

Épistémologie de la démarche expérimentale

« Les adultes inventent le passé puisqu'ils ont des idées à la place des yeux. »
Boris Cyrulnik

Avant d'avancer plus loin dans l'ouvrage, il semble utile de préciser ce qu'est la démarche expérimentale! On croit la connaître puisqu'on veut l'enseigner... Mais parfois des subtilités nous échappent. Est-ce la seule démarche scientifique? Qu'est-ce qui la caractérise au mieux? Et comment intervient-elle dans l'élaboration du savoir? Dans les temps anciens, pour expliquer ou prévoir un phénomène, on se racontait une histoire, on allait chercher dans un livre sacré ou auprès d'un gourou une vérité révélée¹. Au mieux, on tirait quelque anecdote de la réalité que l'on présentait alors comme une vérité générale. Aujourd'hui, aucune explication n'est plus acceptée d'emblée, du moins dans les milieux scientifiques. Les présupposés (hypothèse, loi, théorie, modèle, etc.) sont toujours soumis au test, de la réalité on réalise une expérience, des expériences devrait-on dire...

Y A-T-IL UNE OU PLUSIEURS DÉMARCHES SCIENTIFIQUES?

La démarche expérimentale n'est pas - disons-le tout de suite - la seule démarche dite « scientifique ». Elle n'est en effet pas toujours faisable. Certains objets, comme les étoiles, sont trop lointains et par là inaccessibles. Seules des observations sont alors possibles et le plus souvent l'emploi d'instruments ou d'enregistrements suppléent les défaillances de notre vue. Dans d'autres cas, les objets d'étude peuvent être dangereux ou difficiles à manipuler, il faut alors se contenter de modèles et de simulations. Parfois, l'expérimentation n'est pas souhaitable, car elle irait à l'encontre de questions éthiques. Il en est ainsi en matière d'expérimentation humaine. En outre, certains tests expérimentaux pourraient gravement perturber le phénomène observé. On leur substitue donc parfois des enquêtes, comme cela se fait en épidémiologie.

Observations, mesures, enregistrements de données, modélisation, simulation et enquêtes sont des démarches scientifiques possibles. L'important est de pouvoir faire émerger des éléments observables ou quantifiables, de les confronter à des hypothèses, de pouvoir maîtriser la démarche pour éventuellement la reproduire et de pouvoir discuter tous les résultats.

¹ Dans la vie courante, il en est encore souvent ainsi !

QU'EST-CE QU'UNE DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE?

La démarche expérimentale, pour revenir plus précisément à elle, est très souvent défigurée en classe. Fréquemment, cette approche est proposée au travers d'un schéma simplifié, comportant six étapes: c'est la démarche « OHERIC » (Observation, Hypothèse, Expérience, Résultat, Interprétation, Conclusion), comme nous l'avons vu au chapitre 1 (p. 38). Cette expression a connu quelques succès, sans forcément que ceux qui la manipulent sachent toujours très bien pourquoi. Pourtant rien n'est plus faux que de concevoir la démarche expérimentale ainsi. Un tel processus est un modèle idéalisé; en d'autres termes, il est trop beau pour être vrai! Jamais, on n'a pu expérimenter de la sorte dans aucun laboratoire. La méthode OHERIC est en fait une reconstruction par la pensée a posteriori: une fois que le chercheur a trouvé une réponse à ses interrogations, il organise sa publication de la sorte pour des facilités de présentation.

En classe, son succès réel en matière d'apprentissage n'est d'ailleurs pas très grand; les élèves éprouvent beaucoup de difficultés à entrer dans une démarche aussi épurée. Nombre d'expérimentations seraient même impossibles si l'enseignant ne donnait pas quelques «coups de pouce » pour que l'expérience « marche » de la sorte... De fait, il n'existe pas une démarche expérimentale standard; on dénombre plutôt une variété de démarches possibles. Entre une approche expérimentale en immunologie, une autre en ethnologie, une autre encore en physique des particules, il y a de multiples et profondes différences.

Alors comment caractériser toute démarche de type «expérimental » ? Trois principaux moments forts sont présents en permanence. Ils sont d'ailleurs difficiles à séparer; ils fonctionnent en général comme un tout, ou plutôt comme un système; avec des interactions multiples et des feed-backs. Ce système à trois paramètres comporte

- une question,
- une hypothèse,
- une argumentation.

