HAL
open science

Histoire de l'écho : le son, le temps et la lumière

François Baskevitch

▶ **To cite this version:**

François Baskevitch. Histoire de l'écho : le son, le temps et la lumière. Écho – Espaces et trajectoires de la résonance., Olivier Class et Stéphane Roth -EA 3402 : " Approches contemporaines de la création et de la réflexion artistiques ", Oct 2009, Strasbourg, France. hal-03806460

HAL Id: hal-03806460

https://univ-montpellier3-paul-valery.hal.science/hal-03806460v1

Submitted on 7 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Histoire de l'écho :
le son, le temps et la lumière

François Baskevitch

Electronicien et acousticien, François Baskevitch a effectué une longue carrière dans le domaine de l'électro-acoustique. Il est ingénieur en télécommunications et traitement du signal audio, et docteur en histoire des sciences, spécialisé en histoire de l'acoustique physique. Il est membre de la Société Française d'Acoustique (SFA) et de la Société Française d'Histoire des Sciences et des Techniques (SFHST). François Baskevitch est actuellement chercheur associé au Centre François Viète de l'Université de Nantes (Epistémologie et Histoire des Sciences).

Avant propos

Cette étude propose de parcourir l'histoire des connaissances dans un domaine peu abordé, celui de l'acoustique physique. L'écho est un révélateur des différentes théories de la propagation du son qui ont existé, car il doit répondre à plusieurs questions : le temps pris par le son, le phénomène de la réflexion, et la pertinence des analogies fréquentes avec la propagation de la lumière. Une telle recherche est assez peu entreprise, ce qui explique l'origine de mes sources, je suis parti des textes et des commentaires anciens, et peu de leurs analyses actuelles. La période traitée ici s'étend de l'Antiquité grecque au début du siècle des Lumières..

Pour limiter un texte déjà long, j'ai écarté, à contrecœur, quelques auteurs ; pour la même raison, et dans un souci d'accessibilité, je cite les traductions des textes latins et grecs ; les textes originaux ainsi que de nombreux développements (philologiques et historiques) seront bientôt disponibles dans un ouvrage à paraître, plus complet.

Texte écrit dans le cadre des Journées d'études organisées par Olivier Class et Stéphane Roth : Écho – Espaces et trajectoires de la résonance.

Université de Strasbourg – 16 octobre et 2 décembre 2009

EA 3402 : « Approches contemporaines de la création et de la réflexion artistiques »

Janvier 2011

Table

Introduction à l'histoire de l'écho **3**

Apprivoiser l'écho : les poètes grecs au service de la connaissance **4**

Un son persistant, l'*èchè* et l'*èchos* 4
Résonances étranges de la nature 5
Résonances artificielles : *ècheia* et palais sonores 6
L'écho des tragiques et des philosophes 7
Propager la parole : Pindare et *Acho* 8
Raconter l'écho : la création de la nymphe Echo 8
La fable d'*Echo* : un mythe tardif mais fécond 9

L'écho dans l'Antiquité et au Moyen Âge : la réflexion d'un son instantané **12**

Aristote dans le *De anima* II, 8 : quelques lignes imprécises (IVème s. av. JC) 12
Les théories alternatives : stoïciens et atomistes (IIIème siècle av. J.-C.) 13
Les *Problemata* XI des pseudos-Aristote (IIIème-IIème s. av. JC) 14
Alexandre d'Aphrodise dans son *Traité de l'âme* (Alexandrie, IIème s.) 15
Le *Commentaire au Traité de l'âme* d'Averroès (Andalousie, XIIème s.) 16
L'écho dans le *Commentaire au Traité de l'âme* de Thomas d'Aquin (XIIIème s.) 17
Un savant jésuite de la seconde scolastique : Francisco Suarez (XVIème siècle) 17
Mystère et magie de l'écho à la fin de la Renaissance 18
Les théories du son et de l'écho à la fin de la Renaissance (fin du XVIème s.) 20

La révolution scientifique du XVIIème siècle : observations et expérimentations **21**

Une physique simple et populaire : Scipion Dupleix (1603) 21
Les observations sur le son et l'écho de Francis Bacon (vers 1610) 22
Giuseppe Biancani : L'échométrie, une géométrie des 'rayons sonores' (1620) 23
Les expériences de Mersenne sur l'écho (vers 1630) 26
Les chocs de corpuscules des Atomistes : Beeckman, Gassendi, Bérigard (1620-1650) 30
Un ultime avatar de la physique jésuite : la phonocamptique de Kircher (1650) 32
Embarras de Descartes et explication cartésienne de l'écho : Jacques Rohault (1630-1671) 33
Les corps qui retiennent le son : Otto Von Guericke (vers 1660) 35
L'écho produit par une concentration de son : Hautefeuille (1718) 36
Retour à Montesquieu : le Discours sur la cause de l'écho (1718) 38

Conclusion : vers une approche physico-mathématique de l'acoustique au XVIIIème **40**

Histoire de l'écho : le son, le temps et la lumière

François Baskevitch, janvier 2011

Introduction à l'histoire de l'écho

Premier mai 1718, le jeune Montesquieu prononce devant l'Académie Royale des Sciences de Bordeaux un discours introduisant la dissertation qui a remporté le Prix de Physique[1]. Le sujet en est le phénomène de l'écho, et le lauréat, Jean de Hautefeuille, est presque inconnu[2]. Tandis que les savants ont depuis longtemps établi les lois de l'optique et de la catoptrique (la réflexion de la lumière), ils restent perplexes face au phénomène de l'écho.

