

LES CONNAISSANCES DES ELEVES DE 5ème A PROPOS DES PROPRIETES PHYSIQUES DES GAZ

Marie-Geneviève SÉRÉ
L.I.R.E.S.P.T.
Université Paris VII

Les programmes de sciences physiques de 6ème et 5ème comportent une étude des propriétés physiques de la matière. En ce qui concerne l'état gazeux, il est prévu qu'en 6ème, l'élève acquière la notion de quantité d'air, étudie la pression atmosphérique et la compressibilité. En 6ème, il s'agit uniquement de transformations à température constante. En 5ème, on étudie la masse volumique de l'air et on se sert des mêmes grandeurs physiques qu'en 6ème (quantité, volume, pression) pour étudier des transformations à température variable. Les acquisitions de la 6ème sont donc largement réinvesties en 5ème. La conséquence en est que les obstacles rencontrés en 6ème au cours de l'acquisition des concepts peuvent être à nouveau présents en 5ème.

Nous proposons ici une expérience qui peut prendre place dans une progression, en 5ème, en fin d'enseignement des propriétés physiques des gaz. Il s'agit de balles de ping-pong «cabossées» l'une présentant un petit trou, l'autre non. On les met dans l'eau chaude pour tenter de leur redonner une forme sphérique. L'interprétation nécessite de repérer les quantités d'air en jeu ainsi que les différences de pression. Elle rassemble donc l'essentiel des connaissances qui sont au programme. Cette expérience peut donc être utilisée à titre d'activité proposée en classe aux élèves ou à titre de contrôle expérimental.

Pour notre part, nous l'avons proposée comme contrôle en fin d'enseignement de l'état gazeux en 5ème, à 280 élèves travaillant avec les professeurs de notre équipe de recherche*.

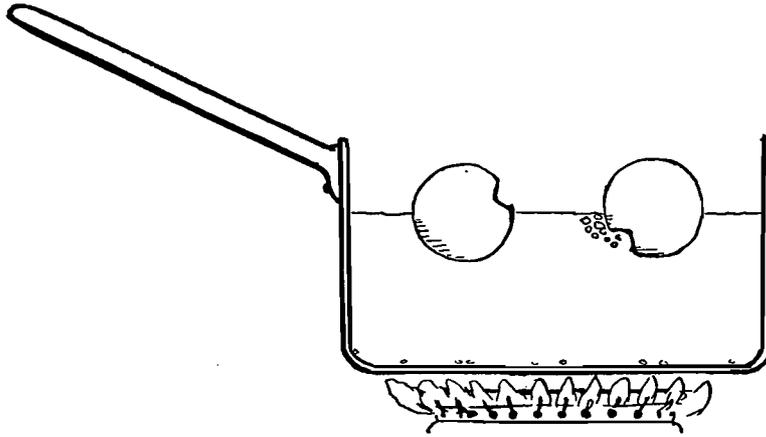
* Ces travaux ont été menés dans le cadre de la recherche : «Etude des représentations préalables de quelques notions de physique et leur évolution en 6ème et en 5ème. Cette recherche a été réalisée au L.I.R.E.S.P.T. (Université de Paris 7), et coordonnée par l'Inspection générale et l'I.N.R.P.

Nous en donnerons ici les résultats, en les complétant ou en les illustrant, quand il y aura lieu, par des résultats obtenus par d'autres méthodes (questionnaires écrits, entretiens individuels) ou à d'autres moments (avant ou après enseignement).

I – LE DEROULEMENT DE LA SEQUENCE DIDACTIQUE.

Suivant les classes, c'est le professeur ou les élèves par groupes qui ont réalisé l'expérience.

On met les deux balles dans de l'eau très chaude en maintenant l'orifice de celle qui est trouée vers le bas à l'aide d'une pince en bois, comme le montre la figure ci-dessous.



– La balle non crevée, au moins si elle est de bonne qualité, retrouve sa forme sphérique. C'est que la pression de l'air qu'elle contient augmente avec la température. Dans un premier temps, le volume augmente donc, puis quand la balle est redevenue sphérique, le volume reste constant et la pression augmente encore.