C'est avec ce dernier paramètre qu'interviennent des expériences. Dans un premier temps, une démarche expérimentale est une tentative de réponse à une question. Le chercheur, le simple individu est face à quelque chose qui l'intrigue, qui l'interpelle ou le préoccupe. Il constate un décalage entre le réel, du moins tel qu'il le perçoit, et l'idée qu'il s'en fait. La situation devient pour lui insatisfaisante, il a envie de savoir. Parfois il est contraint de savoir, de chercher à savoir, pour des raisons vitales: il doit trouver de nouvelles ressources alimentaires ou faire face à un nouveau danger (Comment soigner le cancer ou le sida?).

Pour répondre à cette interrogation (ou à cette angoisse, c'est selon), le chercheur avance généralement des supputations. Ce sont les traditionnelles explications: « les plantes ont besoin de lumière pour se développer », « une carence est due à l'absence de vitamine »... Dans une démarche

expérimentale, ces propositions prennent un statut différent. Le scientifique suspend ses affirmations le temps de les vérifier. Et cette simple activité change tout; elle constitue une mutation profonde dans la pensée humaine. Les explications prennent le statut de suppositions qu'il s'agit d'éprouver. On les appelle désormais des hypothèses².

L'hypothèse apparaît d'abord comme une conjecture, non dans ce sens qu'elle est matière à discussion, mais parce qu'elle est reconnue comme une explication possible. Ce n'est toutefois qu'une supposition, elle doit donc être confirmée par des observations ou des expériences. La formulation d'une hypothèse est donc le moment le plus créatif de toute la démarche scientifique. Elle consiste en effet à inventer ou à fabriquer une explication plausible. Il s'agit même d'un moment irrationnel où il faut dépasser les évidences habituelles pour fabriquer une idée originale (« Les moisissures produisent une substance qui empêche le développement des bactéries ») ou pour mettre en relation des paramètres divergents ou inattendus ($E = mc^2$, l'énergie est mise en relation avec la masse d'un corps et le carré de la vitesse de la lumière).

Mais il ne s'agit pas de n'importe quel imaginaire. En sciences, toute imagination n'est pas possible. Celle-ci est bridée de toutes parts. Plusieurs contraintes pèsent lourdement sur elle. L'hypothèse doit être cohérente. Elle doit être en phase avec les savoirs reconnus de l'époque; du moins ceux qui ne souffrent d'aucune contestation. Elle doit être explicative sur de nombreux domaines. Il faut surtout qu'elle permette de « travailler ». En la « pressant comme un citron » - il n'y pas d'image plus proche -, le chercheur doit pouvoir en tirer de multiples prévisions. Et ce n'est pas tout, l'imagination débordante du chercheur doit encore être soumise au test de la réalité. Dans ce but, le chercheur fabrique une expérience³ (du latin *experiri*: éprouver). Il essaie de perturber le fonctionnement habituel de la Nature pour voir comment elle réagit. Plus particulièrement, à travers la réalisation d'une expérience, il cherche à savoir si l'objet, l'individu ou la plante réagit comme le prévoit par avance l'hypothèse... « Pour savoir si la vasopressine agit bien sur la rétention d'eau dans le corps, j'enlève l'hypophyse; si l'hypothèse dit vrai, les pertes d'eau doivent être augmentées... » « Pour savoir si les basses températures inhibent la dormance des grains de blé de printemps, je mets les graines dans un réfrigérateur pendant deux mois et je les fais germer... si elles germent, mon hypothèse est confirmée. »

Cette phase d'expérimentation demande toujours un protocole précis: le chercheur décrit le matériel et les produits utilisés, il indique une à une les

² Les élèves ne perçoivent pas toujours que le mot «hypothèse» n'a pas le même sens en sciences et en mathématiques. En mathématiques, une hypothèse est un postulat que l'on pose au départ et sur lequel on va raisonner.

³ Le mot « expérience » a également un autre sens dans la vie courante. Il désigne une connaissance des choses ou des personnes acquise au cours du temps par la pratique.

