

Raisonnement spontané sur la propagation des signaux : aspect fonctionnel

L. MAURINES

L.D.P.E.S., Université Paris VII

INTRODUCTION

Nous avons analysé dans un précédent article [1] l'aspect mécaniste des raisonnements utilisés par les étudiants lors de l'étude de la propagation d'un ébranlement transversal sur une corde.

Nous avons montré qu'ils se centrent sur la forme visible qui se déplace et qu'une notion, appelée capital, permet de rendre compte de leurs réponses. Ce capital est un concept hybride regroupant la plupart des grandeurs physiques mises en jeu dans un phénomène de propagation (force, énergie, vitesse, largeur du signal, amplitude...) et amalgamant la cause (la secousse exercée par l'opérateur pour créer le signal) et l'effet (la bosse et son déplacement). Ce capital est un «objet» fictif, matérialisé par la «bosse» qui se propage, fabriqué et mis en mouvement par la source.

Un raisonnement en terme de capital conduit les étudiants à :

- appliquer à la bosse qui se déplace une mécanique* de l'objet matériel (la vitesse de propagation du signal dépend de la source et peut varier au cours du temps) et à caractériser le signal par une grandeur géométrique (sa largeur) et non temporelle (sa durée)
- une interdépendance entre le mouvement transversal d'un point du milieu et la vitesse de propagation (par exemple : l'amplitude du signal, H , et la vitesse de propagation, V , varient simultanément au cours du temps car elles sont deux facettes du même objet qui diminue).

* Cette mécanique présente les caractéristiques de la mécanique spontanée mise en évidence par E. Saltiel [2] et L. Viennot [3].

Nous allons étudier dans cet article un autre aspect du raisonnement des étudiants : il vise à réduire le nombre de variables de situations en comportant beaucoup.

Une des premières manifestations de cette tendance à la réduction «fonctionnelle» est l'utilisation d'un raisonnement mononotionnel qui a pour support le capital dont nous venons de dire quelques mots. Ce caractère mononotionnel du raisonnement se retrouve dans d'autres domaines de la physique : en mécanique [2], [3], [4] en électrocinétique [5], en thermodynamique [6].

Une autre manifestation est la simplification de l'utilisation fonctionnelle de relations où interviennent au moins trois grandeurs physiques. Avant de poursuivre, situons le terme fonctionnel dans l'usage qui en est fait ici. Un raisonnement fonctionnel est un raisonnement dans lequel une formule telle que $L = VT$ est utilisée, non pas pour trouver la valeur numérique de l'une des grandeurs physiques à l'aide des valeurs numériques des deux autres, mais pour prévoir le sens de variation de l'une connaissant le sens de variation des deux autres. Un exemple d'utilisation fonctionnelle de cette formule est : si T et V augmentent, alors L augmente. Un autre est : si T est fixé et si V augmente, alors L augmente. Toutes les grandeurs mises en jeu sont mentionnées, même si l'une d'entre elles reste constante.

Le point important examiné ici et mis également en évidence dans d'autres domaines [7], [8], en particulier en thermodynamique par S. Rozier [6], est que les étudiants ont des difficultés à considérer **simultanément** la variation de plus de deux grandeurs physiques. Ainsi, face à des situations où intervient un nombre de variables supérieur à deux :

- les étudiants établissent uniquement des associations entre variations de deux grandeurs physiques (par exemple, la largeur L d'un signal et la durée T du mouvement transversal d'un point du milieu), en ne se souciant pas des autres et en transformant ainsi les formules étudiées en **relations binaires**.

- au besoin, les étudiants enchaînent de telles relations, comme sur l'exemple bien connu relevé par Piaget [7] : « plus vite $\Rightarrow$ plus loin » ; puis « plus loin $\Rightarrow$ plus de temps » d'où « plus vite $\Rightarrow$ plus de temps ».

ASSOCIATION ENTRE VARIATIONS DE DEUX GRANDEURS PHYSIQUES

1) Un exemple de cette pratique

Parmi les nombreuses questions permettant de mettre en évidence ce type de raisonnement, nous avons choisi d'en présenter une portant sur la comparaison des durées du mouvement transversal de deux repères placés sur deux cordes différentes.

La question suivante ainsi que sa version quantitative (les valeurs numériques des vitesses de propagation avaient données dans l'énoncé) ont été présentées successivement à 32 étudiants de terminale D ayant reçu un enseignement sur les ondes.

