

## Le niveau qualitatif dans l'initiation aux Sciences physiques

par Marc ANTOINE,  
*Ecole Normale du Val-d'Oise*  
Avenue de la Grande-Ecole - B.P. 308  
95027, Cergy-Pontoise Cedex.

---

### Résumé.

Cet article se propose de mettre en évidence l'existence d'un niveau qualitatif dans l'initiation aux Sciences physiques, en montrant comment, à travers des activités de manipulation et de communication et par la mise en œuvre de raisonnements rigoureux basés sur la logique « concrète des attributs et des relations, les enfants de l'École élémentaire peuvent commencer à élaborer certains concepts fondamentaux de la physique.

Cette conception d'une initiation à la physique sans relations numériques ni modèles mathématiques est illustrée par deux exemples qui explicitent, à travers l'analyse de situations de classe, comment des enfants de C.P. et de CE 2 s'approprient les notions de solide, liquide et gaz, et comment des enfants de C.M. abordent la notion de raideur d'un ressort.

---

Jusqu'à ces dernières années, les élèves des Lycées n'abordaient l'étude des Sciences physiques qu'à partir du second cycle du secondaire. L'enseignement de cette discipline était alors essentiellement basé sur l'établissement de « lois » mettant en relation numérique diverses grandeurs physiques, la compréhension et la manipulation de ces lois nécessitant la maîtrise de certains outils mathématiques plus ou moins élaborés tels que la linéarité, la proportionnalité, les compositions vectorielles, la dérivation ou l'intégration, etc.

Vers 1970, une tentative de changement dans la conception de la formation scientifique scolaire fut amorcée par l'introduction à l'École élémentaire d'activités d'éveil scientifiques dont une des orientations concerne la Physique et la Technologie [1]. Au niveau des objectifs de connaissances, ces activités d'éveil visent la construction progressive chez les enfants de certains concepts fondamentaux tels que matière, vitesse, force, etc. Un effort parallèle de rénovation aboutit à la mise en application

d'un programme de Sciences physiques dans le premier cycle du Secondaire à partir de la rentrée scolaire 1977. Ce nouveau programme traite des domaines essentiels de la Physique (chaleur, température, états de la matière dès la 6<sup>e</sup>, électromagnétisme en 5<sup>e</sup>, optique en 4<sup>e</sup>, etc.) en accordant une place prépondérante à l'expérimentation et l'investigation par les élèves eux-mêmes, et en ne faisant qu'un appel assez restreint au langage et à l'outil mathématiques.

Cette nouvelle conception de l'enseignement des Sciences physiques a pour résultat de faire rebondir la polémique sur la valeur intrinsèque d'une physique dite qualitative. En effet, d'aucuns ont tendance à penser qu'il n'existe pas de physique autre que quantitative, basée sur la définition d'un certain nombre de grandeurs mesurables, interdépendantes selon des « lois » ne pouvant être explicitées que dans un formalisme mathématique. Corrélativement, toute connaissance qualitative de ces domaines, c'est-à-dire excluant par définition toute relation numérique de type fonctionnel entre grandeurs n'est pas à leurs yeux de la « vraie » physique. Dans le cas où une certaine valeur formatrice lui est attribuée, elle reste conçue sur le mode des « leçons de choses » ou des « sciences d'observation ».

Sans aucunement nier les liens étroits et évidents ayant toujours existé entre la physique et les mathématiques [2], ni le véritable « rapport de constitution » qui lie une théorie physique et sa formalisation à travers un langage mathématique, nous allons dans cet article essayer de montrer qu'il existe néanmoins une véritable physique qualitative, ou plus exactement un niveau qualitatif de la physique, base de la physique quantitative classique en ce sens qu'il permet aux enfants de l'Ecole élémentaire (ou même du premier cycle) de construire certains concepts fondamentaux et de réaliser une première approche opératoire de certaines grandeurs physiques. Dans un premier temps, nous tenterons de préciser ce que peut recouvrir le terme « qualitatif », puis nous essaierons de montrer par l'intermédiaire de deux exemples l'importance que peut revêtir dans l'enseignement cet aspect de la physique.

### QU'EST-CE QUE LE QUALIFICATIF EN PHYSIQUE ?

Pour préciser cette notion générale de « physique qualitative », intéressons-nous à l'ensemble des activités expérimentales, des raisonnements, des descriptions, etc., qui visent à permettre de mieux appréhender et mieux comprendre le monde physique dans lequel nous vivons, sans toutefois faire intervenir pour cela des relations numériques entre les grandeurs physiques (mais sans forcément exclure les mesurages comme il sera précisé plus loin) [3].

