a été menée en plusieurs étapes. Tout d'abord, deux chercheurs ont lu une partie des réponses à une question donnée. Pour chaque réponse on a repéré une ou plusieurs unités de classification, constituées par une phrase ou une portion de phrase possédant un sens complet en elle-même, sens qui est souvent précisé par référence aux réponses à d'autres questions, c'est-à-dire au contexte constitué par l'ensemble des informations recueillies. Les unités de classification sont par la suite, au sein de chaque question, réunies en catégories, issues à la fois des réponses des sujets et des catégories mentales du chercheur ; par conséquent, les énoncés placés dans une catégorie sont homogènes.

Nous procédons ensuite à la quantification des informations ainsi dégagées, l'unité de mesure étant le pourcentage d'énoncés apparaissant dans chacune des catégories, ces pourcentages étant toujours rapportés au nombre des futurs enseignants questionnés.

## 2.4. Un cadre interprétatif

À cause du type de questionnement adopté, c'est au chercheur que revient la responsabilité d'interpréter les réponses des sujets ; c'est pourquoi nous précisons quelques fondements épistémologiques que nous utilisons comme grille de lecture des opinions des futurs enseignants. Nous adhérons à l'idée de science partagée par de nombreux épistémologues et sociologues contemporains (Kuhn, 1962 ; Popper, 1963 ; Chalmers, 1982 ; Latour, 1987) qui ont rejeté l'interprétation empiriste, réaliste au sens étroit et positiviste de la science.

la science  
comme  
processus  
de construction...

Selon ces derniers, la science est une entreprise sociale dont le fondement est le consensus organisé et dont le but est d'établir des généralisations applicables au monde réel, produisant un savoir historiquement déterminé et donc relatif. Les activités scientifiques ne se réduisent pas à l'observation passive, car la science ne se réduit pas à l'ensemble des faits connus à propos du monde. Au contraire, il s'agit d'un processus tenant à la fois de la logique et de la créativité, fondé sur l'innovation conceptuelle, procédant à travers incertitudes et échecs. Ce processus fait intervenir activement le sujet connaissant qui doit s'engager dans une stratégie de construction de connaissances qui ne peut pas être codifiée en une série de recettes capables d'amener n'importe qui à produire des idées.

Les connaissances scientifiques ne découlent pas de données empiriques obtenues par une observation attentive ou par des techniques poussées d'investigation ; elles ne sont pas non plus tirées par déduction rigoureuse de notions de base intuitives ou de catégories *a priori* de l'entendement, intangibles et immuables. La pensée scientifique ne trouve sa source ni uniquement dans l'observation, comme l'affirment les empiristes, ni uniquement dans la raison, comme le soutiennent les rationalistes classiques.

... de modèles  
explicatifs

Dans les sciences, les données ne sont pas séparables des théories. Les faits scientifiques ne sont tels qu'à la lumière d'interprétations théoriques et les faits mêmes doivent être reconstruits à la lumière d'une interprétation. Le réel, tel qu'il est conçu par les scientifiques, est le produit social d'un processus cognitif de l'esprit en interaction avec des objets observables qu'on tente d'interpréter. La science ne décrit pas une réalité immuable, de même qu'elle ne tend pas à la vérité ultime de cette même réalité : le réel réside dans les modèles explicatifs construits par l'esprit humain dans son activité rationnelle d'étude et de compréhension du monde.

Il n'existe point des critères ou des normes universels et anhistoriques permettant d'établir qu'une connaissance est scientifique, car les critères de scientificité sont historiquement déterminés : les connaissances scientifiques ne sont ni objectives, ni subjectives, mais *inter-subjectives*. Par consé-

quent, l'idée que la science progresse en retenant les idées justes et en écartant les fausses n'est pas soutenable.

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

Nous avons posé aux futurs enseignants des questions à l'égard de la nature de la science, de l'élaboration des connaissances scientifiques, de leurs caractéristiques, des théories scientifiques et de leur relation avec les hypothèses, de la relation entre science et vérité. Si les deux premières questions sont habituelles dans ce genre d'enquêtes, les autres, au contraire, touchent à des problèmes rarement abordés.

une démarche  
de réflexion

Le questionnaire a été conçu de manière à induire une démarche de réflexion : à partir d'une question très générale (*D'après vous, qu'est-ce que la science ?*) qui permet à tout un chacun de définir la science en fonction de l'aspect qui lui semble le plus important, on passe à des questions plus ponctuelles qui amènent les sujets à réfléchir, à argumenter d'une façon plus précise et donc à nuancer.

#### 3.1. Qu'est-ce que la science ?

Les réponses données à la première question ont permis de classer les points de vue des répondants en trois catégories :

- la science comme ensemble de connaissances ;
- la science comme étude de la réalité et explication des phénomènes ;
- la science comme démarche.

##### • **La science comme ensemble de connaissances**

Pour 51 % des sujets PE et 37 % des sujets PLC, la science est un ensemble de connaissances et/ou de disciplines :

*"La science est l'ensemble des savoirs et connaissances des hommes."* (PE 85)

la science :  
un ensemble de  
connaissances...

