

LES MODÈLES DES ÉLÈVES SUR LA PRESSION ET LEURS IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT

Pupils' pressure models and their implications for instruction.
Research in Science and Technological Education, 1993, 11, 1, 95-108,
Carfax Publishing Ltd

Petros Kariotoglou
Dimitris Psillos

Dans cet article, nous étudions l'idée que les élèves se font des fluides et en particulier des liquides en équilibre, par rapport au concept de pression. Cette étude a été effectuée à deux niveaux. Lors d'une enquête approfondie, nous avons conduit des entretiens semi-structurés avec des élèves grecs de 13-14 ans ayant reçu un premier enseignement au sujet de cette question. Les résultats ont été mis à l'épreuve dans une seconde étude sur le point de vue des élèves utilisant un questionnaire écrit. A partir des réponses des élèves, nous avons défini plusieurs modèles mentaux qui, d'après nous, sont utilisés par les élèves pour comprendre les liquides en équilibre. Dans le premier, appelé "Modèle de la foule", la densité des liquides est considérée comme non constante. Dans le second, appelé "Modèle de la force de pression", les caractéristiques de la pression et des forces pressantes sont mélangées. Dans le troisième, appelé "Modèle de la liquidité", la pression est assignée en un point plutôt qu'elle ne s'exerce sur une surface. Les implications des modèles ci-dessus pour un enseignement introductif sur les liquides font également l'objet d'une discussion.

INTRODUCTION

Notre expérience quotidienne est en étroite relation avec les liquides et les gaz ; ainsi, nous vivons dans un mélange de gaz. Dans l'enseignement secondaire obligatoire, en Grèce et ailleurs, les phénomènes correspondants sont souvent intégrés aux matières scientifiques, notamment dans le chapitre de la mécanique des fluides (statiques ou dynamiques). Le contenu de cet enseignement se centre sur plusieurs caractéristiques de la pression, dans la mesure où ce concept est primordial dans la modélisation scientifique des phénomènes relatifs aux fluides.

Malgré l'importance sociale et éducative du champ des fluides, rares sont les études dans ce domaine, contrairement à ce qui se passe dans d'autres, qui se sont centrées sur le contenu et la structure des conceptions des élèves au sujet des phénomènes relatifs aux fluides et, en particulier, sur les significations qu'ils donnent à la pression. Séré (1982) a constaté que, dans le domaine des gaz, les élèves associaient la pression au mouvement, les situations d'équilibre étant alors considérées comme résultant d'un manque de pression plutôt que de la compensation des forces pressantes résultantes. Les études dans le

domaine des liquides sous-entendent que les phénomènes statiques et quasi-statiques sont interprétés en utilisant une notion de "pression" dont les caractéristiques sont un mélange de points de vue à la fois intuitifs et tirés de l'enseignement sur ce sujet.

Mayer (1987) a constaté que, pour plusieurs apprenants dans son étude, avant et après enseignement, la "pression" de l'eau est "une force" ou "un poids". Les caractéristiques assignées à la pression ont été étudiées par Engel & Driver (1985) qui ont constaté que, dans les conceptions des élèves, la "pression" est, de préférence, dirigée vers le bas et, comme attendu intuitivement, augmente avec la profondeur. Ces résultats sont confortés par une autre étude (Giese, 1987). Résultat intéressant constaté dans l'étude d'Engel & Driver : 40% des élèves pensent que la valeur de la "pression" augmente avec le volume total de liquide. Koliopoulos et al. (1986) ont observé que, alors que les élèves établissent un rapport entre pression et profondeur, le pourcentage de réponses justes chute considérablement pour des tâches plus complexes telles que, par exemple, celles qui impliquent des plongeurs sous des bateaux. De même, lorsque les élèves comparent des pressions au fond de récipients étroits à des pressions au fond de récipients larges, les réponses correctes diminuent considérablement.

Les études mentionnées ci-dessus révèlent plusieurs aspects des connaissances préalables des élèves au sujet des liquides et de la pression ainsi que de leurs difficultés conceptuelles à comprendre les faits scientifiques dans ce champ. Un aspect essentiel de ces difficultés est la confusion que font les élèves entre pression et force, question effleurée mais non traitée en détail par les chercheurs. Toutefois, la confusion entre force et pression n'est pas réservée aux élèves dans la compréhension de ce couple de concepts. Des expressions et des raisonnements qui attribuent à la pression des caractéristiques de la force, inexacts par rapport au modèle scientifique des fluides, ont récemment été relevés dans plusieurs manuels de base (McClelland, 1987).

Kariotoglou et al. (1990) ont en outre examiné la transposition à laquelle plusieurs manuels s'essaient au sujet du concept de pression, montrant que la pression était présentée, soit comme une "contrainte", autrement dit une force distribuée par unité de surface, soit comme une quantité scalaire. Les chercheurs faisaient valoir que des expressions communément utilisées dans les manuels, telles que "exerce une pression" et "a une pression" dénotent des significations différentes de la pression et sont respectivement en rapport avec le modèle "contrainte" et le modèle scalaire de pression, eu égard aux liquides en équilibre. Cette étude implique que les recherches ultérieures, cherchant à modéliser les conceptions des élèves au sujet des liquides et de la pression, étudient soigneusement les significations que de telles expressions ont pour ces élèves.

Aussi bien du point de vue de l'enseignement que du point de vue de l'apprentissage, l'utilisation appropriée des termes force et pression est essentielle dans la statique des liquides. Nous considérons que les conceptions des élèves dans ce domaine devraient être étudiées systématiquement au niveau du rapport qu'ils établissent et des distinctions qu'ils font entre force et pression (Kariotoglou et al., 1989). C'est pourquoi nous avons décidé d'étudier plus avant les caractéristiques vectorielles et scalaires repérables dans les conceptions des élèves par rapport aux liquides en équilibre. En plus des résultats descriptifs, nous distinguerons plusieurs modèles mentaux qui nous paraissent utilisés par les élèves dans ce domaine. Les caractéristiques de ces modèles sont examinées en détail, de même que leur fréquence d'apparition.

