

## Regard historique sur l'enseignement de la résonance: quel changement conceptuel

ALI MOUHOUCHE<sup>1</sup>, ABDELKRIM EL-HAJJAMI<sup>2</sup>, FERHAT HIMRANE<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Didactique des Sciences,  
E.N.S. de Kouba, Alger,  
Algérie  
amouhouche@yahoo.fr  
f.himrane@yahoo.fr

<sup>2</sup>Laboratoire de Didactique et des T.I.C.  
E.N.S. de Fès  
Maroc  
el-hajjami@yahoo.com

### RÉSUMÉ

*L'article propose de retracer le chemin réalisé par le concept de résonance, à travers les manuels et les livres anciens de sciences physiques, d'après les définitions qui lui étaient données, sur une période de près d'un siècle et demi. La chronologie, qui montre également les objets auxquels la résonance s'intéressait par le passé, cherche à identifier le changement conceptuel à travers les différentes formulations et présentations historiques données à ce concept. Des obstacles mentaux surmontés sont alors conjecturés. L'enseignement actuel de la résonance en physique des ondes pourrait s'en inspirer pour l'amélioration des performances didactiques des cours.*

### MOTS-CLÉS

*Résonance, physique, histoire, didactique, obstacles*

### ABSTRACT

*This article retraces the path made by the concept of resonance, through textbooks and ancient books of physics, according to the definitions it was given over a period of nearly a century and a half. Chronology, which also shows the objects that the resonance was interested in the past, seeks to identify conceptual change across different formulations and historical presentations to this concept. We conjecture some mental obstacles overcame in this period. The university teaching of resonance in wave physics could be improved by taking into account these obstacles.*

### KEYWORDS

*Resonance, physics, history, didactic, obstacles*

## INTRODUCTION

Une incursion dans l'histoire à travers des manuels et des livres anciens, sur une période de plus d'un siècle et demi, examinant les présentations et les niveaux de formulation du concept de *résonance* principalement en physique, nous permet d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- comment ce concept fut introduit dans l'enseignement ?
- quelles formulations, pour sa présentation dans les manuels, a-t-il connu dans l'histoire ?
- quels obstacles mentaux, notamment épistémologiques, a-t-il fallu surmonter au cours de cette évolution ?

Ce travail constitue une contribution à l'exploration des aspects didactiques pour la compréhension et l'enseignement du concept de résonance en physique des ondes à l'université. Il apporterait notamment un éclairage sur les éventuels obstacles mentaux qui existeraient dans l'enseignement de ce concept. Nous essayons d'étayer notre hypothèse principale : la résonance, un des concepts des plus importants et des plus présents en physique, dans la mesure où il se retrouve dans presque toutes ses branches (mécanique, électricité, magnétisme, optique, ...) et même dans d'autres disciplines (chimie, médecine, ...), n'a pas toujours désigné le concept scientifique tel qu'il est enseigné actuellement. Cette recherche montre, parallèlement à l'évolution de la formulation du concept dans les manuels anciens, les objets auxquels il s'appliquait.

Ce sont l'évolution du sens du concept physique dans le temps, les termes mêmes utilisés pour nommer la résonance et les objets concernés dans les applications de différentes époques qui nous intéressent. Cette évolution montre le long chemin depuis l'apparition du phénomène de résonance, puis des transformations qu'il a subies jusqu'à devenir le concept qu'on connaît actuellement et contribue à dévoiler quelques obstacles épistémologiques rencontrés dans son histoire.

## LES OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES ET LA CONCEPTUALISATION

Cette analyse historico-épistémologique vise à montrer que la construction du concept de résonance s'est faite par étapes au cours desquelles des obstacles épistémologiques devaient être surmontés.

