

La formation des concepts décrivant les états de la matière au collège

par Marie-Geneviève SÉRÉ

LIRESP Universités Paris VII et XI

Andrée TIBERGHEN

IRPEACS-CNRS Lyon

1. INTRODUCTION

Quand il arrive au collège vers l'âge de 11 ans, l'élève commence à étudier les Sciences physiques. Pendant les deux années du cycle d'observation, en 6ème et en 5ème, on lui propose l'étude des propriétés physiques de la matière. Qu'il ait acquis ou non dans le primaire une certaine familiarité avec les phénomènes du domaine de la physique et de la chimie, il s'agit maintenant de «regarder» les expériences d'un autre œil. Le savoir qu'il apporte avec lui, acquis dans la vie quotidienne, est essentiellement lié à la réussite de l'action, comme l'ont montré différents auteurs comme P. Guidoni [1]. Le savoir enseigné obéit à des règles bien différentes. En tout premier lieu, la description des expériences s'y fait en terme de grandeurs physiques. Il faut donc que l'enseignement l'amène à former les concepts correspondants. En effet le regard qu'il porte spontanément sur les expériences, la lecture qu'il en fait, les descriptions qu'il s'en donne spontanément, sont globalement différentes de la lecture qu'en fait la physique. Certes, au niveau même des descriptions, il y a des points communs, en ce sens que certains concepts de la physique, trouvent leur origine dans la perception, et ont une certaine proximité avec les conceptualisations qui peuvent se faire dans la vie courante. La grandeur volume par exemple, même si elle n'est pas toujours bien nommée (ce peut être la «place occupée» par exemple), est volontiers utilisée par les élèves, et à bon escient, dans la description des objets intervenant dans les expériences, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux. Encore leur faudra-t-il être aussi capables de faire fonctionner ce concept pour les transformations qui constituent les expériences. On pourrait croire que d'autres concepts sont issus directement de la pratique de la vie quotidienne : chaleur, température. Les mots sont en effet utilisés couramment par adultes et enfants. Nous montrerons que cela n'implique pas l'appropriation des concepts.

C'est donc bien là l'enjeu de cet enseignement : parvenir à des interprétations scientifiques de l'expérience en prenant en compte les traits pertinents de celle-ci (souvent différents de ceux pris en compte spontanément), ces deux processus de description et d'interprétation étant étroitement interdépendants. Le savoir enseigné s'enracine sur une description modélisante de l'expérience qui d'ailleurs n'est pas unique. Elle est toujours faite en relation avec un modèle. Même au niveau élémentaire où nous nous situons, il ne faut pas perdre de vue que les grandeurs que l'enseignant demande à l'élève d'utiliser, fonctionnent au sein d'un modèle. Par exemple si l'on parle de la pression à l'intérieur d'une seringue, implicitement on se réfère à la *pression statique*, grandeur définissant globalement l'état d'une quantité d'air. On suppose que la pression est la même en tous les points. On est hors d'un modèle microscopique de la matière, et aussi hors d'un modèle macroscopique où la pression serait une fonction variable du point (modèle utilisé pour décrire l'atmosphère par exemple).

Dans la suite de cet article, nous nous proposons de rendre compte des descriptions et interprétations spontanées que les élèves font des expériences et d'en dégager quelques caractéristiques. Ayant eu la possibilité d'observer des élèves dans la classe et hors de la classe, nous pourrions décrire l'évolution de la lecture des expériences vers une lecture en terme de grandeurs physiques. Nous décrivons la formation des concepts correspondants, étant entendu que les concepts sont des ensembles de propriétés qui sont opératoires au sein d'un modèle, dans un certain champ expérimental, à l'intérieur duquel ils permettent des prédictions.

Les parties du programme envisagées sont celles qui concernent les propriétés physiques de la matière [2]. En 6ème c'est la quantité de gaz, la compressibilité, la pression atmosphérique, la distinction entre température et chaleur par l'étude de l'élévation de la température avec le chauffage et de changements d'état, qui sont enseignés. En 5ème, on mesure la masse volumique de l'air, on étudie la dilatation des gaz ainsi que les phénomènes de conduction de la chaleur, de la convection et l'isolation thermique.

Après un aperçu des méthodes utilisées et des moyens d'observation, nous traiterons successivement de la formation des concepts qui définissent la matière :

— **Quantité, volume, masse** sont des concepts qui ont des propriétés communes pour les solides et les liquides. Au contraire, leurs propriétés respectives doivent être distinguées pour les gaz.

— **Pression d'un gaz.** Le champ expérimental de cette grandeur, définie pour une quantité de gaz à l'équilibre, est l'ensemble des expériences

simples de changement de volume, de température dans des récipients de petites tailles, ouverts ou fermés.

2. MÉTHODOLOGIE

Les résultats utilisés dans cette étude proviennent principalement d'une collaboration entre chercheurs en didactique et enseignants de collège travaillant régulièrement ensemble (1), pour mettre au point et analyser, aussi bien les séquences d'enseignement mises en œuvre dans les classes de ces enseignants, que différentes observations d'élèves hors de la classe.

Nous utiliserons ici les résultats de [4] :

— **Questionnaires** avant/après l'enseignement de la 6ème, avant/après l'enseignement de la 5ème, proposés dans les dix classes des enseignants de l'équipe de recherche, où l'enseignement était standardisé au mieux. Ces classes sont dites «classes suivies» (CS). Les mêmes questionnaires ont été proposés à des classes dites «non suivies» (CNS), en nombre sensiblement égal au nombre de classes suivies. L'enseignement dans ces classes n'était pas connu dans ses détails.

