

LE RAPPORT A L'EXPÉRIMENTAL DANS LA PHYSIQUE DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE

Samuel Johsua

La relation à l'expérimental est massivement présente dans l'enseignement secondaire de la physique, mais ce rapport est essentiellement ambigu. Il est profondément marqué par l'inductivisme, lequel est à la fois une option épistémologique concernant la physique, et une option pédagogique proprement dite.

Dominante depuis le début du siècle, cette option s'est épanouie dans les années 60 avec la formulation d'une "méthode naturelle" d'apprentissage largement mythique.

En fait, la prédominance de l'inductivisme, combinée avec les difficultés spécifiques de l'approche de la physique, conduit à une pratique d'enseignement fortement typée, où tout est bâti de manière à contourner, gommer ou nier les relations forcément complexes entre l'expérience et la modélisation. Et cela, à son tour, conduit, paradoxalement, à un très net appauvrissement de la fonction et du contenu du rapport à l'expérimental en situation scolaire.

Le présent article fournit une description générale des conséquences de l'inductivisme, avant d'aborder plus en détail le fonctionnement effectif du rapport à l'expérimental au collège et au lycée.

1. INTRODUCTION

Le rapport à l'expérimental apparaît comme permanent et massif dans l'enseignement de la physique au niveau secondaire.

On peut, sans grande audace, avancer l'hypothèse que, pour une majorité de pédagogues, l'enseignement de la physique se confond avec celui de la "méthode expérimentale", et cela jusqu'à nos jours. Cette finalité fixée à l'enseignement de la physique va le plus souvent de pair avec la réduction de la "méthode expérimentale" elle-même aux processus d'induction.

Il y a là une option lourde concernant l'épistémologie de la physique qui fut majoritairement admise dès la deuxième moitié du XIXe siècle et n'a cessé de s'approfondir depuis. Vers le milieu de ce siècle, cette option a cessé de concerner uniquement la physique elle-même, pour englober les processus d'apprentissage des enfants, qui, eux aussi, seraient de caractère inductif.

Loin d'être une donnée récente, comme on le croit souvent, la lutte contre le "formalisme" et le "dogmatisme" est une donnée

une idéologie
bien précise :
l'inductivisme

permanente de la littérature pédagogique française concernant la physique. Il est vrai, en revanche, que la mise en oeuvre sur une grande échelle des préceptes didactiques découlant d'une telle option a été plus lente.

Cette mise en oeuvre s'est généralisée -en France au moins- à l'occasion des débats "réformateurs" des années 70, et, en même temps, l'option idéologique inductiviste est entrée en crise. Pourtant l'inductivisme constituait un paradigme commun à tous les pédagogues de la physique. Il avait l'avantage d'homogénéiser l'épistémologie de la physique, le mode d'apprentissage des enfants et les finalités de l'enseignement de la physique. Cette homogénéité s'est brisée quand ces trois questions ont été, séparément dans un premier temps, soumises à de vigoureuses analyses critiques. En particulier, la prétention des physiciens à rénover l'enseignement dans la perspective d'une physique "structurale" s'est révélée difficilement compatible avec l'idéologie inductiviste. Celle-ci repose en effet sur la croyance que l'observation et la mesure sont à la base de la "mise en évidence" des lois physiques, et qu'il est possible de créer un cadre scolaire artificiel où l'élève, bien dirigé, serait apte à faire, en raccourci, ce même cheminement.

Cette opinion, déjà contestable en général, rencontre des difficultés insurmontables quand la physique qu'il faut atteindre par ce biais n'est plus une phénoménologie descriptive simple, mais une modélisation relativement complexe.

Ceci, en définitive, se traduit par une pratique "expérimentale" en situation scolaire très particulière, dont nous décrivons ci-après les caractéristiques principales.

2. LA MISE EN PLACE DU "MYTHE NATURALISTE"

un mythe
unitariste

A partir du milieu des années 50, les options inductivistes, qui avaient toujours été dominantes dans les préceptes pédagogiques propres à la physique (1), vont maintenant englober les processus les plus généraux de la connaissance et *prétendre à l'unité enfin trouvée entre l'enfant, la nature concrète qui l'entoure, et la finalité éducative de l'enseignement.*

C'est cette vision globalisante -qui, entre autres, marque bien la fin d'une phase défensive où il fallait justifier une discipline

-
1. LIARD, M.L. Les Sciences et l'Enseignement secondaire. *Conférences du Musée Pédagogique* - Imprimerie Nationale, Paris, 1904.
LIPMANN, G. Le but de l'enseignement des Sciences Expérimentales. *Conférences du Musée Pédagogique*. Imprimerie Nationale, Paris, 1904.
JOHSUA, S. Contribution à la délimitation du contraint et du possible dans l'enseignement de la physique (essai de didactique expérimentale). Thèse d'Etat, Aix-Marseille II, 1985.

nouvelle et le début d'une phase de prétentions plus vastes- que nous appelons le "*mythe naturaliste*".

Son exposition la plus systématique est due à Lazerges (2), dont l'influence idéologique fut grande, au point que le ministère décida de distribuer ses conférences à tous les nouveaux professeurs. Ce sont ces positions que nous exposons ci-dessous.

2.1. Centrage sur l'élève

Première rupture avec les options passées : c'est l'élève lui-même, ses processus de pensée, ses attitudes, qui doivent *déterminer* les choix et non seulement les conditionner : "*L'enfant, notre élève, même au terme de l'adolescence, n'est ni un adulte en miniature, ni un adulte inachevé, mais un être différent, ayant d'étape en étape une structure mentale propre et, par conséquent, des intérêts spontanés, une logique, un verbalisme même, différents de ceux de l'adulte, parce que la nature a voulu qu'il soit enfant avant que d'être homme*".

Cette affirmation de facture piagétienne et de résonance assez moderne, est toutefois intimement liée à une option lourde sur les processus d'apprentissage de la physique.

- "L'effet Jourdain"

"Les enfants qui entrent en Seconde font de la physique ou de la chimie depuis longtemps sans le savoir, très exactement comme M. Jourdain faisait de la prose. Il ne s'agit que de les rendre conscients. Toutes les notions de physique étudiées en Seconde, depuis le poids d'un corps jusqu'à la vaporisation, appartiennent, en effet, à la connaissance ancestrale ou quotidienne des enfants de cet âge".

- La "redécouverte"

Lazerges a la dent assez dure contre toute assimilation entre la "redécouverte" (dont il est un adepte, comme on l'a vu) et les processus scientifiques réels : "*On croit alors qu'il s'agit de faire découvrir par un enfant telle ou telle loi située en dehors de toute connaissance préacquise, ou de lui faire inventer tel ou tel appareil de physique..., en sorte que cette prétendue redécouverte n'est qu'une nouvelle forme du dogmatisme... Ce dogmatisme qui s'ignore n'a pas sa place dans notre enseignement, ne serait-ce que parce qu'il est un mensonge intellectuel*".

Mais alors, comment cette redécouverte peut-elle contribuer à la formation de connaissances reconnues comme telles (au moins partiellement) par le physicien ? Là n'est pas le problème, dit Lazerges, car là n'est pas l'objet de l'enseignement : "*On peut*

les enfants font de la physique comme M. Jourdain de la prose

2. LAZERGES, G. *Conférences de Sèvres*. CNDP, Paris, 1953.

souhaiter en même temps, il est vrai, que les élèves conservent de leurs études certaines connaissances, mais ces connaissances nous seront données par-dessus et par la force des choses sans que nous ayons à les rechercher. C'est dire qu'elles ne sont pas tenues pour négligeables, et je ne le laisserai que trop voir, mais elles sont une fin secondaire en ce sens qu'elles sont acquises spontanément, silencieusement pour ainsi dire, et très largement, si notre fin principale, telle qu'elle vient d'être définie, anime vraiment notre pédagogie".

L'affirmation va donc loin : non seulement elle reprend l'opposition entre acquisition des connaissances et acquisition de méthodes (présente dès le début du siècle), mais l'auteur affirme que sa "redécouverte" permet en réalité l'acquisition de ces connaissances, et que cela peut se faire sans un traitement spécifique en ce domaine ("*par la force des choses et sans que nous ayons à les rechercher*").