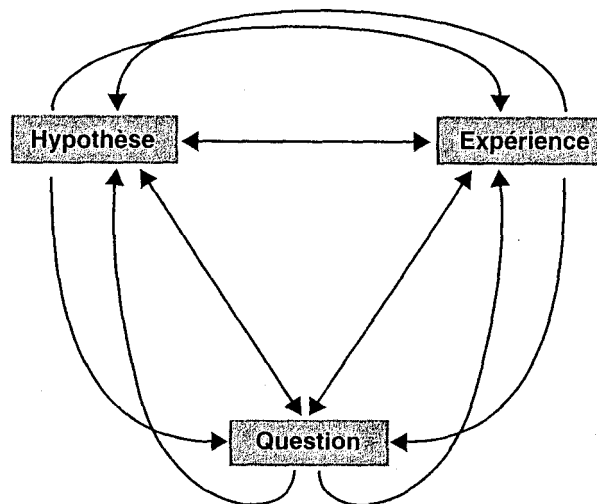
étapes de sa démarche ou encore le dispositif technique approprié. Un ou plusieurs « témoins »⁴ sont nécessaires afin d'établir des comparaisons fondées. Il faut ajouter qu'une seule expérience n'est jamais probante, il faut pouvoir la reproduire à l'identique de nombreuses fois.

COMMENT INTERFÈRENT QUESTION, HYPOTHÈSE ET EXPÉRIENCE?

À ce niveau, quelques précisions supplémentaires sont nécessaires. D'abord, les expériences ne vérifient jamais complètement une hypothèse. On peut toujours réaliser un jour une expérience qui ira à l'encontre de l'hypothèse. L'épistémologue Karl Popper, qui a avancé cette idée, disait que pendant l'essentiel de sa vie, il a cru vérifier l'hypothèse que « *tous les cygnes sont blancs* ». Et puis, un jour, il a rencontré un cygne noir et son hypothèse s'est effondrée.

Une expérience ne peut que réfuter une hypothèse si le résultat contredit ce qui était prévu. Tant que l'hypothèse tient, on dit plutôt que l'expérience « corrobore » l'hypothèse. Si l'on voulait être encore plus précis, il faudrait dire que l'expérience corrobore les conséquences de l'hypothèse. Si des moisissures apparaissent sur le pain à l'humidité, l'expérience ne corrobore pas l'humidité, mais le fait que l'humidité a pour conséquence de provoquer le développement de moisissures.

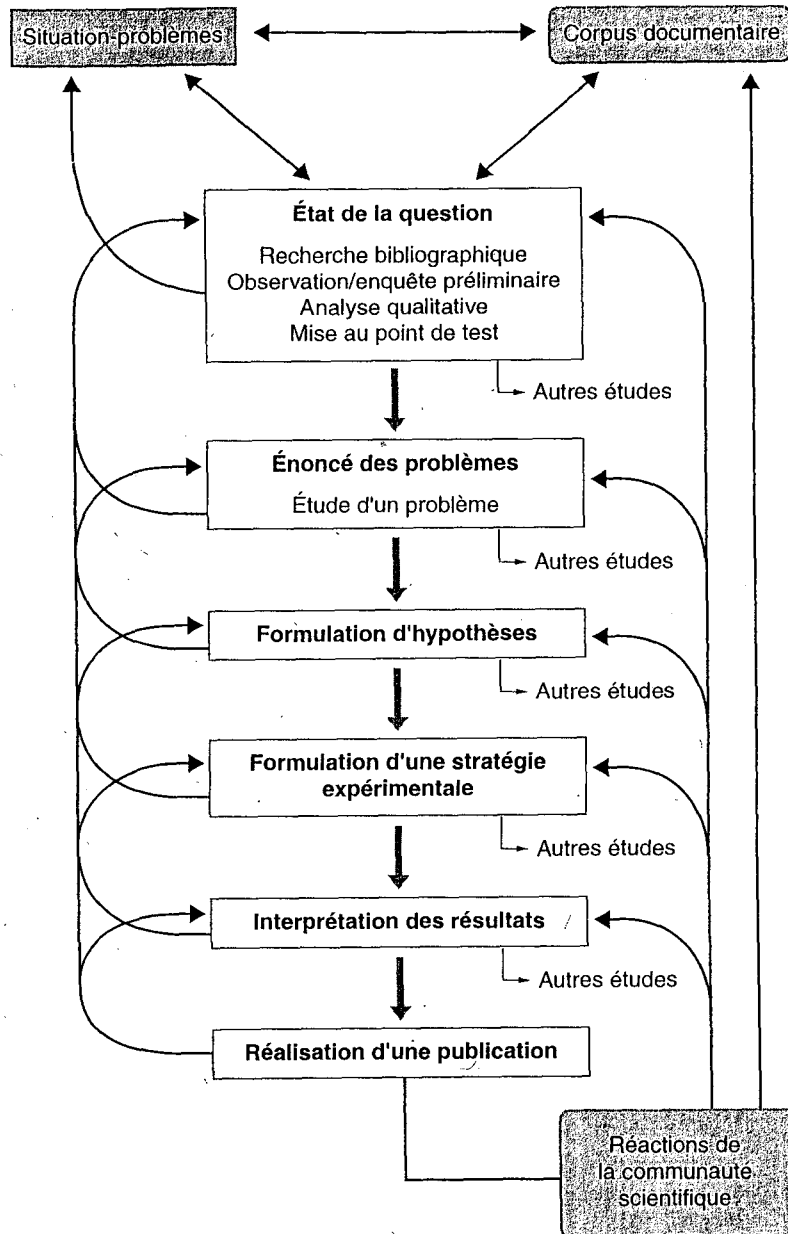
En fait, dans la vie du laboratoire, tout est encore plus complexe. Une expérience ne réfute jamais totalement une hypothèse : la plupart du temps, l'hypothèse résiste. Elle se transforme le plus souvent en s'adaptant aux circonstances. Plusieurs expériences convergentes deviennent indispensables pour conduire à l'abandon de l'hypothèse.



