

Evolution historique du concept de résonance en physique et obstacles cognitifs

Mouhouche, Ali⁽¹⁾, Himrane, Ferhat⁽²⁾

⁽¹⁾Laboratoire de didactique des sciences, E.N.S.A. et E.N.S. Kouba - Algérie

⁽²⁾Laboratoire de didactique des sciences, E.N.S. Kouba - Algérie

Résumé : Dans cette étude, que nous caractérisons de diachronique, nous examinons l'évolution historique du concept scientifique de résonance en physique des ondes. Nous nous demandons si la terminologie désigne toujours et exprime le phénomène physique dont la signification s'est élargie, généralisée, modifiée et complexifiée au cours du temps. Pour cela nous utilisons principalement des manuels de physique anciens. Le terme résonance, exprimant à l'origine un phénomène sonore naturel, faisait partie du domaine de l'acoustique dans lequel les notions d'accord et de transfert d'énergie n'existaient pas. Il fut ensuite appliqué à divers types d'ondes (mécaniques, électriques, électromagnétiques, optiques,...), à toutes les fréquences et à différents objets, des particules élémentaires de la matière jusqu'aux planètes. L'appellation du phénomène n'a pas suivi cette évolution. Ceci pourrait être à l'origine d'obstacles cognitifs pour la juste compréhension du phénomène. C'est la raison pour laquelle nous proposons une dénomination plus adaptée à sa phénoménologie et qui rend mieux compte de sa signification scientifique actuelle.

Mots-clés : Physique, résonance, didactique, histoire, obstacle.

Introduction

Les concepts sont des éléments de connaissances identifiables par des propriétés et des relations. C'est par eux que la connaissance se structure en savoir, de même qu'ils permettent la création et le renouvellement de ces savoirs. Le concept connaît des évolutions pouvant être l'abstraction, la spécialisation, le nomadisme... et permet la circulation de la connaissance entre domaines. L'analyse terminodidactique est celle de ces mouvements. Elle permet, pour le didacticien, d'interpréter les ruptures et les obstacles conceptuels et contextuels, entre autres, que le terme subit. Elle lui permet également d'améliorer la structure du savoir enseigné et intervient dans la culture scientifique (Ferreira Queiros, 2002).

L'étude terminodidactique en rapport avec l'évolution historique reste encore un domaine relativement peu exploré pour les sciences. Elle pourrait être d'un grand apport sur certains points de vue relatifs aux concepts et à leurs évolutions, notamment en éclairant des aspects scientifiques disciplinaires ou épistémologiques utiles aux historiens des sciences et aux didacticiens. Dury (2006, p. 110) écrit que « les études de type diachronique posent de véritables questions terminologiques et apportent des solutions nouvelles sur la manière de les résoudre ». Une des situations problématiques auxquelles l'étude terminodidactique pourrait apporter des éléments de réponse est décrite également par Dury (1999) dans le passage suivant :

Seule la terminologie diachronique peut montrer à quel point l'évolution d'un concept peut être complexe et inattendue, et lourde de conséquences pour la dénomination qu'il porte. Il y a très souvent inadéquation entre l'évolution d'une notion et celle de sa dénomination,

qui ne varie que très rarement, même si le concept ne cesse de se modifier, de se complexifier. (Dury, 1999, p. 485-486).

Il existe très peu de travaux sur l'analyse terminodidactique diachronique des concepts de sciences physiques. Nous n'en avons pas trouvé sur le concept de résonance en physique des ondes. Le phénomène de résonance, enseigné en fin de lycée et à l'université, est important et omniprésent dans le domaine de la physique des vibrations, des rayonnements, des échanges ondes-matière et se manifeste par des effets dans la vie courante.