En effet, l'enfant disposant déjà en fait de ces connaissances, reste à les lui révéler (effet Jourdain), et surtout à le doter d'une méthode apte à les organiser : "*Son but n'est pas tant de donner à nos élèves les connaissances qui sont indispensables pour la compréhension du monde d'aujourd'hui, si fortement marqué par les progrès de la science et de la technique, que de développer, chez eux, certaines qualités intellectuelles et même morales*".

2.2. L'induction

Dans la "redécouverte" du début du siècle, l'induction jouait déjà le rôle décisif. Il en est de même ici, mais quelques traits nouveaux apparaissent :

- L'enfant doit y être "actif".
- Ceci n'est possible que si "*nous ne les décourageons pas à notre tour par des discours abstraits*", car "*ils vont rester assez longtemps encore d'ordre intellectuel concret*".
- Mais ce concret n'est pas toujours celui de l'adulte : "*C'est l'éducation que nous avons reçue qui nous permet de passer inconsciemment, comme par un mouvement réflexe, du concret à l'abstrait ou inversement, en sorte que bien des exercices, que nous croyons concrets parce qu'ils évoquent des opérations matérielles, sont en réalité des abstractions pour des élèves de Seconde*".

Et la nécessité de la manipulation pratique par l'élève lui-même (postulat pédagogique dès le début du siècle) trouve ici une justification dans le mécanisme même de l'induction : "*Un fait n'est concret pour un enfant que dans la mesure où il le connaît par son expérience personnelle*". "*Les enfants mettent plus de croyance dans les expériences qu'ils ont faites eux-mêmes que dans celles qu'ils ont vu faire*".

l'induction,
moment central

2.3. A la recherche des faits

Mais ce processus inductif, nécessitant la *"pratique prolongée du réel"* ne saurait admettre *"le fait"* comme une donnée (comme au début du siècle). Au contraire, il faut noter *"... la complexité et la difficulté du réel..."*.

La mise en évidence des "faits" eux-mêmes est désormais un objectif de la méthode. Ceux-ci doivent partir de la réalité elle-même, globale par définition.

Et voilà que s'introduit l'*idée du milieu naturel* comme base de départ, à propos duquel, à nouveau, doit s'exercer surtout la *faculté d'observation*, productrice unique des faits : *"C'est donc de l'univers global et qualitatif, tel qu'il s'offre à l'enfant, que l'enseignement doit partir à la recherche des faits eux-mêmes, qui sont des fragments que l'esprit prélève dans le chaos complexe et incohérent de nos sensations. L'étude du milieu naturel, dont les organisateurs des classes nouvelles ont compris toute la valeur pour remédier à cette fragmentation artificielle du savoir en disciplines indépendantes et trop souvent ignorantes les unes des autres, fournit le point de départ de ces sciences d'observation, au sens le plus large du mot, où le physicien, le naturaliste, comme le géographe, trouveront leur part"*.

2.4. La "méthode naturelle"

Voilà donc ce que Lazerges appelle (après Duhem qui lui donnait cependant un contenu plus restreint) la méthode *"que l'on pourra qualifier de naturelle puisqu'elle sera la conséquence nécessaire de faits incontestés"*.

En conséquence donc, Lazerges définit *une chaîne continue, sans ruptures ni contradictions, entre des domaines différents*. C'est la chaîne "naturaliste" schématisée ci-dessous :

finalités éducatives - activité de l'enfant - méthode expérimentale - concret - milieu naturel global - interdisciplinarité.

3. LA VALIDATION OPÉRATOIRE

3.1. Une coupure inévitable

Pour autant, cette façon d'aborder la question peut avoir une pertinence didactique. Dans l'élaboration des connaissances en physique, expérience et théorie n'entretiennent pas de stricts rapports d'antériorité, mais s'entremêlent, se nourrissent réciproquement d'une manière assurément complexe.

La situation didactique introduit une contrainte tout à fait particulière dans ce rapport, puisqu'il s'agit de transmettre des connaissances à un novice, lequel est, par définition, loin de

des contraintes didactiques au secours d'une option idéologique

posséder le modèle canonique qui serait en relation avec les expériences. Par nature, la situation didactique exige un "début" et une "fin" qui n'existent nullement en physique savante, et selon le type de coupure que l'on choisit, on crée une épistémologie "scolaire" très particulière.

Si, par exemple, on décide de "partir de l'expérience", on devra présenter certaines des caractéristiques de cette dernière comme des données indépendantes (au moins fictivement) de la théorie que l'on développera à son propos.

Des contraintes, de nature didactique, peuvent ainsi venir renforcer des options de nature clairement idéologique.

3.2. La "monstration"

Mais ce n'est que didactiquement que le "phénomène" peut se présenter comme un "donné". Sa présence en classe est l'aboutissement d'un travail didactique complexe, qui se traduit souvent par une "monstration" *expérimentale*. Celle-ci a deux fonctions intimement liées : elle permet la proposition du problème, elle établit le phénomène de départ.

- La proposition du problème

La monstration permet de résoudre à la fois la question de la présentation d'un problème et celui de sa transmission comme problème non du professeur, mais de la classe. Les sources de la monstration peuvent être diverses, sans affecter pour autant le mécanisme : montrer qu'il y a un problème. Ainsi, le professeur fait-il constater qu'un objet pesant lâché d'une certaine hauteur va (en général...) tomber vers le sol. Ceci, qui était connu de tous, mais n'était pas un "problème", le devient par sa simple énonciation en classe de physique.

introduire un
questionnement....

Le professeur construit (ou fait construire) un circuit de simple allumage pile/ampoule : il désigne par là un problème qui n'existait nullement auparavant, en tout cas pas sous son aspect de problème de physique. Par la même démarche, d'un seul mot parfois ("pourquoi", "comment"), cela devient le problème de la classe, et deviendra l'objet du discours.

La monstration permet donc de réaliser ce pas si important, pouvoir dire : "Voilà un problème, et c'est désormais le nôtre".

- La désignation du phénomène

La monstration permet en même temps une présentation du *phénomène*, qui le désigne comme pertinent, au milieu d'une multitude d'autres phénomènes possibles. Ce qui ne serait pas possible par un discours l'est ici par la monstration.

Cette monstration se suffit à elle-même pour désigner le couple référent/signifiant et, en même temps, elle distingue le référent de tous les autres possibles. Ce processus n'a pas besoin de

grammaire particulière qui donnerait un sens ("syntaxique") au signifiant.

- Les contraintes didactiques sur la monstration

Toute monstration n'est pas apte à réaliser correctement une introduction du problème et une désignation de phénomène. Il y a à cela des conditions qui sont autant de contraintes à respecter.

- La première tient à la possibilité de *reconnaissance* de la monstration par la classe. Celle-ci n'avait pas repéré un problème dans le phénomène montré avant qu'il ne le soit, mais elle doit pouvoir le reconnaître dès qu'il l'est. Pour cela, il est nécessaire que la monstration se présente comme un *lien* entre le connu et l'inconnu. Les éléments de la monstration doivent relever du connu (s'ils ne le sont pas, ils devront d'abord faire eux-mêmes l'objet d'une monstration ou d'une construction cognitive). L'agencement des éléments représente lui le nouveau, l'inconnu : le problème. C'est comme cela que l'on peut comprendre toutes les insistances que l'on a pu noter sur la nécessité de partir de phénomènes "familiers". Autrement dit, nous avons ici une transposition de la nécessité de situer le phénomène en liaison avec un modèle, mais seulement, dans le processus de monstration, le modèle de base duquel on part est tout simplement la structure cognitive supposée de l'élève (le "connu").

- La seconde tient à la possibilité de *l'admission du problème*, à la possibilité de sa transformation en problème de la classe. Pour cela, il est nécessaire que le phénomène montré ne soit ni étranger à l'élève, ni surtout en référence avec un objet d'enseignement trop *vieilli*. Au premier chef, le risque est celui d'un vieillissement didactique de la situation expérimentale: la même situation peut difficilement servir à introduire de nouveaux problèmes (alors que c'est très souvent physiquement possible). Mais il concerne aussi le recours à des appareils, des techniques, un vocabulaire "du passé", qui "ne peuvent pas être" des problèmes d'aujourd'hui.