Si l'on considère l'état final de l'expérience, on peut dire que :

- la quantité d'air est constante,
- la pression est plus grande qu'à l'extérieur,
- la pression est plus grande qu'avant.

– De la balle crevée s'échappent des bulles, donc la pression reste égale à la pression atmosphérique et une partie de l'air s'échappe.

Si l'on considère l'état final de l'expérience, on peut dire que :

- la quantité d'air diminue,
- la pression est égale à celle de l'extérieur,
- la pression est égale à celle du début de l'expérience.

Ces situations ont été choisies parce qu'elles correspondent à une augmentation de température d'une petite quantité d'air. La géométrie des enceintes, les balles de ping-pong, n'induit pas les élèves à utiliser l'interprétation qu'ils donnent souvent à tort et à travers des situations de chauffage : « l'air chaud monte ». Ces deux situations permettent donc de connaître la façon dont les élèves interprètent la dilatation et évaluent les paramètres caractéristiques de l'air : quantité et pression.

Après observation de l'expérience, les élèves doivent remplir la fiche suivante.

FICHE REMPLIE PAR UN ELEVE
LES BALLE DE PING-PONG

Pourquoi la balle non crevée a-t-elle retrouvé sa forme ? *Elle a retrouvé sa forme car le gaz qui est à l'intérieur a augmenté et s'est dilaté.*

Pourquoi des bulles s'échappent-elles de la balle crevée ? *Les bulles s'échappent de la balle crevée car le gaz de l'intérieur de la balle s'est dilaté et puis il est sorti par le trou donc ça a fait des bulles dans l'eau.*

Pour chaque ligne, mets une croix dans une case :

A LA FIN DE L'EXPERIENCE,
DANS L'EAU CHAUDE

	plus	moins	autant	je ne sais pas
Dans la balle crevée, il y a :	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> d'air qu'avant
Dans la balle non crevée, il y a :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> d'air qu'avant
Dans la balle crevée, la pression est :	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> grande qu'avant
Dans la balle crevée, la pression est :	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> grande qu'à l'extérieur
Dans la balle non crevée, la pression est :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> grande qu'avant
Dans la balle non crevée, la pression est :	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> grande qu'à l'extérieur

Des élèves pensent qu'il n'y a rien dans les balles neuves, même pas d'air.

Peux-tu imaginer ce qui se passe si on met une balle VIDE, cabossée, non crevée, dans de l'eau très chaude ? *Elle ne retrouvera pas sa forme car elle est vide donc si il n'y a rien, rien ne pourra se dilater.*

Est-ce que l'expérience qu'on a faite prouve qu'une balle de ping-pong contient de l'air ? *Si elle le prouve car sinon non car la balle peut contenir un autre gaz.*

Pourquoi, si on met même très longtemps la balle cabossée (non crevée) dans de l'eau tiède, elle ne retrouve pas sa forme ? *Car sa pression n'est pas assez grande.*

On prend la balle cabossée (non crevée) dans ses mains pendant très longtemps, retrouvera-elle sa forme ? OUI NON~~X~~ JE NE SAIS PAS

Pourquoi ? *car la pression ne sera pas assez grande.*

II – LES INTERPRETATIONS LIBRES DES ELEVES.

Elles nous permettent de savoir ce que l'élève prend en compte spontanément dans l'expérience et quelles connaissances et raisonnements il mobilise pour l'interpréter.

2.1 L'interprétation du phénomène.

	NON CREVEE		CREVEE	
L'air se dilate.	67%		35,5%	
La pression à l'intérieur est la cause	16%	46,5%	7%	18%
Il y a poussée, pression sur les parois.	30,5%		11%	
La chaleur est la cause (sans précision) . . .	3,5%		2%	
La chaleur est la cause (au total)	36%		23,5%	

(Les catégories ne sont pas exclusives l'une de l'autre).