Dans le cadre d'une recherche plus vaste en didactique des sciences, nous avons abouti à l'existence, d'un obstacle verbal, entre autres, qui rend difficile la compréhension du phénomène de résonance par les étudiants (Mouhouche et El-Hajjami, 2010) des premières années universitaires. Ces étudiants font très souvent référence au son ou au bruit dans leurs définitions de la résonance, ils font des confusions sur sa phénoménologie et un amalgame avec le phénomène d'amplification sonore. De plus la résonance n'est pas comprise par l'étudiant comme un phénomène basé sur l'influence d'un objet sur un autre mais comme une propriété de l'objet résonant. Ces difficultés montrent un déficit dans la conceptualisation et sont des répercussions de transpositions didactiques se trouvant dans les manuels et dans les supports de cours ou d'activités d'apprentissage. Nous pensons que cette étude terminodidactique diachronique du concept résonance apporterait des éléments d'explication à cette situation et aboutirait à une proposition de remédiation possible. Notre démarche consiste à examiner l'évolution historique du concept scientifique de résonance en physique des ondes à travers sa transposition didactique. Nous nous demandons si la terminologie (résonner, résonance, résonateur, ...), dérivant du mot son, ne constituerait pas un obstacle verbal pour une compréhension du phénomène de résonance qui s'est élargi à divers types d'ondes (mécaniques, électriques, magnétiques, optiques, ...) et à diverses dimensions de la nature, des particules élémentaires de la matière jusqu'aux planètes. Pour cela nous utilisons principalement des manuels de physique édités depuis plus d'un siècle et demi.

Définitions historiques du concept de résonance dans les manuels

Nous examinons dans cette partie les différentes définitions données à la résonance depuis le milieu du XIX^{ème} siècle, notamment dans les livres destinés à l'enseignement.

XIX^{ème} siècle : "sonorisation" de la résonance et "objets sonores"

Peclet en 1847, dans son *Traité élémentaire de physique*, fait une description détaillée du phénomène, dans les pages de 347 à 351, qu'il appelle « communication des mouvements vibratoires des corps, à travers les liquides et à travers l'air » (Peclet, 1847, p. 347). Il utilise l'expression "corps ébranlé" pour désigner ce qui est appelé maintenant le "résonateur".

On retrouve le concept de résonance (avec deux n dans ces textes anciens), cité cette fois nommément, et défini de façon différente, tout en conservant la notion de prolongement d'un son, chez B. Boutet de Monvel en 1863. Dans son *Cours de physique*, dans un chapitre réservé à l'Acoustique, nous trouvons un sous-chapitre intitulé : échos et résonance, où l'auteur explique l'origine de la résonance ainsi que sa signification (p. 641) : la résonance n'était pas la mise en vibration d'un résonateur par un exciteur,

c'était plutôt l'arrivée à l'oreille d'un son « réfléchi qui vient alors prolonger et peut-être doubler la durée du son direct », lui faisant ainsi écho.

En 1877, dans un livre contenant également des textes sur les résonateurs de Helmholtz, Blaserna, après avoir expliqué ce qu'est la réflexion d'une onde sur un obstacle, écrit : « Les deux effets les plus importants de la réflexion sont la résonance et l'écho » (Blaserna, 1877, p. 34-35).

La résonance est donc définie, dans les manuels cités précédemment, soit comme un renforcement d'un son soit comme un effet de la réflexion du son, au même titre que l'écho.

Fin du XIX^{ème} siècle : Introduction de la notion de transmission (ou communication) de vibrations

Dans le Cours de physique de l'école polytechnique (tome 3) de M. Jamin (1887, p. 164) la résonance acoustique est appelée "renforcement des sons". Le phénomène de résonance autre qu'acoustique est décrit par l'expression "transmission" ou "communication" de vibrations. Dans le cas de cordes voisines, il est écrit : « Si les deux cordes sont d'accord, chaque impulsion continue l'effet de la précédente, et la vibration se transmet et s'exagère » (Jamin, 1887, p. 166).

Vers la fin du XIX^{ème} siècle la définition de la résonance commençait à contenir l'idée d'augmentation de l'amplitude du corps ébranlé et l'idée de fréquence propre.

Début du XX^{ème} siècle : nouveaux objets résonants et généralisation du concept

Dès la fin du XIX^{ème} siècle l'influence des travaux sur la résonance de certains savants, notamment Helmholtz, Hertz et Tesla, commençait à se répercuter sur les contenus des manuels d'enseignement. Chappuis et Berget (1892, p. 68), dans leurs Leçons de physique générale (tome 3), dans un cours sur l'acoustique, écrivent : « Il est facile de constater que, quand un diapason, donnant ut1 par exemple, entre en vibration, tout autre diapason voisin donnant ut1 vibre aussi, quoiqu'il n'ait pas été excité directement... ». L'expérience de Hertz est décrite avec les termes exciteur et résonateur sans celui de résonance.

En 1911 Chappuis et Lamotte (1911, p. 48) utilisent le terme résonance dans le tome IV. En optique, Paul Drude (1911, p. 316) dans son Précis d'optique, tome 1, tente d'expliquer les phénomènes de modification de la lumière produits par les milieux troubles par l'absorption d'un rayonnement par résonance.