Si le concept de résonance s'est acheminé vers la réalité de ce phénomène tout en englobant de plus en plus d'objets oscillants, les différents types d'ondes et toutes les fréquences, son origine ne concernait que le son et les objets sonores. Cette recherche du réel devait buter sur des obstacles épistémologiques comme l'explique Bachelard dans *l'esprit scientifique* (1938). Bachelard identifie les obstacles comme étant la cause d'inerties provoquant des lenteurs et des troubles. C'est une entrave à la connaissance scientifique, inhérente à la construction du savoir lui-même, et aux représentations que l'on se fait. Bachelard écrit :

*Quand on cherche les conditions psychologiques des progrès de la science, on arrive bientôt à cette conviction que c'est en termes d'obstacles qu'il faut poser le problème de la connaissance scientifique. Et il ne s'agit pas de considérer des obstacles externes, comme la complexité et la fugacité des phénomènes, ni d'incriminer la faiblesse des sens et de l'esprit humain : c'est dans l'acte même de connaître, intimement, qu'apparaissent, par une sorte de*

*nécessité fonctionnelle, des lenteurs et des troubles. C'est là que nous montrerons des causes de stagnation et même de régression, c'est là que nous décèlerons des causes d'inertie que nous appellerons obstacles épistémologiques (p. 14).*

Pour Bachelard, l'expérience première, la connaissance générale, le pragmatisme, le substantialisme et l'animisme sont autant d'obstacles à la pensée scientifique. De plus, il considère les obstacles épistémologiques comme le moteur de l'évolution de la connaissance puisqu'ils constituent la rupture qui dynamise le progrès de la connaissance<sup>1</sup> (De Vecchi & Giordan, 1989).

La résonance était d'abord un phénomène naturel, ou un évènement, observable par les sens, essentiellement l'ouïe, se produisant avec des objets courants (objets sonores à l'origine), avant de devenir progressivement un concept scientifique généralisable à divers objets y compris astronomiques (résonance orbitale des planètes) et à toutes les ondes.

Des opérations cognitives préalables reconnues comme complexes actuellement, que sont la généralisation et la conceptualisation ont été nécessaires dans ce cheminement. Ces opérations d'organisation et d'intégration des idées consistent à dégager des principes ou des lois plus générales à partir de concepts ou d'exemples (Deschênes & coll., 1989). Quant au lien qui existe entre les deux, Barth (1987) écrit: « Conceptualiser c'est abstraire et généraliser » (p. 128) et elle ajoute: « On peut abstraire sans généraliser, jamais généraliser sans abstraire ». La capacité de généralisation et celle de conceptualisation deviennent particulièrement importantes au niveau universitaire. Elucider les obstacles épistémologiques permet de mener un enseignement qui essaierait de les intégrer dans la stratégie pédagogique et didactique.

Cependant, ce parallélisme entre les obstacles historiques et ceux rencontrés par des apprenants ne va pas de soi, car, « La création d'une reconstruction didactique est dépendante d'une enquête psycho-cognitive visant à établir le profil conceptuel d'une population donnée (élèves, étudiants, enseignants...) » affirme De Hosson (2011, p. 34). D'après cet auteur l'élaboration d'un matériau d'enseignement dans un projet didactique spécifique nécessite donc un travail d'exploration et de tri à travers deux enquêtes : une exploration historique et une reconnaissance du profil conceptuel des étudiants.

## **LA RESONANCE DANS LES LIVRES ET MANUELS ANCIENS**

Dans cette analyse nous examinons l'évolution, d'après des manuels de physique à différentes dates, du concept scientifique de résonance en physique des ondes.

Le dictionnaire Hachette nous renseigne que l'écriture « résonance » (avec deux n) est vieillie, et que l'origine du terme résonance provient du latin « résonantia » qui signifie écho. Tandis que « résonner », pour ce dictionnaire, c'est rendre un son vibrant. En effet, on retrouve l'écriture « résonance », avec deux n, dans divers documents historiques : Annales de chimie et de physique (Antoine, 1849), Pietro Blaserna dans un ouvrage édité en 1877... Nous écrivons nous-mêmes, plusieurs fois dans ce texte, résonance et résonateur, avec deux "n", lorsque nous parlons de l'époque où ces mots s'écrivaient ainsi.