*"La science est l'ensemble des connaissances que nous pouvons avoir sur le monde qui nous entoure."* (PLC 35)

Certains sujets indiquent des domaines particuliers : les sciences expérimentales (physique, chimie, biologie) et les mathématiques, mais d'autres ne posent pas de limites aux domaines des sciences :

*"La science est une discipline très vaste qui englobe les mathématiques, la physique, la chimie, la biologie, la philosophie, la psychologie."* (PE 92)

##### • **La science comme étude de la réalité**

Pour 36 % des sujets PE et 39 % des sujets PLC, la science est l'étude de la nature, de la réalité, des phénomènes afin de les expliquer :

... issues de  
l'étude du réel...

*"La science est un domaine de recherche dont le but est d'expliquer une réalité donnée. Toute explication du réel qui ne se fonde pas sur des paramètres observables, pouvant être précisément définis et non subjectifs, n'est pas une science."* (PE 75)

*"La science c'est l'étude des phénomènes naturels."* (PLC 33)

Parmi ces sujets on en trouve un certain nombre qui précisent les traits saillants des connaissances scientifiques, jugées, tour à tour, vraies, objectives, rationnelles, concrètes, en évolution, etc. :

*"Toute science est concrète et peut être prouvée."* (PE 15)

*"La science est une connaissance non universelle qui subit une certaine évolution au cours des années."* (PLC 20)

L'idée que la science cherche à connaître la réalité est, du moins partiellement, acceptable. L'idée des philosophies spéculatives traditionnelles que la science puisse saisir une réalité immuable sous-jacente à toute expérience humaine a été rejetée par la plupart des épistémologues contemporains. Il reste alors deux versions de réalité, l'une forte et l'autre faible. D'après la version forte, il existe une correspondance entre connaissance scientifique et réalité : le savoir scientifique donne une description des systèmes réels tels qu'ils sont. D'après la version faible, le savoir scientifique ne vise pas à décrire la réalité telle qu'elle est, mais à donner de cette réalité une description qui lui est applicable à un degré plus ou moins élevé. Le problème de la relation entre science et réalité est abordé dans la question concernant l'objectivité des connaissances scientifiques.

#### • **La science comme démarche**

Un peu plus d'un tiers des sujets, 39 % des PE et 37 % des PLC, rappellent dans leurs réponses la démarche des scientifiques :

*"La science se base sur l'observation et l'expérimentation."* (PE 42)

*"La science est quelque chose de rationnel. Il est possible de démontrer les hypothèses que l'on affirme. Dans notre niveau de connaissance nul doute n'est possible."* (PE 114)

*"La science n'est que l'observation et l'analyse, à travers des faits expérimentaux, des phénomènes environnants."* (PCL 90)

*"La science est une connaissance basée sur une certaine logique scientifique. On a fait une hypothèse, on a essayé de faire des expériences essayant de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse et après on élabore une théorie."* (PLC 20)

... par une  
démarche  
logique  
et rigoureuse

Dans les réponses on trouve, d'une part, l'idée que l'observation et l'expérience sont les fondements des connaissances scientifiques, d'autre part, l'idée que l'élaboration des connaissances scientifiques se déroule d'une façon logique et rigoureuse, permettant d'atteindre des vérités absolues. C'est dans la reconstitution *a posteriori* du déroulement de leurs recherches que les chercheurs mettent en exergue l'aspect rigoureux de leur travail. C'est aussi dans

l'enseignement que ces deux aspects sont privilégiés, au détriment d'un esprit scientifique comportant doute méthodique et réflexion critique.

Les idées des sujets à l'égard de la démarche d'élaboration des connaissances scientifiques sont précisées dans les réponses données à deux autres questions.

Quelques rares sujets font appel à l'idée de science en tant que construction spéculative :

*"La science est un ensemble de savoirs... construits grâce à une interrelation entre le raisonnement et le réel (l'expérience). La science permet d'expliquer le monde et d'agir sur le monde, sur le réel tel qu'on se l'est construit."* (PE 50)

*"La science est une tentative d'exploration rationnelle du réel. "Exploration" car la science s'occupe des rapports du réel avec le savoir, un problème de l'ordre du savoir devant être résolu. "Rationnelle" dans le sens où la science s'efforce de fonder ses explications sur des critères objectifs. "Tentative" car ce n'est pas toujours possible d'expliquer, de résoudre certains problèmes posés par le réel."* (PE 72)

*"La science est une modélisation théorique de la réalité."* (PE 106)

Il est intéressant de remarquer qu'il s'agit de sujets PE, n'ayant pas une formation en sciences expérimentales mais en philosophie.

### **3.2. L'élaboration de connaissances scientifiques**

Les idées des futurs enseignants sur ce sujet ont été explorées par deux questions.