2 cordes différentes, de célérités différentes, sont posées sur le sol. Sur chacune des cordes, on a repéré un point : A_1 pour la corde C_1 , A_2 pour la corde C_2 .

Corde C_1



Corde C_2



– 2 enfants tiennent respectivement à la main l'extrémité O_1 et O_2 des cordes. Ils font chacun un mouvement de main en commençant à lever la main au même instant et ils voient se déplacer sur chaque corde «une bosse».

Voici ce qu'ils observent au même instant :

Corde C_1



Corde C_2



Question : comparez la durée du mouvement de A_1 et de A_2 . Justifiez votre réponse.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 1

TABLEAU 1

	réponse correcte $T_1 = T_2$	réponse incorrecte $T_1 > T_2$ ou $T_1 < T_2$
version qualitative	6 %	85 %
version quantitative	59 %	24 %

L'examen des justifications montre qu'une majorité d'élèves connaît la relation $L = VT$ car elle apparaît dans la version quantitative comme moyen de calcul de chacune des durées. Il est important de souligner que cette relation est utilisée correctement uniquement dans la version quantitative. Dans la version qualitative, son utilisation fonctionnelle est incomplète et conduit à une réponse erronée : au lieu de mettre simultanément en relation la durée T avec la largeur L et la vitesse V , les justifications des étudiants ne font état que de L ou V .

- la réponse $T_1 < T_2$ donnée par 66% des 32 étudiants est justifiée à 76% par $L_1 < L_2$ uniquement, sans aucune mention de la vitesse.
- la réponse $T_1 < T_2$ donnée par 19% des 32 étudiants est justifiée à 100% par $V_1 < V_2$ uniquement, sans aucune mention de la largeur.

Il faut noter qu'il est visible sur les graphes fournis avec l'énoncé que les largeurs et les vitesses des deux ébranlements sont différents d'une corde à l'autre. La non mention de l'une de ces grandeurs signifie qu'elle n'est effectivement pas prise en compte.

2) Compatibilité de cette pratique avec une réponse correcte

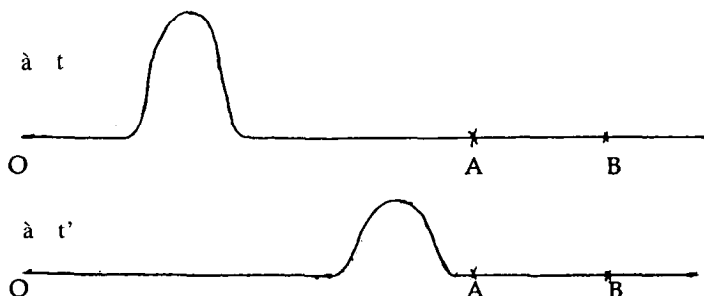
L'utilisation d'une relation binaire peut conduire les étudiants à une réponse correcte. Il en est ainsi lorsque la grandeur physique non mentionnée reste constante au cours du temps. La réponse correcte obtenue par une telle pratique correspond rarement à une fixation implicite de cette grandeur, mais provient de la non prise en compte de cette variable. C'est ce que révèle le questionnaire suivant :

Une corde est posée sur le sol. On a repéré deux points sur cette corde A et B.



Un enfant tient l'extrémité O de la corde. Il fait un mouvement de main et voit se déplacer sur la corde une «bosse».

Il observe la corde à deux instants différents t et t' , $t' > t$



Questions :

- 1 - Comparez la durée du mouvement de A et B, T_A et T_B ? Justifiez votre réponse.
- 2 - la vitesse de la bosse varie-t-elle au cours du temps ?

64% des 32 étudiants de terminale C affirment que les durées sont égales ($T_A = T_B$, réponse correcte) sans mentionner la vitesse de propagation et encore moins sa constance au cours du temps et 59% des étudiants qui répondent correctement à cette première question affirment à la deuxième que la vitesse de la bosse diminue.

Ne pas mentionner la grandeur vitesse à la première question ne signifie pas que l'étudiant a compris que cette dernière reste constante au cours du temps : n'accordons pas trop de crédit à des réponses correctes accompagnées de justifications incomplètes !