Il faut saluer la clairvoyance et la simplicité scientifique de ces académiciens. Car en effet, si l'écho a fait l'objet de nombreuses descriptions, et si tous les savants sont d'accord sur la cause principale de l'écho – la propriété de réflexion des sons – on ne connaît toujours pas, au XVIIIème siècle, les circonstances qui déterminent la production de l'écho sonore.

Dans l'Antiquité et aux temps médiévaux, l'écho est d'abord un phénomène inexplicable et dont, à vrai dire, l'explication n'est indispensable à personne. Quelques philosophes tentent néanmoins une analyse du phénomène. Puis, vers la Renaissance, avec l'apparition de la magie naturelle, l'écho prend une place au sein des prodiges de la nature, au même titre que les phénomènes chimiques, électriques ou magnétiques. La science moderne, à partir du XVIIème siècle, accompagne une curiosité nouvelle envers la nature, et l'écho fait l'objet d'observations, de descriptions et de mesures. On commence alors à en chercher l'explication et l'analogie des propagations du son et de la lumière fournit une piste, certes erronée, mais soigneusement explorée. Au cours du XVIIIème siècle, on admet que le phénomène est plus complexe que prévu, on tente alors d'appliquer les nouvelles méthodes mathématiques à la propagation des sons et à leur réflexion.

Les hypothèses scientifiques sont comme des voix qui, rencontrant des obstacles, nous reviennent en écho. Nous allons tenter de les percevoir et d'identifier ces obstacles disposés au long du chemin de l'histoire des sciences, de l'Antiquité au début du siècle des Lumières.

---

[1] Montesquieu, *Œuvres complètes*, ed. Decker, Bâle, 1799, t. VII, p. 137-143 : « Discours sur la cause de l'écho prononcé le premier mai 1718 ».

[2] *Recueil des dissertations qui ont remporté le prix à l'Académie des Sciences de Bordeaux*, tome 1, Brun, Bordeaux, 1719.

Apprivoiser l'écho : les poètes grecs au service de la connaissance

Un phénomène naturel peut très bien ne pas être expliqué – les dieux sont là pour endosser la responsabilité des conséquences, c'est la fonction du mythe – ni même identifié. Il n'est pas remarqué, ou alors on ne perçoit qu'une partie de sa manifestation : inévitablement, le vocabulaire reste imprécis. C'est le cas des phénomènes sonores qui n'attirent pas forcément l'attention des grecs de la période archaïque. Ces phénomènes sonores se présentent par leurs effets, d'origine inconnue : ce sont des bruits, parmi d'autres sons. Ils accompagnent la nature et ses caprices. La recherche des causes n'est pas une préoccupation de ce temps là, elle arrive bien plus tard, avec les débuts de la philosophie ionienne, faite d'observations (Thalès, Anaximandre, Anaximène, VIème et Vème siècles av. J.-C.). Auparavant, les phénomènes sont intimement liés aux mythes qui fondent la cosmogonie transmise par les poètes, et jusqu'au IVème siècle av. J.-C., l'explication du monde est essentiellement hylozoïste : le monde est constitué de vivant plus ou moins divin, et ses réactions peuvent être imprévisibles.

Un son persistant, l'*èchè* et l'*èchos*

Le verbe, *èchein*, qu'on rencontre occasionnellement chez Hésiode puis plus souvent à partir d'Eschyle, exprime l'idée d'un son qui persiste après que sa cause a disparu. L'*èchè* est, en particulier, le son produit par un choc sur un objet métallique, ou bien le son réverbéré dans un local de grandes dimensions. Homère emploie *èchè* lorsqu'il évoque un son continu, sans source identifiée, et de grande intensité. Il s'agit par exemple d'une clameur ou du bruit des flots. L'*èchè* homérique est souvent qualifiée de *thespésiè*, qui signifie d'origine divine et qui confère à l'*èchè* une portée peu ordinaire : « *èchè thespésiè* , une clameur digne des dieux ».

Derrière les mots dérivés d'*èchè* qu'on trouve dans les textes épiques ou historiques, s'exprime l'idée de résonance. La résonance est un terme rendu peu précis, peut-être en raison des connaissances d'aujourd'hui qui perturbent une notion autrefois intuitive[3]. Lorsqu'on dit d'un local qu'il résonne, on le décrit comme

---

[3] A l'origine, en 'acoustique musicale', la résonance est la 'propriété d'accroître la durée ou l'intensité du son', ce qui, déjà, introduit une double signification, avec deux phénomènes différents. Puis, en physique, en acoustique physique notamment, la résonance est 'l'augmentation de l'amplitude d'oscillation d'un système physique lorsque celui-ci est excité au voisinage de l'une de ses fréquences propres', ce qui introduit la notion de 'fréquence de résonance'. La 'caisse de résonance' fait appel aux deux définitions. La résonance peut donc affecter, selon les cas, l'amplitude, la durée et la fréquence du son…

réverbérant. Autrement dit, on exprime l'idée générale d'une persistance du son après que sa cause est supprimée. Si les sons métalliques des grecs, le choc des armes sur le bouclier, sont désignés par *êchè*, c'est parce qu'ils 'résonnent', c'est-à-dire que leur son persiste avant de s'éteindre. Pour les grecs anciens, les réverbérations naturelles, qui génèrent des sons très divers et parfois effrayants, sont des manifestations divines (dieux, muses, nymphes…). Ces sons réverbérés d'origine inconnue sont peu observés en raison de leur fugacité et de leur diversité. Les phénomènes peu observables ne sont pas identifiés, ils sont inclassables et ne sont pas nommés. C'est pourquoi l'écho qui sera plus tard décrit comme une répétition du son, n'est ni nommé, ni même identifié avant le Vème siècle.