L'ÉTUDE

Cette étude fait partie d'un projet visant l'élaboration des connaissances chez les élèves de la scolarité obligatoire dans le domaine de la mécanique des fluides. L'étude particulière dont il est fait état en détail ici a été réalisée en deux phases et se centrait sur les conceptions des élèves immédiatement après un enseignement sur la statique des fluides. Une enquête en profondeur a d'abord été réalisée sur un petit échantillon d'élèves. Les résultats de cette phase ont été utilisés pour modéliser les connaissances des élèves au sujet de la pression. Puis, la validité et la fréquence d'utilisation de ces modèles par les élèves lors de l'interprétation des phénomènes ont été examinées dans une étude à grande échelle.

Les sujets

Les sujets de cette étude étaient des élèves de la classe 2 du lycée (13-14 ans), qui fait partie en Grèce de l'enseignement secondaire obligatoire. Ils avaient déjà reçu pendant un an un enseignement spécifique de physique incluant la mécanique des fluides. On leur avait enseigné que le modèle physique de la pression comprenait les éléments suivants : la pression est définie comme une force (verticale) répartie par unité de surface ; la pression P en un point à la profondeur h à l'intérieur d'un liquide se calcule selon la formule $P = \epsilon \cdot h$ (où ϵ est la gravité spécifique du liquide ; cette formule est utilisée dans le manuel scolaire officiel grec, au lieu de la formule correspondante $P = \rho gh$, où ρ est la masse volumique du liquide) ; toute surface en contact avec un liquide subit une force pressante exercée par le liquide perpendiculairement à la surface ($F = P \cdot S$: pression multipliée par l'aire) ; enfin, le principe de Pascal.

Les tâches

Les tâches présentées aux élèves sont représentées dans la Figure 1. Toutes les tâches font référence à la statique des liquides, qui est le champ expérimental de l'enseignement. Selon le modèle scientifique, les pressions aux points considérés dans les trois premières tâches sont égales, du fait que la distance entre ces points et la surface du liquide est la même et si on suppose que les liquides ont la même densité. La nature du rapport, pour les élèves, entre force pressante et pression est étudiée en comparant des pressions dans des récipients de surfaces différentes. Dans ce contexte, nous avons également étudié la compréhension, par les élèves, de la pression comme une force par unité de surface ($P = F/S$). Cette formule implique que pression et surface soient des quantités inversement proportionnelles, sous réserve que la force ne change pas. Dans les récipients étroits, la quantité d'eau est inférieure à celle qui se trouve dans les récipients larges, d'où une modification de la force, confondue pour les élèves avec le poids. Si les élèves ne prennent pas en compte une telle variation de force entre les récipients, ils peuvent conclure que la pression est plus élevée dans les récipients étroits. Inversement, si les élèves ne tiennent pas compte de la différence de surface, et ne considèrent que la modification au niveau de la quantité d'eau, et, par voie de conséquence, de la force exercée, ils peuvent alors en déduire que la pression dans les grands récipients est plus élevée que dans les récipients étroits.

La signification que les élèves assignent à la pression est étudiée et validée en changeant le contexte des questions dans les tâches. Dans les tâches 1 et 2, les

réceptifs sont les mêmes mais, dans la tâche 2, on a introduit un poisson. Cela permet de voir si la présence d'un corps à l'intérieur d'un liquide influence le point de vue des élèves sur la pression en ce point. Une seconde modification concerne les réceptifs eux-mêmes. Dans les tâches 1 et 2, ceux-ci sont petits et "artificiels", alors que dans les tâches 3 et 4, ils sont vastes et "naturels". Cela permet, cette fois, de considérer l'influence possible du type de réceptif sur l'appréhension de la pression. La tâche 4 est plus complexe et pourrait être interprétée soit en établissant simplement un rapport entre pression et profondeur, soit en appliquant le principe de Pascal.

Enfin, dans toutes les tâches, nous nous centrons sur les significations que les élèves assignent aux expressions "avoir de la pression" et "exercer une pression". Les données préliminaires indiquaient que plusieurs élèves utilisent l'expression "a de la pression" pour laisser entendre une propriété du liquide. Au contraire, l'expression "exerce une pression" implique une action du liquide sur un corps en contact avec lui.

L'enquête approfondie

Les données de l'étude approfondie sur les points de vue des élèves proviennent d'entretiens individuels semi-directifs. L'échantillon comprenait 10 élèves (garçons et filles) sélectionnés à partir d'un groupe de 120 élèves de la classe 2 du lycée. Les entretiens ont été réalisés immédiatement après un enseignement dans le domaine de la mécanique des fluides (statiques). Les tâches étaient présentées aux élèves sous forme écrite. Dans la discussion qui suivait, l'intervieweur demandait à chaque interviewé(e) de raisonner tout haut, de clarifier ses réponses, etc. Tous les entretiens ont été enregistrés au magnétophone.

Le questionnaire

Les points de vue des élèves au sujet de la pression dans les liquides ont également été étudiés à l'aide d'un questionnaire écrit comprenant toutes les tâches mentionnées ci-dessus, afin d'examiner l'apparition, chez les élèves, et la fréquence d'utilisation, par ces derniers, des modèles de pression. L'échantillon de cette étude comprenait 214 élèves (garçons et filles), sélectionnés à partir d'un échantillon représentatif de 9 écoles disséminées dans trois régions de Grèce. Dans chacune de ces écoles, il y avait plusieurs classes 2. Le test a été donné à une classe de chaque école, choisie comme étant d'un niveau moyen d'après les professeurs.

RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE APPROFONDIE

Dans cette partie, nous donnons les résultats des entretiens, à deux niveaux. Nous commençons par présenter les réponses individuelles dans les tâches proposées, suivies d'une analyse approfondie et d'une modélisation, prenant en compte tant les élèves que les tâches.