— **Observation en classe.** On a demandé aux élèves des dix classes suivies de répondre à des questions par écrit (les mêmes pour toutes les classes) pendant tout le temps des manipulations. On leur a aussi proposé des contrôles standardisés. L'ensemble fournit une évaluation, pour environ 250 élèves, de l'enseignement élaboré en équipe de recherche.

— **Entretiens individuels à support expérimental.** Ils ont été réalisés hors de la classe auprès d'une vingtaine d'élèves, avant / après enseignement en 6ème puis en 5ème. Quelques élèves ont été suivis d'une année sur l'autre.

— **«Activité autonome»** Il s'agit d'un problème expérimental proposé à un groupe de trois ou quatre élèves, hors de la classe. Certaines ont été proposées avant enseignement, d'autres après, à titre de bilan. Dans tous les cas, le problème est posé avec des mots de tous les jours et il laisse une large part à l'initiative des élèves.

3. LES GRANDEURS MASSE, QUANTITÉ, VOLUME

Pour l'état solide et l'état liquide, ces trois concepts ont des propriétés communes, puisqu'ils sont co-variants, alors que pour les gaz, la variation de volume n'entraîne pas nécessairement de variation de masse et de quantité.

3.1. Les solides et les liquides

J. Piaget [5] a étudié de façon approfondie la formation des concepts de masse, volume et quantité de substance pour les solides et les liquides. Il a montré que la formation de ces concepts passe par la formation des *schèmes de conservation* lors de différentes transformations, qui sont essentiellement la division en parties, le changement de forme et donc de dimensions. Confronté à ces transformations, l'élève dispose d'un certain nombre d'indices perceptifs qu'il doit articuler entre eux pour décider de la conservation. Par exemple si une certaine quantité de liquide est versée d'un verre haut et étroit dans un récipient large et bas, les dimensions perceptibles du liquide sont très différentes et l'élève, pour conclure à la conservation de la quantité, de la masse ou du volume, doit se donner des arguments de type logique. J. Piaget a pu les caractériser. Il s'agit des arguments d'*identité* (il n'y a de liquide ni en moins, ni en plus), de *réversibilité* (si on effectue la transformation inverse, on reviendra à l'état antérieur), et de *compensation* (certes une des dimensions, ici le niveau, a diminué, mais une autre a augmenté, ici la surface du récipient).

Les schèmes de conservation s'acquièrent peu à peu au cours de l'enfance, et J. Piaget a montré que les enfants acquièrent d'abord la conservation de la quantité, puis de la masse enfin du volume. Ces acquisitions se font entre 9 et 12 - 13 ans environ. Il est donc très utile de faire faire un certain nombre d'activités sur ces thèmes aux élèves de 6ème et 5ème, qui ont en général disponibles les structures logiques nécessaires et sont prêts à acquérir ces schèmes si on y porte quelque attention. La formation de ces concepts est une aide réelle pour la lecture et l'interprétation des expériences concernant les propriétés physiques de la matière.

3.2. Les gaz

On ne peut s'étonner que la formation de ces concepts soit plus tardive pour les gaz. En effet l'état gazeux, surtout s'il s'agit de l'air, donne lieu à peu de perceptions.

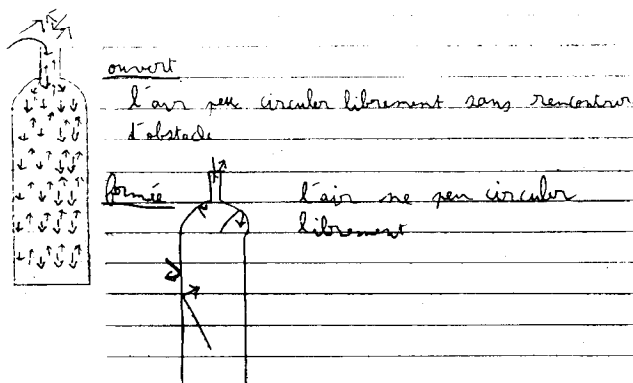
3.2.1. Les interprétations avant et en début d'enseignement

Comme on l'a dit ci-dessus les différentes transformations qui constituent les expériences sont le changement de volume à quantité constante, le changement de quantité à volume constant, le changement de température. Il est également fructueux de considérer la division de la quantité en parties, et l'addition. Au cours de ces opérations, il s'agit de reconnaître ce qui se conserve quand l'expérience fait passer d'un état d'équilibre initial à un autre état d'équilibre final : la quantité de substance et la masse de toutes façons, parfois le volume. Il apparaît que

spontanément les élèves ne s'intéressent guère à la quantité et à ses variations, moins encore à la masse, un peu plus à la place occupée par le gaz. *Ils s'intéressent peu aux phases d'équilibre* et ne se préoccupent pas de les comparer. Ils ont beaucoup de commentaires à faire sur les phases intermédiaires, où pour eux il se passe quelque chose. C'est le mouvement (du piston de la seringue, de l'air, etc..) ou éventuellement une source de chaleur (la flamme, l'eau chaude, les mains, etc...) qu'ils décrivent spontanément. Pour beaucoup d'élèves au début de la 6ème, l'air immobile n'existe pas réellement. Seul le vent, les courants d'air ont une réalité et «sont» de l'air. C'est ainsi qu'un élève, plusieurs semaines après le début de l'enseignement, propose de remplir un flacon d'air «en allant dans la cour et en courant face au vent».

Plusieurs questions d'entretien individuel, plusieurs commentaires d'expériences en classe, montrent que les élèves ont en général des connaissances sur les mouvements de l'air, et aussi qu'ils savent très bien prévoir dans quel sens se fait le mouvement de l'air si dans des situations variées, on leur demande : «Que se passe-t-il si on fait un petit trou dans la paroi de ce ballon, de ce flacon ?» (d'une façon générale, dans la paroi séparant deux enceintes où l'air est à des pressions différentes). Les seules erreurs qu'ils font, et elles sont rares, concernent des situations où l'air va de l'extérieur à l'intérieur (par exemple si on ouvre un récipient sous vide plus ou moins partiel). C'est que la prédiction correcte contrarie l'idée qu'ils se font de l'air en mouvement se «faufilant» partout, prenant toujours toute la place et s'échappant.