Résonances étranges de la nature

La perception du monde chez les grecs anciens est avant tout visuelle et non auditive, comme l'atteste la pauvreté des références au monde sonore dans les quelques textes d'inspiration scientifique antérieurs à Aristote qui nous sont parvenus. Les poèmes, les épopées et les tragédies constituent notre principale source de l'évocation des phénomènes sonores et du vocabulaire qui les décrit. Il nous faut donc rechercher dans les poèmes, les légendes et les mythes qui forgent la connaissance.

Dans cette ancienne Grèce, entre Homère et les Tragiques, les phénomènes naturels constituent le domaine de travail du dieu Pan. C'est le dieu bucolique par excellence, la référence divine des bergers, des bûcherons et des montagnards. Pan n'est nommé ni par Homère, ni par Hésiode. Il est originaire de l'Arcadie, région accidentée et boisée du Péloponnèse dont la population rustique est peu attirée par la culture urbaine de Corinthe ou de Lacédémone (Sparte). Il est bien possible que Pan fût le dieu le plus important de l'Arcadie, sous le nom de *Pania*, avant d'être introduit auprès des dieux olympiens, vers le VIème siècle av. J.-C..

Parmi les prérogatives de ce régisseur de la scène des bois et des prés, Pan est le maître des bruits de la nature. Souvent représenté avec sa célèbre flûte à chalumeaux, la syrinx, il en joue sur tous les registres, et en tire aussi bien les imitations déformées de chants d'oiseaux, les souffles dans les feuilles, les sifflements dans les rochers, les grondements de l'eau et les frémissements des ruisseaux. Bruiteur expérimenté, il est également en charge des prolongements sonores et des amplifications imprévues dans les cavités et les défilés rocheux. Ces répercussions du son, pas encore nommées 'échos', mais dont on sait que leur bruit dure bien plus longtemps que leur cause, font partie de l'attirail scénographique du dieu Pan. Technicien des effets spéciaux inquiétants de la nature, son apparence est effrayante : hirsute, barbu, vêtu de peaux de bêtes, il a l'apparence des hommes des montagnes qu'il est chargé de protéger mais qu'il épouvante parfois. Pour le rendre un peu plus gracieux, le mythe lui a adjoint un certain nombre de divinités champêtres, les

nymphes, sortes de stagiaires souriantes à qui le metteur en scène Pan a délégué certaines tâches auprès des rivières, des prés et des forêts.

Les *Hymnes homériques* constituent une série d'environ trente poèmes épiques à l'usage des aèdes, célébrant les dieux et leurs aventures ; ils sont écrits entre Hésiode et la période hellénistique dans le style des Anciens, à partir d'une tradition orale. Parmi ces poèmes, il en est un qui célèbre le dieu Pan, qui en fournit le portrait et l'histoire. Un passage met en situation le dieu Pan, les nymphes oréades, et le son des montagnes[4] :

> Alors les harmonieuses Nymphes Orestiades [de la montagne], l'accompagnant en foule vers la source aux eaux profondes, chantent, **et l'écho résonne au sommet du mont** et dans la molle prairie où le safran et l'hyacinthe, fleuris et odorants, se mêlent à l'herbe.

Certains traducteurs associent parfois la nymphe Echo au phénomène décrit ici. Pourtant il n'est pas question ici de répétition du son, mais de ces sons prolongés et sifflants qu'on entend dans les vallées quand le vent souffle, et non d'un écho répétant les dernières paroles prononcées. Le mythe d'Echo, d'apparition plus tardive, s'est construit de façon autonome, comme une 'incarnation' d'un phénomène acoustique auparavant mystérieux, voire inquiétant, alors que l'homme est en symbiose avec la nature : à cette époque, on ne cherche pas à décrire les phénomènes, encore moins à les expliquer, on les évoque.

Résonances artificielles : *ècheia* et palais sonores

Les locaux construits en pierre, spacieux et dépourvus de meubles sont des espaces réverbérants. Cependant ils ne sont pas favorables à la production d'échos répétitifs, sauf à la faveur de dispositions exceptionnelles dont nous n'avons quasiment pas de traces. C'est ainsi qu'Homère parle de 'palais sonores' (*dômata èchè-enta*)[5] , tout comme Hésiode qui décrit ainsi le palais d'Hadès (*domoï èchè-entes*)[6]. Une des premières constructions architecturales produisant un écho est située à Olympie. Pausanias, le célèbre géographe du deuxième siècle en fait état dans sa *Description de la Grèce*. Il s'agit d'un 'portique' dont la particularité était de produire un écho à sept répétitions, d'où il tire son nom d'*heptaphonos*[7]. Ce portique était vraisemblablement une longue galerie (plusieurs dizaines de mètres) étayée par de nombreuses colonnes. Cette galerie forme un conduit qui évite l'atténuation du son, condition nécessaire à la production d'échos. Il est peu probable que cette construction fût

---

[4] *Hymnes homériques*, trad. Leconte de Lisle, ed. A. Lemerre, Paris, 1893, hymne XVIII, p. 428-430.

[5] Homère, *Odyssée*, IV, 72.

[6] Hésiode, *Théogonie*, 767.

[7] Pausanias, *Description de la Grèce*, livre V, chap. XXI.

réalisée dans le but d'un effet acoustique, ce devait plutôt être une circulation ombragée et protégée des intempéries qui, fortuitement, produisait des échos. Olympie était à partir du VIème siècle un des premiers lieux de grande concentration populaire, et cette construction atteste des dimensions désormais importantes des édifices, favorables aux effets sonores de ce type.