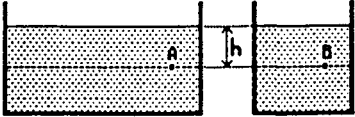
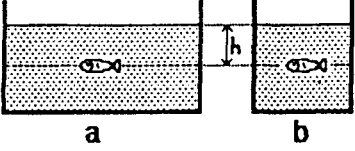
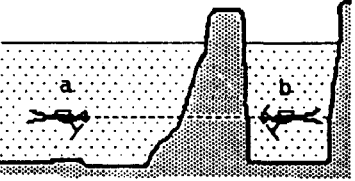
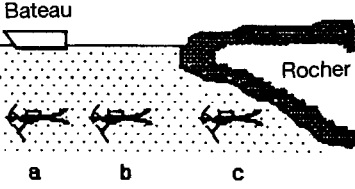
<p>TÂCHE 1</p> 	<ol style="list-style-type: none"> En quel point, A ou B, la pression est-elle plus grande ? Ou les pressions sont-elles les mêmes ? Si je dis “le point A a de la pression” au lieu de “il y a de la pression au point A”, cela fait-il une différence quelconque pour vous et pourquoi ? Si je dis “la pression est exercée au point A” au lieu de “le point A a de la pression”, cela fait-il une différence quelconque pour vous et pourquoi ? Si les pressions sont les mêmes, qu’est-ce qui n’est pas significatif pour elles, la quantité d’eau ou la largeur des récipients ? Pourquoi ?
<p>TÂCHE 2</p> 	<ol style="list-style-type: none"> La pression en un point sur le dos du poisson [a] est plus grande, plus petite ou égale à la pression en un point sur le dos du poisson [b] ? Pourquoi ? Puis-je utiliser l’expression “la pression qu’a le poisson [a]” ou “la pression qu’il y a sur le poisson [a]” ? Pourquoi ? Si les pressions sont égales, qu’est-ce qui n’est pas significatif, la quantité d’eau, la largeur des récipients ou la quantité d’eau sur les côtés des poissons ?
<p>TÂCHE 3</p> 	<ol style="list-style-type: none"> Comparez les pressions en un point du dos des plongeurs [a] et [b]. Considérez que le puits contient de l’eau de mer. Si les plongeurs sortaient de l’eau, y aurait-il de la pression en leur position d’origine ? - aurait-elle la même valeur qu’auparavant ? - Le rapport des pressions entre les points [a] et [b] resterait-il le même ? Si les pressions [a] et [b] sont les mêmes, qu’est-ce qui n’est pas significatif : la surface de l’eau, sa quantité, ou la quantité d’eau sur les côtés des plongeurs ?
<p>TÂCHE 4</p> 	<ol style="list-style-type: none"> Comparez les pressions en un point du dos des plongeurs [a], [b] et [c]. Si les plongeurs sortaient de l’eau, y aurait-il une pression quelconque en leur position d’origine ? Le rapport entre les pressions serait-il le même ? Pourquoi dites-vous lorsque des plongeurs sont présents que la pression “est exercée” et lorsqu’il n’y en a pas qu’“il y a” de la pression ou “a de la pression” ? Existe-t-il une différence entre “est exercée” ou “a” ? Qu’est-ce qui est nécessaire pour que “a” devienne “est exercée” ?

Figure 1. Résumé des tâches de l’interview

Les réponses des élèves dans les tâches proposées

Comme on peut le voir dans le Tableau I, seul un élève a fourni des réponses correctes. Au départ, elles ne l'étaient pas, mais il les a modifiées au cours de l'entretien. Cet élève, tout en répondant aux tâches 1, 2 et 3, a déclaré que $P_l > P_e$ et a justifié son point de vue en disant que l'eau dans le récipient plus grand pesait plus. Nous pouvons en déduire qu'il attribuait à la pression les caractéristiques d'une force puisqu'il considérait que la pression dépend de la quantité de liquide. En discutant de la tâche 3, le même élève a changé son point de vue et déclaré que la pression en un point du dos du plongeur dans la mer était égale à la pression en un point du dos du plongeur dans le puits ($P_{mer} = P_{puits}$) et a justifié son point de vue en déclarant : "parce qu'ils déplacent le même volume d'eau". Après le commentaire de l'interviewé selon lequel cette justification fait référence à la poussée d'Archimède, l'élève a insisté sur l'égalité des pressions (P) mais justifié celle-ci par l'égalité de profondeurs (h) et des gravités spécifiques (E). Puis il a corrigé ses précédentes réponses relatives aux tâches 1 et 2 en utilisant les mêmes justifications. Enfin, il a conclu que les pressions dans le grand et dans le petit récipient étaient égales ($P_l = P_e$).

TABLEAU I. Réponses des élèves aux tâches 1, 2, 3 et 4

Elèves	Tâches 1, 2 : Comparaison des pressions - récipient étroit - large	Tâche 3 : Comparaison des pressions puits - mer	Tâche 4 : Comparaison des pressions trois plongeurs a, b, c
I	$P_e > P_l$ (1)	$P_{puits} > P_{mer}$ (2)	$P_c > P_a, P_b$ (3)
II	$P_e < P_l$	$P_{puits} < P_{mer}$	$P_b > P_a, P_c$
III	$P_e > P_l$	$P_{puits} > P_{mer}$	$P_c > P_a, P_b$
IV	$P_e < P_l$	$P_{puits} < P_{mer}$	$P_a > P_b, P_c$
V	$P_e = P_l$ (à la fin) $P_e > P_l$	$P_{puits} = P_{mer}$ (à la fin) $P_{puits} > P_{mer}$	$P_c > P_a, P_b$ $P_a = P_b = P_c$ (à la fin)
VI	$P_e = P_l$	$P_{puits} = P_{mer}$	$P_c > P_a > P_b$
VII	$P_e > P_l$	$P_{puits} > P_{mer}$	$P_a = P_b = P_c$
VIII	$P_e < P_l$ $P_e = P_l$ (à la fin)	$P_{puits} < P_{mer}$ $P_{puits} = P_{mer}$ (à la fin)	$P_b > P_a > P_c$
IX	$P_e = P_l$	$P_{puits} > P_{mer}$	$P_b > P_a > P_c$
X	$P_e > P_l$	$P_{puits} > P_{mer}$	$P_c > P_a, P_b$

- (1) $P_e > P_l$: la pression en un point au fond du récipient étroit est plus grande que celle en un point au fond du grand récipient ;
- (2) $P_{puits} > P_{mer}$: la pression en un point sur le dos du plongeur dans le puits est supérieure à celle exercée sur le dos du plongeur en mer ;
- (3) $P_c > P_a, P_b$: la pression en un point sur le dos du plongeur (c) est supérieure à celle exercée sur le dos des plongeurs (a) et (b).

Cinq élèves sur les dix considéraient que la pression (P) dans le récipient étroit était plus élevée que dans le récipient large, la même profondeur étant indiquée sur le dessin, et donnaient des justifications du type suivant :

Pe > Pl parce que la pression est éclatée... est distribuée dans un volume plus petit (Elève I).