L'importance qu'ils donnent au mouvement fait aussi qu'ils décrivent de façons très différentes de l'air enfermé et de l'air libre, comme le montre la figure ci-dessous. On voit ici apparaître une représentation de l'air à l'aide de flèches. On conçoit que ce résultat a un impact sur la formation du concept de pression.



On peut donc dire que l'élève décrit spontanément les expériences en terme de *mouvement*, et qu'il se soucie peu de suivre l'évolution de la quantité et du volume.

Il est évident qu'il se soucie encore moins de la masse de l'air. Avant enseignement moins de la moitié des élèves (40%) pensent qu'un ballon de football s'alourdit quand on le gonfle. On peut encore compter 17% d'élèves qui pensent qu'un ballon, une fois gonflé, est plus léger. Pour eux du moins, l'air a une action sur la balance, contrairement à tous ceux qui pensent que l'air «ça ne pèse rien, ça ne se pèse pas». Ces conceptions peuvent cohabiter avec une connaissance qu'on est tenté de qualifier de stéréotype : l'air chaud est léger. Les élèves en tirent un certain nombre de conclusions erronées quant à l'évolution de la quantité d'air, ou de la pression. Ce stéréotype constitue donc, non pas un précurseur pour concevoir la matérialité de l'air, mais un obstacle pour la formation des concepts de quantité et de pression.

3.2.2. La conservation de la quantité de gaz

a) **A température constante.** Les schèmes de conservation sont loin d'être présents chez les élèves avant enseignement. Mais l'enseignement, s'il prend en compte les objectifs correspondants, fait progresser presque tous les élèves. Nous prendrons pour exemple le cas du changement de volume dans une seringue, car les résultats sont très semblables pour les autres transformations.

Une question a été posée en questionnaire écrit à propos d'une seringue bouchée dans laquelle on enfonce le piston : «Dans la seringue, y-a-t-il plus, moins, autant d'air ? Justifie ta réponse». Les résultats pour la bonne réponse sont les suivants :

CS	
Initial	Final
47 %	87 %

CNS	
Initial	Final
49 %	76 %

On voit que les classes suivies, où on a attiré l'attention des élèves sur ces problèmes ont plus progressé. Bien qu'à cet âge, la maturation soit probablement souvent suffisante pour progresser, il semble que l'enseignement ait une réelle efficacité. Il est aussi intéressant de noter l'évolution des arguments utilisés avant et après enseignement. Avant enseignement, le principal argument est l'identité. Il est sept fois plus fréquent que l'argument de réversibilité. L'argument de compensation apparaît peu avant enseignement mais devient majoritaire après enseignement.

La perception intervient beaucoup dans la formation de ce schème de conservation. C'est ainsi que l'examen d'une seringue contenant un gaz coloré (NO_2), ou la perception de la résistance qu'oppose l'air comprimé, sont capables de guider des élèves vers des réponses correctes de conservation, là où précédemment ils se trompaient.

b) **A température variable.** Il apparaît que le problème est complexe même pour des élèves de 5ème. L'enseignement semble les déstabiliser, puisque, de ce qu'ils apprennent sur l'air chaud, ils tirent des conclusions qui leur font en quelque sorte négliger l'argument d'identité qui est pourtant bien en place à l'issue de l'enseignement de la 6ème. C'est ce qu'on constate en regardant les bonnes réponses à une question de conservation dans un bocal fermé qu'on met au soleil.

	CS		CNS	
	Initial	Final	Initial	Final
Bonne réponse	67 %	55 %	53 %	36 %
Argument d'identité	39 %	27 %	23 %	19 %

Les sources d'erreur sont multiples :

— Certains élèves tout au long de l'enseignement sont persuadés que *l'air chaud est un gaz différent*. La question de la conservation n'a pour eux aucune signification. Ce type de difficulté n'intervient jamais pour une diminution de température.

— Il peut y avoir *confusion quantité-volume*.

— Des élèves pensent que *la pression augmente quand on augmente la température* (donc l'air est plus tassé et il y en a plus)

— Ils prennent en compte le stéréotype «*l'air chaud est léger*» (donc il y a moins d'air) etc... Il s'avère indispensable d'imaginer des situations qui ne suggèrent pas l'utilisation de ce stéréotype [4]. L'enseignement par ailleurs doit tendre à le faire formuler sous la forme complète : «*l'air chaud est plus léger que l'air froid*».

3.2.3. Les élèves parviennent-ils à une lecture en terme de grandeurs physiques ?

C'est l'analyse des activités de classe, des entretiens, des activités autonomes, réalisées dans les classes suivies, qui a pu apporter des résultats en ce domaine. Dans ces classes, nous avons toujours cherché à faire repérer aux élèves l'évolution des quantités en jeu. Pour certaines expériences, ce repérage est l'essentiel de ce qui peut être «expliqué». C'est

le cas pour la montgolfière, phénomène complexe faisant intervenir une enceinte ouverte de volume variable, l'atmosphère, une flamme. On peut repérer l'évolution des quantités d'air, des masses d'air, des masses volumiques exprimées sous la forme d'une comparaison : «l'air chaud est plus léger que l'air froid... l'air à l'intérieur est plus léger qu'à l'extérieur... il y a moins d'air qu'avant...» On fait ainsi pratiquer aux élèves une démarche qui se rapproche de celle du physicien qui étudie des relations entre systèmes, relations portant sur des grandeurs physiques. Cette préoccupation ayant été celle des classes suivies, on a pu constater qu'un certain nombre d'élèves avaient acquis l'habitude de «lire» les expériences de cette façon. Ainsi au cours d'une «activité autonome» on a noté une grande différence dans l'utilisation des concepts de quantité, masse, et des comparaisons entre systèmes, en ce sens que les élèves de 5ème repèrent les grandeurs, cherchent à les faire varier. Au contraire les élèves de 6ème font des expériences «pour voir», utilisent des analogies que leur suggère la situation ou le matériel. Quand ils parlent de quantité, ils confondent souvent quantité et volume, ou quantité et quantité par unité de volume, grandeur primaire souvent prise en compte par les élèves avant enseignement.