L'écho des tragiques et des philosophes

La première apparition du mot *èchô* se trouve dans une tragédie d'Eschyle, *Les Perses.* On pense généralement que la pièce est écrite vers – 472. Eschyle y raconte la bataille de Salamine, remportée par les Grecs, mais vue du côté des Perses. Lors de l'apparition du terme *èchô* dans la pièce, nous sommes dans le détroit de Salamine, réputé pour abriter des grottes sur ses côtes. Une bataille navale fait rage, et son vacarme se répercute dans ces cavités. L'*èchè* homérique ne traduisait pas suffisamment l'inquiétude qu'Eschyle voulait exprimer, et pour cette occasion, il invente l'*èchô*, à la sonorité plus grave. Peu après, Sophocle emploie *èchô* dans *Electre* , dans le sens d'une voix retentissante ; on le trouve également chez Hérodote, mais c'est surtout Euripide qui semble apprécier le terme *èchô* [8].

Aulu Gelle, dans les *Nuits Attiques,* nous dit qu'Euripide, élève du savant et philosophe Anaxagore, avait pour habitude de séjourner dans une grotte de Salamine pour écrire[9]. C'est sans doute dans une de ces grottes, connues d'Eschyle et d'Euripide, que le phénomène de l'écho a été identifié. Anaxagore, le futur maître d'Euripide, arrive à Athènes en – 478 et commence à y enseigner la philosophie ; il fréquente l'élite intellectuelle d'Athènes, et a sans aucun doute rencontré Eschyle alors en pleine gloire. Peu après Eschyle nous décrit l'écho dans le détroit de Salamine et reprend le terme dans *Prométhée enchaîné*. Pour sa part, Euripide, devient familier du mot et de la notion d'écho répétition qu'il emploie dans plusieurs tragédies. Par ailleurs, à la même époque, les premières constructions architecturales de dimensions suffisantes pour donner naissance à un écho, sortent de terre à Olympie. Or, si nous n'avons pas de trace écrite directe du philosophe présocratique Anaxagore, mais seulement quelques fragments, on lit dans l'un d'eux une évocation de l'écho[10].

Tout ceci nous renseigne sur l'époque à laquelle ce phénomène a été identifié dans la culture grecque classique. L'écho des montagnes et des cavernes qui effrayait

---

[8] Eschyle, *Les Perses*, v. 391 ; *Prométhée enchaîné* v. 1082 ; Sophocle, *Electre*, v. 109 ; Hérodote, *Histoires*, IX, 24 ; Euripide, *Les suppliantes*, v. 89 ; *Les Troyennes*, v. 1267 ; *Hippolyte,* v. 791 ; *Hécube*, v. 1111.

[9] Aulu-Gelle, *Nuits attiques*, XV, 20.

[10] Diels Kranz, *Vorsokratiker*, Berlin, 1906 etc., Anaxagore, DK 46 A 106; in Aetius, IV, 19, 5. Le texte du fragment a peut-être été modifié entre Anaxagore (Vème s. av. J.-C.) et Aetius (IIème s.).

les Anciens est ainsi devenu, dans la seconde partie du Vème siècle av. J.-C., un phénomène banalisé, un sujet d'observation et sans doute de conversation, une créature invisible et bruyante finalement apprivoisée dont on peut désormais rire sans crainte, quoique étant bientôt représenté par une divinité, la nymphe Echo.

Propager la parole : Pindare et *Acho*

L'écho est personnifié sous la forme d'une première divinité, Acho, dont la première mission est la propagation de la parole. On trouve une brève allusion à cette messagère dans une ode de Pindare (poète renommé du Vème siècle), qui célèbre la victoire de l'athlète Asopique à Olympie en 476 av. J.-C.[11] :

> Pars, Acho, dans le palais aux murs noirs de Perséphone ; va, réjouis l'oreille d'un père. Apprends, à Cléodame, la délicieuse nouvelle, qu'au plus illustre des combats, au sein même de Pisé, son jeune fils orna ses cheveux et ceignit son front de la plus brillante des couronnes.

Echo n'est pas ici une nymphe, elle fait plutôt partie des Grâces auxquelles Pindare s'adresse[12]. Elle est une personnification du son qui ne s'éteint pas, qui se propage au loin, à la fois dans l'espace et dans la durée. Les 'murs noirs' (*mélanoteichéa*) du palais de Perséphone, les Enfers d'Hadès où séjourne Cléodame, le père de l'athlète, évoquent de longs couloirs souterrains dans lesquels le son progresse sans s'affaiblir, ce qui atteste bien cette interprétation d'une Echo porteuse d'un message verbal. Plus tard, Echo représente également la renommée, sans doute par une réminiscence de ce vers pindarique.

Raconter l'écho : la création de la nymphe Echo

La nymphe Echo apparaît dans le prologue d'une pièce d'Euripide, *Andromède*, présentée au public en 412 av. J.-C. Le texte d'Euripide est perdu mais on apprend beaucoup sur cette tragédie, et sur le rôle qu'y joue Echo, dans les *Thesmophories* d'Aristophane, comédie raillant Euripide et sa misogynie légendaire. Si on ne connaît plus la pièce d'Euripide, on sait qu'elle a reçu un certain succès. Une anecdote est racontée par Lucien de Samosate, écrivain pamphlétaire de langue grecque qui vivait sous les Antonins (IIème siècle de notre ère). Volontiers ironique et mordant, Lucien n'hésite pas à railler le culte pour les auteurs anciens ; il dénonce, dans le traité *De la manière d'écrire l'histoire*, ce qu'il nomme l'euripidomanie, en faisant référence à *Andromède*. Lucien raconte que la pièce est jouée à Abdère (ville de Thrace, sur la Mer Egée, proche de l'actuelle Kavala) sous le règne de Lysimaque

---

[11] Pindare, *Olympiques*, XIV, 20-24.