Un premier aspect de cette « physique qualitative » consiste en ce qu'on pourrait appeler « le métaphorique » : il s'agit essentiellement d'un discours visant à évoquer la réalité physique et qui utilise un langage imagé pour établir des analogies avec des phénomènes, structures ou notions plus facilement accessibles ou déjà connus. Il en est par exemple ainsi de la structure microscopique d'un cristal métallique décrite par comparaison avec un empilement dans l'espace de petites billes sphériques jointives qui sont censées représenter les atomes. Il en est de même de l'analogie hydraulique en électricité par laquelle on peut concevoir une première représentation du courant électrique par comparaison avec le courant d'eau dans une canalisation. Ce type d'analogie « métaphorique » ne constitue pas en lui-même un « modèle » scientifique car il ne permet pas de maîtriser complètement la correspondance entre les diverses variables et relations intervenant dans les deux phénomènes mis en parallèle. Ce type de discours « métaphorique » — que l'on retrouve couramment dans la vulgarisation à tous les niveaux et qui est trop souvent considéré comme la seule dimension qualitative de la physique — est en fait très important pour les enfants (et même les adultes) car il concerne certains aspects du fonctionnement des représentations qu'ils se forment. Néanmoins, on ne peut considérer la réflexion globale autour de ces évocations analogiques comme constituant en soi une véritable activité scientifique, contrairement à ce qui se passe dans le domaine de la physique quantitative lorsque le modèle mathématique décrivant un phénomène quelconque par le biais de relations entre diverses grandeurs physiques s'avère être « analogue » (relations de même forme) à celui utilisé pour décrire un autre phénomène déjà étudié. Ainsi, les équations de l'électrostatique s'avèrent déjà être de la même forme que celle régissant d'autres phénomènes tout à fait différents comme, par exemple, la propagation de la chaleur ou l'écoulement d'un fluide.

Un deuxième aspect de la physique, que l'on classe généralement dans le qualitatif, englobe tout ce qui est raisonnement par passage à la limite et extrapolation, évaluation des ordres de grandeur, raisonnements s'appuyant sur des symétries ou des principes de conservation, etc. Ce domaine est en fait un « pseudo-quantitatif » ; ou mieux un « méta-quantitatif » car sa pratique exige en général la maîtrise préalable de relations quantitatives pour utiliser les informations qu'elles contiennent ; nous ne nous en préoccupons donc pas dans le cadre de cet article [4].

Mais il existe un troisième domaine, généralement méconnu, qu'on pourrait appeler « physique qualitative véritable ». Il est fondé sur un raisonnement utilisant de manière contrôlée la logique des attributs et des relations [5] et constitue, pour les

enfants, une activité scientifique authentique. A partir d'une approche essentiellement manipulative des propriétés des corps, les enfants y mettent en œuvre des pratiques opératoires et symboliques leur permettant de construire sur un ensemble d'éléments des classes d'équivalence ou des relations d'ordre par rapport à telle ou telle propriété [5 bis]. C'est ensuite par un processus d'identification à ces dernières que commencent à s'élaborer certains concepts fondamentaux de la physique (solide, liquide, gaz, métal, élément chimique, corps conducteurs ou isolants, etc.).

Nous nous proposons donc maintenant, par l'étude détaillée de deux exemples précis, de montrer comment des enfants de l'Ecole élémentaire accèdent à certaines notions dans le cadre de cette « physique qualitative véritable ». Le premier exemple concerne la construction des notions de solide, liquide et gaz en classe de Cours préparatoire et de Cours élémentaire 2<sup>e</sup> année. Il a pour but de montrer comment, sur la base de manipulations menées sur différents objets en fonction de certaines de leurs propriétés, les enfants peuvent faire évoluer leurs premières représentations intuitives en même temps que développer leur compétence linguistique, ce qui revient à construire explicitement les classes d'équivalence que sont les concepts de solide, liquide, ou gaz et fixer l'usage des mots qui les signifient. Dans le second exemple, on analyse comment des enfants de Cours moyen peuvent réaliser une première approche qualitative de la notion de raideur d'un ressort. C'est ici, à travers une expérimentation développée en vue de ranger plusieurs ressorts du plus raide au moins raide que cette notion va progressivement s'élaborer et évoluer de façon opératoire chez les enfants. Cette première conceptualisation servira par la suite de point de départ à la construction du concept relationnel de raideur et de son expression mathématique.

### 1) Construction des notions de solide, liquide et gaz [6].

Avant même toute activité scolaire sur ce sujet, les enfants se font certaines représentations spontanées à propos du monde matériel dans lequel ils vivent et ont à leur disposition un certain vocabulaire pour décrire ce dernier. Ainsi, ils manipulent et utilisent couramment toutes sortes d'objets dont la plupart sont, bien sûr, des solides, mais ils connaissent aussi certains liquides qu'on rencontre fréquemment dans la vie de tous les jours : l'eau, divers liquides alimentaires, certains liquides employés pour le ménage, etc.