Ce tableau fait ressortir de grandes différences dans la façon dont sont perçues des expériences de dilatation à quantité constante (balle non crevée) et à quantité variable (balle crevée). Il y a près de deux fois plus d'élèves qui disent que l'air se dilate pour la balle non crevée.

Quand des bulles s'échappent, pour eux, ce n'est pas vraiment une dilatation. D'ailleurs, 22,5% donnent une explication qui pourrait aussi convenir si elle avait lieu à température constante : l'air est plus léger que l'eau, l'eau rentre dans la balle en même temps que les bulles sortent.

D'autre part, le terme «pression» que ce soit avec la signification de force ou de paramètre d'état, est évoqué presque trois fois plus souvent pour la balle non crevée que pour l'autre. Cela provient sans doute de ce que le redressement de la paroi de la balle évoque plus une pression que ne le fait l'émission de bulles.

2.2 Si il y avait du vide.

On s'aperçoit comme dans d'autres expériences que nous avons menées avec des élèves, qu'ils lient bien les phénomènes d'augmentation de température et de dilatation à l'air même. Les professeurs se plaignent parfois que l'air a peu de réalité pour les élèves. Il semble cependant qu'ils attribuent à l'air un certain nombre de propriétés. Nous en avons un exemple ici : c'est dans l'air qu'il peut y avoir propagation de la chaleur et c'est bien l'air qui augmente de volume ou de pression. D'ailleurs, pour 92% l'expérience prouve qu'il y a de l'air ou un gaz dans les balles de ping-pong. 30% pensent qu'il ne peut rien se passer puisqu'il n'y a rien sans donner plus de précision. Mais 12% des élèves précisent qu'il n'y aura pas d'augmentation de volume ou de pression. et 9,5% pensent même qu'une balle vide serait écrasée par la pression

de l'eau. D'autres pensent qu'inversement la balle va exploser, ce qui fait un total de 14,5% d'élèves qui associent ces phénomènes à une destruction. On a observé par ailleurs cette prédilection qu'ont les enfants à évoquer une explosion quand on leur demande d'imaginer ce qui va se passer lors d'un changement de température ou de pression.

2.3 L'influence de la température.

On retrouve ici le fait observé ailleurs selon lequel les élèves savent bien que c'est de la température que dépend l'importance de la dilatation : pour eux, et ils ont raison, on n'obtiendra pas le même effet en chauffant longtemps à une température moindre. Moins de 6% d'élèves se trompent à ce sujet.

Quelques élèves (de l'ordre d'une dizaine) sont trompés par ce qu'ils ont appris : les gaz se dilatent de façon importante, beaucoup «plus» que les solides et les liquides. Cela les pousse à conclure qu'une faible augmentation de température à l'aide des mains ou de l'eau tiède suffit à redonner sa forme à la balle

III – L'ÉVALUATION DES QUANTITES D'AIR ET DES PRESSIONS.

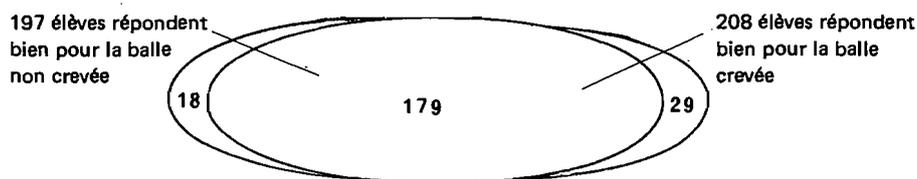
Ainsi les questions ouvertes permettent de connaître ce que les élèves mobilisent spontanément pour interpréter ce qu'ils observent. Nous avons vu que de la situation expérimentale dépend étroitement l'utilisation par les enfants du concept de pression. C'est pourtant un concept dont l'utilisation leur permet des prédictions et des interprétations.

Par les questions fermées, nous «imposons» à l'élève de se poser la question de l'évolution des paramètres pertinents pour interpréter l'expérience : la quantité et la pression.