3.2.4. Conclusion

Il faut donc prévoir en classe des *activités sur la conservation des gaz au cours de transformations variées* : changement de volume, partition, mais aussi addition (ce qui facilite grandement la compréhension de ce qu'est un mélange de gaz puis l'analyse de l'air). Ce sont des préalables indispensables à la formation du concept de pression. Par contre, l'étude de la masse de l'air paraît peu féconde pour amener les élèves à concevoir que l'air est matériel. Il semble suffisant de l'étudier en vue d'élucider cette connaissance qu'ont les enfants : l'air chaud est plus léger que l'air froid, en la formulant ainsi, complètement.

4. LES GRANDEURS TEMPÉRATURE ET CHALEUR

Les grandeurs température et chaleur sont étudiées en classe de 6ème et de 5ème à l'occasion de l'étude des changements d'état, de l'utilisation du thermomètre, de la dilatation. Les situations les plus fréquemment utilisées pour introduire ces notions [6] sont des expériences de chauffage ou de refroidissement de différentes substances (l'eau en particulier) ou d'objets (barres ou divers contenants). Ces différentes situations constituent l'essentiel du champ expérimental qui sert de référence à la construction de ces concepts dans le cadre de l'enseignement.

4.1. Interprétations majoritaires de ces situations avant ou en début d'enseignement

Nous avons étudié diverses situations susceptibles d'être abordées dans l'enseignement en les regroupant par les catégories utilisées implicitement par les élèves : chauffage d'objets ou d'une pièce, isolation thermique d'un objet ou d'une maison.

Dans le cadre du contenu d'enseignement, l'interprétation de ces situations peut se présenter ainsi :

— quand on se situe au niveau des événements, l'objet A est plus chaud que l'objet B, alors A va chauffer B qui va devenir plus chaud ou passer de solide à liquide (ou de liquide à gaz) ;

— quand on se situe au niveau des grandeurs physiques, la température de A est supérieure à celle de B, la chaleur va donc se propager de A vers B, jusqu'à l'équilibre (égalités des températures).

Ces deux niveaux de lecture sont dépendants, *la lecture événementielle est guidée par le modèle* sous-jacent (2). Ce modèle amène à sélectionner les événements pertinents. Cette interprétation manifeste que ces catégories, chauffage et isolation, ne sont pas celles du contenu d'enseignement qui est structuré autrement : transformation physique avec conservation de la substance, transformation chimique avec transformation de la substance et conservation de la quantité de matière : dans le premier cas, trois états possibles : solide, liquide, gazeux avec des conditions sur la température dans le cas de substances pures.

La majorité des élèves de la fin du primaire et du début du secondaire interprètent ces situations en utilisant un raisonnement causal simple.

— Dans le cas de situations de chauffage (ou de refroidissement) présentant un moyen de chauffage reconnu habituellement comme tel (réchaud, gazinière, labo gaz,...) on peut analyser les interprétations des élèves ainsi :

Le moyen de chauffage est la cause, il agit sur l'objet à chauffer (directement ou indirectement) qui subit l'action du chauffage, un effet se produit. Pour les élèves, ces effets sont surtout des changements d'aspect : changer de couleur (le fer rougit, la farine noircit,...), brûler (le bois brûle et fait des cendres,...), fondre (chocolat, sucre, beurre, glace, ...), faire des bulles ou bouillir (eau, ...), s'évaporer (alcool, eau, ...) mais aussi devenir chaud (métal, eau, ...) (3).

Ces différents effets sont essentiellement attachés à la propriété de la substance constituant l'objet. Ils ne sont pas décrits et structurés à partir

des grandeurs physiques ; en témoigne un compte rendu d'un groupe d'élèves de 6ème lors de l'expérience de l'ébullition de l'eau. Les élèves disposaient d'un thermomètre, d'un labo gaz et d'un récipient plein d'eau ; ils avaient comme consigne de noter leurs observations pour l'eau et pour sa température (ceci les invite à mettre en relation la température et ce qui se passe pour l'eau) :

«la température de l'eau monte très lentement et il apparaît de la buée. Il y a de petites bulles au fond, la température monte jusqu'à 45°C, elle monte de plus en plus vite. Il apparaît des bulles de moyenne taille à 55°C. Les bulles disparaissent du fond, de la fumée s'en va, la quantité d'eau reste au même endroit, il y a beaucoup de la buée et de la fumée, la température est à 90°C des bulles s'accrochent sur les rebords, la quantité baisse, l'eau commence à bouillir à 95°C, la température de l'eau reste stable à 98°C et la quantité d'eau baisse».

Ce compte rendu montre l'importance que les élèves donnent à l'aspect, ici les bulles (taille, niveau), la fumée, la buée. Le savoir enseigné ne sélectionne pas ces faits car ils ne sont pas pertinents pour l'étude du changement d'état pour laquelle seuls interviennent le liquide et le gaz (eau, vapeur) et la température. Ceci n'exclut pas bien sûr que pour d'autres études de physique, la taille des bulles puisse être pertinente. La sélection est essentielle pour construire une interprétation ; il y a un aller retour entre sélection et interprétation.