Au niveau du vocabulaire, le terme « liquide », assez souvent employé par les adultes aussi bien en tant qu'adjectif qu'en tant que nom commun, est connu par une assez forte proportion

d'entre eux, qui le considèrent généralement comme synonyme d'un liquide particulier. Ainsi, si on leur demande ce que signifie pour eux ce terme de « liquide », ils répondent par exemple (dans un Cours préparatoire, enfants de 6 à 7 ans) : « c'est pour faire la vaisselle », ou « c'est pour laver les vitres », faisant par-là référence à des situations précises dans lesquelles ils ont entendu prononcer ce mot. Le terme solide, par contre, s'il est également connu par la plupart des enfants, ne revêt pas pour eux de signification relative à l'état physique, mais est essentiellement synonyme de « résistant » ou « ne se cassant pas facilement ».

On peut proposer aux jeunes enfants (dès la Maternelle grande section ou le Cours préparatoire) divers jeux et manipulations qui leur permettront de dépasser ces premières représentations intuitives pour aller vers la construction progressive et contrôlée des concepts de solide et éventuellement gaz, construction qui sera prolongée dans un deuxième temps par celle des concepts d'état solide, état liquide et état gazeux d'une même substance.

Ainsi, dans un Cours préparatoire, la Maîtresse a demandé aux enfants de reconnaître et de classer un certain nombre d'objets comprenant divers récipients remplis de différents liquides (eau, grenadine, huile, lait, café, etc.) et des solides (jouets, outils, échantillons de bois, de plastique, de polystyrène, de tissus, etc.). Suivant le critère qu'ils ont choisi (couleur, dimension, utilité, etc.), les enfants qui travaillaient par groupes ont alors abouti à différents classements possibles, l'un de ceux-ci consistant en une séparation intuitive des liquides et des solides. Une discussion entre la Maîtresse et les enfants sur ce classement a alors permis à ceux-ci de *rechercher une propriété pertinente* pour caractériser les liquides ce qui, pour eux, consistait à essayer de répondre à la question : « Pourquoi avez-vous mis toutes ces choses ensemble ? » A cette occasion, des critères du genre « parce qu'on y voit à travers » ou « parce que c'est mou », qui sont proposés spontanément par certains enfants sont écartés après discussion par la classe qui argumente son refus par des contre-exemples : « on ne voit pas à travers le café », « la pâte à modeler, c'est mou aussi, et c'est dans l'autre groupe ». Finalement, c'est la propriété de « pouvoir couler » qui est retenue par les enfants qui disent alors avoir regroupé « tout ce qui coule », « ce qu'on verse », ou encore « ce qui est dans des bouteilles et des verres ».

Par cette activité, les enfants ont en fait construit sur un ensemble de corps une classe d'équivalence par rapport à la propriété « peut couler », et c'est par un processus *contrôlé* d'identification à cette classe que se construit scolairement la notion de liquide, en même temps que s'opère un réajustement lexical.

En effet, le terme « liquide », qui était déjà connu par certains, prend alors une nouvelle signification à la fois plus précise et plus extensive. Le mot « liquide » ne fait plus alors seulement référence à un produit particulier, mais s'applique désormais à toute une collection de corps que les enfants ont devant eux et qui « se ressemblent » par une de leurs propriétés. Tout ceci constitue la première étape de la construction de cette notion de « liquide » qui, à terme, (plus tard dans la scolarité), s'identifie en fait à la classe de *tous* les corps susceptibles de couler. La conceptualisation achevée de cette notion nécessite donc de l'enfant qu'il puisse imaginer des expériences, généraliser une propriété sur un nombre indéfini de corps, c'est-à-dire raisonner sur des hypothèses et non plus sur des faits réellement observés.

C'est par un processus similaire que peut se construire de façon contrôlée le concept de « solide », et ceci par opposition à celui de « liquide » un objet (« objet » étant pris ici dans son sens le plus général d'échantillon de matière) qui ne présente pas la propriété de pouvoir couler et qui ne peut pas, de ce fait, appartenir à la classe des liquides appartiendra donc à l'autre classe et sera appelé « solide ». Mais l'expérience montre ici que les enfants rencontrent plus de difficultés à conceptualiser cette notion là que celle de liquide. La source des difficultés qui est double réside principalement dans leur connaissance préalable du terme « solide » en tant que synonyme de « non fragile ». En effet, ils rechignent à accepter qu'à un même terme (un même signifiant) puisse correspondre deux sens (deux signifiés) tout à fait différents, et ceci d'autant plus que certains objets devant appartenir à la classe des solides sont connus par les enfants comme justement n'étant pas solides. Ainsi, certains élèves refusent d'appeler « solides » des échantillons de verre (« ça se casse »), de papier fin (« ça se déchire »), de polystyrène (« ça se défait »), ou encore tout autre corps facilement déformable tel que pâte à modeler, mousse, ou éponge (« c'est mou ») (il y a ici confusion entre « solidité » et rigidité, ou non-fragilité).