... parce que le récipient est plus petit et donc elle [l'eau] est plus condensée (Elève III).

... parce qu'il a un volume plus petit et donc P est plus élevé (Elève V).

Deux élèves ont déclaré que $Pe < P_l$:

... parce que le poids de l'eau est impliqué (Elève VIII).

... parce que l'eau fait bloc et que la pression est également transmise latéralement et pas seulement verticalement (Elève II).

Ils ont même utilisé une métaphore issue de leur expérience dans la vie quotidienne :

... parce que les gens dans une petite pièce se sentent plus en sécurité et donc moins sous pression (Elève II).

L'élève VI a répondu correctement aux trois premières tâches, en utilisant la formule $P = \epsilon \cdot h$. Il semble toutefois qu'il appliquait les connaissances qui lui avaient été enseignées d'une manière plus mécanique que réfléchie. On peut le constater dans le dialogue suivant entre l'élève (E) et l'intervieweur (I) :

E : Les pressions en bas des deux récipients sont égales parce que la hauteur de l'eau dans les deux récipients est la même (Tâche 1).

E : Les pressions sur les deux poissons sont égales parce qu'ils sont à la même profondeur (Tâche 2).

I : Les densités sont-elles égales dans les deux récipients ?

E : Elle doit être plus grande dans le récipient étroit parce qu'elle [l'eau] est plus condensée.

I : En ce qui concerne les pressions - sont-elles égales ou inégales ?

E : Egales.

I : Mais puisque $P = \epsilon \cdot h$ et les ϵ différent, comment se fait-il que les pressions soient égales ?

E : Puisque les pressions sont égales, les densités doivent l'être aussi.

Le raisonnement causal de cet élève semble être inversé ici : la cause - des densités égales impliquent des pressions égales - devient l'effet, autrement dit des pressions égales impliquent des densités égales.

Enfin, l'Elève IX a répondu correctement aux tâches 1 et 2 :

Elles [les pressions] sont égales parce qu'ils [les plongeurs] sont à la même profondeur... la quantité d'eau influence le poids et non pas la pression (Elève IX).

Mais il a considéré que la pression dans le puits était plus grande qu'en mer :

[Elle est] plus grande que dans le puits parce que c'est un espace clos... comme l'air dans un petit récipient est plus dense et a une pression plus grande (Elève IX).

Comme on peut le voir dans le Tableau I, la plupart des élèves étaient cohérents dans leurs réponses aux tâches 1, 2 et 3. Cela implique que les élèves considéraient que la présence d'un corps dans un récipient n'influence pas la pression. En outre, la taille du récipient ou le passage d'un récipient "artificiel"

à un récipient "naturel" ne modifie pas la relation des pressions à des profondeurs égales depuis la surface.

Modèles de pression

Au second niveau, nos efforts ont consisté à chercher des modèles impliquant le concept de pression et utilisés par plus d'un élève pour décrire, interpréter et prédire les phénomènes en rapport avec les liquides en équilibre. A partir des données obtenues au cours des entretiens, nous concluons qu'il est possible d'identifier trois modèles de ce type présentant des caractéristiques communes. Nous les avons appelés "modèles de pression" (MP) et les décrivons dans les paragraphes suivants. Les MP ne sont pas en rapport avec des réponses ou tâches individuelles, mais semblent être sous-jacents à la totalité d'un entretien.

Le Tableau II classe les réponses des élèves en les répartissant dans ces trois modèles. OUI indique que les réponses d'un élève étaient compatibles avec un ou plusieurs de ces modèles. NON indique que les réponses d'un élève ne pouvaient être considérées comme compatibles avec un modèle donné.

TABLEAU II. Interprétation des réponses des élèves en termes de modèles de pression

Elèves	Modèle de la foule	Modèle de la force de pression	Modèle de la liquidité
I	Oui (1)	Oui	Non (2)
II	Non	Oui	Oui. Eléments. (3)
III	Oui	Non	Non
IV	Non. Trouve le modèle plausible mais ne l'utilise pas	Oui	Oui. Après discussion
V	Oui. Répond en utilisant ce modèle mais le rejette	Non	Oui. Après discussion
VI	Non. Justification claire	Oui	Oui
VII	Oui	Non	Oui
VIII	Non. Trouve le modèle plausible mais ne l'utilise pas	Oui	Oui
IX	Non. L'utilise dans la tâche 3 mais le rejette	Non	Oui
X	Oui	Oui. Eléments	Non

(1) *Oui* : l'élève utilise le modèle correspondant ;

(2) *Non* : aucune preuve d'utilisation du modèle correspondant ;

(3) *Eléments* : l'élève utilise seulement des éléments du modèle.

Le premier modèle a été appelé le "modèle de la foule", d'après les exemples qu'ont donnés les élèves en l'utilisant :

La pression dans le récipient large est plus faible que dans le récipient étroit ($P_1 < P_2$) parce que, si nous laissons un enfant dans une pièce étroite, il se sentira plus "pressurisé" ou plus comprimé que dans une pièce plus grande (Elève I, Tâche 2).

$P_1 < P_2$ parce que ce récipient est plus étroit et donc elle [l'eau] est plus condensée (Elève III, Tâche 1).

Il est évident que les élèves faisant appel à ce modèle, lorsqu'ils répondent à des tâches, utilisent une métaphore de l'impression qu'ils ressentent dans des environnements "étranglés", tels que le passage des portes d'un stade de football. Ils considèrent plus (comme l'Elève III) ou moins (comme l'Elève I) explicitement que la densité d'un fluide est variable.

Le second modèle a été appelé le "modèle de la force pressante" parce que les élèves y faisant appel ne font pas de distinction entre la pression et la force pressante qui en résulte :

$P_1 > P_2$ parce que le [grand] récipient a une surface plus grande et exerce une force plus élevée que dans le petit (Elève IV, Tâche 1).

La pression semble assimilée à la force que l'eau exerce, c'est-à-dire à son poids pour les élèves. Cela semble également être la réponse la plus plausible et la plus immédiate que quelqu'un fournirait lorsqu'on lui poserait cette question. C'est pourquoi la Tâche 1 a été considérée historiquement comme un paradoxe en hydrostatique.