Les situations où la source et l'objet à chauffer ne se touchent pas favorisent beaucoup l'utilisation d'un médiateur entre la source et l'objet à chauffer : la chaleur. Par exemple dans le cas de cuillères de différentes matières plongées dans de l'eau bouillante :

«(la chaleur) avance et elle vient jusqu'ici, alors arrivée ici elle fait fondre ce morceau de cire... après c'est qu'elle vient ici pour faire fondre celui-ci»

ou pour des cuillères mises dans de l'eau chaude :

«La chaleur se propage peut-être pas aussi vite dans le bois que dans le métal».

Les élèves font ainsi appel à une notion qui ne correspond pas à un événement ou un objet directement perceptible. Cette notion de chaleur se rapproche de celle du savoir enseigné dans la mesure où elle n'a pas de référent matériel, où elle se déplace et où il y a un support matériel au déplacement. *Il y a cependant des différences essentielles. Elle n'est pas liée à la notion de température : le transfert ne dépend pas d'une différence de températures mais de la source seule.* De plus, c'est elle qui agit (fait fondre) alors que la fusion dépend de la température. Elle est intégrée dans une interprétation de type causal proche des événements.

Dans les situations d'isolation thermique, c'est également un raisonnement causal qui est sous-jacent aux interprétations des élèves. Dans ce cas, la cause est l'objet qui a pour fonction d'isoler : il garde, conserve, empêche de passer (la chaleur, le froid ou l'eau). C'est aussi le rôle du récipient contenant un liquide chaud ou froid, ou celui du mur ou de la cloison isolante qui garde la chaleur de la maison ou empêche l'eau, l'air, la chaleur ou le froid de passer. L'objet ou la substance contenu dans le récipient est passif. L'environnement (air ambiant, air extérieur) a peu ou même pas de rôle.

Ainsi, pour la majorité des élèves, les situations d'isolation et de chauffage n'ont rien de commun si l'on considère le rôle des objets. L'objet chaud est actif dans les situations de chauffage, il est passif dans le cas de l'isolation où en revanche le contenant est actif alors qu'il n'est au mieux qu'un intermédiaire support de la transmission de la chaleur dans le cas du chauffage. Notre analyse est confirmée par des interprétations d'élèves, par exemple un même élève au cours d'un entretien dit :

(à propos de différentes cuillères mises dans de l'eau chaude) : «la chaleur rentre, réchauffe plus vite le métal que le bois...» (l'interviewer demande ce qui se passe si on mettait les cuillères dans de la glace) «la cuillère en métal elle se refroidirait plus vite que le bois parce qu'il est toujours, c'est un mauvais conducteur aussi bien de la chaleur que du froid». Dans une situation d'isolation «... l'aluminium est mauvais conducteur pour la chaleur et le coton est mauvais conducteur pour le froid». Ou encore à la demande de concevoir une expérience pour choisir, entre deux plaques métalliques, celle qui sera la plus isolante, un élève dit : «la transmission de chaleur va plus vite (dans cette plaque)... mais ça prouve pas que c'est elle qui nous permettrait de garder le froid ou le chaud plus longtemps».

4.2. Comparaison de quelques réponses des élèves données en début et en fin d'enseignement

Ces questions ont été posées dans le cadre d'entretien ou de questionnaires écrits.

4.2.1. Changement d'état

Dans le cas où la situation de chauffage a pour effet un changement d'état, la comparaison des réponses données en début et en fin d'année de sixième montre une importante évolution concernant la stabilité de la température d'ébullition de l'eau quelle que soit la quantité d'eau ou de la fusion d'un métal quelles que soient les conditions de chauffage.

	CS		CNS	
	Initial N = 332	Final N = 280	Initial N = 332	Final N = 334
Une petite et une grande quantité d'eau bout à la même température	19 %	70 %	29 %	48 %
Deux morceaux semblables d'étain fondent à la même température qu'ils soient chauffés par 1 ou 2 camping gaz	23 %	61 %	25 %	45 %

De ces progrès très nets, on ne peut conclure l'acquisition de la notion de température de changement d'état ; d'autres questions mettent en évidence que ces connaissances sont limitées. Par exemple quand il s'agit de prévoir la température d'un métal à l'état solide mis dans un four dont la température est supérieure à sa température de fusion, la majorité des élèves prévoit qu'il restera à sa température de fusion sans atteindre celle du four. Ainsi, la température de changement d'état dans les cas où il y a chauffage de la substance, est considérée par la majorité des élèves comme la *température maximum* que cette substance peut atteindre et non comme la température pour laquelle il y a coexistence de deux phases.

Il ne faudrait pas conclure pour autant que ces acquisitions sont inutiles. Une étape importante d'apprentissage pourrait très bien consister dans l'acquisition d'un nouvel événement : la stabilité de la température interprétée comme une température maximum, et aussi d'une connaissance des événements possibles pour un large échantillon de substances. En effet, le modèle proposé par le savoir enseigné est d'autant plus intéressant à acquérir qu'il interprète un large domaine expérimental.

4.2.2. Équilibre thermique

L'égalité des températures des objets en contact est une notion très éloignée de l'approche des élèves. A l'air ambiant, la perception va à l'encontre de l'égalité des températures. Les résultats des réponses à une question posée en début et en fin de cinquième montrent que peu d'élèves y accèdent. Il s'agit de diverses substances ou objets (eau, clous, farine, fer en poudre) mis tout d'abord dans un four à 60° pendant longtemps puis à l'air ambiant. Voici les résultats obtenus :

	CS		CNS	
	N = 194		N = 253	
	Initial	Final	Initial	Final
60°C pour les quatre	11 %	33 %	6 %	22 %
20°C pour les quatre	11 %	44 %	12 %	23 %

Une question proposant une situation d'isolation met aussi en évidence les faibles progrès des élèves.