Enfin, un autre obstacle rencontré par les enfants consiste en la difficulté qu'ils ont pour dégager une propriété caractéristique de l'ensemble hétéroclite des objets constituant la classe des solides. En effet, contrairement aux liquides qui sont tous dans un récipient et qui procurent tous à peu près la même sensation si on les touche, les solides que les enfants ont devant eux ne se ressemblent ni par leur aspect, ni par les sensations qu'ils engendrent lors des manipulations. En outre, la propriété habituellement citée comme étant caractéristique des solides, à savoir « a une forme propre », est refusée par certains enfants vis-à-vis des objets mous et facilement déformables (morceau de tissu, pâte à modeler, éponge, etc.).

Il s'en suit que la seule propriété qui soit pour eux pertinente — et qu'ils ont d'ailleurs inconsciemment utilisée dans leur classement — reste en fait la négation de la propriété caractéristique des liquides : « ne coule pas ». Mais il est beaucoup plus difficile pour des enfants de cet âge de raisonner sur des propriétés énoncées sous forme négative, qui ne suggèrent aucune action, plutôt que sur des propriétés énoncées sous forme positive qui font appel à une manifestation réelle et observable. Aussi sont-ils réticents vis-à-vis de l'existence même de cette classe, par voie de conséquence vis-à-vis du concept de solide en tant que tel. Il apparaît à travers leur discours que les enfants sont tentés de réserver ce nom à une sous-classe qui ne comprendrait que les corps rigides, assez durs, et non fragiles — ce qui est d'ailleurs légitime, à condition de savoir quoi dire des autres corps non pris en compte.

La construction contrôlée à l'école élémentaire de la notion de gaz peut procéder elle aussi d'un processus d'identification à une classe d'équivalence tout en présentant des difficultés spécifiques du fait que l'enfant doit alors conceptualiser la notion sans support visuel direct, les quelques gaz habituellement rencontrés étant incolores et donc invisibles. Une activité développée sur ce sujet dans un Cours élémentaire 2<sup>e</sup> année (enfants de 8 à 9 ans) a permis de montrer par une discussion préalable que la majorité des enfants associaient au terme « gaz » soit « ce qui sert à faire cuire » (c'est-à-dire le gaz de ville ou le gaz en bouteille), soit « les bulles » visibles au sein des boissons gazeuses. Quelques-uns, plus rares, mentionnaient le gaz d'échappement des voitures. Le Maître a alors demandé aux enfants si, dans les trois cas, on avait affaire à la « même chose », c'est-à-dire, en d'autres termes, s'il s'agissait d'une même entité appelée « gaz » qu'on retrouverait dans trois situations différentes. La majorité des enfants pensaient que non et justifiaient leur réponse en faisant appel à certaines propriétés : « ça ne sent pas pareil », « le gaz des voitures, des fois, c'est blanc », « le gaz des bouteilles, il brûle », etc. Les enfants avaient ainsi pris conscience qu'il s'agissait de trois « substances » différentes (nous employons ici le terme « substance », bien que tous les enfants ne soient pas convaincus de l'existence matérielle des gaz). Pourquoi ces substances étaient-elles toutes trois appelées gaz ? Les enfants ont alors cherché quelles propriétés communes elles présentaient : « ça s'échappe », « ça fait des bulles dans l'eau », « on ne peut pas l'attraper et on ne le voit pas », « ça s'envole en l'air », etc.

Il s'agit bien ici de la construction, à partir des trois substances, d'une classe d'équivalence à laquelle s'identifie, dans l'esprit de l'enfant, le concept général de gaz. Il n'y a pas encore, à ce niveau, de problème de vocabulaire car le mot « gaz » était

déjà employé auparavant pour caractériser les trois substances, aussi est-il alors intéressant de discuter avec les enfants du problème de l'air, de l'existence duquel ils ont généralement conscience à cet âge-là, et qui s'avère, de par ses propriétés, devoir appartenir à la classe des gaz. Le fait que l'air puisse être appelé « gaz » confère à ce dernier terme une signification plus générale et constitue pour les enfants un pas de plus vers l'abstraction de la notion de gaz qui, jusque-là, « collait » à quelques exemples particuliers. Comme dans le cas des liquides, on peut considérer que l'étape finale de la construction de cette notion consiste, pour l'enfant, à appeler « gaz » tout corps susceptible de présenter une des propriétés reconnues comme caractéristique.

En conclusion de cet exemple, nous nous contenterons de signaler, sans le développer, que la construction de ces notions de « solide », « liquide » et « gaz » nous semblent un préalable à celle d'état solide, état liquide et état gazeux d'une même substance, ce dernier concept apparaissant comme l'invariant lors des changements d'état physique des corps.