---

<sup>1</sup>Depuis la définition des obstacles épistémologiques par Bachelard (1938), les études des conceptions des apprenants ont permis d'identifier de nombreux obstacles à l'apprentissage. Elles ont débouché sur l'élaboration de typologies des obstacles et sur la mise en place de dispositifs permettant de faire évoluer ces conceptions.

Dans ce qui suit nous suivrons une démarche chronologique. Les premiers manuels anciens utilisés datent de 1847.

### ***XIX<sup>ème</sup> siècle: prédominance du son et des objets sonores***

*Au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle : la résonance : renforcement ou réflexion d'un son*

Peclet (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 » (p. 347). Il utilise l'expression corps ébranlé pour désigner le résonateur.

Citons les passages les plus significatifs, pour notre sujet, suivants :

*Pour qu'un corps rigide soit mis en vibration sonore, il suffit d'imprimer à une partie quelconque du corps une vive agitation : elle se communique bientôt à la masse entière [...]. Il y a un mode d'ébranlement plus favorable que tous les autres (p. 330).*

Nous notons l'adjectif « sonore » qui caractérise la vibration à cette époque. Nous lisons plus loin :

*Les cordes sont mises en vibration par l'air lorsqu'il transmet des sons harmoniques des leurs. C'est encore ainsi que les sons de l'orgue font souvent frémir et résonner les vitres qui sont susceptibles de vibrer à l'unisson [...]. Les caisses résonnent sous l'influence des cordes dont elles renforcent le son... (p. 347).*

Remarquons les expressions « frémir et résonner », « les caisses résonnent » et « elles renforcent le son » qui montrent le lien entre le phénomène décrit et le son.

Il ressort donc que chez Peclet (1847):

- Le phénomène est appelé : « communication des mouvements vibratoires des corps » ou « renforcement de son ». Le substantif « résonance » n'est pas utilisé.
- Le verbe « résonner » est utilisé mais dans le sens de provoquer ou renforcer des vibrations sonores.
- Les objets décrits comme « mis en vibration sonore » sont les cordes, les caisses, les vitres et des objets rigides,
- La fréquence propre est reconnue implicitement grâce aux sons harmoniques (dans les cordes vibrantes) et à la reconnaissance du « mode d'ébranlement plus favorable que tous les autres ».

On retrouve le concept de « résonance », cité cette fois nommément, et défini de façon différente, tout en conservant la notion de prolongement d'un son, chez Boutet de Monvel (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. Il écrit en page 641 :

*C'est la réflexion du son qui donne naissance au phénomène des échos et des résonances. L'impression produite par un son sur l'organe de l'ouïe ne s'éteint pas immédiatement avec la cause qui l'a provoquée ; elle persiste encore pendant un certain temps, très-court il est vrai, car il n'est guère que d'un dixième de seconde.*

Ensuite dans la page 642:

*Mais supposons que le mur s'éloigne [...] alors le son réfléchi vient prolonger, et peut-être doubler la durée du son direct. C'est alors qu'on dit qu'il y a résonance. Si le mur s'éloigne davantage, alors le son réfléchi devient nettement distinct du son direct, la résonance est devenue un écho.*

La résonance n'était pas la mise en vibration d'un résonateur (tympan) par un excitateur (onde sonore), 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.

La définition du terme « résonance », rattachée à la réflexion et à l'écho du son est confirmée par d'autres ouvrages dont nous donnons quelques exemples ci-dessous.

Dans son *Traité élémentaire de physique théorique et expérimentale*, Daguin (1861-1862, p. 479) écrit :

*Quand un son réfléchi empiète sur le son direct, comme cela a lieu lorsque le centre phonocampmique est peu éloigné, il y a résonance ; le son direct est renforcé par sa coïncidence partielle avec le son réfléchi, mais il devient confus, par la prolongation qu'apporte ce dernier.*

Edouard Fournié en 1866 (p. 19) écrit également :

*Résonance. — Lorsque la réflexion se fait dans un espace plus étendu que les tuyaux sonores et ne mesurant pas plus cependant de 34 mètres, comme dans les appartements par exemple, le son n'acquiert pas les caractères qu'il revêt dans les tuyaux sonores sous l'influence de la réflexion, mais il est renforcé: il y a résonance.*

Notons que la distance de 34 mètres correspond approximativement à la distance parcourue en 1/10 de seconde par le son, sachant que sa vitesse dans l'air ambiant est d'environ 340 m/s.