4.3. Apprentissage

L'observation fine de deux élèves tout au long d'un enseignement expérimental de 10 séances au niveau de la cinquième [3] nous a permis de mettre en évidence une étape d'apprentissage qui nous paraît importante : donner un même type d'interprétation pour des situations de chauffage et des situations d'isolation. Voici par exemple cette interprétation permettant de traiter ces deux types de situations : «le froid du glaçon s'imbibe dans la matière (dans le cuivre) et s'en va et là (coton) il le garde... Celle-là (coton) la matière garde plus de chaleur que celle-là (cuivre). Ici (cuivre) ça va s'en aller la chaleur ou le froid». Cette proposition permet d'interpréter *à la fois* une situation de chauffage et une situation d'isolation. Elle réconcilie l'idée de transporter et celle de garder. On a la combinaison de deux mécanismes, tout d'abord l'acteur est le froid (ou la chaleur) qui s'imbibe dans la matière qui ensuite devient active en gardant le froid (ou la chaleur). La chaîne des événements part du glaçon et non du matériau comme dans des interprétations du type «le métal garde le froid» ou «le coton garde le chaud». Cette interprétation est d'un niveau supérieur bien qu'encore éloignée de celle proposée dans le savoir enseigné ; elle est plus générale car elle traite des situations différentes qui, au préalable, ne relevaient pas des mêmes phénomènes pour l'élève. Nous supposons qu'il s'agit là d'une étape d'apprentissage.

Cet exemple met en évidence toute l'importance de *la sélection des objets, de leur rôle et leur mise en relation*.

D'autres étapes sont encore à franchir. Certains élèves ont accédé à l'utilisation de deux grandeurs différenciées ; par exemple pour l'isolation d'un objet chaud ou froid (une bille) un élève choisit une couverture pour isoler l'objet qu'il soit chaud ou froid et justifie : «parce que c'est un bon isolant». A la question de l'interviewer : est-ce qu'elle (bille froide) refroidira au bout d'un certain temps ? Cet élève répond : «oui,... parce que à force elle prendra la température de l'air ambiant... ça (la chaleur de l'air ambiant) transpercera un peu la couverture».

Dans cette réponse il y a la combinaison de deux notions : «prendre la température» et «la chaleur qui traverse ou transperce». En fin d'année de cinquième, les élèves à ce niveau d'interprétation (qui sont en fait une faible minorité) associent souvent le verbe prendre à température et un verbe de mouvement à la chaleur. Il y a donc bien *deux notions avec des propriétés différentes*. Cette nouvelle étape pose la question des informations concernant le modèle physique nécessaire à fournir. Plusieurs indices, en particulier des liens entre les réponses à deux questions l'une

sur l'isolation et l'autre sur l'équilibre thermique nous amènent à proposer comme hypothèse que l'appropriation du principe concernant l'égalité des températures est un passage très favorisant sinon obligé.

4.4. Conclusion

Il semble donc que plusieurs étapes intermédiaires entre l'approche des élèves en début d'enseignement et celle que l'on voudrait qu'ils acquièrent, soient importantes pour l'apprentissage. Du fait de l'écart considérable entre les événements sélectionnés et les rôles affectés aux objets par les élèves et le savoir enseigné, il semble très important d'aider les élèves à élargir leur connaissance du champ expérimental et à regrouper les différentes expériences avec des critères compatibles avec ceux proposés par le savoir enseigné.

5. LA GRANDEUR PRESSION D'UN GAZ

Quand la pression, grandeur caractérisant toute une quantité de gaz à l'équilibre, varie, il y a variation des forces pressantes exercées par la quantité de gaz, par exemple sur les parois du récipient. Tout au long de ce paragraphe, nous trouverons ces deux aspects dans les commentaires des expériences, quel que soit leur niveau : la variation d'état du gaz, la variation des forces pressantes exercées par le gaz, ce deuxième aspect donnant souvent lieu à des effets perceptifs de mouvement, résistance, dureté, etc...

5.1. Les interprétations avant et en début d'enseignement

5.1.1. Les descriptions de l'air et des gaz

Avant que l'enseignement ne lui fournisse le mot, sinon le concept, de pression, l'élève donne un certain nombre de descriptions qui montrent qu'il reconnaît dans une certaine mesure que le gaz a changé d'état. Pour lui il y a bien «quelque chose de changé».

Il utilise un certain nombre de qualificatifs pour décrire l'air comprimé : tassé, entassé, comprimé, compressé, réuni, rassemblé, plus fort, contracté, condensé, sous pression, coincé, serré, reserré, différent, puissant, rentré, ratatiné, étouffé, rembourré.

L'air atmosphérique est dit : normal, libre de bouger, à l'aise, décontracté, «relax».

L'air détendu est dit : non tassé, détassé, éparpillé, dispersé, étendu, décomprimé, allongé, écarté, moins fort, plus libre, tiré, réparti, déroulé, élargi, répandu, à l'aise, «relax».

L'air chaud est surtout décrit comme léger.

Quant à l'air froid il ne donne lieu à aucune description particulière.

Nous allons voir que ces descriptions laissent présager un certain nombre de difficultés pour l'acquisition du concept de pression.

Les expériences sur les gaz autres que l'air sont moins fréquentes et engendrent beaucoup moins d'images que l'air. C'est ainsi que moins de la moitié des élèves de sixième imaginent que le gaz de ville est comprimé dans la conduite. Un élève le décrit comme ayant «la couleur de l'eau, transparent, un peu flou».