## II) Construction de la notion de « raideur » d'un ressort.

Les tout jeunes enfants ont généralement tendance à désigner par « ressort » tout objet ayant une forme sensiblement hélicoïdale, c'est-à-dire qu'ils associent à ce terme une certaine classe d'objets similaires par la forme sans se soucier ni des propriétés éventuelles de ces derniers, ni du matériau qui les constitue. Au niveau du Cours Moyen, par contre, diverses expériences développées dans plusieurs classes nous ont permis de constater qu'il n'en était plus de même et que plus de 90 % des enfants associaient à « ressort » l'idée d'élasticité, même si le terme reste le plus souvent employé dans le seul cas des ressorts à « boudin » : « un ressort, ça s'étend et puis ça revient quand on le lâche ». La majorité des enfants pensent également que tous les ressorts sont en fer, « parce que le fer, c'est souple et rebondissant, et ça ne se casse pas », et quelques-uns ont une certaine expérience « vécue » de la limite d'élasticité : « les ressorts fins si on tire trop fort dessus, ils ne reviennent plus ; ils restent tout droits ».

Les activités développées sur ce sujet en Cours Moyen ont commencé par une discussion à propos des ressorts apportés en classe par les élèves [7]. Afin de les comparer et de reconnaître à quoi pouvait servir chacun d'eux, les enfants ont observé les différents ressorts et les ont manipulés, c'est-à-dire qu'ils ont essayé de les déformer (allonger, comprimer, courber, vriller, etc.). C'est alors pour rendre compte du fait que certains ressorts sont plus difficiles à déformer que d'autres qu'ils sont conduits

à utiliser une première fois le terme « raide ». Mais se pose à ce niveau-là un problème qui n'est pas seulement de vocabulaire : les ressorts que les élèves ne peuvent pratiquement pas déformer (surtout allonger ou comprimer) sont qualifiés par eux de « durs », les termes « forts » et « raides » étant beaucoup plus rarement employés. Par contre, les ressorts qu'ils peuvent facilement déformer sont dits « souples », ou quelquefois « mous ». L'emploi préférentiel par les enfants de « durs » et « souples » peut s'expliquer par l'usage qui est fait de ces termes dans la vie courante : on dit par exemple d'une voiture qu'elle a la suspension dure ou souple, d'un fauteuil qu'il est dur ou qu'il est souple, etc. De plus, « dur » est associé à l'idée de difficulté, et s'applique donc bien pour les enfants au cas des ressorts qu'ils n'arrivent pas à déformer. Une discussion entre le Maître et les élèves autour de la signification des termes « dur » et « raide », rapprochés de leurs contraires respectifs « mou » et « souple » aboutit finalement à la décision de réserver l'emploi de « dur » et « mou » lorsqu'il s'agit de qualifier des matériaux et l'emploi de « raide » et « souple » pour les ressorts. Mais il s'avèrera par la suite que la notion de dureté n'étant qu'ébauchée dans l'esprit de certains enfants, ceux-ci continueront d'employer « dur » comme synonyme de « raide » à propos des ressorts [8].

Quoi qu'il en soit, il apparaît donc qu'une première approche de la notion de raideur consiste — pour certains enfants du moins — à séparer l'ensemble des ressorts en deux classes d'équivalence, celle des ressorts raides et celle des ressorts non raides, ou souples. A ce niveau-là, la raideur apparaît comme une propriété absolue, qu'un ressort a ou n'a pas, et qui s'identifie à l'impossibilité de le déformer (avec la seule force musculaire).

Mais très vite, ce premier classement apparaît aux enfants comme peu satisfaisant pour plusieurs raisons. Tout d'abord, certains ressorts paraissant indéformables à certains s'avèrent ne pas l'être pour d'autres (qui tirent plus fort). De même, les élèves ressentent la nécessité d'exprimer que parmi tous les ressorts qu'on peut allonger, certains offrent plus de résistance que d'autres à la déformation. Toutes ces considérations les amènent à concevoir alors la raideur comme une nouvelle propriété, relative cette fois en ce sens que son existence se justifie par le besoin de comparer deux ou plusieurs ressorts, et définie de la façon suivante : « Le grand (ressort) est plus facile à tirer, il est plus souple » ; « c'est celui-là le plus dur à allonger, c'est le plus raide ». Cette définition de la raideur consistant à associer à ce terme la plus ou moins grande difficulté qu'on a pour allonger le ressort est opératoire en ce sens qu'elle est associée à une activité de rangement des ressorts du plus raide au moins raide.