En 1877, dans un livre portant également des textes sur les résonateurs de Helmholtz (cf. partie 3, chap. 1, section 2.4.), 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 » (p. 34 et p. 35).

La résonance est donc définie, dans les manuels cités précédemment, qui vont de 1847 à 1877, soit comme un renforcement d'un son soit comme un effet de la réflexion du son, au même titre que l'écho. Lors de cette réflexion la résonance étant le prolongement d'un son, l'écho étant sa reproduction après un temps dépassant 0,1s.

*Fin du XIXème siècle : Introduction de la notion de transmission (ou communication) de vibrations.*

Dans son *Cours de physique de l'école polytechnique* (tome 3), Jamin (1887, p. 164-169) parle de résonance, en insistant sur des exemples sonores dans l'étude de la théorie mathématique de l'élasticité, dans le chapitre *acoustique*. 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 » (p. 166). Dans le cas d'une cloche qu'on met en oscillations, nous lisons :

*Supposons que l'on tire pendant un temps très court la corde d'une cloche; on lui imprime aussitôt des oscillations qui se continuent pendant longtemps. Si l'on répète l'impulsion plusieurs fois successivement, il peut arriver deux cas extrêmes ou que chacune d'elles soit discordante avec le mouvement imprimé par la précédente, alors elle le détruit, ou bien*

*qu'elle soit concordante, et alors elle l'augmente. Dans ce cas, l'amplitude des oscillations de la cloche grandit peu à peu jusqu'à devenir considérable (pp. 165-166).*

Alors qu'à la page 158 la résonance est décrite, sans être nommée, telle que définie plus tard comme cas particulier de vibrations forcées où il y a égalité de fréquences de l'excitateur et du résonateur :

*Quand la vibration d'un corps est entretenue par une force périodique, on dit que la vibration est forcée. On démontre que, si la période de la force est égale à celle de la vibration libre et qu'il n'y ait pas de frottement, l'amplitude de celle-ci doit croître indéfiniment. Dans la pratique, on obtiendra seulement un son très fort, soit à cause des frottements, soit parce que la hauteur d'un son n'est pas indépendante de l'amplitude [...].*

*Quand la période de la force diffère de celle de la vibration libre, la période de la vibration forcée est encore celle de la force; mais l'amplitude est d'autant moindre que ces périodes diffèrent davantage (Jamin, p. 158).*

Nous relevons le fait que le terme « résonance » n'est pas utilisé pour nommer le phénomène et que ce phénomène semble être différent, pour l'auteur, dans le cas de la corde et celui de la cloche.

Jamin écrit : « quand le tuyau parle » (p. 46, p. 48, p. 50, p. 53, p. 124). A la page 46 les expressions : « le tuyau parle » et « le tuyau résonne », sont utilisées pour exprimer la même idée. Nous retrouvons la manifestation de la tendance anthropomorphique évoquée par Mouhouche & El-Hajjami (2009).

La 2ème moitié du XIXème siècle a donc vu :

- la persistance de la “sonorisation“ de la résonance par la référence au son plus qu'aux vibrations mécaniques en général,
- le maintien de la préoccupation autour d'objets sonores comme objets vibrants,
- le rattachement de l'étude du phénomène aux chapitres sur *l'acoustique* et non pas aux chapitres sur les mouvements vibratoires ou sur les ondes.