3.1 Les résultats pour la quantité d'air.

	Quantité dans la balle crevée	Quantité dans la balle non crevée
Plus	2%	15%
Moins	84% (bien)	2%
Autant	9%	79% (bien)

Il y a indépendance statistique des bonnes réponses. Elles se répartissent de la façon suivante :



Les pourcentages des bonnes réponses sont assez satisfaisants. On constate donc que ces élèves en fin de 5ème, sont pour la plupart capables de se tirer des pièges de l'évaluation d'une quantité d'air. Rappelons qu'ils ont travaillé avec des professeurs qui attribuaient une réelle importance à ces questions, sachant que les problèmes de conservation ne sont pas acquis par tous en 6ème-5ème.

Nous avons en effet montré (2) que la réussite à des tâches semblables d'évaluation de quantités d'air se chiffre de la façon suivante :

- avant la 6ème (changement de V à T constante) : 51%
- après la 6ème (changement de V à T constante) : 76%
- avant la 5ème (changement de T à quantité constante) : 53%
- après la 5ème (changement de T à quantité constante) : 36%

Ces pièges sont :

- la confusion quantité-volume : c'est dans ce piège vraisemblablement que sont tombés 9% des élèves ;
- la confusion entre pression et quantité.

Nous nous sommes en effet rendu compte en questionnant les élèves de 6ème, qu'ils confondaient les deux mots en disant par exemple indifféremment : «la pression appuie», et «l'air appuie» ; «je mets de l'air dans le ballon» et «je mets de la pression dans le ballon».

Nous n'avons ici aucun moyen d'identifier les erreurs des 15% qui se sont trompés pour la balle non crevée. Cependant des études parallèles à celles-ci nous poussent à croire que la plupart ont pensé que la pression augmentant, la quantité augmente de façon corrélative, par un raisonnement qui se formule parfois de la façon suivante : l'air chauffé a une pression plus grande, il est donc plus tassé et il y en a donc sûrement plus.

3.2 Les résultats pour la pression.

Nous demandons ici au élèves de comparer la pression de l'air à l'intérieur des balles, d'une part à la pression extérieure, d'autre part à la pression avant chauffage. Nous avons en effet constaté – voir par exemple (3) ou (4) – que c'était une difficulté majeure pour les élèves d'effectuer des comparaisons, ou encore de mettre en relation deux systèmes :

soit l'air intérieur avant chauffage et l'air après chauffage,
soit l'air de l'intérieur et l'air extérieur en un même moment de l'expérience.

Grâce à des entretiens individuels, nous nous sommes aperçus que spontanément l'élève arrive assez tôt, au cours de l'enseignement de 6ème, à dire que l'air est tassé, a une pression, ou appuie sur une paroi (l'air appuie souvent exclusivement sur les parois souples). C'est plus difficile pour lui de dire que cet air est plus tassé qu'avant ou appuie plus fort que celui de l'extérieur, ou a une pression plus grande que celle de l'extérieur (pour cette dernière affirmation, il lui faut de plus savoir que l'air extérieur est caractérisé par une valeur non nulle de la pression).

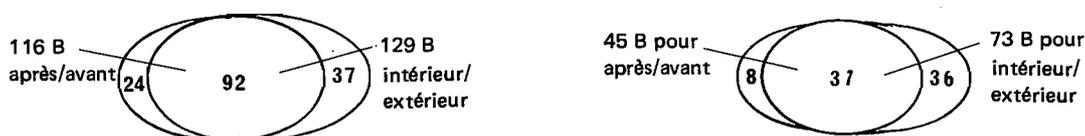
Ce sont les élèves qui établissent spontanément ces comparaisons qui progressent le plus même si ils utilisent des formulations maladroités (ils disent par exemple que l'air est plus fort, plus puissant...).

Par ailleurs, on s'aperçoit en général qu'il y a une différence entre les résultats aux différentes comparaisons de pressions, quel que soit le type de transformations envisagées (température constante ou non, volume constant ou non etc.). La comparaison «après/avant» ne pose pas les mêmes problèmes à l'enfant que la comparaison «intérieur/extérieur».