A ce moment-là, une recherche (proposée par le Maître) des différents facteurs « qui vont faire que tel ressort est plus raide

que tel autre » va permettre aux enfants de mieux abstraire encore cette notion en la différenciant de l'aspect visuel du ressort. En effet, en observant les ressorts qu'ils viennent de ranger, ils s'aperçoivent que certains, très différents d'aspect, s'avèrent être de raideur sensiblement équivalente, alors que d'autres qui paraissent identiques à beaucoup de points de vue (longueur, diamètre) ont, en fait, des raideurs très différentes. Ils émettent alors quelques suppositions quant aux facteurs déterminants : « Si le fil est gros, le ressort est plus raide » s'il est fin, il est plus souple », « il y a aussi si les tours sont serrés ou pas », « mais aussi, il y en a qui ont plus de fil de fer (qui sont plus longs) ». De la discussion, ainsi que d'une expérimentation plus systématique (comparaison des ressorts deux à deux avec isolation d'un facteur), il ressort que toutes les caractéristiques de forme ainsi que le matériau peuvent avoir une influence sur la raideur et par suite, qu'on ne peut pas tirer sûrement de conclusion sur le fait que tel ressort est plus raide que tel autre à la seule vue de ces derniers.

Tout ceci amène progressivement les enfants à ne plus considérer cette notion de raideur que par rapport à la difficulté plus ou moins grande éprouvée pour étirer les ressorts, et non plus par rapport à leur aspect visuel.

Mais, dans le cours même de l'activité de rangement, certains des élèves avaient déjà pris conscience des inconvénients que présente la méthode adoptée pour comparer les ressorts. Cette dernière, en effet, basée sur des impressions, des sensations musculaires, conduit à l'indécision ou à des désaccords entre les enfants lorsque les ressorts comparés sont de raideur voisine. Le manque d'objectivité et de sélectivité inhérent à cette première définition de la raideur conduit alors l'ensemble de la classe à réfléchir sur une « meilleure méthode » pour ranger les ressorts du plus raide au moins raide. Voici quelques propositions émises par les enfants à ce sujet :

- « il faudrait voir combien il faut tirer pour les allonger » ;
- « on pourrait accrocher des poids... » ;
- le maître : « est-ce qu'on a absolument besoin de poids ? » ;
- « non, on n'a pas besoin de poids, on peut accrocher n'importe quoi... » ;
- « oui, mais il faudrait plusieurs choses, les mêmes » ;
- « ah oui ! on pourrait accrocher les... choses, enfin les poids, et on voit comment ils (les ressorts) s'étirent. S'il s'étire plus ; c'est qu'il est plus... heu... souple, enfin, moins dur, moins raide ».

A partir de ces extraits de dialogue, on peut tout d'abord remarquer que la première proposition, qui semble constituer une extension logique de la première méthode de comparaison — puisque l'élève propose ici de comparer quantitativement (« combien ») la force avec laquelle il faut tirer sur les ressorts « pour les allonger » — n'aboutit pourtant pas, par la suite, à la mise en place d'un processus expérimental. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il est beaucoup plus difficile pour les enfants de raisonner à partir d'une comparaison de forces (concept mal maîtrisé), plutôt qu'à partir d'une comparaison de longueurs. Par contre, la deuxième proposition, qui conduira effectivement à la mise en place d'un dispositif expérimental, correspond à une nouvelle définition de la raideur relative entre plusieurs ressorts, en ce sens qu'elle associe maintenant directement cette notion à une longueur (« s'il s'étire plus, c'est qu'il est... moins raide »).

Signalons à ce sujet que bien que les enfants emploient les termes « s'allonger », « allongement », ou « s'étirer », l'expérience a montré qu'ils ont, au départ, tendance à ne considérer que la longueur totale du ressort. Ce n'est que lorsqu'ils sont réellement confrontés au problème pratique de la comparaison et qu'ils ont accroché la même masse à différents ressorts placés côte à côte, qu'ils prennent conscience que comparer les longueurs à ce moment-là n'a pas de signification, qu'il faut tenir compte également de la longueur « au repos », c'est-à-dire qu'il faut raisonner sur les allongements. Pour ce faire, les enfants sont donc amenés à repérer la position de l'extrémité de chaque ressort tout d'abord au repos, puis soumis à un certain poids, et enfin à comparer entre elles les distances qui séparent les deux repères et qui correspondent aux allongements. Cette comparaison se fait directement si les allongements sont très différents, mais il s'avère nécessaire dans d'autres cas de les mesurer. Certains élèves réalisent alors un tableau regroupant les allongements correspondant aux différents ressorts, établissant, à partir de cela, une relation d'ordre sur les ressorts par rapport à l'allongement, qu'ils identifient à une relation d'ordre inverse par rapport à la raideur (à allongement plus grand, correspond ressort plus souple, ou moins raide).