Systemes d'interactions entre question, hypothèse et expérience

⁴ En biologie, il s'agit par exemple d'individus placés dans les mêmes conditions, mais auxquels on a injecté du sérum physiologique - sans- effet - à la place du produit testé.

De plus, question, hypothèse et expérience ne sont jamais successives, ni uniques. Une situation implique plusieurs problèmes qui entraînent à leur tour une série de questions. Face à un même problème, plusieurs hypothèses peuvent être émises... Il n'est donc pas question de substituer une démarche QHE (question, hypothèse et expérience) à une démarche OHERIC ! Ces trois paramètres interagissent en permanence l'un sur les deux autres, directement ou indirectement par feed-back (voir schéma ci-dessus).



Développement de la démarche expérimentale au laboratoire

Au départ, la question peut ne pas être précise, elle peut même être implicite («une expérience pour voir»). La formulation d'une hypothèse va permettre d'affiner la question; celle qui est publiée est rarement la question que se posait le chercheur à l'origine. C'est une nouvelle formulation qui résulte des

discussions inspirées par l'expérimentation. Il en est de même pour l'hypothèse: les résultats d'une première série d'expériences conduisent généralement à la retravailler, à l'affiner, voire à en proposer une autre.

Ce faisant, l'expérimentation reste toujours un artifice. Elle n'apporte aucune information en soi. Elle ne prend sens que par interaction avec d'autres expériences et surtout en relation avec l'hypothèse qui lui procure son cadre de questionnement et d'interprétation. A la limite, un fait n'existe pas en soi. Il n'est perçu que si l'on possède une grille d'analyse permettant de l'enregistrer. Pour expérimenter sur la notion de chaleur, il faut avoir défini des grandeurs (température, hygrométrie) sur lesquelles sont construits les instruments de mesure. Les qualités sensibles (« chaud - froid », « sec - humide ») sont nettement insuffisantes.

Ainsi une démarche expérimentale doit être envisagée comme un processus dans le temps, où question, hypothèse et expérience interfèrent mutuellement. Progressivement, le savoir se précise, les hypothèses évoluent, de nouvelles expériences sont réalisées. A chaque étape correspond un nouveau modèle qui sous-tend un questionnement et une interprétation.

Rien n'est linéaire cependant, parfois la démarche se fourvoie dans de fausses pistes. Mais, à chacune des étapes, il y a interaction entre question, hypothèse et expérience, selon le schéma présenté page 5.

On voit apparaître le rôle préalable de la phase « état de la question », dans laquelle la documentation tient une place prépondérante. En dernier recours, la communauté scientifique intervient encore comme filtre lors de la publication. En retour, toutes les phases peuvent être reconsidérées.

OBJECTIFS POSSIBLES À TRAVERS UNE DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE

Sur le pan éducatif la démarche expérimentale est très porteuse. Elle permet de développer une multitude de qualités et d'investigations. Il est possible de catégoriser ces divers objectifs en deux groupes: attitudes et démarches.