3) Nature des relations binaires

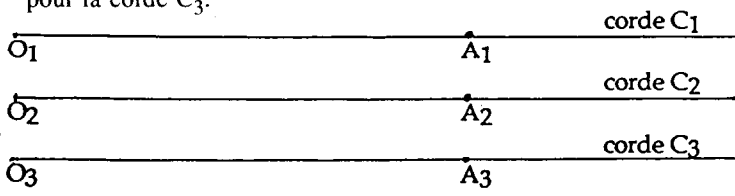
Les relations binaires établies par les étudiants peuvent être pertinentes (par exemple relation entre L et T) ou non (relation entre H et V). Elles dépendent pour une situation donnée de la question posée : ainsi au questionnaire précédent, une relation entre L et T peut apparaître à la première question et une entre H et V à la deuxième.

4) Réponses « disjointes » et contradiction inhérente à cette pratique

Les étudiants, en, changeant de relation binaire d'une question à l'autre, peuvent aboutir à des contradictions dont ils n'ont pas conscience car, à aucun moment, ils ne rapprochent les réponses fournies à différentes questions. C'est ce qui apparaît dans le questionnaire précédent.

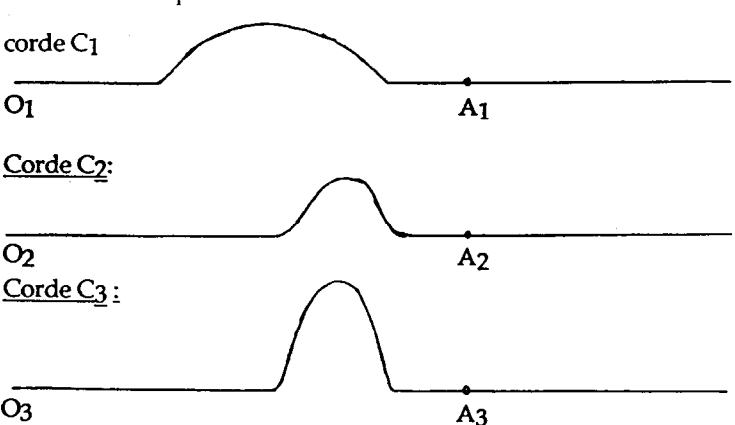
Il n'est cependant pas nécessaire de demander aux étudiants de répondre à plusieurs questions pour faire surgir des incohérences, comme le montre la situation suivante :

3 cordes sont posées sur le sol. Sur chacune des cordes on a repéré un point : A_1 pour la corde C_1 , A_2 pour la corde C_2 , A_3 pour la corde C_3 .



3 enfants tiennent respectivement à la main l'extrémité O_1 , O_2 , O_3 des cordes. Ils font chacun un mouvement de main en commençant à lever la main au même instant et ils voient se déplacer sur chaque corde une bosse.

Voici ce qu'ils observent au même instant :



Question : Comparez les durées du mouvement de A_1 , A_2 , A_3 : T_{A1} , T_{A2} , T_{A3} ? Justifiez votre réponse.

16 % des 62 étudiants interrogés avant enseignement donnent le classement $T_{A2} < T_{A3} < T_{A1}$ car ils utilisent **successivement** une relation binaire entre la largeur du signal et la durée «transversale» et une relation entre l'amplitude et cette durée.

«La forme du mouvement est différente mais la vitesse est identique. La largeur* du mouvement de la corde 1 étant plus grande $T_{A1} \geq T_{A2} \geq T_{A3}$ et comme la hauteur est plus petite en T_{A2} qu'en T_{A3} la durée T_{A3} sera plus grande que T_{A2} . On a donc $T_{A2} < T_{A3} < T_{A1}$ »

ENCHAÎNEMENT DE RELATIONS BINAIRES

Souvent, lorsque les étudiants font intervenir plusieurs grandeurs physiques, ils les associent deux à deux par l'intermédiaire de relations qu'ils enchaînent. Voici un exemple de telle pratique, obtenue à la question précédente :

«on a $T_{A3} < T_{A2} < T_{A1}$, car plus la bosse a de la hauteur ($h_1 < h_2 < h_3$), plus le travail fourni est important donc plus il y a de l'énergie fournie. De là plus la bosse se déplace vite le long de la corde».

Ici, l'étudiant établit la suite $H \nearrow \Rightarrow F \nearrow \Rightarrow V \nearrow \Rightarrow T \searrow$

Ce type de raisonnement se retrouve même lorsque l'étudiant explicite la relation $L = VT$. Citons cette justification obtenue à la question portant sur les durées du mouvement transversal des deux repères situés sur une même corde lors de la propagation d'un signal dont l'amplitude diminue au cours du temps (cf. §2)

«On remarque que l'onde s'amortit mais la période reste la même*.