Il est important de remarquer, à ce sujet que, même si les enfants sont amenés à utiliser la valeur numérique de la mesure des allongements pour ordonner les ressorts, cela ne signifie pas pour autant qu'ils raisonnent dans le domaine du quantitatif. En effet, le mesurage ne sert ici qu'à objectiver et rendre plus précises les observations visuelles directes, ou bien encore à « emmagasiner » de l'information (c'est le cas pour certains groupes d'élèves qui procédaient à l'accrochage d'un même objet

successivement à chaque ressort). Les enfants n'en sont donc encore là qu'à un niveau qualitatif de l'élaboration de la notion de raideur ; il n'y a pas eu en effet de définition de cette dernière comme étant un invariant fonctionnel caractéristique du ressort.

Il se trouve néanmoins quelques rares élèves qui font des remarques du genre : « ce ressort s'allonge du double de l'autre, il est plus souple du double,... enfin, la moitié moins raide ». Ce type de remarque — qui semble être le signe d'une identification véritable de la raideur avec l'allongement du ressort — permet au Maître d'inviter les élèves à réfléchir sur l'incidence que peut avoir sur les résultats expérimentaux le choix de l'objet ou de la masse marquée suspendue aux ressorts. Il les amène ainsi à se poser les questions suivantes : « Si ce ressort s'allonge deux fois plus que l'autre avec 200 g, en sera-t-il de même avec n'importe quel autre poids ? » ; « Ce ressort s'allonge un peu plus que celui-là avec 100 g » (on a dit qu'il était un peu moins raide). Est-ce qu'on aurait trouvé pareil si on avait utilisé un autre poids [9] plus grand, ou plus petit ?) Cela revient donc, pour les élèves, à se demander si la relation d'ordre établie par rapport à la raideur à partir des allongements dus à un même poids se trouve conservée lorsqu'on change le poids ; c'est-à-dire, en d'autres termes, que cela revient encore à se demander si la raideur en tant que propriété ordinale peut apparaître comme un invariant qualitatif pour l'ensemble des ressorts. Sur ce sujet, l'avis des enfants est très partagé. Certains pensent que l'ordre sur les ressorts sera conservé, parce que « il n'y a pas de raison que ça change », d'autres pensent le contraire (« le gros ressort, plus il s'allonge et plus il est raide ; le fin il est toujours pareil », « le grand ressort, il est moins raide au début, mais après il est plus raide quand le poids est lourd »), mais la majorité des élèves hésite à se prononcer. Ils sont donc conduits à développer une expérimentation consistant à mesurer l'allongement de plusieurs ressorts pour différentes masses suspendues (le Maître favorise alors l'emploi de masses marquées dans quelques groupes afin de pouvoir, par la suite, exploiter les résultats numériques). Les enfants organisent leurs résultats que certains présentent sous la forme d'un tableau à double entrée ; l'examen de celui-ci leur permet alors de faire diverses remarques.

La première d'entre elles constitue la réponse à la question posée préalablement, à savoir que l'ordre sur les ressorts reste le même quelle que soit la masse suspendue. Cette constatation représente une étape importante dans l'élaboration de la notion de raideur car celle-ci apparaît, à partir de là, comme dépendant uniquement de la nature même des ressorts, et ne dépendant pas de la façon dont on s'y prend pour les comparer : dire qu'un

ressort A est plus raide qu'un ressort B signifie alors que A s'allongera moins que B quel que soit le même poids auquel les deux sont soumis.

Enfin, certains enfants font des constatations d'ordre quantitatif à partir de leur tableau de résultats. Par exemple, lorsque les allongements de deux ressorts se trouvaient être dans un rapport simple et facilement repérable (2, 3, 10, etc.), ils remarquent que ce rapport reste sensiblement identique pour toutes les masses suspendues (aux erreurs de mesure près). Les élèves sont alors tentés de dire que tel ressort est deux fois, trois fois plus raide quel tel autre. Cette introduction de considérations réellement quantitatives nous fait quitter pour la première fois le niveau qualitatif ; mais la proposition est abusive en l'absence d'une définition quantitative de la raideur.

C'est par la mise en relation terme à terme de la série des poids avec la série des allongements d'un seul et même ressort que certains enfants constatent qu'à un poids 2, 3 ou X fois plus grand correspond un allongement à peu près 2, 3 ou X fois plus grand, donc qu'en d'autres termes, il y a un opérateur multiplicatif qui permet de relier poids et allongement. Ce n'est qu'à partir de ce moment-là que les enfants peuvent accéder à une définition mathématisée de la raideur en tant que grandeur mesurable, définie même par un seul ressort ; ils assimilent en fin de compte celle-ci à l'opérateur qui fait passer de la série de nombres représentant l'allongement à la série de nombres représentant le poids.