1. Attitudes

- avoir envie de se poser des questions (curiosité);
- avoir confiance en soi;
- être critique (esprit critique);
- être créatif (imagination créatrice);
- avoir envie de chercher par soi-même;
- avoir envie de communiquer;
- avoir envie de travailler en groupe.

2. Démarches

- savoir entreprendre une activité pour répondre à ses propres questions, à celles de ses camarades ou de l'animateur;

- savoir énoncer sa propre formulation du problème;
- savoir rechercher une relation causale (savoir établir une corrélation ou un système causal);
- savoir formuler plusieurs hypothèses;
- savoir faire un corpus documentaire;
- savoir repérer une grandeur;
- savoir imaginer un dispositif expérimental;
- savoir rechercher des indicateurs;
- savoir envisager les causes d'erreurs;
- savoir mettre au point un test;
- savoir observer;
- savoir faire des mesures;
- savoir enquêter;
- savoir lire les résultats d'une expérience;
- savoir traduire les résultats sous forme de graphe;
- savoir argumenter;
- savoir discuter les apports de son expérimentation et la comparer avec celles d'autres personnes;
- savoir accueillir ou élaborer un modèle;
- savoir mobiliser une hypothèse corroborée (ou un modèle) dans d'autres situations;
- savoir reconnaître les limites d'une hypothèse.

Par ailleurs, il est à noter que parmi les objectifs les plus formateurs, beaucoup résultent des interactions qui existent entre les différentes phases d'une démarche expérimentale:

- savoir fonder une hypothèse par rapport au corpus documentaire;
- savoir mettre en relation les résultats obtenus avec l'hypothèse;
- savoir discuter les résultats;
- savoir reformuler une hypothèse, éventuellement en émettre d'autres;
- savoir reformuler le problème;
- savoir rechercher la cohérence d'une hypothèse au travers du modèle utilisé, etc.

A côté de la démarche expérimentale de type analytique (présentée ci-dessus), il est également important d'envisager des démarches systémiques où l'on apprend aux élèves à mettre en relation les différents facteurs (effets de synergie ou d'inhibition).

Qu'est-ce qu'un modèle?

Pour résoudre un problème scientifique, il ne suffit plus aujourd'hui «<d'ouvrir les yeux>> ou de regarder là où l'on ne regardait pas avant. Rares sont les phénomènes qui s'imposent d'eux-mêmes. Interpréter une coupe

d'organe au microscope ou des données informatiques en physique des particules n'est pas très évident si on ne possède pas le module de **cellule** ou de quark.