[12] Le texte de Pindare dit Ἀχώ, forme dorienne de Ἠχώ, *Echô*.

(vers 300 av. J.-C.), avec un grand succès populaire. Les spectateurs, dès leur sortie du théâtre, se promènent alors dans la ville comme envoûtés par le texte, en répétant sans cesse un vers d'Euripide tiré d'*Andromède* : « Amour, tyran des hommes et des dieux ! »[13]. Les historiens de la littérature grecque qui font état de cette anecdote ne font pas le lien avec la présence d'Echo dans la pièce, qui tenait probablement le rôle d'une commentatrice, comme le faisait le chœur. Il est pourtant difficile d'attribuer cette manie passagère du public seulement à une sorte d'euripidomanie comme le suggère Lucien. En revanche, si ce vers était répété constamment par Echo tout au long de la pièce, on comprend mieux un tel comportement.

Le propos et le texte de la comédie d'Aristophane, les *Thesmophories*, vient corroborer cette hypothèse. La fin de la pièce est une violente satire contre Euripide et son *Andromède*. La pièce d'Euripide dont le texte est perdu, a été jouée un an avant les *Thesmophories* (donc vers - 412) comme l'atteste cet échange : « Qui es-tu, toi […] ? – Echo, fidèle interprète des sons, moi qui, l'an dernier, dans ce même lieu, vins en aide à Euripide […] »[14]. La suite du dialogue met en jeu Euripide lui-même, déguisé en Echo, et son épouse transformée en Andromède. Le dialogue est montée en forme d'écho : les derniers mots prononcés par pseudo-Andromède sont systématiquement répétés par Euripide-Echo. Cette satire plutôt féroce de la pièce d'un confrère d'Aristophane nous apprend que le phénomène sonore de répétition figurait comme un élément essentiel de la tragédie d'Euripide. C'est l'explication de l'anecdote racontée par Lucien sur l'étrange manie dont les Abdéritains ont été atteint.

Manifestement, la nymphe Echo, n'était pas encore intronisée avant Euripide, et figurait alors comme une vague personnification de la portée lointaine de la voix. Il semble bien que ce soit Euripide qui ait été le réel promoteur du terme *èchô*, en remplacement de l'homérique *èchè* ; il emploie le terme dans quatre autres pièces créées auparavant, dans le sens d'un son réverbéré, peut-être d'un son répété.

La fable d'*Echo* : un mythe tardif mais fécond

Echo devenue nymphe par l'entremise d'Euripide, il convient de lui offrir un mythe et des légendes. C'est pourtant bien plus tard que les poètes s'emparent de la représentation allégorique de la propagation du son. Le mythe d'Echo, nymphe oréade de Béotie, est créé par Ovide, le célèbre poète latin du début de l'Empire Romain, probablement à partir d'une tradition orale à laquelle il a accès. Il est vraisemblable que la légende circule depuis longtemps, en Grèce, puis dans le monde romain. Quelques traces écrites subsistent : des auteurs mettent en scène la nymphe

---

[13] L'anecdote semble authentique : voir Alexis Pierron, *Histoire de la littérature grecque*, Hachette, Paris, 1867, p. 310, et M. Patin, *Etudes sur les tragiques grecs*, livre I, Hachette, Paris, 1858, p. 63.

[14] Aristophane, *Thesmophories*, v. 1056-1061.

dans leurs écrits, comme Eubulos, poète comique du IVème siècle av. J.-C., suivi par le poète syracusain Moschus, ainsi qu'un certain Ptolémée Philopator (homonyme du roi d'Egypte Ptolémée IV) auteur d'un *Adonis*[15].

Echo est la fille d'une nymphe et d'un mortel, sans qu'on puisse être plus précis, différentes propositions ont été faites tout au long de l'histoire de la mythologie tardive. Elle est éduquée par les autres nymphes et instruite par les muses qui l'initient au chant et à la musique. Devenue nymphe elle-même, Echo se complait dans la solitude et demeure dans les rochers. Ces traits sont caractéristiques du mythe d'Echo : elle chante avec beaucoup de grâce et de talent, elle fuit la compagnie des dieux et des hommes, et elle habite les rochers et les cavernes. L'habitat est important car il renseigne sur l'observation par les grecs du phénomène de l'écho, contemporaine de la création du mythe, donc vers le Vème siècle av. J.-C.. Quelques échos naturels se produisent dans des crevasses, comme à Delphes, ou dans des cavernes de l'Arcadie (Nord du Péloponèse), et font l'objet de cultes, par exemple aux nymphes sphragitides sur le Mont Citheron (entre Attique et Béotie). En effet, le milieu favorable à la production d'échos naturels est un paysage composé de vallons encaissés souvent rocheux. C'est pourquoi Echo est souvent qualifiée de *pétrèessa*, pierreuse, rocheuse[16]. Ce cadre rocheux est particulièrement décrit par Virgile, dans ce célèbre passage des Géorgiques : « […] *aut ubi concava pulsu / Saxa sonant, vocisque offensa resultat imago*. ». Les traducteurs brisent souvent le charme du texte en employant le terme 'écho', là où justement le poète en faisait l'ellipse[17].