Les résultats sont les suivants :

	balle non crevée		balle crevée	
	après/avant	intérieur/extérieur	après/avant	intérieur/extérieur
pression supérieure	58% (bien)	52% (bien)	16%	15,5%
pression inférieure	8%	16,5%	56,6%	44%
pression égale	28%	24%	20% (bien)	33% (bien)
	forte corrélation entre réponses identiques		forte corrélation entre réponses identiques	

La répartition des bonnes réponses est la suivante :



a) L'augmentation de température à quantité constante : la balle non crevée.

On s'aperçoit que la comparaison «après/avant chauffage» est mieux réussie que l'autre (la différence est significative à 0,07 près).

La corrélation que l'on constate entre réponses identiques signifie que les élèves sont nombreux à savoir que les variations par rapport à l'extérieur vont dans le même sens que les variations par rapport à avant.

Il est intéressant de rechercher comment les réponses des élèves aux différentes questions s'articulent entre elles et si on peut trouver des cohérences dans leurs réponses. Pour cela, on fait des comptages des différents patrons de réponses à toutes les questions concernant la balle non crevée.

Le nombre de patrons différents est important (trois questions ayant chacune quatre modalités de réponses donnent 4^3 patrons de réponse). Certains ont une fréquence pratiquement nulle. Les trois patrons de réponses les plus fréquents sont :

réponses pour la quantité	réponses pour la p/avant	réponses pour la p/extérieur	
= constante	>	>	73 élèves (32,5%)
= constante	=	=	27 élèves (12%)
>	>	>	19 élèves (8%)

(Les bonnes réponses sont encadrées)

On voit que le premier patron le plus fréquent correspond aux bonnes réponses. On peut sans doute en conclure que, quand les élèves répondent bien pour la pression, c'est souvent qu'ils s'appuient sur une bonne estimation de la quantité.

On trouve ensuite deux patrons de réponse pour lesquels les élèves répondent de façon identique aux trois questions. On peut en conclure que beaucoup d'élèves sont conduits à confondre pression et quantité, surtout dans ce genre de questionnaire

où on leur demande un résultat brut et non un raisonnement explicite.

b) L'augmentation de température à quantité variable : la balle crevée.

Ici aussi, les deux comparaisons ne donnent pas les mêmes pourcentages, bien qu'il y ait une forte corrélation (x^2 de l'ordre de 30) entre les réponses identiques. Curieusement l'erreur la plus fréquente est que la pression diminue. Ce résultat s'explique à la lumière des entretiens que nous avons réalisés par ailleurs. Ils montrent en effet que les élèves ont certaines connaissances sur les variations corrélatives des paramètres définissant l'état d'une quantité de gaz. Mais ils échouent souvent à cause de l'incapacité qu'ils ont de tenir compte de tous les paramètres. Ainsi ils utilisent les raisonnements suivants :

α) Quand la quantité diminue/augmente pour un volume constant, la pression diminue/augmente. Ce raisonnement est vrai à température constante. Il est erroné quand la quantité diminue à cause d'une augmentation de température, comme c'est le cas ici. Dans un cas semblable, certains enfants disent que l'air se détasse et que sa pression diminue.

β) Quand la température augmente, la pression augmente. Ce raisonnement est vrai à volume constant. Il ne l'est plus quand les conditions de l'expérience sont telles que le volume varie, comme c'est le cas ici pour le volume total occupé par l'air contenu au départ dans la balle crevée.

Ces entretiens montrent également que les élèves qui arrivent à bien interpréter ce type de problème, sont ceux qui savent que la pression de l'air reste constante, et s'équilibre sans cesse avec celle de l'extérieur.

Les patrons de réponse les plus fréquents sont les suivants :

quantité	pression/avant	pression/extérieur	
<input type="text" value="<"/>	<	<	75 élèves (33,5%)
<input type="text" value="<"/>	<input type="text" value="="/>	<input type="text" value="="/>	29 élèves (13%)
<input type="text" value="<"/>	<	<input type="text" value="="/>	19 élèves (8,5%)

(Les bonnes réponses sont encadrées)

Ainsi le patron le plus fréquent est celui où la réponse est la même pour les trois items, et où les élèves confondent pression et quantité.