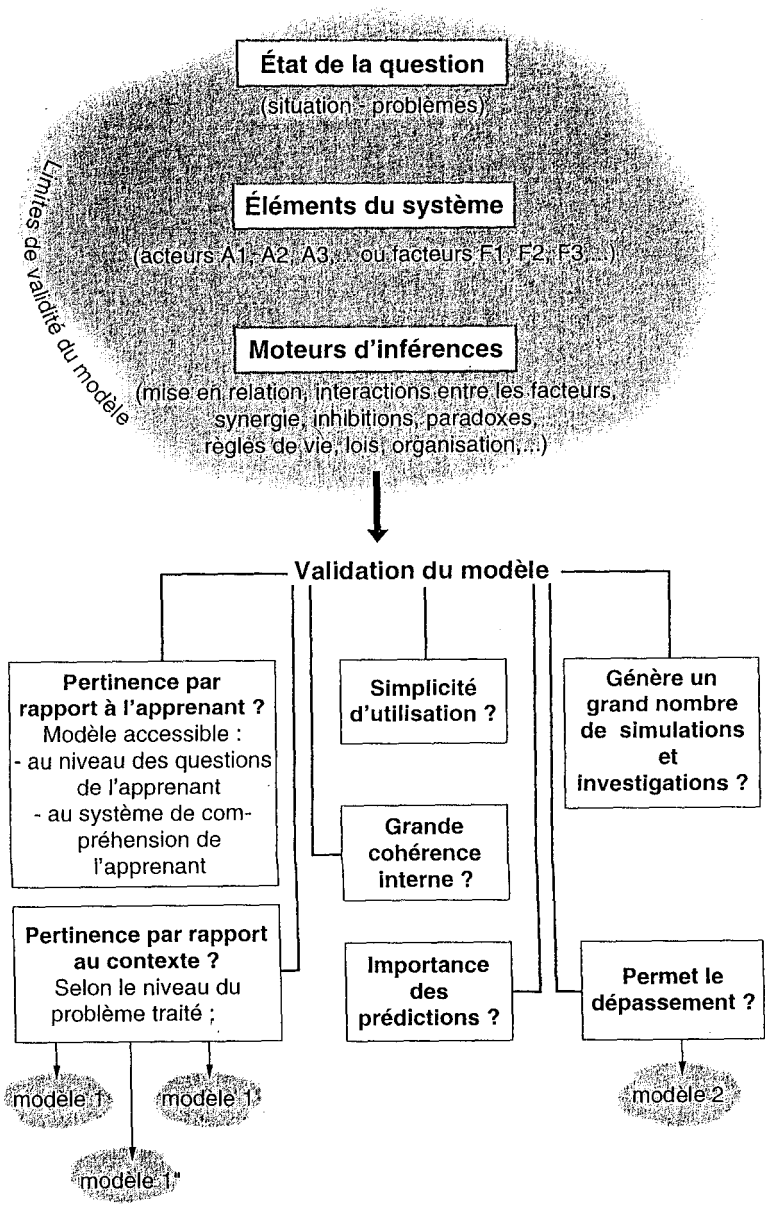
Actuellement, les chercheurs parlent plutôt de «tester un modelé», car l'hypothèse s'inscrit dans un réseau d'idées plus large qui lui donne son sens⁵. Elle intervient dans le cadre d'un module interprétatif, pour lequel les expériences ont une importance stratégique. Leur but réel n'est pas uniquement la découverte en soi, mais plutôt une tactique. Il faut tenter d'influer sur le champ du savoir en place. D'où le soin qui porte tout scientifique à la délimitation de son domaine d'investigation ou encore à la mise au point d'une nouvelle technologie ou d'un nouveau vocabulaire. Il peut devenir très susceptible sur ce plan, c'est son «passage obligé».

Ne nous faisons pas d'illusions, des données expérimentales ne sont jamais totalement « originales » en soi. Elles dépendent des multiples acquis antérieurs. Elles ne seront réellement originales que si le chercheur arrive à persuader d'autres scientifiques. Or cette perception dépend de la position des acteurs, c'est-à-dire de la place des chercheurs sur l'échiquier. D'où l'importance du crédit⁶ intellectuel qu'aura su engranger, au préalable, le chercheur.

Car il ne suffit pas de trouver; il faut encore convaincre de l'importance de son travail. Tout est terriblement dynamique en la matière. Le chercheur ne marquera des « points » que s'il réussit progressivement à polariser l'attention sur son travail. Une métaphore militaire peut être très parlante, en la matière. Une position sur le terrain n'a aucune importance en soi. Elle n'est qu'un élément du paysage. Elle n'a d'intérêt, elle ne prend sa signification, qu'en fonction d'une bataille! À ce moment-là et à ce moment-là seulement; elle peut devenir un enjeu, le point d'appui indispensable pour emporter la bataille! Une stratégie de recherche expérimentale est identique en beaucoup de points. Encore faut-il, au moment opportun, mobiliser toutes les forces disponibles et tirer avantage des ressources de la position investie. On est loin de l'image stéréotypée de la démarche scientifique que propagent encore nombre de livres ...

⁵ Toutefois, les expériences n'interfèrent que sur quelques aspects du modèle. Dans la pratique, elles ne portent que sur un domaine très limité, celui pour lequel le chercheur maîtrise non seulement la problématique, mais aussi l'appareillage, et le matériel. C'est pour cela que les chercheurs consacrent énormément de temps à «faire de la littérature», c'est-à-dire à connaître, à travers la bibliographie, tout ce qui a déjà été écrit sur le sujet qu'ils traitent.

⁶ Ce crédit dépend du grade, de la spécialité, du laboratoire, du pays où le chercheur travaille. Rentrent aussi en ligne de compte, les crédits financiers qu'il a su obtenir, son audience médiatique - une trop grande audience peut être mal interprétée! -, sa personnalité, sa façon d'intervenir dans les colloques ou de les organiser. Tout est affaire de subtil dosage!



“Modèle” d’un modèle

Tratto da :
A. Giordan, *Une didactique pour les sciences expérimentales*, Belin, Paris, 1999 capitolo 2 pagine 48-57