Une direction est attribuée à la pression (latérale), ou même la possibilité d'être divisée ou distribuée, qui est une propriété des forces mais non pas des pressions :

... la pression latérale sur le poisson n'est pas significative (Elève I, Tâche 3),

... la pression est divisée - distribuée dans moins d'espace (Elève I, Tâche 1).

Le troisième modèle, le "modèle de la liquidité", est celui qui est le plus compatible avec les connaissances scientifiques dans la mesure où il semble considérer la pression comme une fonction en un point à l'intérieur du liquide (Sommerfeld, 1950) et/ou une propriété des liquides. Ce modèle est en relation avec l'utilisation correcte par les élèves de la formule $P = \rho \cdot h$ et est compatible avec l'emploi de la pression comme une quantité scalaire en physique dans le niveau secondaire, autrement dit :

Je change mon point de vue initial et je considère à présent que les pressions dans le récipient étroit et dans le récipient large sont égales dans la mesure où l'eau a la même densité et où ils ont la même profondeur (Elève IV, Tâche 3).

Les entretiens s'attachaient tout particulièrement aux différentes utilisations par les élèves d'expressions écrites ou orales en rapport avec le terme "pression" telles que : "avoir une pression" ou "il y a de la pression" et "accepte la pression" ou "exerce une pression". La fréquence d'utilisation de ces deux types d'expressions dans chaque tâche a été étudiée. Neuf élèves sur 10 font une distinction entre ces deux types d'expressions, considérant la première ("avoir une pression" ou "il y a de la pression") comme évidente en soi ou la tenant toujours pour vraie, autrement dit comme une caractéristique ou une propriété d'un point dans un liquide. Le second type d'expression, soit "une pression est exercée", est utilisé lorsqu'il y a un corps ou une surface à l'intérieur du liquide et

semble être considéré comme une conséquence de "avoir une pression" ou "il existe une pression" :

Oui, l'eau a une pression parce que celle-ci [la pression] s'exerce si nous mettons dedans une autre chose, telle qu'un poisson (Elève VI, Tâche 1).

L'expression "il y a une pression" (en un point) est compatible avec le modèle scientifique tandis que l'expression "a une pression" implique que la pression est une propriété des liquides. L'expression "une pression est exercée" est en contradiction avec le modèle scientifique mais la façon dont elle est utilisée par les élèves semble faire référence à la force de pression qu'un liquide exerce sur toute surface en contact avec lui :

Pour qu'elle [la pression] s'exerce, il faut qu'il y ait un objet (Elève II, Tâche 2).

Caractéristiques des modèles de pression

L'analyse précédente nous a amenés à identifier un ensemble de caractéristiques relatives à ces modèles. Elles sont récapitulées dans le Tableau III et décrites ci-dessous.

TABLEAU III. Caractéristiques des modèles de pression

Éléments	"Modèle de la foule"	"Modèle de la force de pression"	"Modèle de la liquidité"
1. La densité est variable	Oui	Non	Non
2. La pression a une direction	Non	Oui	Non
3. La pression dépend de la quantité de liquide	—	Oui	Non
4. La pression est considérée ou calculée par rapport à une surface	Oui	Oui	Non
5. La pression est divisée ou partagée	Oui	Oui	Non
6. La pression est exprimée par l'expression "accepte la pression"	Non	Oui	Non
7. La pression est considérée comme une propriété du liquide	Non	Non	Oui
8. La pression est considérée ou calculée en un point	Non	Non	Oui
9. La pression est exprimée par l'expression "a une pression"	Non	Non	Oui

(1) *Oui/Non* : la caractéristique est présente/n'est pas présente dans le modèle correspondant.

1. La densité est variable

C'est une caractéristique du "modèle de la foule". Même si l'existence de cette caractéristique dans d'autres modèles n'a pas été directement vérifiée au cours des interviews, nous prétendons que les élèves ayant recours aux autres modèles ne l'utilisent pas. Considérons, par exemple, le point de vue suivant : "Le récipient plus large contient plus d'eau, c'est pourquoi il a plus de pression". Dans ce cas, nous considérons que cet élève utilise le "modèle de la force de pression" mais qu'il considère que le récipient plus large *"contient plus d'eau mais que [cette eau] n'est pas moins dense que dans le récipient étroit"*.

2. La pression a une direction

C'est une caractéristique du "modèle de la force de pression". Les élèves recourant au "modèle de la liquidité", même s'ils ne disent pas explicitement que la pression n'a pas une direction, semblent le supposer lorsqu'ils utilisent l'expression "a une pression". Il n'existe aucune preuve qu'un élève recourant au "modèle de la foule" considère la pression comme une quantité vectorielle.

3. La pression dépend de la quantité de liquide

C'est une caractéristique du "modèle de la force de pression". Les élèves ayant recours au "modèle de la liquidité" acceptent indirectement l'idée que la pression ne dépend pas de la quantité de liquide puisqu'ils déclarent que les pressions dans le récipient large et dans le récipient étroit sont les mêmes. A l'instar des élèves recourant au "modèle de la foule", il n'existe aucune preuve qu'ils établissent, ou non, un rapport entre la pression et la quantité de liquide, puisqu'ils considèrent les liquides comme compressibles.

4. La pression est considérée ou calculée par rapport à une surface

Les élèves recourant au "modèle de la force de pression" considèrent, ou calculent, la pression comme exercée sur une surface : *"La pression qui est acceptée au fond du récipient"*. C'est également le cas des élèves ayant recours au "modèle de la foule", mais ces derniers identifient cette surface avec la "porte" à travers laquelle coule le liquide : *"La pression dans le récipient étroit est plus élevée... C'est juste comme sortir tous ensemble de la classe où nous sommes très comprimés"*. Au contraire, les élèves utilisant le "modèle de liquidité" identifient la pression en un point dans le liquide plutôt qu'à la surface : *"La pression en ce point dépend de la profondeur"*.

5. La pression est divisée ou partagée

Cette conception est soutenue par des élèves qui utilisent le "modèle de la foule" : *"La pression dans le récipient étroit est plus élevée parce que la pression est divisée..."*.

La même conception semble être également partagée par les élèves recourant au "modèle de la force de pression". Pour eux, la pression dépend de la quantité de liquide, donc si cette dernière est divisée, la même chose devrait aussi arriver à la pression. Au contraire, ceux qui utilisent le "modèle de liquidité" semblent supposer que la pression ne peut être divisée.