En résumé nous pouvons dire que dès les années 80 du XIXème siècle le phénomène de résonance était appelé « transmission de vibration ». La résonance concernait encore les vibrations sonores plus que d'autres vibrations. Les objets concernés étaient des corps sonores, cordes ou objets vibrants qui résonnaient : l'obstacle verbal ainsi que l'obstacle substantialiste prévalaient à cette époque. La terminologie utilisée (exciter, parler, répondre, ...) révèle l'existence de l'obstacle anthropomorphique. Vers la fin du XIXème 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 XXème siècle : extension à d'autres objets et généralisation***

Dès la fin du XIXème siècle l'influence des travaux de Helmholtz, de Hertz et de Tesla commençait à se répercuter dans 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. Un tel diapason est le type du résonateur, c'est-à-dire d'un instrument susceptible de vibrer à l'unisson d'une note donnée et, par suite, d'en renforcer le son.*

Dans les pages 333 et 334 l'expérience de Hertz est décrite mais sans parler de résonance, seuls les termes exciteur et résonateur sont utilisés. Helmholtz est cité en acoustique (p. 68).

En 1911 Chappuis et Lamotte (1911) utilisent le terme « résonance » dans le tome IV (réservé aux ondes électriques) en parlant de l'expérience de Hertz (p. 48), dans le sens admis maintenant. Les auteurs parlent également de la résonance électrique RLC à la page 291 du tome II (publié en 1920) réservé à l'électricité. Mais ils décrivent une expérience de pendule oscillant entretenu électriquement (dans la partie *instruments de mesure* dans le tome I publié en 1924, p. 71), donc en situation de résonance grâce à l'apport de l'énergie d'un circuit électrique, sans faire recours à la notion de résonance.

En optique, Paul Drude (1911) dans son *Précis d'optique*, tome 1, tente d'expliquer la modification de la lumière produite par les milieux troubles par l'interaction d'un rayonnement par résonance (p. 316) et donne des résultats dans le tome 2 qu'il décrit comme « absolument conformes aux phénomènes généraux de résonance » (p. 174).

Au début du XX<sup>ème</sup> siècle la conception de la résonance comme phénomène se produisant par l'effet d'un exciteur sur un résonateur est la principale avancée. L'extension aux ondes hertziennes, aux ondes optiques et aux ondes électriques, de la notion de résonance, consacrée auparavant aux ondes sonores, est une avancée notable également. Nous remarquons, ici, un travail dans le sens de la généralisation.

### ***Le reste du XX<sup>ème</sup> siècle***

Comment est présentée et définie la résonance par des ouvrages édités durant la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle ?

L'encyclopédie Universalis (1974) donne comme définition de la résonance :

*Égalité entre la fréquence  $n$  de l'agent exciteur et l'une des fréquences propres  $n_0$  du système oscillant excité, et caractérisée principalement par un maximum de la réponse du système en fonction de la fréquence excitatrice. La résonance existe dans de nombreux domaines de la physique (vol. 14, p. 135).*

La définition donnée par Mathieu (1974) dans son manuel *Vibrations et Phénomène de propagation* (Tome 2 : Oscillateurs) est la suivante :

*La résonance est un phénomène qui se produit lorsqu'un système oscillant est excité en régime permanent par un signal périodique dont la fréquence est égale à une fréquence propre du système. Dans ce cas-là, l'énergie absorbée par le système est maximale. Les fréquences propres peuvent être en nombre fini (systèmes à nombre fini de degrés de liberté) ou en nombre infini (suite dénombrable en général) dans le cas des systèmes avec propagation (p. 103).*

Dans le domaine de la chimie la Commission générale de terminologie et de néologie donne de la résonance la définition suivante (JORF, 2003):

*Méthode ayant pour objet de décrire mathématiquement la répartition des électrons dans une entité moléculaire à liaisons délocalisées par une combinaison des répartitions électroniques dans des structures hypothétiques à liaisons localisées. (p. 17214).*

Cette définition est suivie des notes explicatives :

- Le terme « résonance » est maintenant plus utilisé que le terme « mésomérie », qui se réfère à la méthode de traitement des systèmes délocalisés utilisée à l'origine.
- La différence entre l'énergie de l'entité réelle et celle de la plus stable des structures hypothétiques à liaisons localisées est appelée « énergie de résonance ».