- **Une question ouverte**

En répondant à la question : *"D'après vous, comment se forme et se développe la connaissance scientifique ?"*, 47 % des sujets PE et 65 % des sujets PLC font appel à des activités d'observation et/ou d'expérimentation :

*"La connaissance scientifique se forme par des expériences scientifiques ; à partir de ces expériences vont être élaborées des théories qui seront une généralisation de l'expérience."* (PE 96)

*"Au départ on ne sait rien et on observe les choses. On obtient alors une multitude d'informations dont on peut déduire des relations théoriques."* (PLC 33)

41 % des sujets PE et 34 % des sujets PLC font appel à une démarche ou méthode comme moyen pour aboutir à des connaissances scientifiques. La plupart de ces sujets précisent que cette démarche est la mise en œuvre linéaire d'une série d'activités qui amènent, à partir de l'observation d'un fait, à l'émission d'hypothèses, à l'expérimentation et enfin à la production de principes généraux (lois et théories) :

*"La connaissance scientifique se forme et se développe par une progression basée principalement sur ces phases – observation, hypothèses, expérimentation, résultat obtenu, inter-*

de l'observation  
à la théorie...



prétation, conclusions – que l'on tire de ces expériences et connaissances ainsi acquises. La connaissance scientifique s'acquiert lorsque l'on met en place une démarche scientifique contenant ces différentes étapes." (PE 31)

"En premier lieu, on observe les phénomènes environnants. Ensuite des scientifiques émettent des hypothèses qu'ils cherchent à vérifier par l'expérience. Souvent, de ces expériences, les scientifiques voient leurs hypothèses justifiées et même améliorées. Si ce n'est pas le cas, ils tirent profit de ces expériences en émettant de nouvelles hypothèses qui conduiront à une élaboration de connaissances scientifiques." (PLC 143)

... par la  
démarche  
OHERIC

Ces sujets font appel à une démarche fondée sur l'observation, l'émission d'hypothèse et l'expérimentation, dont les étapes sont bien précises, prédéterminées, résumées par André Giordan (16), pour en signaler les limites, dans l'acronyme OHERIC (Observation - Hypothèse - Expérimentation - Résultats - Interprétation - Conclusion). Comme l'écrit un sujet :

"La science repose sur une certaine démarche (démarche OHERIC). Toute étude de phénomènes n'est donc pas scientifique. Elle doit suivre cette démarche pour pouvoir s'en prévaloir." (PE 54)

#### • **Choix entre deux textes**

Avec cette question, nous avons proposé aux sujets deux textes se rapportant à deux conceptions sur la formation du savoir scientifique :

I) *Quand on recourt à la méthode scientifique, la démarche est la suivante : en premier lieu, tous les faits sont observés et enregistrés, sans sélection ni évaluation a priori de leur importance relative. En second lieu, les faits observés et enregistrés sont analysés, comparés et classés, sans hypothèses ni postulats autres que ceux qu'implique nécessairement la logique de la pensée. En troisième lieu, de cette analyse des faits, sont tirés par induction des énoncés généraux affirmant des relations de classification ou de causalité entre ces faits. Quatrièmement, les recherches ultérieures sont déductives tout autant qu'inductives, et utilisent les inférences tirées d'énoncés généraux antérieurement établis.*

II) *Les scientifiques ne se limitent pas à observer la réalité, mais ils l'interrogent au moyen d'expériences dont la mise en place n'est possible qu'à partir d'une hypothèse fondée sur une théorie du phénomène concerné. Autrement dit, les scientifiques élaborent, inventent des hypothèses ou des théories qui, tout en étant souvent en opposition avec la réalité empirique de l'expérience commune, sont cependant en mesure d'en expliquer quelques aspects.*

des conceptions  
opposées  
de la démarche  
scientifique...

Le premier (17), est une synthèse de la démarche inductive stricte ou naïve, qui devrait amener à des principes généraux à partir d'une série plus ou moins importante d'observations. Dans le second, est affirmée la primauté de la théorie sur les faits.

En répondant à cette question, 10 % des PE et 15 % des PLC se disent d'accord avec le premier texte :

*"Dans le texte n° 2, les expériences sont faites en fonction de la théorie. L'expérience est expliquée par la théorie. L'expérience permet de vérifier la théorie, mais il ne faut pas bâtir une expérience qui on le sait d'avance vérifie la théorie."* (PLC 21)

36 % des PE et 20 % des PLC se disent d'accord avec le deuxième texte. Une partie restreinte de ces sujets partagent ses fondements épistémologiques :

*"Établir un modèle (pour expliquer un phénomène) puis le comparer à la réalité grâce à des expériences est, je pense, un meilleur moyen pour mieux comprendre la nature. En effet, la connaissance scientifique se développe plus par la recherche, l'élaboration et l'invention de théories que l'on vérifie par des expériences, l'infirmité ou la confirmation de ces théories faisant progresser la science."* (PLC 120)

Mais le plus souvent le choix du second texte est justifié par des raisons qui renvoient à une conception empiriste de la science, comme le montre la réponse suivante :

*"Le premier texte correspondrait à la mise en place d'une théorie scientifique. Le deuxième texte relaterait la démarche scientifique visant à réfuter une théorie."* (PE 31)

45 % des sujets PE et 58 % des sujets PLC se disent d'accord avec les deux textes. Ce point de vue est justifié par différentes raisons, mais pour la plupart des sujets ces deux textes ne se contredisent pas ; au contraire, ils sont perçus comme complémentaires :

*"Les deux textes se complètent dans la mesure où ils évoquent les différentes étapes de la démarche scientifique (observation, analyse, hypothèse, classement, etc.)."* (PE 19)