Le deuxième est la bonne réponse. Il montre que 13% d'élèves seulement ne se trompent pas pour la quantité et savent que la pression reste constante.

Le troisième patron le plus fréquent ne donne qu'une réponse fautive. Elle correspond au raisonnement α ci-dessus.

c) Les relations entre les interprétations de ces deux phénomènes.

Nous avons cherché si il y avait quelque relation entre les réponses aux quatre questions concernant la pression pour les deux types de balle.

Les croisements montrent que les trois patrons de réponse les plus fréquents sont :

balle crevée		balle non crevée		
pression/avant	pression/extérieur	pression/avant	pression/extérieur	
<	<	>	>	18%
=	=	>	>	12%
<	<	=	=	6,5%

(Les bonnes réponses sont encadrées)

On remarque qu'il y a donc 12% d'élèves capables de donner une bonne réponse partout.

D'autre part, on s'aperçoit que la confusion complète entre pression et quantité (3ème patron) figure parmi les trois patrons les plus fréquents.

CONCLUSION.

L'expérience des balles de ping-pong «cabossées» permet de mettre en lumière la capacité qu'ont des élèves de 5ème à estimer des quantités d'air et des pressions lors d'une expérience d'augmentation de température de l'air. Comme cela est confirmé par d'autres travaux, on s'aperçoit qu'il est à leur portée d'évaluer une quantité d'air, quand on la chauffe, qu'on modifie son volume, ou qu'on maintient sa pression constante, au moins quand on a attiré leur attention sur ces points.

Le paramètre pression pose plus de problème.

Il est souvent confondu avec la quantité d'air ou encore il est évalué à partir d'une notion intuitive comme le «tassement», image tout à fait inefficace quand il y a variation de température.

D'une façon générale, les élèves ne donnent pas exactement les mêmes réponses quand ils comparent la pression d'une enceinte à celle de l'extérieur d'une part et à

celle qu'il y avait avant chauffage, d'autre part. Mais on s'aperçoit qu'en fin de 5ème, ils sont de plus en plus nombreux à établir une forte corrélation entre les deux comparaisons.

Cette activité montre par ailleurs que pour les élèves, l'air a bien, en fin de 5ème, d'une certaine façon, un statut de matière : il se dilate.

Remarquons enfin l'ambiguïté du mot «dilatation». Deux tiers d'élèves l'emploient spontanément pour décrire une augmentation de température à volume constant, alors qu'un tiers seulement l'utilise pour décrire une véritable dilatation (de l'air occupe un volume constant ouvert et s'échappe quand on augmente sa température).

On peut alors se demander si la notion de dilatation des gaz est bien pertinente et si il ne faut pas la remplacer par des objectifs en termes de variation de quantité, de volume, de température et de pression pour étudier les variations d'état d'un gaz avec la température.

REMERCIEMENT.

Je tiens à remercier l'équipe de professeurs travaillant à la recherche, et plus particulièrement M. Alain CHOMAT, M. Jean-Claude KEPPY et Mme Jocelyne SUR qui ont participé au dépouillement des résultats de toutes les activités standardisées que nous avons menées en 6ème et 5ème dans les classes concernées.

REFERENCES.

1 – M.G. SÉRÉ. (1981). A propos de l'air, quelques expériences simples. Bulletin de l'Union des Physiciens n°630. 507-511.

2 – M.G. SÉRÉ. (1984 Issue II). Children's conceptions of the gaseous state, prior to teaching. A paraître dans European Journal of Science Education.

3 – M.G. SÉRÉ. A. CHOMAT. (1983). Analyse de l'influence d'activités de classe sur les représentations des élèves. Exemple : l'enseignement de la pression atmosphérique en 6ème. Communication aux Cinquièmes Journées de l'Education Scientifique. Chamonix (France)

4 – M.G. SÉRÉ. Premiers pas et premiers obstacles à l'acquisition de la notion de pression (élèves de 11 à 13 ans). Rapport interne du L.I.R.E.S.P.T.