On sait que $\lambda = cT$ où λ est la longueur d'onde $c = \frac{\lambda}{T}$, si l'onde s'amortit (*la vitesse varie ***) et si la période reste inchangée, on aura logiquement $\lambda' < \lambda$.

On aura donc considérant c constant, $T_A > T_B$ »

* C'est nous qui soulignons.

** C'est nous qui notons.

L'étudiant établit les enchaînements $H \rightsquigarrow c \rightsquigarrow$ puis « $c \rightsquigarrow$ et $T = \Rightarrow \lambda \rightsquigarrow$ pour terminer par « $\lambda \rightsquigarrow$ et $c = \Rightarrow T \rightsquigarrow$ en se contredisant explicitement une fois et en contredisant l'énoncé puisque λ est constant !

CONCLUSION

Face à des situations ondulatoires, où intervient un nombre élevé de variables, les étudiants mettent en œuvre deux pratiques visant à réduire ce nombre :

- un raisonnement mononotionnel s'appuyant sur la notion de capital, c'est à dire d'«objet» rassembleur de grandeurs physiques
- l'utilisation de relations binaires entre variations de deux grandeurs physiques uniquement (les autres grandeurs n'étant alors pas prises en compte) et de leur enchaînement.

Ce type de raisonnement est incompatible avec une utilisation fonctionnelle des relations apprises et ne peut être remis en cause par la tendance des étudiants à leur numérisation, c'est à dire à leur utilisation uniquement comme moyen de calcul. Il ne permet pas de spécifier complètement les phénomènes et traduit souvent l'existence d'associations non pertinentes. Il est à l'origine de nombreuses incohérences et contradictions dont les étudiants n'ont pas conscience car ils ne rapprochent pas les différents «maillons» de leurs réponses.

L'assimilation d'un signal à un objet matériel et un raisonnement en terme de capital sont peu remis en cause par l'enseignement actuel. Il en est de même de la tendance à la numérisation des relations et à la réduction fonctionnelle. Outre les quelques remarques et suggestions pédagogiques déjà présentées, nous voulons signaler l'importance de proposer aux étudiants des exercices qualitatifs fonctionnels [9], [10] dans lesquels, pour une situation donnée, on fait varier tour à tour chaque grandeur physique en explicitant celles qui restent inchangées. En effet, ce type d'exercices, contrairement aux exercices quantitatifs majoritairement présents dans les manuels actuels [11] permettent aux étudiants de tester leur compréhension de la situation physique étudiée, de prendre conscience de leur raisonnement et des contradictions auxquelles il conduit.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] L. MAURINES, E. SALTIEL «Mécanique spontanée du signal» B.U.P. n° 707, 1988.
- [2] E. SALTIEL, J.-L. MALGRANGE «Les raisonnements naturels en cinématique élémentaire» B.U.P. n° 616, 1979.
- [3] L. VIENNOT «Intuition et formalisme en dynamique» B.U.P. n° 587, 1976.
- [4] L. VIENNOT «Bilans de force et loi des actions réciproques. Analyse des difficultés des élèves et enjeux didactiques.» B.U.P. n° 716, 1989.
- [5] J.-L. CLOSSET «Les obstacles à l'apprentissage de l'électrocinétique» B.U.P. n° 716, 1989.
- [6] S. ROZIER «Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire» Thèse Université Paris VII (disponible au L.D.P.E.S.), 1988.
- [7] J. PIAGET Études d'épistémologie génétique : tome XX, Epistémologie du temps ; tome XXI : Perception et notion de temps. P.U.F. Paris 1972.
- [8] L. VIENNOT «Raisonnement fonctionnel à plusieurs variables : difficultés et échappatoires courants» Congrès, Montréal 1987, Obstacles épistémologiques et conflits sociocognitifs.
- [9] L. MAURINES, E. SALTIEL Questionnaires de travail sur la propagation d'un signal L.D.P.E.S., Université Paris VII.
- [10] E. SALTIEL, L. VIENNOT : Questionnaires pour comprendre (mécanique, grandeurs algébriques), diffusion I.R.E.M. - L.D.P.E.S., Université Paris VII.
- [11] E. SALTIEL «Les exercices qualitatifs fonctionnels» Colloque sur les finalités des enseignements scientifiques Marseille Janvier 1989.