L'écho c'est le son, et le son évoque l'air. On entrevoit donc une parenté entre le son et l'intangible, comme chez Ausone, poète latin tardif, qui présente ainsi Echo dans un bel épigramme adressé à un peintre[18]:

> C'est en vain, peintre, que tu envisages de me peindre la face, et de chercher des yeux une déesse inconnue des regards.
> Je suis fille de l'air et de la voix, mère d'un langage absurde, je rapporte une parole sans esprit.
> Je ramène les dernières syllabes dans un dernier souffle, mes paroles ridicules se suivent l'une l'autre.
> Echo qui s'insinue, j'habite vos oreilles, et, si tu veux peindre mon portrait, alors peins le son.

---

[15] P. Decharme, in 'Ch. Daremberg et Ed. Saglio, *Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines*', Hachette, Paris, 1877-1919, article 'Echo', t. II, p. 450-451.

[16] *Idem*, note 8 : « *Anthol. Plan*., IV, 154 ; *Nonnus*, VI, 278, XVI, 210. »

[17] Virgile, *Géorgiques*, IV, I, 50. On pourrait traduire, sans style mais plus proche du texte, par : « Et où les rochers creux résonnent après un coup, et que, de ce heurt, l'image de la voix est répercutée ».

[18] Ausone, *Epigrammes*, XI : *Echo ad pictorem*.

Deux textes tardifs, mais essentiels, fondent la légende d'Echo. Le premier est un extrait des *Métamorphoses* d'Ovide, poète latin célèbre du premier siècle[19]. Le second est d'origine grecque, il s'agit d'un passage de *Daphnis et Chloé* de Longus, auteur grec du IIème siècle ap. J.-C.. Ces deux textes ont eu une postérité importante à partir de la Renaissance, que ce soit en littérature, en peinture ou en musique.

Selon Ovide, Echo, à la demande de Zeus parti batifoler avec d'autres nymphes, faisait la conversation à Héra pour détourner son attention. La reine des dieux comprend le stratagème, et, pour punir Echo par où elle a fauté, la frappe d'un châtiment cruel : Echo est condamnée à ne plus parler la première, à toujours répondre quand on lui parle, et à répéter sans cesse les derniers mots entendus. Dans l'épisode suivant de la vie d'Echo selon Ovide, la nymphe s'éprend de Narcisse qui la dédaigne, préférant passer ses journées à se regarder dans l'eau du fleuve. L'histoire finit mal et depuis, elle fait la fortune des poètes, des musiciens et des peintres de tous les temps.

Selon le récit de Daphnis au livre III du roman de Longus, Echo est aimée de Pan[20]. Le dieu des phénomènes naturels et des bergers, joueur de flûte habitant les montagnes d'Arcadie, pourvu de cornes, d'une barbe et d'une chevelure hirsutes, est jaloux de la beauté et des talents de musicienne de la nymphe. Mais Echo dédaigne les avances du dieu bucolique – sans doute également son patron – et, selon Longus, la fureur de Pan devant ce refus aurait été terrible. Il ameute les bergers qui s'emparent d'Echo, la mettent en pièces et dispersent ses lambeaux que la Terre recueille et abrite en son sein. Depuis son habitat souterrain, Echo continue de chanter, et d'imiter les sons en les reproduisant, et notamment les airs de flûtes du dieu Pan, provoquant ainsi un agacement certain de ce dernier.

Ce sont les poètes qui, après l'avoir apprivoisée, s'approprient l'observation de l'écho, en démystifiant l'étrangeté de ces sons qui viennent de la nature et que personne ne semble proférer. Les savants philosophes viendront plus tard, beaucoup plus tard, en associant l'écho à une répercussion, comme la lumière sur la surface de l'eau. Doit-on y voir – encore le mythe – la justification de l'amour impossible entre Echo et Narcisse ? Certes, et de nombreuses œuvres, littéraires, picturales voire musicales sont là pour nous rappeler cette connivence sournoise entre l'écho et le miroir, entre la lumière et le son.

---

[19] Ovide, Les Métamorphoses, III, 336-510.

[20] Longus, *Daphnis et Chloé*, trad. Amyot (1559), revue par P.-L. Courier : *Les Pastorales de Longus*, Corréard, Paris, 1821, livre III, p. 175-179.

L'écho dans l'Antiquité et au Moyen Âge : la réflexion d'un son instantané

Aristote dans le *De anima* II, 8 : quelques lignes imprécises (IVème s. av. JC)

Aristote explique le phénomène de l'écho dans le *Traité de l'âme*, II, 8, en une phrase reprise, commentée et interprétée par les Scolastiques qui se sont intéressés à la physique du son[21]. Cette phrase est concise et quelque peu confuse[22] :

> 419b.25 L'écho se produit quand l'air maintenu en une seule masse par une cavité qui le limite et l'empêche de se disperser, renvoie l'air [extérieur] comme une balle.

Aristote avait auparavant exposé que le son n'est pas un mouvement, même s'il procède du mouvement d'un choc. En effet, le son n'existe que de deux façon : en puissance et en acte. Le son est en puissance dans les corps capables d'émettre un son, il est en acte lorsqu'il est perçu par l'organe de l'audition. Il n'y a pas de place pour un mouvement de translation désigné, dans la physique d'Aristote, par un 'acte inachevé', c'est-à-dire une transition. Tout au plus, le mouvement (*kinèsis*) du son serait un 'mouvement de qualité', ou altération (*alloiosis*), ce qu'Aristote ne dit pas explicitement mais ce que les Scolastiques affirmeront. Le son doit donc se comprendre comme instantané, ce qu'Aristote confirme lorsqu'il dit que le décalage entre l'éclair et le tonnerre est dû à la plus grande acuité de la vue sur l'ouïe[23]. Pour Aristote et nombre de ses successeurs, le son n'a pas d'existence physique entre l'objet sonore et l'organe de l'audition, ou, si l'on veut, le son n'existe que dans l'oreille.