*"Il y a bien observation des faits et toute hypothèse est tirée de l'observation et non inventée. Il faut remettre en question la réalité "empirique" de l'expérience et rester suffisamment objectif pour ne pas échafauder toute une théorie qui démontrerait que tout notre savoir est basé sur du "faux"."* (PLC 121)

*"Ces deux méthodes se complètent. Le travail scientifique est d'abord l'observation de la réalité. Après cette observation, on classe les résultats communs. À partir de ces faits, on tire des conclusions (une théorie). Il faut ensuite d'autres expériences pour arriver à montrer la théorie."* (PLC 144)

On trouve donc une proportion élevée de sujets qui ne se rendent pas compte du contenu antithétique des deux textes, probablement puisqu'ils les ont interprétés d'après le modèle de démarche expérimentale qu'ils partagent, c'est-à-dire le modèle OHERIC. C'est ainsi qu'ils ont repéré, dans le premier texte, la description du parcours qui amène des observations aux principes généraux et, dans le second, le procédé de vérification, de preuve et validation de ces mêmes principes généraux.

En conclusion on peut affirmer, à la suite de l'analyse des réponses données à ces deux questions, que la grande majo-

...jugées  
complémentaires

contenu  
antithétique  
mal perçu

rité des sujets pensent que le savoir scientifique se forme et se développe grâce, d'une part, à des activités d'observation et d'expérimentation qui, en mettant des données concrètes à la disposition des scientifiques, leur permettraient d'inférer des principes généraux ; d'autre part, à l'adoption d'une démarche spécifique, fondée sur des activités d'observation et d'expérimentation, valide en tout temps et en tout lieu. Donc, l'observation et l'expérimentation sont jugées, par la plupart des sujets, comme des moments fondamentaux de l'activité des scientifiques car ils pensent que les connaissances scientifiques sont tirées des faits, elles sont des évidences empiriques : le savoir scientifique semble être une réalité ontologique, ayant une existence en dehors du sujet connaissant qui peut y avoir accès par le biais de ses sens.

### 3.3. La scientificité des connaissances

Ce problème a été abordé dans deux questions :

*I) Y a-t-il différence entre connaissance scientifique et connaissance de sens commun ?*

*II) Y a-t-il des caractéristiques particulières qui différencient la connaissance scientifique des autres formes de connaissance ?*

Une minorité de sujets, environ 10 %, affirment qu'il n'y a aucune différence entre les différentes formes de connaissance :

*"Je ne pense pas qu'il y ait des critères qui permettent de dire exactement ce qui est scientifique ou ce qui ne l'est pas car il est difficile de dire ce qu'est la science en général."* (PLC 78)

Environ les trois quarts des sujets pensent que la connaissance scientifique a des caractéristiques particulières et expliquent la scientificité des connaissances par des arguments empiristes qui renvoient :

- aux faits, jugés le fondement de ces connaissances :

*"Une connaissance est scientifique si elle est basée sur des faits objectifs et vérifiables."* (PE 76)

*"La connaissance scientifique est constituée de faits qui existent et que l'on découvre."* (PLC 76)

- à l'idée de preuve :

*"La connaissance scientifique est une connaissance qui a été prouvée."* (PE 96)

- à la démarche :

*"Je suppose qu'il existe une procédure très finement établie que les scientifiques utilisent pour développer leurs recherches, les conduire jusqu'à des conclusions logiques, démontrables, vérifiables."* (PE 61)

D'autres critères sont soutenus par une proportion très faible de sujets. Parmi ces critères on trouve le critère poppérien de réfutabilité des théories et le consensus entre scientifiques :

*"Une connaissance est scientifique seulement si elle est réfutable (au contraire d'un dogme)."* (PE 9)

les faits  
et la démarche  
comme critères  
de scientificité

*“Pour qu’une connaissance soit scientifique, il faut qu’elle soit admise et reconnue en tant que telle par la communauté des chercheurs.” (PLC 38)*

La majorité des réponses renvoie à deux critères démarquant les connaissances scientifiques des autres formes de connaissance : d’une part, la vérification (ou la réfutation) par les faits qui constituent leur fondement concret, en assurent l’objectivité et permettent d’en prouver la vérité (ou la fausseté) ; d’autre part, la démarche universelle et anhistorique qui conduit n’importe qui à des connaissances scientifiques. La distinction entre les connaissances scientifiques et les autres connaissances est donc fondée sur des argumentations de nature empirique. Comme le dit un sujet :

*“Les autres formes de connaissance (religieuse, artistique, etc.) résultent de notre vie, c’est-à-dire qu’on les crée. Elles relatent de l’histoire que nous avons provoquée. Mais la connaissance scientifique est sous l’influence de la nature, on n’a pas créé ce qu’elle contient.” (PLC 2)*

### **3.4. La connaissance scientifique est-elle objective ?**

À ce propos nous avons posé aux sujets une question ouverte : *La connaissance scientifique est-elle objective ou subjective ?*

À cette question, 35 % des sujets PE et 30 % des sujets PLC répondent en affirmant que les connaissances scientifiques sont objectives, car elles trouvent leur fondement dans les faits :

*“La connaissance scientifique ne peut être fondée que sur des phénomènes réels. Les desiderata des scientifiques ne doivent pas influencer sur ce qui existe vraiment.” (PE 52)*