- La troisième contrainte concerne la structure du phénomène lui-même. Celui-ci doit concerner une situation relativement simple, ou décomposable aisément en situations simples. Il faut donc qu'il y ait une *correspondance* entre la monstration d'une situation et le phénomène que l'on veut exhiber.

De la même façon, il ne faut pas que des éléments non pertinents de la monstration puissent venir perturber la prise de conscience des éléments pertinents. Et ceci doit être présent dès la monstration elle-même (sans besoin de précisions supplémentaires, compte tenu du niveau cognitif des sujets).

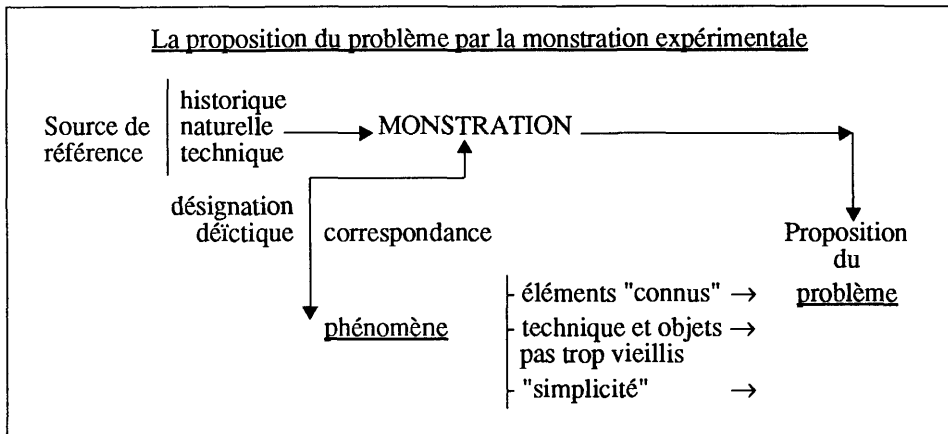
Ainsi, a priori, une infinité d'éléments pourraient jouer un rôle dans la perception d'un montage pile/fils/ampoules : des éléments extérieurs au circuit lui-même d'abord (la température ambiante de la classe, le bruit, etc...), des éléments du

.... dans des
conditions bien
précises

circuit lui-même (la couleur des fils par exemple) ; mais une monstration est surtout efficace par ce qu'elle élimine sans le dire, et pour cela, elle doit à nouveau être "simple".

C'est que l'objectif de la monstration ne réside pas en elle-même ; la manifestation du phénomène est un moment éphémère vers le dégagement de bases observationnelles communes à la classe (les "faits" de la démarche positiviste).

Nous présentons ci-dessous un schéma récapitulatif du mécanisme de la monstration.



3.3. La validation "opérateur"

Les mécanismes de la "monstration" sont en fait communs à une série d'options dont, bien entendu, l'option inductiviste. En revanche, ce qui est bien spécifique de cette dernière, c'est le type de passage entre la monstration et l'établissement du modèle. Tout se passe comme si les contraintes spécifiquement didactiques étaient redoublées par un choix de coupure fondamentale entre "expérience" (moment non seulement premier, mais fondateur) et "théorie". Le plus souvent, cela se traduit par un mécanisme que nous nommons "validation opératoire".

L'objectif - transférer le sous-modèle à l'élève - est perçu dans un sens restreint. On va se contenter du fait que l'élève admette et mette en pratique un sous-modèle ou des éléments de modèle. Sur cette base, la place de l'expérimental sera en fait relativisée dans le processus de transmission du modèle et des sous-modèles. Elle jouera :

- comme entrée en matière, monstrative, qui permettra d'entrer dans le *discours expositif* du sous-modèle (3). A chaque étape,

3. Ce discours peut parfaitement s'appuyer sur des activités pratiques, comme des mesures.

à chaque difficulté du dit discours, la référence à l'expérience initiale viendra fournir des arguments qui autoriseront le maître à faire avancer la classe et la construction du sous-modèle. L'expérience initiale devient donc une *expérience de référence* qui permet à la classe de faire crédit au maître de ce qu'il va avancer. Dans ces conditions, le maître avance en proportion de la capacité qu'il a de faire admettre la *plausibilité* du sous-modèle (et de chacune des étapes d'exposition) en relation avec l'expérience de référence. La relation avec le réel est une relation avec le réel didactifié de la classe, avec l'expérience de référence, mais cette relation peut être suffisante pour le cheminement que nous indiquons.

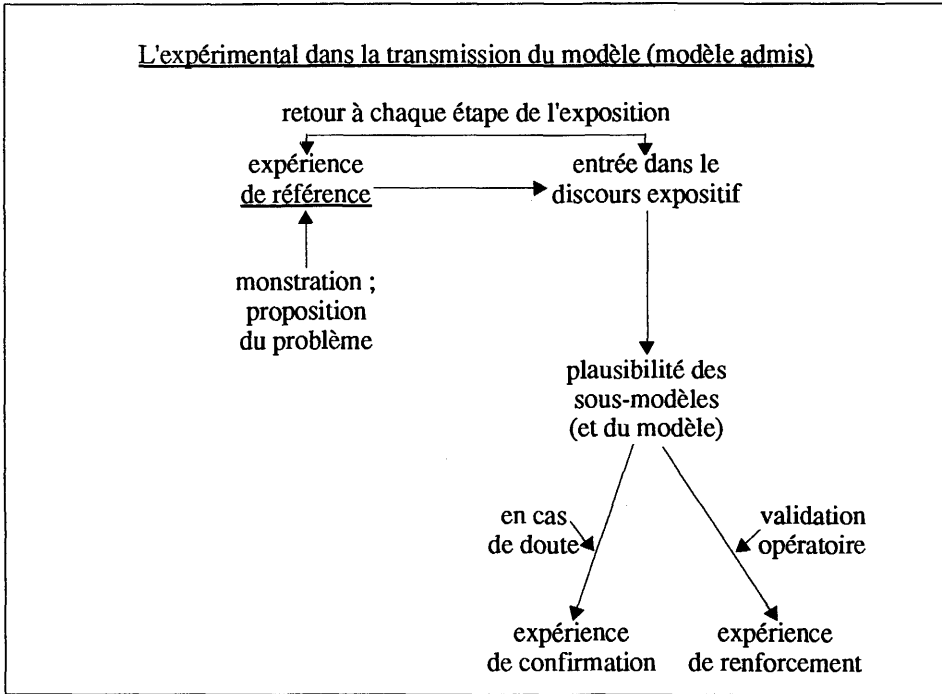
faire admettre la
plausibilité d'un
modèle

- comme sortie du discours expositif. Une fois le sous-modèle considéré comme plausible, un pas important vers la transmission est accompli, mais une partie du chemin reste à faire. Il reste à le faire passer sous la responsabilité des élèves. Cela, au contraire des processus initiaux, peut se dérouler sur le plan des exercices mathématiques, mais cela peut se faire en recourant à d'autres types d'expériences que nous appellerons "*expérience de confirmation*" et "*expérience de renforcement*". Les premières interviennent quand le doute existe encore et qu'il faut établir plus solidement la plausibilité du modèle ou de sous-modèles ; on va alors montrer qu'une autre "expérience de référence" peut être redevable du même traitement, ce qui tend à montrer la "solidité" du sous-modèle. Les secondes interviennent quand le maître a jugé que la transmission est allée assez loin pour que les élèves renforcent leur adhésion au modèle ou aux sous-modèles en le pratiquant (et alors, soit dans des situations semblables à celles du départ -mais dont le sens est transformé-, soit dans des situations nouvelles).

En définitive, le modèle ou le sous-modèle sont admis (ils deviennent un objet collectif dans la classe, et non seulement l'apanage du maître), mais *leur validation demeure implicite*. Elle se résume en fait à :

- la vérification de la correspondance du modèle ou de sous-modèles à l'expérience de référence et aux expériences de confirmation éventuelles ;
- la mise en pratique du modèle ou de sous-modèles (ou de certaines de ses implications) dans des expériences de renforcement.

Les éléments concernant la transmission du modèle dans le mode de validation opératoire sont regroupés dans le schéma ci-après.



4. CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES OPTIONS INDUCTIVISTES

Nous allons ici émettre quelques hypothèses sur ce qui nous paraît être des éléments rémanents de la pratique didactique réelle de ce genre d'option (au moins dans l'enseignement français), en essayant, de plus, d'éliminer ce qui nous paraît contingent (le manque de moyens matériels, par exemple).