Ouahes & Dévallez (1988) expliquent, dans un livre de chimie, le mécanisme de l'absorption de radiations électromagnétiques par une molécule polaire qui tourne ou qui vibre par le phénomène de résonance lorsque la fréquence de la radiation est égale à la fréquence de rotation ou de vibration de la molécule.

Alonso & Finn (1986) écrivent que : « La résonance d'énergie se produit lorsque la fréquence de la force appliquée est égale à la fréquence propre de l'oscillateur sans amortissement » (t. 2, p. 408)<sup>2</sup>.

Dans les manuels la formulation fréquente est la suivante : « il y a résonance lorsque... », suivie d'une condition de résonance. Un exemple est donné dans le livre de Alonso et Finn (1986, t. 1, p. 407), on y lit : « ... Lorsque la fréquence  $\omega_f$  de la force appliquée est égale à  $\omega_A$  on dit qu'il y a une résonance d'amplitude ».

Par conséquent lorsqu'il y a résonance d'énergie, le transfert d'énergie de la force appliquée à l'oscillateur forcé est maximum. Faucher (1967) écrit à ce sujet : « Les phénomènes de synchronisation avec leur double aspect : vibrations forcées et résonance, sont spécifiques des mouvements vibratoires et, d'une façon plus générale, des phénomènes périodiques. Leur caractère le plus intéressant est de permettre, grâce au couplage entre un excitateur et un résonateur, une transmission efficace de l'énergie » (p. 319).

C'est ainsi que la voix humaine peut faire vibrer (voire briser) un verre de cristal ou qu'un moteur de voiture peut faire vibrer fortement un élément quelconque de l'habitacle.

Dans le *dictionnaire pratique de physique* (Ferry, Michalet & Provost, 1981) l'entrée « Résonance » renvoie aux termes : « oscillateurs » et « ondes stationnaires » (p. 223), dans lesquels on trouve la phrase « on dit qu'il y a résonance lorsque l'amplitude est maximale » (p. 164) et qui renvoie également au cas du circuit électrique RLC.

Nous observons que durant la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, la plupart des ouvrages intégrèrent le sens de résonance véhiculant les quatre composantes, à savoir : l'excitateur, 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.

Concernant la résonance dans l'atome, dans la molécule (vibration ou rotation de molécules) ou dans le noyau, ... les manuels de physique générale n'en parlent que très rarement, considérant probablement que cela revient aux chimistes, ou aux cours de physique plus avancés (en physique atomique ou en physique nucléaire), de le faire. De même que nous n'avons pas rencontré de référence, dans les manuels de cours de physique, à la résonance orbitale (gravitationnelle) ou à la résonance de Laplace (en astronomie).

---

<sup>2</sup> Dans ce cas la vitesse est en phase avec la force appliquée. Lorsque l'amortissement est très faible, il n'y a pas grande différence entre les fréquences correspondant à la résonance d'amplitude et à la résonance d'énergie.

## CHANGEMENT CONCEPTUEL ET OBSTACLES ÉPISTÉMOLOGIQUES

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes conceptions de la résonance et les objets qu'elle concernait d'après les manuels anciens de 1947 jusqu'au milieu du XX<sup>ème</sup> siècle.

**TABLEAU**

*Mise en parallèle synthétique des préoccupations et des significations et applications du concept de résonance dans les manuels anciens*