*“Les connaissances scientifiques sont objectives car elles sont basées sur des observations, des expériences ou des applications de phénomènes existant dans la nature.” (PLC 73)*

À ce point de vue empiriste et réaliste s’opposent 40 % des sujets PE et 24 % des sujets PLC qui pensent que les connaissances scientifiques sont subjectives car les scientifiques ont des points de vue différents :

*“La connaissance scientifique dépend de l’état des connaissances de l’homme au moment de la découverte. Elle dépend des représentations que l’homme se fait de l’Univers.” (PE 43)*

D’après les argumentations de ces sujets, la connaissance scientifique est le reflet de la façon dont chaque scientifique perçoit la réalité. Pour d’autres, la science est élaborée dans le cadre du système de valeurs d’une société historiquement déterminée. Pour un petit nombre de sujets, enfin, la science est subjective car les connaissances scientifiques peuvent être réfutées, remises en question, démenties.

Pour 13 % des sujets PE et 16 % des sujets PLC les connaissances scientifiques sont à la fois objectives et subjectives.

l’objectivité  
des faits...

... la subjectivité  
du chercheur

Pour la majorité de ces sujets, elles sont objectives car fondées sur les faits, sur les résultats d'expérimentations et subjectives car elles dépendent du contexte historique et social et de la logique de chaque chercheur :

*“Je pense qu'il y a une certaine dualité : cette dualité venant du fait que l'on essaie de comprendre le monde nous entourant (= objectif) à l'aide de notions ou de cheminements intellectuels (= subjectif).” (PLC 56)*

dichotomie  
difficile  
à résoudre

Ces sujets semblent se rendre compte de la complexité de la question, même s'ils n'arrivent pas à résoudre la dichotomie entre l'objectivité du monde, objet de connaissance, et la subjectivité du chercheur.

En répondant à cette question, à peu près la moitié des sujets reconnaissent, d'une façon plus ou moins marquée, une certaine subjectivité aux connaissances scientifiques. Ils sembleraient donc en accord avec la plupart des épistémologues contemporains qui ont durement critiqué le postulat empiriste, d'après lequel la science disposerait d'un fondement d'observations objectives.

### **3.5. La relation entre connaissance scientifique et vérité**

Le problème de la relation entre science et vérité a été abordé dans une question où on propose aux futurs enseignants le choix entre trois textes :

*1) La science de même que d'autres formes de connaissance (commune, religieuse, poétique, etc.) dépend des mœurs, des conventions sociales, des idéologies ainsi que des convictions personnelles des scientifiques.*

*2) La science est en mesure d'acquérir des connaissances “objectives” qui sont pourtant relatives du moment qu'elles pourront, par la suite, être réfutées ou du moins modifiées.*

*3) Les connaissances scientifiques ne sont pas toutes relatives, la science étant en mesure d'atteindre des vérités absolues.*

Environ 10 % des sujets PE et PLC sont d'accord avec le premier texte et justifient leur choix en affirmant que la science appartient à une époque, qu'elle est assujettie aux idéologies dominantes, voire au pouvoir :

*“Le cadre extérieur influe sur le développement de la science, il l'oriente vers certaines voies.” (PLC 60)*

Le texte n° 2 exprime un point de vue à la fois rationaliste et relativiste qui est partagé par environ 70 % des PE et des PLC qui justifient ce point de vue en évoquant surtout la nature évolutive de la science :

*“La science évolue grâce à des changements ; constamment les théories sont remises en cause, c'est le progrès. Il n'y a pas de vérité absolue.” (PE 96)*

la nature  
évolutive des  
connaissances  
scientifiques

Les partisans de ce point de vue semblent donc partager l'idée de la plupart des épistémologues contemporains qui

avis majoritaire  
conforme à  
celui des  
épistémologues

essaient de concilier, au sein de la science, la présence de quelques aspects conventionnels avec sa capacité de nous faire connaître une réalité non totalement réductible au sujet. À vrai dire, les raisons invoquées pour justifier cette conception sont, dans la plupart des cas, de simples constatations historiques du fait que les théories sont réfutables et réfutées, qu'elles sont en évolution continue voire même abandonnées au profit d'autres principes généraux plus performants.

Le texte n° 3 est l'option la moins choisie : 3 % des PE et 7 % des PCL.

L'idée de vérité a été longtemps au centre des préoccupations des philosophes et des scientifiques, toujours conçue comme éternelle, indéniable, absolue, essentielle. Cette notion d'une vérité absolue était nécessaire tant qu'on admettait l'esprit et la réalité comme des entités indépendantes et séparées. C'est une notion commune au réalisme naïf et au rationalisme classique. Mais l'idée de vérité a évolué et elle a perdu ces caractères essentialistes. La plupart des épistémologues sont désormais d'accord sur le fait qu'il n'existe pas et il ne peut pas exister un critère universel et général de vérité en science. Les connaissances scientifiques sont jugées vraies (relativement vraies) sur la base de raisons et critères différents et historiquement déterminés.