4.1. L'expérience prototypique

Concernant la présentation du problème, le point marquant paraître être une valorisation extrême du point de départ de la monstration, l'expérience de référence. Comme l'inférence inductive est un processus aléatoire, ses partisans -qui veulent au contraire en établir la primauté- sont conduits à se donner les meilleures chances de départ. Une expérience de référence trop lâche, permettant trop d'inférences diverses, est un danger pour l'ensemble du processus. La monstration se doit donc d'abord d'être parlante et simple, et de permettre une *correspondance stricte avec "le" phénomène*.

Par ailleurs, le dégagement "du fait" ne doit souffrir d'aucun

l'option
inductiviste
modèle
fortement le type
d'expériences
étudiées

doute. Il s'agit de donner aux élèves "le sentiment inébranlable qu'il est là dans le domaine des faits" (comme disait Liard).

Ainsi donc, l'expérience de référence ne doit pas seulement montrer, elle doit déjà *fonder* le fait, comme une donnée d'évidence. Ceci exclut en pratique -sinon en principe- le recours à des monstrations multiples visant à introduire le même fait. Si *une* monstration ne suffit pas à établir *un* fait, le doute peut s'installer sur l'ensemble de la démarche.

Pour que le fait soit parlant de lui-même, il faut que sa présence soit naturalisée elle aussi, banalisée. Il relève de l'effet Jourdain : on le connaissait presque, ou on aurait pu le connaître, s'il s'agit d'un objet technique non familier.

Plusieurs manifestations pour un seul fait (bien que ce soit théoriquement parfaitement compatible avec l'inductivisme) sont *didactiquement* non praticables dans le cadre de cette option, car cela mettrait en évidence des difficultés constitutives que l'on doit fictivement éliminer. Ce qui pratiquement caractérise cette démarche, c'est le refus de laisser entrer (dans l'acte d'enseignement) une parcelle de contestation de son bien-fondé.

C'est pourquoi certaines propositions de Lazerges restent sans concrétisations. Partir d'un phénomène complexe ("naturel"), et c'est toute une démarche de modélisation que l'on introduit par la bande. De même, doit-on refuser la multiplicité de monstrations pour dégager "un fait" : ce serait déjà le *construire* et remettre donc en cause la "naturalité" de l'induction.

Que ni Lazerges, ni les partisans de la méthode naturelle ne perçoivent une telle difficulté semble évident. *Mais le système didactique, lui, ne peut s'en accommoder* : la classe conduite sur ces bases de départ, et avec le postulat inductiviste, ne pourrait se dérouler dans de bonnes conditions et la présentation du problème s'en ressentirait.

4.2. Deux tendances

Mais la monstration n'est pas une fin en soi ; elle doit conduire à une entrée en matière, une entrée dans le discours expositif. Dans l'option inductiviste, si le fait doit apparaître sans contestation possible, il doit aussi "parler" le plus aisément possible. Autrement dit, la monstration doit non seulement avoir une forte "correspondance" avec les faits, mais elle doit aussi exhiber *les outils de la modélisation dans l'optique inductive*.

Cela concerne principalement deux nécessités :

i) La liaison entre éléments pertinents du phénomène (prélude qualitatif à la transmission de la loi) doit affleurer dès la monstration. Il y a donc une tendance à présenter des expériences prototypiques "riches", en ce sens qu'elles présenteraient déjà une organisation assez complexe entre éléments pertinents. Cela, bien entendu, dans les strictes limites tracées ci-dessus, qui sont les contraintes de base (simplicité, naturalisa-

tion du fait, unicité du prototype).

On peut ainsi chercher à introduire *plusieurs faits* avec une *seule* monstration. Quand c'est possible, compte tenu des limites décrites, cela présente l'avantage de se dispenser du travail de relier plusieurs expériences prototypiques entre elles, où, par exemple, un même fait apparaîtrait dans des cadres différents et risquerait donc de relever de plusieurs "fondations".

Il y a ainsi une tendance à ce que l'expérience prototype du "fait" s'élargisse jusqu'à devenir un *prototype d'un pré-modèle*. Cette tendance n'est limitée que par la nécessité de conserver l'aspect prototypique de l'expérience de référence.

ii) Permettre une introduction opérationnelle claire des concepts mis en jeu et, en particulier, fournir dans l'expérience prototype elle-même des *moyens de mesure* des grandeurs introduites.

La monstration prototypique tend dans ces conditions non seulement à "montrer" une grandeur nouvelle par ses effets phénoménologiques, mais à permettre d'emblée l'opération de base de l'option inductiviste : la mesure. Là encore, il y a des limites qui sont toujours fixées par les contraintes de la prototypisation, mais la tendance est présente.

Si ces descriptions concernant l'expérience de référence dans la pratique effective de l'option inductiviste sont correctes, on admettra que la distinction, si souvent faite entre introduction par le professeur et pratique préalable de l'élève, n'est pas essentielle. La prototypisation joue aussi bien dans l'une et l'autre situation. Si cela est le cas, on comprendra aussi la profonde unité de la démarche inductiviste à travers tout le siècle, unité repérée dans les descriptions précédentes malgré des différences pratiques indéniables.

4.3. Validation opératoire

L'expérience prototypique permettant de faire affleurer un pré-modèle déjà organisé est l'expérience centrale dans l'optique inductiviste. Au-delà, la transmission du modèle sera du type opératoire.

En effet, non seulement la possibilité d'interprétations diverses ou contradictoires d'une même expérience de référence n'est pas recherchée, mais l'existence même d'un tel doute est un signe d'échec.

Le point central de toutes les opinions émises par les inductivistes pourrait bien être d'ailleurs celui-là : bien introduit, le *modèle* ou au moins le sous-modèle, *devient la conséquence inévitable de l'expérience prototypique*.

La validation opératoire peut seule servir de cadre à une telle pratique. Elle peut, de plus, être traitée sur deux modes extrêmes :

- La mise en évidence

Le premier consiste en une réduction supplémentaire du discours d'exposition. Celui-ci sera réduit dans l'exacte proportion où l'expérience parlera d'elle-même, dans l'exacte proportion où le discours du maître sera remplacé par la manifestation "évidente", "naturelle" de la vérité.

la "mise en évidence", nec plus ultra de l'option inductiviste

C'est pourquoi le processus de prototypisation est ici le phénomène premier, puisqu'il conditionne à la fois la transmission du modèle sur le mode opératoire et le court-circuitage de la partie d'exposition pour aboutir, dans le cas théorique idéal, à remplacer ce dernier par une simple "mise en évidence" de la loi.

Les techniques majeures qui paraissent être liées à ce mode de transmission sont celles de la constatation qualitative et surtout de la *mesure* sous ses diverses formes, quand elle est possible. On a alors un schéma de transmission du modèle ou sous-modèle compatible avec le schéma de validation opératoire, mais où les étapes sont encore simplifiées, ramassées :

expérience prototypique → mise en évidence → renforcement

- Autres cas

Il arrive cependant que ce mode soit plus difficilement praticable. C'est par exemple le cas quand, malgré les efforts didactiques, on ne dispose pas d'une expérience prototypique suffisamment explicite pour rendre "naturel" le cheminement de la transmission de "la loi" par sa "mise en évidence".

C'est la situation où l'on se trouve quand il faut fournir un modèle interprétatif et non (ou non seulement) une description en terme de "loi". On ne peut alors se contenter d'une simple "mise en évidence", et il faudra avoir recours à tous les éléments du schéma de la validation opératoire et, en particulier, à des expériences de confirmation.

Mais, comme nous l'avons indiqué précédemment, on touche là aux limites du fonctionnement didactique de la démarche inductiviste. Même dans le cadre d'une validation opératoire, le crédit accordé par la classe pour permettre le discours expositif doit être négocié pas à pas et la démarche inductiviste est mise en péril à chaque étape.

Ce mode de fonctionnement - bien que compatible lui aussi avec les options inductivistes - est un mode périlleux. Celui de la "mise en évidence" correspondrait au contraire plus nettement à un fonctionnement harmonieux de la démarche inductiviste.