6. Un corps "accepte" la pression

Cette expression est considérée la plus appropriée par les élèves recourant au "modèle de la force de pression" tandis que les élèves faisant appel au "modèle de la liquidité" trouvent plus appropriée l'expression "a de la pression". Les

élèves faisant appel au "modèle de la foule" n'utilisent pas d'expressions de ce type.

7. La pression est une propriété du liquide

C'est une caractéristique du "modèle de la liquidité". Toutefois, chez les élèves faisant appel aux deux autres modèles, le concept d'interaction (ce avec quoi le liquide interagit) semble plus important que les propriétés du liquide lui-même.

8. La pression est considérée ou calculée en un point

Comme mentionné pour la quatrième caractéristique, les élèves faisant appel au "modèle de liquidité" considèrent la pression en un point dans le liquide.

9. Le liquide "a" de la pression

Comme mentionné précédemment pour la sixième caractéristique, les élèves utilisant le "modèle de la liquidité" considèrent cette expression comme la plus appropriée pour la pression, contrairement aux élèves faisant appel aux deux autres modèles.

Nous pensons que les caractéristiques décrites ci-dessus et résumées dans le Tableau III contribuent à une meilleure compréhension de la nature de ces trois modèles et fournissent un moyen permettant d'étudier de façon plus approfondie leur validité et leur utilité pour l'enseignement.

LES RÉSULTATS DU QUESTIONNAIRE

L'existence et la fréquence de l'utilisation des modèles de pression par les élèves de l'enseignement obligatoire ont été examinées dans la seconde phase de cette étude en envoyant un questionnaire écrit à un vaste échantillon. Les tâches de ce questionnaire étaient les mêmes que celles relevant de la première partie de l'interview (Cf. Fig. 1). Par exemple, la tâche 3, dans laquelle on comparait les pressions, correspondait à la tâche 3(a) de l'interview et consistait à comparer les pressions en un point sur le dos des plongeurs (a) et (b) en considérant que le puits contient de l'eau de mer.

Les résultats du questionnaire pour les tâches 1, 2 et 3 sont récapitulés dans le Tableau IV. La plupart des réponses et leur justification ont été catégorisées en référence aux trois modèles de pression. Les réponses des élèves n'ont pas permis de mettre à jour l'existence d'autres modèles. Un certain nombre de réponses, telles que "*la pression sur le poisson*" [dans le récipient large] *est plus élevée que la pression en (b)* [récipient étroit], n'ont pas pu être classées avec précision et ont donc été regroupées dans une catégorie distincte. La réponse citée ci-dessus peut relever du "modèle de la force de pression" mais dans la mesure où elle n'était pas accompagnée d'une justification du type "*parce que le récipient contient plus d'eau*", nous avons décidé de ne pas la référencer au dit modèle. Enfin, les élèves n'ayant fourni aucune réponse ou des réponses incomplètes font également l'objet d'une catégorie distincte.

TABLEAU IV. Réponses des élèves aux tâches 1, 2 et 3

Modèles	Tâche 1 (%)	Tâche 2 (%)	Tâche 3 (%)
"Modèle de la foule"	19	16	14
"Modèle de la force de pression"	27	29	21
"Modèle de la liquidité"	30	40	42
Réponses non classées	12	9	15
Pas de réponse/réponse incomplète	12	6	8
Total (N=214)	100	100	100

Les résultats relatifs aux trois premières tâches ont montré que 59 à 82% des réponses relevaient de l'un des trois modèles, ce qui est une indication claire de leur usage par les élèves. Pour la Tâche 4, 5% des élèves ont utilisé le "modèle de la foule" et 18% celui de la "liquidité". Ces deux pourcentages sont beaucoup plus faibles que ceux relatifs aux trois autres tâches. Toutes les autres réponses, y compris l'absence de réponse proprement dite et les réponses non classées, relèvent de diverses catégories et ne sont significatives pour aucun des trois modèles, pas plus qu'elles n'indiquent une tendance quelconque. Comme mentionné ci-dessus, la Tâche 4 faisait délibérément référence à une situation plus complexe que les trois autres tâches, pour lesquelles une distinction claire était établie entre le récipient étroit et le récipient large et où il n'y avait pas de force de piston. Les résultats relatifs à la Tâche 4 ont montré que plusieurs élèves éprouvaient des difficultés - tant de l'ordre de la perception que de la conception - à comprendre que les plongeurs étaient à une profondeur égale dans le liquide.

La pression en (b) est plus élevée parce que la profondeur est plus grande.

La pression en (c) est inférieure parce que le plongeur est sous le rocher, il est donc à une profondeur moindre.

D'autres élèves ont considéré que la transmission de la pression avait des effets localisés :

La pression en (a) est plus grande parce qu'il y a un bateau au-dessus.

C'est pourquoi nous avons considéré que, soit les élèves n'avaient pas bien compris cette tâche, soit les trois modèles sont seulement partiellement applicables à la Tâche 4. Nous n'avons donc pas inclus les résultats au Tableau IV. D'où, à présent, notre hypothèse selon laquelle les modèles de pression envisagés représentent des structures conceptuelles applicables particulièrement aux phénomènes en rapport avec les récipients dont les aires de surface sont manifestement différentes.

Comme noté dans l'introduction, la pression est utilisée par les élèves pour interpréter les liquides en équilibre mais avec des significations différentes. Peu après le cours, environ 14 à 19% des élèves ont encore en tête leur conceptualisation naïve, qui est le "modèle de la foule" non influencé par l'enseignement. Si des résultats tels que ceux-ci ne sont pas du tout surprenants pour la recherche sur les conceptions des élèves, leurs implications vont au-delà de la statique des liquides. Une propriété considérée comme fondamentale pour les liquides, autrement dit l'incompressibilité, n'a pas été comprise après enseignement.

Après enseignement, le "modèle de la force de pression" est fortement répandu mais non dominant comme il a été constaté au cours des interviews. Dans d'autres études (Kariotoglou, 1990), comprenant des post-tests différés, nous avons noté une nette tendance à l'augmentation du pourcentage des élèves utilisant ce modèle. Certaines caractéristiques de la force apparaissent également dans le "modèle de la foule", comme noté au cours de la discussion sur les caractéristiques des modèles. A partir de ces résultats, nous pouvons proposer l'hypothèse qu'un nombre considérable d'élèves attribuent les caractéristiques d'une force à la pression.