Dates	Préoccupations	Significations et applications
1847	Corps sonores. Mode d'ébranlement plus favorable que tous les autres	<i>vibration sonore</i> (cordes, caisses, vitres et objets) <i>Résonner</i> = provoquer ou renforcer des vibrations sonores. <i>Communication des mouvements vibratoires des corps</i> ou <i>renforcement de son</i> .
1863	Résonance	Réflexion d'un son. Echo (si la réflexion se produit sur un obstacle éloigné).
1862	Transmission de vibration par l'air	Augmentation de l'amplitude d'un système physique en vibration lorsque la vibration <i>excitatrice</i> se rapproche d'une fréquence naturelle de ce système.
1868	Résonateur (utilisation en science).	Appareil où peut se produire une résonance, un milieu matériel capable d'entrer en vibration sous <i>l'influence</i> d'un exciteur.
1887	Résonance acoustique et autre qu'acoustique	La résonance acoustique est appelée <i>renforcement des sons</i> . Le phénomène de résonance autre qu'acoustique est décrit par l'expression <i>transmission</i> ou <i>communication de vibrations</i> .
1911	Extension aux ondes électriques	Chappuis et Lamotte utilisent le terme <i>résonance</i> pour les ondes électriques, et parlent de l'expérience de Hertz dans le sens admis maintenant.
1911	Résonance optique	Explication de la modification de la lumière, produite par les milieux troubles, par l'absorption d'un rayonnement par résonance. Les résultats sont décrits comme <i>absolument conformes aux phénomènes généraux de résonance</i> (Paul Drude).
XX <sup>ème</sup> siècle	Généralisation	Résonance : phénomène se produisant par l'effet d'un exciteur sur un résonateur. Extension aux ondes hertziennes, aux ondes optiques et aux ondes électriques de la notion de résonance (consacrée auparavant aux ondes sonores).

Au vu de ces étapes historiques quatre principaux obstacles épistémologiques apparaissent: un obstacle verbal, un obstacle substantialiste, un obstacle anthropomorphique, et un obstacle à la généralisation et à la conceptualisation.

- L'obstacle verbal viendrait de l'origine étymologique du terme *résonance* qui évoque le son.
- L'obstacle substantialiste s'exprimait par le rattachement de la résonance à des objets sonores.
- L'utilisation des expressions: « corps sonore », « objet excité », une corde « répond » ou « parle », résonance par « sympathie », résonance par « affinité »... montre l'existence d'un obstacle anthropomorphique.
- L'obstacle à généraliser et même à conceptualiser a provoqué une difficulté à passer d'une manifestation sonore ou de vibration de cordes à une conception générale concernant les mouvements périodiques. Cette difficulté s'opposait à l'idée de

généralisation donc à l'extension du phénomène aux divers types d'ondes et aux diverses dimensions des objets résonants dans la nature.

## CONCLUSION, PROPOSITIONS ET PERSPECTIVES

L'histoire du concept de résonance montre l'existence d'un certain nombre d'obstacles épistémologiques. De simple effet naturel (renforcement d'un son, écho...), en passant par une manifestation, essentiellement de corps sonores, la résonance est devenue à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle et au début du XX<sup>ème</sup> un concept descriptif, explicatif et prédictif d'événements résonants très diversifiés s'appliquant aussi bien au niveau microscopique (atomes, électrons, ...) qu'aux objets de grandes dimensions en passant par les objets courants. L'évolution de la signification de la résonance, la multiplicité et la diversité des situations rencontrées dans l'histoire l'ont éloignée progressivement de l'aspect perceptif et substantialiste vers la généralisation puis la conceptualisation.

Le phénomène apparaît désormais riche en événements historiques exploitables pour son enseignement, ce qui permettrait de sortir des présentations parfois dogmatiques, d'autres fois plus mathématiques que physique, dans l'étude du concept.

Ce travail permet de voir le phénomène étudié du point de vue épistémologique et fait apparaître notamment des résistances rencontrées dans son élaboration historique. L'esprit scientifique doit surmonter ces obstacles fonctionnels et spirituels constitutifs de la connaissance achevée, pour atteindre l'objectivité, et se former contre eux, selon Bachelard (1938). Nos résultats peuvent constituer des hypothèses de travail pour une expérimentation au cours de l'apprentissage de la résonance par les étudiants. L'identification et la caractérisation des obstacles peuvent grandement servir la construction des situations didactiques après observation contextuelle des difficultés des apprenants.

De même que le nouveau regard critique que nous portons sur le phénomène permet d'analyser les présentations, les contenus et les activités qu'en font les manuels et les enseignants.