- Le renforcement

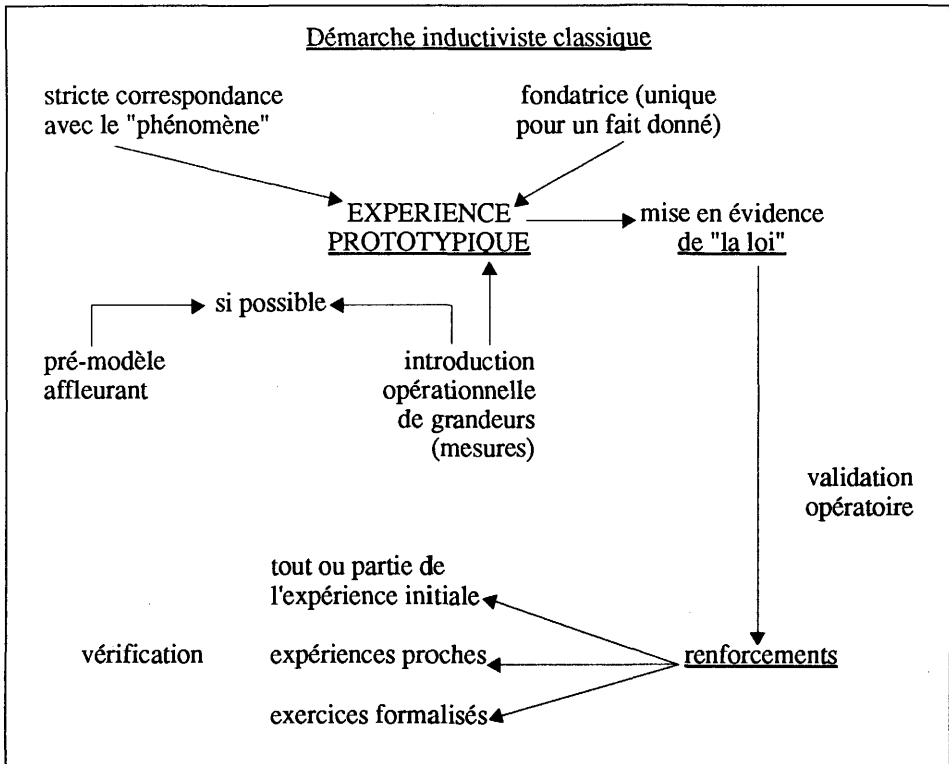
La présentation du problème par validation opératoire sur le mode de la mise en évidence permet, de plus, de conduire les expériences de renforcement sur le même registre.

L'expérience prototypique conduit naturellement à la loi. Elle la montre en même temps que les faits, les grandeurs et les

moyens de mesurer ces dernières. Facilement mise en évidence, elle sera immédiatement "mise en application" :

- soit dans des répétitions de tout ou partie de l'expérience de référence ;
- soit dans des situations différentes, mais où "la loi" s'applique tout aussi naturellement qu'elle fut issue de l'expérience prototype ;
- soit dans des exercices formalisés (non expérimentaux).

La loi, non questionnée dans de véritables expériences-tests (dont l'existence est décisive dans le paradigme positiviste lui-même) montrera sa validité par la répétition de son utilisation. Elle sera, au mieux vérifiée. Ce processus paraît être un moment décisif, peut-être même le cœur de la validation opératoire dans la démarche inductiviste pratique.



4.4. Un exemple : la "mise en évidence" de la loi de Joule

un exemple parlant

La loi de Joule fournit un bon exemple de "fondation prototypique". L'exemple est ici pris dans un ouvrage déjà ancien, mais

demeure significatif (4).

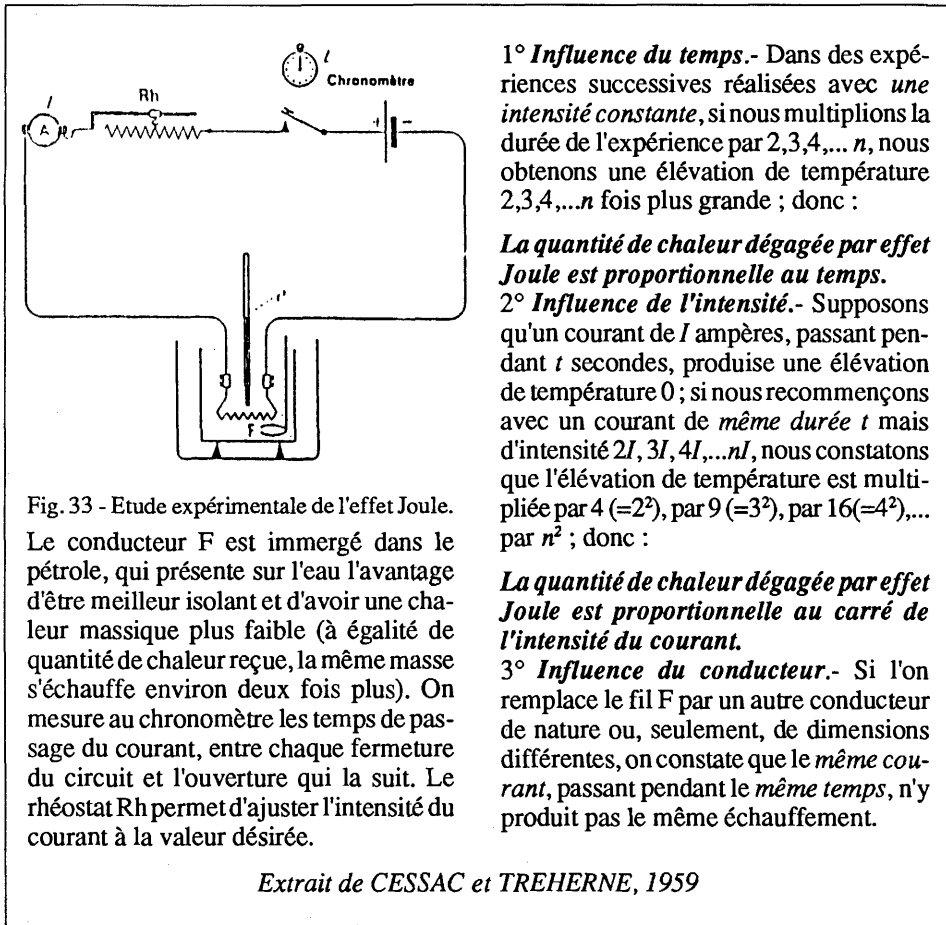


Fig. 33 - Etude expérimentale de l'effet Joule.

Le conducteur F est immergé dans le pétrole, qui présente sur l'eau l'avantage d'être meilleur isolant et d'avoir une chaleur massique plus faible (à égalité de quantité de chaleur reçue, la même masse s'échauffe environ deux fois plus). On mesure au chronomètre les temps de passage du courant, entre chaque fermeture du circuit et l'ouverture qui la suit. Le rhéostat Rh permet d'ajuster l'intensité du courant à la valeur désirée.

1° *Influence du temps.*- Dans des expériences successives réalisées avec une intensité constante, si nous multiplions la durée de l'expérience par 2,3,4,... n , nous obtenons une élévation de température 2,3,4,... n fois plus grande ; donc :

La quantité de chaleur dégagée par effet Joule est proportionnelle au temps.

2° *Influence de l'intensité.*- Supposons qu'un courant de I ampères, passant pendant t secondes, produise une élévation de température θ ; si nous recommençons avec un courant de même durée t mais d'intensité $2I, 3I, 4I, \dots nI$, nous constatons que l'élévation de température est multipliée par 4 ($=2^2$), par 9 ($=3^2$), par 16 ($=4^2$),... par n^2 ; donc :

La quantité de chaleur dégagée par effet Joule est proportionnelle au carré de l'intensité du courant.

3° *Influence du conducteur.*- Si l'on remplace le fil F par un autre conducteur de nature ou, seulement, de dimensions différentes, on constate que le même courant, passant pendant le même temps, n'y produit pas le même échauffement.

Extrait de CESSAC et TREHERNE, 1959

On peut y prendre la mesure de toutes les hypothèses implicites dans l'introduction du pré-modèle.

i) Dépendance linéaire du temps : l'expérience n'est parlante que si la force électromotrice est aussi indépendante du temps, de même que I et R . Pour cette dernière, la variation avec la température au cours de l'expérience doit donc être négligée.