Les textes aristotéliciens n'expliquent pas le délai entre le son direct et l'écho, qui est pourtant sa principale caractéristique. C'est un point qui mérite une réflexion. En effet, le texte recueilli par Argyropylus au XVIème siècle ajoute *sonitus is qui post sonum resultat* . L'écho est donc « la sonorité qui est renvoyée après le son ». Cette phrase n'apparaît pas dans les traductions thomistes, ni dans le texte grec de référence. Il s'agit d'une glose provenant du manuscrit grec utilisé par Argyropylus, et en général cette phrase est passée inaperçue des commentateurs. Pourtant sa

---

[21] Scolastique : Enseignement philosophique et théologique dispensé dans l'Université du XIe au XVIeme siècle (apogée au XIIIème) et dont le propos était de concilier la foi chrétienne et la raison. Marquée par l'influence prépondérante de l'aristotélisme, la scolastique a été principalement illustrée par Albert le Grand, Thomas d'Aquin, Bonaventure, Dun Scot et Guillaume d'Occam. (Larousse).

[22] Aristote, *Traité de l'âme*, trad. Jules Tricot, Paris, Vrin, 1934, … 2004, livre II, chapitre 8.

[23] Aristote, *Météorologiques*, II, 9.

présence révèle l'absence de définition précise de l'écho par Aristote. En effet, il est troublant qu'il n'y ait aucune expression temporelle dans la phrase d'Aristote, alors que c'est réellement l'essentiel du phénomène de l'écho. Les commentaires médiévaux au texte d'Aristote éludent le retard du son, car cela conduirait à accepter une durée de propagation et donc un mouvement corporel. En réalité, il est probable que le propos d'Aristote est l'explication de la résonance, ou réverbération, mais pas de l'écho.

Les théories alternatives : stoïciens et atomistes (IIIème siècle av. J.-C.)

La physique stoïcienne a eu une grande influence à partir de la période hellénistique (du IIIème au Ier siècle av. J.-C.), notamment dans le grand centre intellectuel qu'est devenu Alexandrie. On ne dispose d'aucun texte original complet des philosophes stoïciens, mais on a un certain nombres de fragments et d'indications qui nous sont fournies par des auteurs postérieurs. Aux premiers siècles de notre ère, combattus pour leurs thèses morales et philosophiques par des courants religieux d'apparition récente, les stoïciens perdent leur influence. Leur physique subsiste sous forme de traces qu'on décèle ici ou là, dans le vocabulaire et dans les notions qui leur sont propres (le matérialisme, la continuité de la substance, l'absence de vide, les notions de 'forme' et de 'souffle').

Pour les stoïciens, le son est corporel, il est une 'forme' donnée à l'air par le corps sonore, une sorte d'empreinte. Il se déplace en prenant du temps de façon circulaire. Voici ce qu'on lit chez un doxographe du IIème siècle, Aetius[24] :

> Suivant les stoïciens, la voix est un corps ; car, disent-ils, tout ce qui agit, tout ce qui opère quelque chose, est corporel. Or, la voix agit et opère un effet, puisque nous l'entendons et que nous la sentons, lorsqu'elle vient frapper notre oreille, et qu'elle s'y imprime, comme le cachet sur la cire. [...] Tout ce qui se meut est corps, or la voix se meut et vient frapper des corps par lesquels elle est réfléchie, comme une balle l'est par un mur ; c'est l 'écho.

Les Stoïciens sont à l'origine de l'analogie, pédagogique mais insuffisante, du son avec les ronds dans l'eau. La métaphore vient de Chrysippe et a été transmise par Vitruve, Boèce, Averroès et Thomas d'Aquin.

Ecartés pour des raisons idéologiques, les atomistes, qui représentent un courant important de la physique antique, nous ont laissé peu de textes sur leur physique : des extraits de Démocrite, trois longues lettres d'Epicure transcrites par Diogène Laërce, le traité *De la nature* de Lucrèce, ainsi que des commentaires

---

[24] Aetius (Ps.-Plutarque), *Placita philosophorum*, IV, 20, in Diels, *Doxographi graeci*, Berlin, 1879, p. 410.

d'auteurs et quelques fragments ou inscriptions. Pour ces atomistes, la matière est composée de corpuscules baignant dans le vide et animés d'un mouvement continu.

Le son des atomistes est un flux de corpuscules de formes différentes qui se répand autour du corps sonore[25]. Le son prend du temps puisqu'il est composé de matière en déplacement. L'écho est très simple : les grains de son se comportent comme s'ils rebondissaient sur un obstacle.

Les *Problemata* XI des pseudos-Aristote (IIIème-IIème s. av. JC)

Les *Problemata Aristotelis*, ou 'Problèmes d'Aristote', constituent un abondant recueil d'un grand nombre de questions naturelles, ou de physique si l'on veut, regroupés en 36 sections par les éditeurs successifs. Longtemps attribués à Aristote, ils sont lus par tous les étudiants des universités médiévales et représentent la somme des connaissances aristotéliciennes en physique pendant de nombreux siècles. Il ne fait plus aucun doute, depuis la fin du XIXème siècle, qu'Aristote n'en est pas l'auteur. Rédigés sous la forme de questions et de réponses sur les sujets les plus divers, ces problèmes donnent parfois l'impression d'être des travaux écrits d'élèves des écoles péripatéticiennes qui se sont succédées au cours de l'époque hellénistique. Certains problèmes sont peut-être même plus tardifs encore. Le son est abordé dans la section XI intitulée *De la voix*[26].