### 3.6. Théorie et hypothèse

Les problèmes de la théorie et de l'hypothèse ont été abordés dans deux questions :

- 1) *D'après vous, qu'est-ce qu'une théorie scientifique ?*
- 2) *D'après vous, y a-t-il différence entre hypothèse et théorie ?*

#### • Les théories scientifiques

48 % des PE et 30 % des PLC pensent que les théories scientifiques sont fondées sur des faits, des observations, des expérimentations :

*"À partir d'un ensemble d'observations, il y a mise en place d'une théorie."* (PE 91)

*"Une théorie scientifique s'élabore à partir d'expériences. On étudie les résultats d'expériences et on les compare. Grâce aux points communs à des faits particuliers, on peut élaborer une théorie."* (PLC 41)

des théories  
scientifiques  
issues des faits...

Pour ces sujets, la théorie scientifique est une synthèse *a posteriori* de l'ensemble des faits observés et analysés. Elle est donc un simple reflet des faits et ne contient rien de plus que les faits eux-mêmes. Il s'agit d'un point de vue empiriste qui postule la constante subordination de l'imagination aux données d'observation et/ou d'expérimentation.

Par contre, 25 % des PE et 20 % des PLC pensent que la théorie scientifique est une façon d'interpréter la réalité :

*“Une théorie scientifique est un système, un modèle de pensée avancé, construit à un moment donné en réponse à un problème.” (PE 97)*

*“Une théorie scientifique est un modèle, un ensemble d’explications qui sont suggérées à l’avance par l’homme, qui ne correspondent pas, qui ne suivent pas forcément les phénomènes réels.” (PLC 126)*

... aux  
constructions  
de l’esprit

Pour ces sujets, la théorie scientifique n’est pas une évidence empirique, mais une construction de l’esprit, un instrument cognitif par lequel les scientifiques essayent d’interpréter le réel, de lui donner du sens.

33 % des sujets PE et 15 % des sujets PLC sont d’avis que les théories scientifiques doivent être considérées comme provisoires, car elles peuvent être remises en cause à tout moment :

*“La théorie est différente du dogme et peut donc évoluer et même être réfutée.” (PE 24)*

*“Une théorie scientifique n’est pas une vérité. Elle peut être ébranlée à tout moment.” (PLC 56)*

On trouve néanmoins un nombre très réduit de sujets pour lesquels les théories scientifiques sont des vérités indéniables :

*“Une théorie scientifique est quelque chose qui est toujours vrai, quoiqu’il arrive. Théorie scientifique = valeurs sûres.” (PLC 31)*

#### • **La relation hypothèse - théorie**

En ce qui concerne la relation entre hypothèse et théorie, 15 % des PE et 10 % des PLC assignent aussi bien à la théorie qu’à l’hypothèse le statut de connaissance conjecturale :

*“Une théorie reste fondamentalement une hypothèse explicative.” (PE 64)*

*“Toutes nos théories scientifiques ne sont encore que des hypothèses. Certaines seront fausses dans quelques décennies. De même, toute hypothèse est théorique...” (PLC 119)*

La grande majorité des sujets (environ 80 %) distingue l’hypothèse de la théorie d’après deux critères :

- le critère *point de départ/point d’arrivée* de la démarche scientifique, en plaçant l’hypothèse au départ d’un parcours dont l’issue est la théorie ;
- le critère *conjecture/certitude*, en donnant à la théorie le statut de connaissance prouvée, fondée, vraie.

*“L’hypothèse précède la théorie dans la démarche scientifique. C’est à partir d’hypothèses, soumises à expérimentation, que sera dégagée une théorie.” (PE 40)*

*“Une hypothèse est quelque chose que l’on suppose au départ et dont on n’est pas sûr de la validité. Une théorie est en principe élaborée sur des bases solides, elle est normalement vérifiée.” (PLC 102)*

la science  
commence par  
une supposition  
(hypothèse)...

La théorie est l’issue de la démarche expérimentale allant par étapes de l’observation aux principes généraux. D’après

... et s'achève  
par une théorie  
prouvée

ces sujets, l'expérimentateur n'est pas guidé par un cadre théorique cohérent lui permettant d'avancer des hypothèses en fonction des relations qu'on peut logiquement supposer entre les variables significatives du système étudié. La théorie étant l'issue des expérimentations, les hypothèses de départ ne peuvent que découler de l'inventaire empirique des facteurs susceptibles d'avoir une influence réelle sur le phénomène étudié. Il s'agit d'un point de vue qui occulte complètement le rôle de l'information théorique et réduit l'expérimentation à une série de tâtonnements successifs.

Pour une partie importante des sujets, la science est uniquement un processus de vérification qui commence par l'hypothèse, s'achève par la théorie et se développe à travers des activités expérimentales. La science trouve dans les faits les fondements d'une connaissance véritable, car ils sont considérés en tant que prémisses de conclusions véritables et en tant que démonstrations de découvertes indéniables. En d'autres mots, les faits sont là pour prouver que l'hypothèse est vraie et donc pour permettre d'aboutir à une théorie prouvée, fondée.