4. CESSAC ; TREHERNE. *Physique - Premières A', C, C', M, M'*. Nathan, Paris, 1959.

ii) Pour la dépendance du carré de l'intensité, il faut supposer que la tension aux bornes du générateur ne dépend pas de I quand le circuit est fermé. Donc que nous avons affaire à un générateur de tension idéal.

iii) Enfin, on doit supposer que la résistance ne dépend que du conducteur et non du couple V/I qui lui est appliqué. Ceci est lié à la loi d'Ohm, qui sera "démontrée" plus tard à l'aide, justement, de la loi de Joule.

Ces remarques ne visent nullement à laisser supposer qu'il serait possible de parvenir à une modélisation idéale, sans implicites, surtout en situation scolaire. D'une certaine façon, nous avons ici un exemple de conséquence de la coupure modèle/expérience, consubstantielle à l'option analytique pour l'enseignement de la physique.

En revanche, on pourra remarquer que la validation fonctionne bien sur le mode opératoire : pas de prévisions liées à une démarche de preuve, pas d'expérience test.

La loi sera renforcée par son utilisation pour "définir" la force électromotrice et la différence de potentiel ; elle sera utilisée aussi dans une série d'exercices formels, numériques en particulier ; elle ne sera mise en question ni dans sa "mise en évidence", ni dans son "application".

5. LA PRATIQUE ISSUE DE LA RÉFORME DES ANNÉES 1970

5.1. Introduction

Dans la masse d'objectifs et de finalités nouveaux, un point va nettement surnager dans les diverses réformes à travers le monde, et les réformes françaises de la fin des années 70 en particulier : la volonté d'atteindre aux "fondements" de la physique, à sa structure.

Cela conduit comme on l'a vu à une relativisation de la place centrale accordée auparavant -du moins au niveau des proclamations- à la démarche expérimentale. Mais, malgré des remises en cause nombreuses, la pression inductiviste demeure forte. Elle l'est encore plus parmi les professeurs qui viennent à peine de pouvoir la mettre réellement en pratique. Cette option va largement demeurer à la base des nouveaux programmes, mais la liaison naturelle de la période précédente entre méthode inductive et objet de la méthode, entre l'approche phénoménologique, l'observation, la mesure et "la loi" n'est plus que partiellement possible : l'objectif est maintenant "la structure" de la physique qui, dans aucune théorie épistémologique, ne se laisse ramener à ce genre de "lois" descriptives.

On va ainsi assister à ce que nous appelons "*le grand écart*" entre méthode et démarche inductive d'une part, la volonté de

le grand écart
entre premier et
second cycle

renovation des contenus et la mise en ordre du jour de la vision structurelle de la physique de l'autre.

Le signe le plus net de ce grand écart va être, compte tenu de la possibilité (nouvelle) de diviser l'enseignement en *cycles distincts*, la division des tâches et des rôles entre les deux cycles.

"1° L'enseignement de la physique serait découpé en deux cycles, le passage de l'un à l'autre étant situé au voisinage de 15 à 16 ans :

- a) *au cours du premier cycle, l'enseignement de la physique serait surtout orienté vers une étude phénoménologique ;*
- b) *au cours du second cycle, cet enseignement serait orienté de plus en plus vers une étude structurelle de cette branche"(5).*

"L'enseignement des sciences physiques doit donc commencer beaucoup plus tôt : au minimum en 4ème, mais peut-être en 6ème, voire dans l'enseignement primaire. Il va de soi que ce ne peut être, alors, et au moins dans une première phase, un enseignement formalisé, mais essentiellement descriptif et expérimental" (6).

5.2. La méthode "naturelle" au premier cycle

- L'option de base.

Présentée jusqu'alors comme découlant de l'essence de la physique et de la méthode expérimentale, l'option inductiviste sera désormais justifiée au nom des processus mentaux supposés des élèves. Des deux niveaux, celui de la physique et celui de l'enfant, qui concouraient à une option inductiviste -c'était le premier qui dominait dans la première moitié du siècle- c'est le second qui va désormais le faire.

le premier cycle,
domaine
privilegié de la
méthode
"naturelle"

Des travaux de l'Ecole piagétienne, on retiendra la division en stades cognitifs génétiques, l'enfant à cet âge étant "au stade concret". Mais on ne retiendra pas l'apport décisif de cette école, montrant que le mode de raisonnement dépend de la structure psychocognitive, laquelle détermine strictement les inductions "observationnelles" ; le "concret" est au contraire directement lié à l'inductif chez tous les partisans de la méthode "naturelle".

-
- 5. Actes du Colloque International sur la réforme et la coordination des enseignements de mathématiques et de physique. *Dialectica*, 21 - Lausanne, 1968.
 - 6. Rapport de la Commission Enseignement de la SFP (1970) - *Bulletin de l'Union des Physiciens*, octobre 1977.

De nombreux textes de la commission Lagarrigue manifestent clairement une telle tendance (7).

Mais, même pour le premier cycle, la dite commission maintient des objectifs autres que la démarche expérimentale réduite à l'induction ; en voici un résumé (pour la classe de sixième) :

- aider les élèves à acquérir des éléments de méthodes scientifiques ;
- développer chez les élèves une attitude scientifique vis-à-vis de leur environnement naturel et technique ;
- les aider à acquérir divers savoir-faire de nature scientifique ;
- les initier à un certain nombre de concepts fondamentaux.

L'Institution va trancher dans un autre sens : *"La formation de l'esprit scientifique s'accomplira surtout grâce à l'initiation à la démarche expérimentale... Les qualités d'imagination, l'esprit de création seront cultivés, particulièrement par l'apprentissage de l'expérimentation... L'attitude expérimentale permet de choisir entre le très vraisemblable et le peu vraisemblable, ceci non en partant d'axiomes, mais de la réalité elle-même"*.

"L'élève sera entraîné à prendre une attitude active qui lui permettra d'utiliser le savoir et la méthode acquis dans des situations concrètes" (8).

Les "méthodes scientifiques" sont réduites à l'expérimental, où d'ailleurs la "réalité" parle d'elle-même...

La conclusion des Instructions manifeste un peu plus d'ambition : *"...culture équilibrée comportant l'appréhension progressive de la méthode expérimentale et l'acquisition de connaissances, attitudes, savoir-faire permettant de comprendre quelques aspects du monde actuel, au lieu d'en subir les contraintes"*.

Mais les rédacteurs de manuels ne s'y trompent pas ; ils vont à l'essentiel : *"Essentielles pour la formation de l'esprit par le contact qu'elles imposent avec le réel, les sciences physiques sont des sciences expérimentales et doivent être enseignées comme telles. On ne cherchera pas dans cet enseignement des théories et des formules"* (9).

"L'enseignement des sciences physiques est avant tout expérimental. Il doit vous permettre d'acquérir le sens du concret, le savoir-faire et l'habileté indispensables" (10).

7. Bilan de la Commission de Réforme pour l'enseignement des Sciences Physiques (commission Lagarrigue) (1977). *Bulletin de l'Union des Physiciens*, octobre 1977.

8. *Instructions pour l'initiation aux Sciences Physiques dans les Collèges*. CNDP, Paris, 1978.

9. SAISON ; MALLEUS ; HARSANY ; SEYFRIED ; HUBER. *Manuel de 6e*, Nathan, Paris, 1980.

10. MICHAUD, Y ; LE MOAL, Y. *Manuel de 4e*. Magnard, Paris, 1979.

On sera peut-être frappé par la similitude de telles déclarations (tout à fait représentatives des manuels français) avec les déclarations de la première moitié du siècle. La continuité paraît totale et nous avançons l'hypothèse qu'elle l'est effectivement au niveau de l'idéologie qui sous-tend ces options.