Remarquons, pour conclure sur cet exemple, que l'ensemble des activités préalables qui aboutissent aux définitions qualitatives successives de la raideur relative entre plusieurs ressorts préparent les enfants à la compréhension et à l'acquisition de la définition mathématisée de cette grandeur car ils peuvent retrouver à travers celle-ci tous les aspects physiques concrets qui fondaient les anciennes définitions. Par exemple, l'ordre sur les raideurs correspond bien à l'ordre préalablement établi sur les ressorts : un ressort plus raide qu'un autre suivant la définition qualitative se trouve aussi avoir une raideur plus grande numériquement. Ce même, un ressort qui avait été abusivement qualifié de « 2 fois plus raide qu'un autre » s'avère bien avoir en définitive une raideur 2 fois plus grande que celle de l'autre.

En conclusion de cet article, nous remarquerons que cette première approche qualitative d'une notion physique, que nous venons d'étudier dans le détail pour quelques cas particuliers, fonctionne en fait de façon opératoire dans l'élaboration de beaucoup de concepts fondamentaux de la physique. Nous nous contenterons d'évoquer, par exemple, les concepts de conducteur

ou isolant électrique et de métal, tous trois identifiables à des classes de corps présentant certaines propriétés particulières, le concept de résistance (électrique) plus ou moins grande d'un échantillon de matière mis en relation, par exemple, avec la luminosité plus ou moins grande d'une ampoule insérée dans le circuit donné, et enfin le concept de vitesse plus ou moins grande d'un mobile mis en relation avec la distance plus ou moins grande parcourue par ce mobile pendant un certain laps de temps.

Nous voudrions aussi dire notre conviction que cet ensemble d'activités expérimentales et langagières telles que nous les avons décrites à travers les exemples, et qui aboutissent à la construction logiquement contrôlée de véritables concepts, constituent pour les enfants de l'Ecole élémentaire d'authentiques activités scientifiques et justifient, de ce fait, leur appartenance à part entière à la discipline traditionnellement appelée « Physique ».

---

NOTE. — L'auteur remercie les Instituteurs qui ont collaboré à ses travaux, et en particulier MM. BOUTET, GENIYES et LAGARDE.

Il remercie également l'I.N.R.P. et le D.E.A. de Didactique des Sciences physiques et de la Technologie pour les discussions qu'il a pu avoir au sein de ceux-ci.

## REFERENCES

- [1] *Instructions officielles* concernant le C.P. (1978), le C.E. (1979), C.N.D.P.
- [2] Article « Physique et mathématique » de J.-M. LÉVY-LEBLOND dans *Encyclopedia Universalis*.
- [3] Article de HALBWACHS — B.U.P. n° 620 de janvier 1980 : « *Initiation à la mécanique en classe de 4<sup>e</sup>* », p. 485.  
Rapport I.N.R.P. : compte rendu du stage math-éveil de Paris des 18-19 décembre 1978.
- [4] Conférence de J.-M. LÉVY-LEBLOND à Jussieu le 13 décembre 1979 dans le cadre du D.E.A. de Didactique des Sciences physiques.
- [5] Ch. logique in *Tendances nouvelles de l'enseignement de la mathématique*, vol. III, U.N.E.S.C.O., 1972, p. 61-82.
- [6] Collection R. TAVERNIER (Bordas) :  
— *De la maternelle au cours élémentaire*, guide du maître, premier niveau 1976.  
— *L'eau, l'air, le temps qu'il fait*, guide du maître du C.E. au C.M., 1976.
- [7] Cette collection de ressorts apportés par les élèves (et complétés quelquefois par le maître) comprenait principalement des ressorts hélicoïdaux de toutes tailles : ressort de suspension d'automobile, ressort de soupape, ressort de sommier, ressort de stylo à bille, ressort de pince à linge, etc.
- [8] Des activités peuvent être développées sur ce sujet qui permettent aux élèves de construire de façon opératoire le concept de dureté d'une substance. Afin de ranger des échantillons de divers matériaux du plus dur au moins dur, les enfants imaginent certains dispositifs expérimentaux correspondant chacun à une définition de la dureté :
- essai de rayage mutuel entre deux matériaux : celui qui raye l'autre est déclaré le plus dur,
  - empreinte laissée par une bille d'acier placée entre deux plaques de nature différente lorsqu'on presse l'ensemble dans un étai. Le matériau correspondant à l'empreinte la plus petite (après mesurage du diamètre) est déclaré le plus dur.
- C'est dans ce cas aussi en raisonnant sur une relation d'ordre, et sans faire intervenir de relation fonctionnelle numérique, que les élèves accèdent à la notion de dureté.

(Cf. article de J.-L. MARTINAND : *Une propriété intéressante ; la dureté*, Bulletin de L.I.R.E.S.P.T., n° 3, p. 1-10.).

- [9] Dans cette classe, le problème de la différenciation entre « poids » et « masse » n'a pas été abordé, aussi les élèves expriment-ils des poids en grammes.
-