Le "modèle de la liquidité" est le plus proche du modèle scientifique bien qu'il ne coïncide pas avec lui. Comme noté précédemment, certains élèves classés dans cette catégorie répondent correctement mais quelques-uns utilisent l'expression "a de la pression", ce qui implique que la pression est une propriété des liquides. Les variations de pression sont données par la formule $P = \rho \cdot h$ et sont le résultat de l'interaction entre le liquide et le champ gravitationnel. Cependant, comme (a) la pression ne peut être définie en l'absence de tout liquide alors qu'elle peut l'être en l'absence d'un champ gravitationnel, même si c'est le même en tous les points du liquide (principe de Pascal) et (b) l'expression "le liquide a de la pression" est largement répandue dans la littérature, nous estimons que cette dernière expression devrait être considérée comme correcte à des fins d'enseignement, même si elle envisage la pression comme une propriété des liquides. C'est pourquoi nous pensons que les élèves apportant de telles réponses peuvent être considérés comme n'étant pas dans l'erreur.

CONCLUSIONS ET IMPLICATIONS POUR L'ENSEIGNEMENT

Les données obtenues au cours de cette recherche nous ont amenés à classer les conceptions des élèves en trois modèles de pression. Les résultats ont montré que ces modèles sont largement applicables pour les récipients dont les surfaces ont des aires manifestement différentes. De telles situations sont répandues dans la vie quotidienne et dans le champ de la statique des liquides mais ne couvrent certainement pas tout le champ d'applicabilité des connaissances enseignées. L'utilisation de ces modèles peut également être influencée par la complexité de la situation. A l'intérieur de ces limites, nous discuterons de la nature des modèles de pression et des implications, au niveau de l'enseignement, des résultats de la recherche.

La fréquence et la constance de l'apparition des modèles de pression, après l'enseignement traditionnel, impliquent la mise au point de stratégies spécifiques d'enseignement et d'apprentissage afin de promouvoir une réelle compréhension, par les élèves, des connaissances scientifiques relatives à la statique des liquides. Nous suggérons que ces stratégies s'alignent sur les caractéristiques distinctes de chaque modèle. Malgré leurs particularités, toutes les stratégies devraient avoir un caractère constructiviste, autrement dit reposer sur les connaissances préalables des élèves et permettre la construction de nouvelles connaissances par les élèves eux-mêmes (Watts, 1988). Nous considérons que l'articulation des propositions qui suivent en unités de programme devrait faciliter l'apprentissage de la statique des liquides ou des fluides par rapport à la situation actuelle.

Le "modèle de la foule" est une conceptualisation naïve des liquides par les élèves, construite, vraisemblablement, à partir de leurs expériences socio-per-

sonnelles, à l'aide d'une métaphore qui consiste à assimiler les personnes aux liquides. C'est une sorte de pensée animiste, souvent citée dans la littérature traitant des conceptions des élèves. En revanche, ces mêmes élèves semblent établir une relation assez peu précise entre volume et forme des liquides, considérant ainsi ces derniers comme compressibles en raison de leur capacité à changer de forme. Il est probable que les élèves ne font pas la distinction entre liquides et gaz, qui, eux, sont compressibles. L'éventualité d'une utilisation erronée de certains aspects de la théorie cinétique devrait également être exclue dans la mesure où notre échantillon n'a pas reçu d'enseignement sur ce sujet au lycée.

Le "modèle de la foule" est incompatible avec l'hypothèse de base du modèle scientifique, l'incompressibilité des liquides. Nous considérons que, dans ce cas, l'apprentissage de faits scientifiques implique une modification conceptuelle chez les élèves, qui pourrait être obtenue en restructurant leur conceptualisation naïve en vue de construire cette caractéristique fondamentale du modèle scientifique. Nous suggérons que l'enseignement au sujet des fluides comprenne des activités spécifiques, autrement dit une unité de programme distincte qui traiterait des propriétés des liquides comparées aux propriétés des solides et des gaz. La comparaison des différentes propriétés des états de la matière est souvent incluse dans les programmes mais pas toujours enseignée de façon systématique et complète. Une telle unité se centrerait sur le diagnostic des points de vue des élèves tels que le "modèle de la foule" et fournirait des preuves expérimentales d'incompressibilité des liquides. Des expériences appropriées pourraient consister en la compression et l'expansion de liquides et de gaz dans une simple seringue. Il pourrait être demandé aux élèves de comparer la compressibilité des liquides et des gaz, de conceptualiser et de discuter leurs prévisions et interprétations en classe.

Par rapport au "modèle de la foule", le "modèle de la force de pression" représente, de la part des élèves, une tentative plus "scientifique" de rendre compte des liquides en équilibre. Un examen soigneux de la terminologie utilisée, lorsqu'il est fait, révèle que certaines des idées impliquées dans ce modèle sont moins fausses que mal exprimées. L'expression "exerce une pression" est fautive car la pression n'est pas exercée mais existe en un point à l'intérieur des liquides. Ce qui est exercé est la force de pression sur une surface. Une telle confusion entre force et pression est caractéristique du "modèle de la force de pression" et peut être due à une influence de l'environnement ou à l'enseignement. Autrement dit, les effets de la pression ne sont pas directement perceptibles ou mesurables comme le sont les effets de la force de pression correspondante, par exemple la poussée d'Archimède, la déformation des membranes, etc. En fait, la pression n'est mise en évidence qu'à travers les effets de la force de pression. Le point de vue selon lequel "une grande quantité d'eau impose une pression plus forte" est fort répandu chez les non scientifiques. Un autre facteur qui influence la popularité de ce modèle pourrait bien être l'utilisation fréquente dans les manuels scolaires et dans l'enseignement ordinaire d'éléments tels que des flèches pour indiquer la pression ou des expressions telles que "la pression s'exerce" ou "accepte la pression" qui relèvent d'un modèle de la pression intégrant la contrainte (Kariotoglou et al., 1990).