## CONCLUSION

On peut ainsi résumer les résultats de cette recherche. Pour la majorité des futurs enseignants, la science est un ensemble de connaissances tirées de l'étude du monde qui nous entoure, issues d'une démarche expérimentale, logique et rigoureuse. Pour à peu près 60 % des PE et des PLC il s'agit de la méthode OHERIC (Observation - Hypothèse - Expérimentation - Résultats - Interprétation - Conclusion). Pour environ 80 % des PE et des PLC l'hypothèse précède la théorie, la dernière étant l'aboutissement d'un parcours qui amène d'une conjecture à une connaissance prouvée. Pour environ 75 % des futurs enseignants, les connaissances scientifiques se démarquent des autres formes de connaissance car elles sont fondées sur les faits et donc prouvées par les données sensibles, accessibles à l'observateur attentif. Par ailleurs, 50 % des PE et 40 % des PCL pensent que les connaissances scientifiques sont en quelque sorte subjectives car elles dépendent des points de vue des scientifiques. Enfin, 70 % des futurs enseignants pensent que la science ne peut qu'atteindre des vérités relatives.

Au sujet des méthodes utilisées pour parvenir aux connaissances scientifiques et des critères de scientificité des connaissances, la majorité des sujets sont porteurs de points de vue qui renvoient à une épistémologie empiriste (primauté des faits sur la théorie), réaliste naïve (les objets de la science existent dans le monde où ils sont découverts par les scientifiques) et positiviste (il existe une méthode universelle et anhistorique qui permet d'aboutir à des



connaissances scientifiques vérifiées, dont la véracité est prouvées : la méthode expérimentale OHERIC).

une  
hétérogénéité  
de points de vue

Mais ce point de vue empirico-réaliste est peu compatible avec d'autres idées manifestées par les mêmes sujets, telles que la véridicité relative et contextuelle des connaissances scientifiques et leur subjectivité, ou bien l'idée que les théories scientifiques ne sont qu'une façon d'interpréter la réalité et donc peuvent être ébranlées à tout moment. Une partie importante des sujets sont donc porteurs d'un mélange hétérogène, on pourrait dire un *patchwork* d'épistémologies, au sein duquel le statut des connaissances scientifiques n'est pas bien défini, car elles sont à la fois vraies, objectives, prouvées, subjectives et évolutives.

Cette étude permet donc de mettre en évidence un manque profond de culture en matière de réflexion sur l'élaboration du savoir scientifique, puisque une bonne partie des futurs enseignants interrogés sont porteurs d'un mélange non réfléchi et donc peu cohérent d'idées appartenant à différentes philosophies de la science. Les différences entre PCL, de formation scientifique, et PE, généralement de formation non-scientifique, sont minimales : c'est donc l'enseignement des sciences ou, pour mieux dire, l'éducation aux sciences qu'il faut mettre en question. Les sujets touchés ou, du moins, la plus grande partie d'entre eux, n'ont jamais eu une formation spécifique sur les thèmes qui sont au centre de cette recherche, et donc n'ont jamais eu l'occasion de réfléchir sur la nature de la science. Ils ont mené leurs études au sein d'institutions dont l'objectif est de pousser les élèves à apprendre des connaissances toutes prêtes plutôt que de développer la production de connaissances, en étouffant ainsi leur créativité. On ne demande aux élèves que d'exposer des résultats acquis, des connaissances vérifiées, prouvées, indiscutables. Le but de l'enseignement est de donner aux élèves des certitudes, en présentant les connaissances comme des évidences empiriques, et en évitant, autant que possible, de donner l'impression qu'on y parvient par des détours, des contradictions et des négociations. On risque ainsi de laisser croire aux élèves d'une part, que la science est à même d'atteindre l'essence des choses, en établissant l'équivalence science/vérité ; d'autre part, que les scientifiques sont les seuls parmi les êtres humains à produire des connaissances auxquelles on peut faire confiance.

l'enseignement  
des sciences  
questionné

Les cours, imprégnés par le réalisme naïf et l'empirisme, *"consistent généralement en des activités centrées sur la découverte de lois que l'on prétend induire à partir des faits de l'expérience et des phénomènes observés... La démarche utilisée est pratiquement toujours fortement imprégnée d'inductivisme : le milieu, le matériel, les manipulations effectuées sont choisis et organisés avec comme fonction la mise en évidence de la loi"* (8). En outre, la plupart des manuels pour l'apprentissage des sciences non seulement présentent

une solution  
envisagée

une image idéalisée de la science qui exclut toute controverse et toute polémique, mais donnent le plus souvent une image dépassée de la démarche des scientifiques.

C'est à la formation des futurs enseignants qu'il appartient de résoudre la contradiction qui est au sein de leur conception de la science. Quelques chercheurs (6,19) se sont posé la question de la stratégie pour y parvenir et leurs réponses vont dans le même sens, ils pensent qu'une meilleure connaissance de l'histoire des sciences pourrait faciliter la tâche. Comme l'écrit J.-L. Martinand (19), "il y a une place pour l'épistémologie. La carence principale des futurs enseignants n'est pas en effet leur niveau universitaire insuffisant dans les disciplines : c'est que leurs études universitaires permettent peu de réel contact avec les pratiques dans la recherche, l'industrie, la culture. La mission de l'histoire des sciences et de l'épistémologie est donc de nourrir la réflexion sur ces pratiques, leurs évolutions et leurs fondements".