Au début du XX^{ème} siècle la présentation de la résonance comme phénomène se produisant par l'effet d'un exciteur sur un résonateur est la principale avancée dans la transposition didactique, alors que dans le savoir savant, la résonance était déjà connue depuis l'expérience de Hertz réalisée en 1887. Le décalage dans le temps entre le savoir enseigné et le savoir savant est appelé délai de la transposition didactique (DTD), étudié, entre autres, par Quessada et Clément (2007).

Le reste du XX^{ème} siècle

Durant la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, la plupart des ouvrages intégrèrent le sens de résonance véhiculant les quatre composantes, à savoir : l'exciteur, le résonateur, la

fréquence propre et l'augmentation de l'amplitude du résonateur en situation de résonance, donc implicitement le transfert d'énergie de l'excitateur vers le résonateur.

Conséquences didactiques et terminologiques

La résonance est un terme dont l'étymologie dérive du son et il a été initialement utilisé pour exprimer la création ou le renforcement de sonorités, puis il a désigné l'écho. Nous sommes en présence d'un terme créé, à l'origine, pour rendre compte d'un phénomène naturel audible. Il fut ensuite utilisé dans un domaine qui était uniquement l'acoustique, et il se trouve actuellement dans presque tous les domaines de la physique des ondes tout en concernant des objets infiniment petits jusqu'aux dimensions astronomiques (la résonance orbitale décrit le mouvement des planètes). De plus il véhicule actuellement les notions d'accord et de transfert d'énergie de l'excitateur vers le résonateur.

Le terme résonance a donc vu son application élargie à des objets autres que les objets sonores et sa signification généralisée et modifiée en tant que phénomène physique. Ce terme a acquis une forme de polysémie en plus du fait qu'il ne rend plus compte de cette généralisation. Ce qui génère des difficultés à comprendre sa signification physique exacte et dresse des obstacles cognitifs lors de son apprentissage. Car, comme l'écrit Conceição (2005), « La terminologie doit structurer l'information... tout en évitant l'ambiguïté » (p.30).

Cette situation a des conséquences que nous examinons dans la section suivante, avant de proposer une dénomination du phénomène, plus adaptée à sa signification scientifique actuelle.

Obstacle verbal : «la résonance ne concerne que les ondes sonores»

La polysémie peut notamment être à l'origine de ce qui est appelé par Bachelard (1938, p. 24) un obstacle verbal, en didactique des sciences. Ce point est soulevé, entre autres auteurs, par Viennot (1979) et Astolfi (1997) pour le cas des sciences physiques, et par Iardella (1998).

Continuer à désigner le phénomène par le vocable de résonance contribue à faire croire que celle-ci ne concerne que les ondes sonores, c'est-à-dire que le domaine de l'acoustique, alors qu'il concerne actuellement tous les types d'ondes, et avec une signification physique différente. Il s'est opéré un changement dans le profil épistémologique du terme. Bachelard (1940, p. 47) dit d'un terme qui a subi ce changement qu'il «garde la trace des obstacles qu'une culture a dû surmonter».

Difficulté à conceptualiser : «la résonance explique des faits perceptibles et décrit un comportement»

L'histoire du concept de résonance a montré l'existence de plusieurs cas de résonance différant par la nature de l'excitateur ou du résonateur, ou par celle des ondes en jeu. Le phénomène, appelé, à l'origine transmission des vibrations désignait la vibration d'un corps, très souvent accompagnée d'émission sonore. La résonance a maintenant un caractère beaucoup plus vaste. La difficulté à conceptualiser, traduisant la difficulté de passage de la conception événementielle et substantialiste de la résonance vers une vision plus abstraite, n'a pu être franchie que lorsque le terme résonance s'est mis à désigner le

phénomène vers la fin du XIX^{ème} siècle. La résonance devint alors un concept abstrait et général. Conceição écrit que :

Les termes sont des entités doubles dans lesquelles il nous faut considérer une face linguistique et une face cognitive. Le processus de dénomination est l'établissement d'une relation entre un ensemble de traits conceptuels et un ensemble de données linguistiques dans une langue. (Conceição, 1999, p. 33).

Cette appellation de résonance à connotation sonore serait à l'origine de la difficile conceptualisation observée chez les étudiants, chez certains enseignants et chez des auteurs, du fait que la face cognitive ne correspond pas (en fait ne correspond plus) à la face linguistique du terme.