Au cours de recherches récentes, on a identifié plusieurs cas où les élèves ne parvenaient pas à faire la distinction entre des concepts appariés, notamment entre chaleur et température (Wiser, 1987), poids et densité (Smith et al., 1985). Le "modèle de la force de pression" fournit une preuve indéniable que force de pression et pression forment une telle paire de concepts indifférenciés.

La pression, à l'instar de la température, est une quantité paramétrique dans un état donné, qui est définie en un point et ne dépend pas de la quantité de matière. La force de pression, à l'instar de la chaleur, est une quantité en interaction qui dépend de la quantité de matière. Par exemple, la poussée d'Archimède est un cas de force de pression dont l'amplitude dépend de la quantité de liquide déplacé. En revanche, la différence de pression entre un point à l'intérieur d'un récipient et un point à la surface dépend seulement de la hauteur de liquide situé au-dessus et non pas de sa quantité totale.

L'établissement de caractéristiques de pression acceptables scientifiquement devrait être un objectif central dans l'apprentissage conceptuel au sujet des fluides. Cela devrait impliquer de ne pas présenter la pression en rapport avec la force, comme c'est généralement le cas dans les manuels. Nous suggérons, à titre d'approche alternative, de présenter la pression aux élèves comme un concept primaire permettant de décrire et d'interpréter le comportement des liquides avant de la mettre en relation avec la force. L'apprentissage au sujet de la pression implique de différencier les caractéristiques de la force de pression et de la pression, processus qui nécessite une modification conceptuelle chez les élèves. Le recours à des tâches expérimentales, parallèlement aux deux premières tâches incluses dans les interviews présentées ici, devrait faciliter considérablement cette distinction par les élèves. Par exemple, des expérimentations appropriées devraient se concentrer sur la comparaison et l'analyse de pressions et de forces au fond de récipients étroits et de récipients larges, ce à l'aide de manomètres, et de petits et de grands pistons sur une surface. Les manuels pourraient également aider les élèves à faire cette distinction s'ils utilisaient constamment des expressions telles que "exerce une force de pression" au lieu de "exerce une pression" et si les flèches étaient éliminées pour représenter la pression. Les flèches devraient coder des forces de pression plutôt que des pressions.

Le "modèle de liquidité" est proche du modèle scientifique dans la mesure où la pression est considérée comme une fonction en un point. Ce modèle est plus abstrait que les deux autres ; en effet, considérer la pression comme une quantité paramétrique dans un état donné, n'est relié à aucun effet observable. Nous considérons que le "modèle de liquidité" résulte essentiellement de ce qui est dit aux élèves à propos des fluides. Cependant, des germes de ce modèle apparaissent dans les intuitions des élèves qui s'expriment par l'expression "a de la pression", dénotant que la pression existe dans un liquide même s'il s'agit d'un état. Dans ce cas, la pression est une propriété du liquide.

La nature des "modèles de liquidité" implique un traitement pédagogique différent de celui des autres modèles. Les élèves semblent relier l'expression "a de la pression" avec un modèle où la pression est considérée comme une propriété des liquides uniquement parce que la pression peut être définie en n'importe quel point de ce dernier. Comme mentionné ci-dessus, cette conception n'est, grosso modo, pas trop éloignée du modèle scientifique ; nous devrions donc la considérer comme une "intuition-point de départ" (Clement et al., 1989) en rapport avec le "modèle de liquidité". Cela signifie que l'enseignement dans le domaine des liquides devrait renforcer l'expression "a de la pression" et la rapporter à la pression en un point, tout en soulignant que "exerce la pression" ou "accepte la pression" est en rapport avec les forces de pression.

Petros KARIOTOGLOU

Dimitris PSILLOS

Université de Thessalonique, Grèce

La revue Aster remercie les auteurs et la rédaction de Research in Science and Technological Education, qui ont aimablement accordé l'autorisation de publication de cet article en français. La traduction a été assurée par Anne Berger, avec la collaboration de Claudine Larcher.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CLEMENT, J., BROWN, D. & ZIETSMAN, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions : finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' institutions, *International Journal of Science Education*, 11, pp. 554-565.
- ENGEL, E. & DRIVER, R. (1985). What do chilfren understand about pressure in fluids ? *Research in Science and Technological Education*, 3, pp. 133-143.
- GIESE, P. (1987). Misconceptions about water pressure, in : *Proceedings of the 2nd International Seminar*, pp. 142-148 (Ithaca, NY, Cornell).
- KARIOTOGLOU, P. (1990). A study of teaching and learning problems in the domain of fluids, *unpublished doctoral thesis*, Physics Department, University of Thessaloniki, Greece.
- KARIOTOGLOU, P., KOLIOPOULOS, D. & PSILLOS, D. (1989). A study of pupils' conceptions about fluids : the case of pressure of liquids, *Communication, 3rd EARLI Conference*, (Madrid, EARLI).
- KARIOTOGLOU, P., PSILLOS, D. & VALASSIADES, O. (1990). Understanding pressure : didactical transpositions and pupils' conceptions, *Physics Education*, 25, pp. 92-96.
- KOLIOPOULOS, D., KARIOTOGLOU, P. & PSILLOS, D. (1986). La force dans le contexte des liquides : une première approche au collège en Grèce, *Feuilles d'Epistémologie Appliquée et de Didactique des Sciences*, pp. 59-65.
- MAYER, M. (1987). Common-sense knowledge versus scientific knowledge : the case of pressure, weight and gravity, in : *Proceedings of the 2nd International Seminar*, pp. 298-310 (Ithaca, NY, Cornell).
- McCLELLAND, J. (1987). Pressure points, *Physics Education*, 22, pp. 107-109.
- SÉRÉ, M.G. (1982). A study of some frameworks used by pupils aged 11-13 years in the interpretation of air pressure, *International Journal of Science Education*, 2, pp. 299-309.
- SMITH, C., CAREY, S. & WISER, M. (1985). On differentiation : a case study of the development of the concepts of size, weight, and density, *Cognition*, 21, pp. 177-237.
- SOMMERFELD, A. (1950). *Mechanics of deformable bodies* (London, Academic Press).
- WATTS, M. (1988). From concept maps to curriculum signposts, *Physics Education*, 23, pp. 74-79.
- WISER, M. (1987). The differentiation of heat and temperature : history of science and novice-expert shift, in : S. STRAUSS (Ed.) *Ontogeny, phylogeny, and historical development* (NJ, Norwood).