5.1.2. La prise en compte des actions de l'air et des gaz

Pour décrire les actions des gaz, les élèves font souvent appel à des métaphores : l'air «a envie» de sortir, ou «essaie de se faufiler», il «s'habitue» à un certain volume dit «normal», et veut toujours y revenir, ou il «se fatigue». «L'air (comprimé) il se sent coincé. C'est comme nous. On aurait envie de pousser sur la seringue».

Ainsi des élèves se passent complètement des notions d'action, interaction, ou force, a fortiori de pression pour décrire et expliquer. Ils interprètent beaucoup d'expérience en terme de *transmission de mouvement* [4]. Là où l'enseignant voit un mouvement pour déclencher l'expérience (par exemple celui d'un piston de seringue ou de pompe à bicyclette), donc une variation de pression, donc une variation des forces pressantes, donc un mouvement (par exemple d'une membrane élastique comme une baudruche), l'élève voit une simple transmission de mouvement. Ce que nous avons observé pour l'air en sixième concorde tout à fait avec ce qu'a observé J. Piaget pour la formation de la notion de force d'une façon générale [7]. Il a en effet montré que jusqu'à l'âge de 7-8 ans, les enfants évoquent un mouvement intermédiaire pour expliquer une transmission de mouvement, et donc au besoin dans notre cas, *ils imaginent un mouvement global de l'air*, là où il y a uniquement variation de pression.

Pour l'air il semble que la considération des forces pour expliquer les mouvements soient plus tardive que pour des objets usuels qu'a utilisés J. Piaget. Même en cinquième, beaucoup d'élèves ont du mal à comprendre que l'air continue à exercer des forces pressantes au repos, quand l'expérience a cessé et qu'il ne se passe plus rien. Ils ont aussi du mal à comprendre que, si l'on observe un mouvement dans une direction, il peut exister des forces dans la direction opposée. Ils sont en général tentés d'interpréter un mouvement dans une direction par une force unique dans la même direction, ce qui les conduit à la conclusion précédente : pas de mouvement, pas de force.

Pour dépasser ces points de vue, il faut que les élèves comprennent que les forces sont composables, ce qui constitue un obstacle majeur pour cet âge.

5.2. L'utilisation du concept de pression

Très vite quand l'enseignant donne le mot de pression, les élèves le reprennent et l'utilisent dans leurs interprétations. On constate alors une première difficulté au niveau du vocabulaire : c'est la confusion des mots air et pression. «Mettre de l'air dans le pneu» ou «mettre de la pression», n'est-ce pas très proche ? De même pour les phrases : «C'est l'air atmosphérique qui agit» et «C'est la pression atmosphérique qui agit».

Cependant bien des difficultés qu'ils rencontrent sont dans la continuité des images qu'ils se forment lors d'une lecture spontanée.

5.2.1. Des images au concept de pression

Prenons par exemple les descriptions de l'air comprimé à température constante. Les mots de «tassé, entassé» reviennent fréquemment. Il apparaît d'ailleurs qu'un élève qui évoque correctement le tassement effectue une évaluation juste de la quantité par unité de volume, et est donc capable de discerner quantité et volume. Cependant il est tenté d'*assimiler le «tassement» à la pression*, ce qui revient à se donner comme «zéro» de la pression, l'état de non-tassement, et donc l'état de l'air atmosphérique. De la même façon, quand l'air est détendu, «relax», a fortiori pour l'élève il n'a pas de pression. «Parce que l'air en ce moment, il est un peu éparpillé, et puis il peut pas pousser. Il faudrait qu'il y ait quelque chose pour... une pression et qui dure assez longtemps».

Dans les descriptions de l'air chaud et le peu de propriétés attachées à l'air froid, on trouve l'origine de difficultés des élèves. L'air chaud est léger, il monte, il est associé au mouvement, donc il a une pression, il exerce une pression de préférence de bas en haut. Cette pression s'explique par le mouvement. Ainsi des élèves (20 % des classes suivies) pensent que dans un récipient chauffé, l'air se rassemble en haut du récipient, allant jusqu'à dire, pour certains, qu'il y a un vide au fond du récipient. Parmi eux certains rapprochent ce tassement de l'air au sommet du récipient de l'augmentation de pression. On conçoit que les élèves trouvent peu d'arguments dans les images qu'ils ont pour comprendre que l'air qu'on refroidit à volume constant a une pression qui diminue.

5.2.2. La prise en compte des systèmes en interaction

Si l'on regarde de plus près la façon dont les élèves utilisent la notion de tassement, ils peuvent dire :

— «*l'air du pneu est tassé*», sorte de propriété attribuée à un moment donné à l'air.

– «l'air du pneu est plus tassé qu'avant», (comparaison entre deux moments de l'expérience).

– «l'air du pneu est plus tassé qu'à l'extérieur», (mise en relation de deux systèmes, l'air du pneu et l'air de l'atmosphère). Cela revient à prendre en compte l'ensemble des systèmes qui interagissent, par exemple sur la paroi du pneu. C'est la démarche même qui permet d'attribuer des grandeurs physiques à chacun des systèmes et à prédire l'évolution de l'expérience par leur comparaison.

On conçoit que la dernière formulation soit la plus riche quant aux interprétations qu'elle permet puisqu'elle fait intervenir les interactions. Elle est inexistante avant enseignement, alors qu'une des vingt élèves interviewés exprime que, dans la seringue, «l'air est plus serré qu'avant». Trois autres élèves seulement utilisent la première affirmation.

Dans les classes suivies, on s'est efforcé de faire parvenir les élèves à une utilisation des concepts physiques. On s'est donc efforcé de demander le plus souvent possible aux élèves d'effectuer des *comparaisons «avant / après»* et des *comparaisons «intérieur / extérieur»*, ce qui est le cas particulier le plus fréquent des systèmes en interaction. Au fur et à mesure de l'enseignement les comparaisons spontanées deviennent plus fréquentes. Nous avons également posé des questions où la comparaison est «imposée», ce qui a montré que vraisemblablement, les deux types de comparaisons n'offrent pas les mêmes difficultés aux élèves.