- Correspondances et différences avec la "méthode naturelle"

Le point central des conseils de Lazerges, le cours/T.P., devient la règle, comme d'ailleurs l'activité pratique des enfants. La "redécouverte" peut se développer. Encore une fois, ceci est indépendant du degré de directivité dans "la découverte". Chez Lazerges lui-même, ce point n'est pas clairement tranché, mais il y a des différences :

i) Contrairement aux vœux de Lazerges, le dégagement de "faits" au travers de l'observation de phénomènes complexes n'est jamais pratiqué. Le "fait", point de départ de l'induction, est unique et simplifié de manière à permettre une "observation" efficace. Dans ce cadre, d'ailleurs, le degré de directivité est en fait assez fort ("j" 'expérimente, "j" 'observe, "je" conclus...).

ii) Le contenu même du phénomène à observer a tendance à devenir de *nature technique*. C'est évidemment assez loin des phénomènes "de la nature" auxquels se référerait Lazerges. Cela ne modifie d'ailleurs en rien le processus inductif lui-même. Mais, d'une part, c'est une façon de répondre aux prescriptions multiples qui insistent sur l'importance du rapport à la technique et aux objets techniques, de l'autre, dégagé de la complexité obligée de "la nature", cela permet (en élargissant les possibilités de choix perçus comme légitimes) au "fait" d'être "simple" à loisir.

iii) L'objectif du processus est aussi bien différent. Loin des "formules", la classe de premier cycle n'a pas pour but de dégager "une loi" (du moins en général). Elle pourrait avoir celui de revenir "à l'expérience", c'est-à-dire, dans ce cadre, à l'objet technique, à la résolution de problèmes physico-techniques, mais, bien que cela soit présent dans nombre de manuels, il ne semble pas que cela soit effectivement réalisé dans les classes.

L'objectif est ici :

- *descriptif* pour l'essentiel, mais comme on ne va pas jusqu'à "la loi", les éléments relationnels entre les facteurs en cause dans une situation ne sont pas l'objet de la description. La description est elle-même de type phénoménologique, et non analytique ;

- *interprétatif* d'après les instructions elles-mêmes. Là, la différence avec la méthode naturelle est patente. Les enfants doivent accéder à certaines théories explicatives, au premier rang desquelles les théories liées au niveau microscopique.

avec des
difficultés
profondes

La rupture de méthode est totale : il n'y a aucun moyen "naturel" de passer d'un "fait" (unique qui plus est) à des modèles interprétatifs aussi complexes.

Le décalage pourrait être rempli par le recours à la vulgarisation (11), mais cela est en fait inexistant. La résistance ici n'est pas d'ordre pratique (du moins pas seulement) ; elle est d'ordre idéologique : l'option inductiviste exige à la fois que tout discours découle de l'expérience et en soit issu par induction.

Cet autre aspect du "grand écart", caractéristique de la situation actuelle, est d'ailleurs commun au 1er cycle et au 2ème cycle, que nous allons décrire maintenant.

5.3. Le "grand écart" au second cycle

- Instructions et manuels

Ainsi que nous l'avons indiqué ci-dessus, le premier cycle héritant du versant phénoménologique, le second, lui, sera présenté comme essentiellement "structurel", mais, là encore, le pas est dur à sauter et les Instructions officielles (12) demeurent relativement oecuméniques :

On note le "caractère indissociable de l'approche théorique et de l'approche expérimentale" et on précise que ce programme n'est ".... pas conçu pour former prioritairement de futurs physiciens et chimistes, mais pour amener le plus grand nombre d'élèves à prendre conscience de la valeur culturelle des sciences physiques, les faire participer aux démarches intellectuelles et expérimentales caractéristiques de cette discipline, leur faire acquérir un savoir et un savoir-faire, enfin leur permettre d'interroger efficacement un monde parfaitement marqué par l'omniprésence des produits de la technique".

On note l'importance de *"la possession des grandes lois physiques qui permettent de comprendre le monde"*.

En revanche, comme pour le 1er cycle, la vulgarisation scientifique est abordée de manière plus que réticente où dominant garde-fous et mises en garde (critique des "faux semblants").

Cependant, en entrant dans le détail des programmes, on se rend compte (1ère S et E) que si les mises en garde contre le formalisme, la "formalisation excessive", la "déduction axiomatique" abondent, l'option inductiviste concernant la partie expérimentale demeure intacte : *"pour interpréter les résultats des expériences et des phénomènes observés dans la vie quotidienne,.... faire appel très largement à l'intuition et au sens physique des élèves"*.

11. HULIN, N. (1971). Remarques préliminaires relatives à l'enseignement dit de "Technologie". *Bulletin de l'Union des Physiciens*, octobre 1977.

12. *Instructions officielles pour le Second Cycle*. CNDP, Paris, 1982.

Selon un processus que nous avons rencontré plusieurs fois déjà, les rédacteurs de manuels vont accentuer unilatéralement cet aspect, réalisant ainsi un choix décisif dans le maquis des objectifs cités : *"Nous avons voulu lui donner un caractère résolument expérimental. Les notions fondamentales de mécanique et d'électricité qu'il présente sont issues de l'observation quotidienne de la nature et des réalisations techniques de l'homme. Elles sont précisées grâce à l'interprétation d'expériences souvent réalisables par les élèves"*.

"La mathématique n'intervient que pour donner aux lois suggérées par l'expérience (nous soulignons, SJ), une expression simple" (13).

Ainsi donc, l'option idéologique phénoménologique (réservée en principe au 1er cycle) et inductiviste est pleinement maintenue, mais elle doit, au second cycle, conduire surtout à "l'essence structurelle" de la physique, d'où le terme de "grand écart" que nous avons utilisé à son propos.

C'est que deux mouvements se développent en même temps : le premier pousse à une application effective et à la généralisation des préceptes de la méthode "naturelle" ; le second pousse à la réélaboration des objectifs mêmes de l'enseignement, où la "structure" de la physique figure en première place.

- Les éléments nouveaux

La tentative de résorber le "grand écart" que nous avons décrit va conduire à des modifications du contenu de "l'expérimental".

Naturalisation du structurel

Ainsi que nous l'avions déjà vu pour le 1er cycle, l'idéologie inductiviste exclut tout élément de rupture et de relations dialectiques entre le donné phénoménologique et la conséquence de l'analyse scientifique de ce donné. Quand cette conséquence est de type "loi descriptive" (obtenue par "des mesures" par exemple), la fiction de cette continuité est déjà difficile à défendre, mais cela tend vers l'impossible quand il faut atteindre à des théories, ou plus simplement des modèles interprétatifs.

Ainsi, Cessac et Treherne (14) introduisent-ils l'attraction terrestre : *"Pour soulever et maintenir un corps quelconque, nous devons faire un effort : nous avons la sensation très nette que le corps est tiré vers le sol. Si le corps est lâché, il tombe, c'est-à-dire qu'il se rapproche du sol. Des observations familières de ce genre montrent que les corps sont attirés par la terre. Cette action de la terre sur la matière est la pesanteur"*.

13. BOTTARO ; LACOURT ; ROUZAUD. *Manuel de Seconde des Lycées*. A. Colin, Paris, 1981.

14. CESSAC ; TREHERNE. *Manuel de Secondes C et F*. Nathan, Paris, 1973.

comment
atteindre une
structure cachée
en observant
l'observable ?

trois évolutions
marquantes

On se demande, dans ces conditions, pourquoi des observations si "familières" n'ont conduit à la notion d'attraction terrestre (et plus généralement d'attraction universelle) qu'il y a quelques centaines d'années.

Ainsi aussi [voir note 13] : "*L'expérience d'Edison 1884 montre qu'un métal chauffé expulse des électrons dans le vide*". La dite expérience ne "montre" évidemment rien de tel ! (15) et "l'interprétation" (coulant de source, "naturellement") en est la suivante : "*l'électron est un constituant universel de la matière. Un métal contient des électrons très nombreux, peu liés, appelés électrons libres, animés de mouvements incessants et désordonnés (agitation thermique). Si celle-ci devient assez élevée, les électrons sont expulsés du métal*".

Les exemples abondent de ce genre de raccourcis. Ce que nous voulons surtout souligner ici, c'est que cette dimension sera inévitablement amplifiée à partir du moment où il s'agira de sortir du domaine de l'observation immédiate et de "la mesure" (cas des "interprétations" microscopiques).