Ezio ROLETTO

Groupe de dictatique de la chimie,  
Département de Chimie Analytique,  
Université de Turin, Italie

### Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Madame Anne VÉRIN grâce à qui j'ai pu mettre au point cet article.

### NOTES

- (1) CAREY, R.L., STAUSS, N.G. (1968). "An analysis of the understanding of the nature of science by prospective secondary science teachers". *Science Education*, 52, 358-363.
- (2) ANDERSEN, H.O., HARTY, H., SAMUEL, K.V. (1986). "Nature of science, 1969 and 1984 : perspectives of preservice secondary science teachers". *School Science and Mathematics*, 86, 43-50.
- (3) BLOOM, J.W. (1989). "Preservice elementary teachers' conceptions of science : science, theories and evolution". *International Journal of Science Education*, 11, 401-415.
- (4) AGUIRRE, J.-M., HAGGERTY, S.H., LINDER, C.J. (1990). "Student-teachers' conceptions of science, teaching and learning : a case study in preservice science education". *International Journal of Science Education*, 12, 381-390.
- (5) GALLAGHER, J.-J. (1990). "Prospective and Practising Secondary School Science Teachers' Knowledge and Beliefs about the Philosophy of Science". *Science Education*, 75, 121-133.
- (6) GUILBERT, L., MELOCHE, D. (1993). "L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ?" *Didaskalia*, 2, 7-30.
- (7) ABELL, S., SMITH, D. (1994). "What is science ? : preservice elementary teachers' conceptions of the nature of science". *International Journal of Science Education*, 16, 475-487.
- (8) ROBARDET, G. (1994). "La formation des enseignants de sciences physiques et le mythe naturaliste". In *Actes du IVème séminaire national de recherche en didactique des sciences physiques*. Amiens, 16-18 octobre 1994 (pp. 4-22).

- (9) LEDERMAN, N. G. (1992). "Students' and teachers' conceptions of the nature of science : A review of the research". *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- (10) BRICKHOUSE, N.W. (1989). "The teaching of the philosophy of science in secondary classrooms : case studies of teachers' personal theories". *International Journal of Science Education*, 11, 437-449.
- (11) BRICKHOUSE, N. W. (1990). "Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice". *Journal of Teacher Education*, 41, 53-62.
- (12) HASHWEH, M. Z. (1996). "Effects of teachers' epistemological beliefs in teaching". *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 47-63.
- (13) KIMBALL, M.E. (1967-1968). "Understanding the nature of science : a comparison of scientists and science teachers". *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 110-120.
- (14) BILLEH, V.Y., HASAN, O.E. (1975). "Factors affecting teachers' gain in understanding the nature of science". *Journal of Research in Science Teaching*, 12, 209-219.
- (15) KOULAUDIS, V., OGBORN, J. (1989). "Philosophy of science : an empirical study of teachers' views". *International Journal of Science Education*, 11, 173-184.
- (16) GHIGLIONE, R., BEAUVOIS, J.-L., CHABROL, C., TROGNON, A. (1980). *Manuel d'analyse de contenu*. Paris : A. Colin.
- (17) GIORDAN, A. (1978). *Une pédagogie pour les sciences expérimentales*. Paris : Centurion.
- (18) HEMPEL, C. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs (New Jersey) Prentice Hall, 1966. Trad. franç. : *Éléments d'épistémologie* (1972). Paris : Armand Colin.
- (19) MARTINAND, J.-L. (1993). "Histoire et didactique de la physique et de la chimie : quelles relations ?". *Didaskalia*, 2, 89-99.

## BIBLIOGRAPHIE

- BUNGE, M. (1983). *Épistémologie*. Paris : Maloine.
- CHALMERS, A. (1982). *What is that thing called science ? An assessment of the nature and status of science and its methods*. St Lucia : University of Queensland Press. Trad. franç. : *Qu'est-ce que la science ?* (1988). Paris : Éditions La Découverte.
- CHALMERS, A. (1990). *Science and its fabrication*. Buckingham : Open University Press. Trad. franç. : *La fabrication de la science* (1991). Paris : Éditions La Découverte.
- BLANCHÉ, R. (1967). *La science actuelle et le rationalisme*. Paris : PUF.
- FEYERABEND, P. (1975). *Against method*. London : New Left Books. Trad. franç. : *Contre la méthode* (1979). Paris : Seuil.
- GEYMONAT, L. (1985). *Lineamenti di filosofia della scienza*. Milano : Mondadori.
- GIORELLO, G. (1994). *Introduzione alla filosofia della scienza*. Milano : Bompiani.

HAMBURGER, J., THOM, R. (1986). *La philosophie des sciences aujourd'hui*. Paris : Gauthier-Villars.

KUHN, T. (1962, 1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago : University of Chicago Press. Trad. franç. : *La Structure des Révolutions Scientifiques* (1972). Paris : Flammarion.

LATOUR, B. (1987). *Science in action*. Milton Keynes : Open University Press. Trad. franç. : *La science en action* (1989). Paris : Éditions La Découverte.

POPPER, K. R. (1963). *Conjectures and Refutations*. London : Routledge and Kegan Paul. Trad. franç. : *Conjectures et Réfutations* (1985). Paris : Payot.

ULLMO, J. (1969). *La pensée scientifique moderne*. Paris : Flammarion.