D'autres prolongements possibles de ce travail seraient d'établir un parallèle diachronique entre cette évolution dans l'enseignement de la résonance et l'évolution historique, chez les savants, du concept lui-même. Ce qui contribuerait à rechercher l'existence et l'ampleur du vieillissement biologique (Chevallard, 1982) du savoir transposé par rapport au savoir de référence.

## RÉFÉRENCES

- Alonso, M., & Finn, E. J. (1986). *Physique générale (Tome 1 : Mécanique ; Tome 2 : Champs et Ondes)*. Paris: InterÉditions.
- Antoine, M. J. (1849). *Résonance multiple et phénomènes optiques produits par les corps vibrants - théorie de l'archet*. Annales de chimie et de physique, T. 27, (pp.191-209). Paris: Victor Masson. Retrieved from <http://books.google.dz/books?id=Eg8AAAAAMAAJ&hl=fr>.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. Paris: Vrin.
- Barth, B.-M. (1987). *L'apprentissage de l'abstraction*. Paris: Retz.
- Blaserna, P. (1877). *Le son et la musique*. Paris: Librairie Germer Baillière et Cie.
- Boutet de Monvel, B. (1863). *Cours de physique*. Paris: L. Hachette et Cie.

- Chappuis, J., & Berget, A. (1892). *Leçons de physique générale (tome3)*. Paris: Gauthier-Villars.
- Chappuis, J., & Lamotte, M. (1911). *Leçons de physique générale (tome IV)*. Paris : Gauthier-Villars et Cie.
- Chevallard, Y. (1982). Pourquoi la transposition didactique. *Publication du séminaire de didactique et pédagogie des mathématiques*, 32, Grenoble.
- Daguin, P.-A. (1861-1862). *Traité élémentaire de physique théorique et expérimentale*. Toulouse: E. Privat.
- Deschênes, A.-J., & coll. (1989). *Grille d'analyse des activités d'apprentissage*, (non publié).
- De Hosson, C. (2011). *L'histoire des sciences, un laboratoire pour la recherche en didactique et l'enseignement de la physique*. Note de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris Diderot-Paris 7, Paris.
- De Vecchi, G., & Giordan, A. (1989). *L'enseignement scientifique : comment faire pour que ça marche ?* Nice: Z'éditions.
- Dictionnaire Hachette (1998). Paris : Hachette.
- Drude, P. (1911). *Précis d'optique (tome 1 et tome 2)*. Paris: Gauthier-Villars.
- Encyclopedia Universalis, France S.A. (1974). Vol.14.
- Faucher, R. (1967). *Physique*. Paris: Hatier.
- Ferry, R., Michalet, R., & Provost, P. (1981). *Dictionnaire pratique de physique*. Paris : CEDIC.
- Fournié, E. (1866). *Physiologie de la voix et de la parole*. Paris: Adrien Delahaye. Retrieved from <http://books.google.com/books?id=JJ1sFM7DKhsC&hl=fr>.
- Jamin, M. (1887). *Cours de physique de l'école polytechnique (tome 3)*. Paris : Gauthier-Villars.
- Journal Officiel de la République Française (JORF). *Texte n°86*. N°233 du 8 octobre 2003, (pp. 17211-17216). Retrieved from <http://www.legifrance.gouv.fr/jopdf/>.
- Mathieu, J. P. (1974). *Vibrations et Phénomène de propagation (Tome 2 : Oscillateurs)*. Paris: Masson & Cie.
- Mouhouche, A., & El-Hajjami, A. (2009). La résonance en physique des ondes : aspects historique et didactique. *Revue Africaine de Didactique des Sciences et des Mathématiques (RADISMA)*, 4. Retrieved from <http://www.radisma.info/document.php?id=746>.
- Ouahes, R., & Dévallez, B. (1988). *Chimie générale*. Alger: O.P.U.-PUBLISUD.
- Pecllet, E. (1847). *Traité élémentaire de physique (Tome 1, Quatrième Edition)*. Paris: L. Hachette & Cie.