5.2.3. Les élèves parviennent-ils à une lecture en terme de pression ?

C'est dans les classes suivies que nous avons pu proposer une «activité autonome» à titre de bilan. La consigne de cette activité était énoncée sans avoir recours au mot de pression, avec des mots simples. De fait, de façon déguisée, les élèves avaient à trouver divers moyens de faire varier la pression à l'intérieur d'un récipient de verre (volume constant), ceci à l'aide de l'abondant matériel fourni (bouchons avec plus ou moins de trous, eau, glace, bec bunsen, pompe, etc....).

5 groupes de cinquième sur 10 ont immédiatement interprété la consigne en terme de pression. Par exemple un élève dit qu'il faut «réaliser une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur». Ces groupes seront guidés tout au long de l'activité par ce fil conducteur pour imaginer des expériences.

Pour 6 groupes les comparaisons entre l'intérieur et l'extérieur sont fréquentes et exactes. Les 4 autres groupes ne sont aidés qu'occasionnellement par la pression.

Ainsi des élèves des classes suivies se sont montrés capables d'utiliser spontanément les bons paramètres définissant une quantité de gaz, d'en faire des comparaisons avec ceux de l'extérieur et de les faire varier dans le temps. 52 expériences sur 54 au total, réalisent une séparation des paramètres. Ces élèves ont une démarche très différente de celle des élèves de sixième, qui font des expériences «pour voir» (17 expériences sur les 35 réalisées), n'arrivent pas à isoler des paramètres et à les faire varier, sinon les paramètres quantité (alors souvent confondue avec le volume), et «tassement» (quantité par unité de volume, dans quelques cas simples).

Cette activité montre que les élèves des classes suivies ont encore des difficultés pour évaluer les pressions, surtout si la température varie. Ils savent rarement reconnaître une égalisation de pression dans ce cas là. Malgré cela, ils montrent qu'ils ont acquis des démarches beaucoup plus élaborées qu'en sixième.

5.2.4. Conclusion

La pression est donc incontestablement un concept difficile pour les élèves. Quelques objectifs intermédiaires semblent possibles à atteindre cependant : l'évaluation correcte des quantités d'air permet de repérer les variations de pressions à température constante. La prédiction de l'évolution des expériences est facilitée par la démarche qui consiste à effectuer des comparaisons entre les différentes phases de l'expérience, puis entre les systèmes en interaction, que ce soit pour la masse volumique de l'air à différentes températures ou pour le «tassement», ou pour la pression.

6. CONCLUSION

Il est possible de dégager quelques traits communs à ces «lectures» de l'expérience que font les élèves dans différents domaines. Ils prennent beaucoup plus fréquemment en compte ce qui change par rapport à la «normale» (air atmosphérique, milieu ambiant,...). Ils décrivent et interprètent de préférence les phases de l'expérience qui comportent des changements. De plus tout ce qui relève de la «normalité» ne sert que de référence implicite pour décrire le changement ; c'est l'écart par rapport à cette normale qui est décrit et interprété. La perception joue probablement un rôle majeur dans cette approche.

Un autre aspect dû à notre environnement est l'importance que les élèves donnent à la *fonction des objets*, à leur usage. Des mises en relation entre ces fonctions et d'autres propriétés leur sert d'argumentation ; c'est une démarche courante dans la vie quotidienne mais elle n'est pas valide en physique. Cette approche des élèves leur permet de faire l'économie de l'*interaction entre objets* ou systèmes. Cette analyse nous conduit à

insister sur l'utilité dans l'enseignement d'étapes d'apprentissage intermédiaires qui permettraient à l'élève de s'approprier d'une part de nouveaux faits expérimentaux et d'autre part de nouveaux critères de sélection des événements ce qui amène à de nouvelles mises en relation aussi bien au niveau d'une description proche des événements qu'à des niveaux de conceptualisation plus élaborés.

7. RÉFÉRENCES

- [1] P. Guidoni (1985). On natural thinking. *European Journal of Science education*. 7 [2]. 133-140.
- [2a] Bulletin Officiel du 17 mars 1977. *L'enseignement de Sciences physiques au Collège. Programmes et instructions*.
- [2b] *L'enseignement au collège. Programme et instructions*. (1985) C.N.D.P.. Ministère de l'éducation nationale.
- [3] A. Tiberghien, M.G. Séré, M. Barboux, A. Chomat (1983). *Étude des représentations préalables de quelques notions de physique et leur évolution*. Rapport de recherche. INRP - LIRESPT. Université Paris 7.
- [4] M.G. Séré (1985). *Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans, en liaison avec la notion de pression, et proposition de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution*. Thèse d'état. Université Pierre et Marie Curie.
- [5] J. Piaget & B. Inhelder (1968). *Le développement des quantités physiques chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé.
- [6] A. Tiberghien (1984). Revue critique sur les recherches visant à élucider le sens des notions de température et de chaleur pour les élèves de 10 à 16 ans. In : *Recherche sur l'enseignement de la physique : Compte rendu du premier atelier international* (pp. 55-74). Paris CNRS.
- [7] J. Piaget (1973). La formation de la notion de force. P.U.F.

(1) Cette collaboration a été réalisée dans le cadre d'une recherche demandée par l'Inspection Générale et gérée par l'I.N.R.P. [3].

(2) Dans des situations plus complexes, il y a des allers et retours entre ces deux lectures.

(3) Ici bien sûr, la signification des mots est celle du langage courant et non de la physique.