Didactification approfondie des situations expérimentales

Une des façons d'échapper à ces difficultés est de construire des situations expérimentales de telle manière que le trou béant entre le phénomène et son interprétation soit autant que possible réduit. La nature et les phénomènes naturels, complexes par essence, sont en général réticents à un tel traitement. On va donc se tourner :

i) vers des *objets techniques*, qui de par la finalisation même de leurs fonctions sont souvent producteurs ou patients de phénomènes relativement délimités (cas typique des résistances, diodes, etc... en électricité) (cf. ci-dessus : "1er cycle").

ii) vers la création de *situations artificielles* et c'est évidemment beaucoup plus spectaculaire. Le processus de didactification de la situation expérimentale est là poussé à son terme. Il ne s'agit plus de "phénomènes judicieusement choisis" dans la nature, ni même d'une transposition-reconstruction de situations inspirées par des phénomènes naturels, l'histoire des sciences ou le fonctionnement d'objets techniques. Il s'agit bien de situations perçues et présentées comme des créations ex nihilo, et non redevables d'une quelconque transposition à partir d'un domaine non didactique.

L'exemple le plus typique est celui des *tables à coussin d'air* pour l'introduction de la mécanique en classe de seconde. En se débarrassant largement des frottements, ce genre de mani-

15. Les travaux de Crookes sur la nature matérielle du rayonnement cathodique datent de 1893. Ceux de Perrin sur la nature électriquement négative du rayonnement de 1897, de même que ceux de Thomson précisant la masse de l'électron.

pulations se débarrasse du même coup des humiliants tours de passe-passe conduisant de phénomènes avec frottements aux lois des mouvements sans frottements.

C'est dans un sens aussi large qu'il fallait sans doute comprendre la phrase "*les notions fondamentales de mécanique... sont issues de l'observation quotidienne de la nature et des réalisations techniques de l'homme*" (op cité), au rang desquelles il faut alors ranger les tables à coussin d'air...

Mais l'objet d'une telle didactification n'est pas comme on le croit souvent de se "débarrasser" de l'expérience et du "concret". Elle vise au contraire à *sauvegarder l'option inductiviste*, durement touchée par le "grand écart", quitte à passer par un "concret" un peu spécial...

L'opérationalisme

Les nouveaux objectifs fixés à l'enseignement de la physique conduisent donc à de substantiels changements de contenus des situations expérimentales, mais il y a aussi des modifications plus subtiles :

i) L'insistance mise sur "les fondements" de la physique concerne, on l'a vu, les grandes théories, mais elle concerne aussi, plus modestement, l'approfondissement de certains concepts-clés, et, de proche en proche, un plus grand intérêt porté aux aspects relationnels et fonctionnels entre concepts (plus, donc, que l'aspect descriptif des "Lois").

Si l'on se rapporte à certains documents de la commission Lagarrigue, cela pourrait aller de pair avec une plus grande importance donnée à la modélisation, mais ceci est contraire à l'option inductiviste. Comment donc concilier l'objectif nouveau avec la méthode ancienne ?

Une des possibilités est *l'opérationalisme*. Les concepts vont être désignés (en général en situation expérimentale) d'une manière isolée des autres concepts, mais ils vont fonctionner, "opérer". L'ensemble désignation/opération constituera alors une tentative pour sauvegarder la fiction d'une base expérimentale (toujours unique) à l'introduction d'un concept et la fiction d'un approfondissement conceptuel par la répétition de son utilisation.

"L'expérience est la source première des connaissances ; ainsi, il faut convaincre nos élèves qu'un résultat établi par l'expérimentation l'est aussi solidement que s'il l'a été après une suite de calculs rigoureux ; il n'a pas besoin d'être "démonstré". En particulier, la définition opératoire d'une grandeur peut être utilisée aussi bien que sa définition théorique (16).

16. MARCK, P. Projet de programme pédagogique. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, février 1972.

L'auteur ne perçoit que deux modes d'introduction opposés, opératoires versus théorique (qui renvoie aux oppositions inductif/déductif et concret/abstrait). C'est une limitation que nous avons le plus souvent rencontrée dans les périodes précédentes, mais surtout ici, cela permet de prétendre à une solution originale, relativement nouvelle, pour résorber la distance démarche inductive/approfondissement conceptuel.

Cette méthode, quand elle se combine avec la proposition de situations expérimentales très artificielles, peut, le cas échéant, conduire certaines parties du programme à un fort degré d'abstraction (ainsi l'enseignement de la mécanique en seconde).

ii) Le second aspect qui est lié à l'opérationalisme est celui de l'utilisation de certaines méthodes d'analyse et de description. Il s'agit principalement du recours au *tracé graphique*. D'un côté, cela permet une rénovation des méthodes classiquement utilisées, en général considérées comme vétustes au regard de l'état des techniques savantes ou technologiques ; de l'autre, et surtout ici, il s'agit de remplacer l'ancien aspect "mesure" dans la démarche inductive, en diversifiant considérablement les techniques. Ceci se relie à l'option opérationaliste car cela permet de remplacer une effective interrogation relationnelle sur certaines grandeurs par une multiplication des occasions de les citer et de les mesurer.

Ainsi, en Seconde, le tracé des caractéristiques courant/tension prend-il une importance spectaculaire.

6. QUELQUES CONCLUSIONS

L'étude que nous avons menée nous a permis de montrer que le recours didactique à l'expérimental remplit deux fonctions principales :

i) Il joue un rôle important -souvent décisif- dans la proposition du problème physique à étudier. Le moyen le plus utilisé à cette fin est celui de la monstration, processus permettant à la fois de désigner l'objet d'étude et d'en présenter la phénoménologie. Bien que se présentant aux élèves comme une donnée brute, la monstration est le résultat d'une construction didactique minutieuse et complexe.

ii) Le recours à l'expérimental joue un rôle dans l'introduction du modèle. Celui-ci n'est ni "établi", ni "démonstré" ; il est, au mieux, admis par la classe comme un cadre plausible qui permet de rendre compte de la phénoménologie désignée par la monstration.

Dans ce cadre très général, plusieurs options demeurent possibles. L'une d'elles est l'option inductiviste. Demeurée essentiellement théorique pendant plusieurs dizaines d'années en France, elle s'est lentement développée dans la pratique,

avant de s'imposer complètement : pendant tout ce temps, elle est restée la référence obligée des pédagogues et des professeurs de physique.

Dans cette option, toute connaissance est réputée découler de la monstration initiale. Dans ces conditions, le moment principal est celui de "l'observation" et de la "mesure". La conséquence attendue est la "mise en évidence" des lois.

L'option inductiviste prétend traiter tout objet à enseigner sur ce mode (elle se montre ainsi hostile à la vulgarisation scientifique). Elle va alors avoir tendance à bâtir un type de rapport à l'expérimental tout à fait spécifique, où le traitement qu'elle préconise puisse se dérouler sans coup férir.

Les traits les plus saillants en sont les suivants :

i) la tendance à avoir recours à des "expériences fondatrices", dans lesquelles :

- la correspondance apparaît forte entre le phénomène étudié et les "faits" pertinents à considérer ;
- le maximum de "faits" est présent dans la même expérience (de manière à éviter d'avoir à les relier ultérieurement), pour peu que la monstration reste simple ;
- le modèle à introduire affleure presque de l'expérience ("mise en évidence").

L'ensemble de ces traits conduit alors à l'utilisation systématique d'expériences prototypiques.

ii) Bien que grandement facilitée par le recours à ce genre d'expérience prototypique, le passage de l'observation à la loi demeure délicat. C'est pourquoi l'option inductiviste tend à présenter le plus rapidement possible la "loi", quitte à en vérifier ultérieurement la validité.

iii) Cette option rencontre enfin des difficultés supplémentaires (parfois insurmontables) si l'on vise une physique plus structurale que descriptive.

Dans ce processus de *validation opératoire*, le rapport à l'expérimental est ainsi fondamentalement diminué, contrairement justement au projet des défenseurs de l'option inductiviste.

Pourtant, même dans le cadre des contraintes générales pesant sur une utilisation de l'expérimental en situation didactique, d'autres options pourraient être envisagées, comme celles qui sont centrées sur une démarche hypothético-déductive et les processus de modélisation. Ces dernières font d'ailleurs l'objet de nombreux travaux dans la recherche en Didactique de la Physique, mais, il faut le reconnaître, demeurent encore fortement marginales dans l'enseignement courant en France.

Samuel JOHSUA
Faculté des sciences,
Université de Luminy,
Marseille