Propositions terminologique et pédagogique et conclusion

Pour faciliter aussi bien la traduction que l'apprentissage nous pensons qu'il est judicieux de sortir de l'influence sonore de la racine étymologique des termes résonner et résonance. Cette racine (son) est liée au sens qu'avait la résonance avant le milieu du XIX^{ème} siècle. Dury (1999, p. 487) affirme que « [...] très souvent les concepts scientifiques évoluent sans que les dénominations qui les désignent en soit modifiées pour autant ». Bouasse (1909, p. 62) avait entrevu cette réalité lorsqu'il a écrit que : « ... Les noms, à peu près tous, ont été mal choisis, parce qu'ils l'ont été quand on n'avait qu'une notion imparfaite des phénomènes à nommer ».

Il serait préférable d'utiliser un terme ou une expression plus proche de la réalité des faits et qui rend compte du concept scientifique tel qu'il doit être appréhendé par l'étudiant ou par un lecteur de document scientifique spécialisé. Au lieu de résonance, nous proposons l'utilisation du syntagme "excitation résonante". Ce syntagme a l'avantage d'exprimer, grâce au terme "excitation", l'intervention d'un excitateur sur un résonateur, L'adjectif "résonante", conserve, lui, l'idée de se placer dans une situation de résonance. Ce syntagme peut exprimer toutes les résonances (y compris celles ayant lieu avec les ondes sonores) en tant que transfert d'énergie d'un excitateur vers un résonateur à la fréquence propre de ce dernier. Une expérimentation en salle de classe pourrait, en prolongement de ce travail, vérifier la pertinence de cette proposition. Ce serait aussi l'occasion de fournir des éléments d'histoire à titre de justification et de culture scientifique.

Références bibliographiques

Astolfi, J-P (1997). L'erreur, un outil pour enseigner. Paris : E.S.F.

Bachelard, G. (1938). La formation de l'esprit scientifique. Paris : Vrin.

Bachelard, G. (1940). La philosophie du non. Paris : PUF.

Blaserna, P. (1877). Le son et la musique. Paris : Librairie Germer Baillièrre et Cie.

Bouasse, H. (1909). Service des renseignements : question 152. Bulletin de l'Union des Physiciens. 4(28):61- 64.

- Boutet de Monvel, B. (1863). Cours de physique. Paris : L. Hachette et Cie.
- Chappuis, J., Berget, A. (1892). Leçons de physique générale (tome III). Paris : Gauthier-Villars.
- Chappuis, J., Lamotte, M. (1911). Leçons de physique générale (Tome IV). Paris : Gauthier-Villars et Cie.
- Chappuis, J., Lamotte, M. (1924). Leçons de physique générale (tome I). Paris : Gauthier-Villars et Cie.
- Conceição, M. C. (1999). Terminologie et transmission du savoir : (re)construction(s) de concepts. In : Valérie delavigne et Myriam bouveret, dir. Sémantique des termes spécialisés. Havre : Publication de l'Université de Rouen, 33-42.
- Conceição, M. C. (2005). Concepts, termes et reformulations. Lyon : Presses Universitaires de Lyon.
- Drude, P. (1911). Précis d'optique, tome 1 et tome 2. Paris : Gauthier-Villars.
- Dury, P. (1999). Étude comparative et diachronique des concepts ecosystem et écosystème. Meta : Journal des traducteurs. 44(3):485-499.
- Dury, P. (2006). La dimension diachronique en terminologie et en traduction spécialisée : cas de l'écologie. In : Danielle candel et François gaudin, dir. Aspects diachroniques du vocabulaire. Havre : Publication de l'Université de Rouen, 109-124.
- Ferreira Queiros, R-M. (2002). Etude terminologique du discours spécialisé de la pollution. These de Doctorat, Université Lumière Lyon 2.
- Iardella, E. (1998). Sciences humaines et sociales. Paris : Masson.
- Jamin, J. (1887). Cours de physique de l'école polytechnique (tome 3). Paris : Gauthier-Villars.
- Mouhouche, A., El-hajjami, A. (2010). Etude de la résonance : quels obstacles épistémologiques. Bulletin de l'Union des Physiciens. 104(924):599-613.
- Pecllet, E. (1847). Traité élémentaire de physique (Tome 1, 4ème éd.). Paris : L. Hachette et Cie.
- Quessada, M.P. & Clément, P. (2007). An epistemological approach to French curricula on human origin during the 19th & 20th centuries. Science & Education, 16, 9-10, 991-1006.
- Viennot, L. (1979). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Paris : Hermann.