Dans les *Problemata* XI, nous avons plusieurs questions relatives à l'écho, et également aux vases acoustiques. Ces *echeia* sont abordés dans les problèmes 8 et 9 :

> 899b.25 – Pourquoi si l'on enfouit une grande jarre ou des vases d'argile vides [...] , les édifices sont-ils plus sonores, et également s'il y a dans la maison un puits ou une citerne ?
>
> Est-ce parce que, du fait que l'écho est une réflexion, il faut que l'air enfermé s'accumule et que la surface contre laquelle il se réfléchira en la heurtant soit dense et lisse ? Car ainsi l'écho est à son maximum. Donc le puits ou la citerne présentent étroitesse et concentration, les vases et les jarres d'argile la densité de leur enveloppe, si bien que les uns et les autres contribuent au résultat en question. Car les objets creux résonnent mieux, et le bronze est plus sonore que le reste. Que l'on utilise des objets enterrés n'a rien d'étonnant ; car la voix peut se porter vers le bas, d'une manière générale, elle semble se propager de tous les côtés et en cercles.

---

[25] Epicure, *Lettre à Hérodote,* in Diogène Laërce, *Vies et doctrines des philosophes illustres*, Livre X, 35-83 ; nombreuses traductions.
Lucrèce, *De rerum natura*, IV, 570, nombreuses traductions.

[26] *Problèmes dAristote*, section XI, traduction Pierre Louis, Les belles lettres, Paris, 1993. Le titre grec est *Péri phônè*, ce qui signifie bien *De la voix,* cependant *phônè* désigne aussi le son, surtout après Aristote.

Ces *Problemata* XI apportent une contribution à la théorie antique de l'écho, ou plutôt de la réverbération, en indiquant à plusieurs reprises l'action favorable d'un volume concave rempli d'air, en expliquant le fonctionnement des vases acoustiques, en évoquant la conservation d'intensité sonore et en affirmant l'égalité des angles d'incidence et de réflexion des sons, analogue à celle des rayons lumineux.

Alexandre d'Aphrodise dans son *Traité de l'âme* (Alexandrie, IIème s.)

Alexandre d'Aphrodise est un philosophe qui enseigne à Alexandrie vers la fin du IIème siècle de notre ère. On le considère comme le promoteur de la réhabilitation de l'aristotélisme qui avait peu à peu disparu du paysage intellectuel. Sa pensée trouve un second souffle au XIIIème siècle grâce à une controverse à propos de l'exégèse du *Traité de l'âme* d'Aristote, entre Alexandristes et Averroïstes.

Alexandre écarte discrètement la notion aristotélicienne de l'air 'un et continu' pour une hypothèse d'un air composé de parties conjointes. Il interprète les quelques ligne d'Aristote sur l'écho dans son propre *Traité de l'âme*[27] :

> [...] le premier air frappé, qui reste continu et indivis en raison de la vitesse du choc, peut donner à l'air qui vient après lui une figure semblable à celle du choc, et cet air fait de même avec celui qui le suit, et ainsi, par continuité, la progression du son se transmet jusqu'à la cavité.
>
> Le dernier air, celui contigu à la cavité, lorsqu'il est frappé et qu'il reçoit une figure, se voit empêché par la cavité de transmettre le choc vers l'avant et il est repoussé dans la direction opposée par la résistance de la cavité solide, comme une balle rebondit contre un solide.
>
> Ce dernier air frapperait et donnerait en retour une figure à l'air contigu à ses parties, et cet air ferait de même pour celui qui le précède, et ainsi la transmission du choc et du son revient aux lieux d'où ceux-ci sont initialement partis, comme cela se produit quand nous voyons dans les miroirs.

La partie d'air recevant le choc sonore initial demeure indivise et continue. Elle ne se déplace pas, mais communique l'empreinte sonore à la partie adjacente. Ainsi 'la progression du son se transmet', de proche en proche. La dernière partie d'air ne peut plus communiquer son empreinte en avant, et la restitue à la partie d'air en arrière, et ce, jusqu'au retour au point de départ. L'empreinte sonore n'est pas modifiée : la théorie respecte l'identité entre les sons directs et réfléchis, ce qui

---

[27]Alexandre d'Aphrodise, *De l'âme*, Traduction et commentaires : Martin Bergeron, Richard Dufour, Paris, Vrin, 2008, p. 139-142.

toutefois ne se produit pas dans un miroir qui inverse l'image. Alexandre fait référence au stoïcisme avec les notions d' 'espèces' ou 'figures', souvent invoquées dans l'explication de la vision, qui laissent leurs empreintes et les propagent dans les milieux, ici dans l'air.

Le *Commentaire au Traité de l'âme* d'Averroès (Andalousie, XIIème s.)

Chez les savants arabes, lecteurs et commentateurs d'Aristote, Averroès se revendique partiellement de la physique stoïcienne. La partie d'air en mouvement, confinée et empêchée de sortir de la cavité, percute une paroi réfléchissante et cette percussion met en mouvement une autre partie d'air qui revient en arrière puisque, le son se propageant en cercles, cette partie ne peut pas se déplacer vers la paroi. Et donc un second son se forme, à l'image du premier[28].

> L'écho est produit par l'air maintenu un, c'est-à-dire borné et enfermé en contact avec ce qui le maintient et l'empêche de sortir, lorsque le mouvement [l'ébranlement] de l'air dû à la première percussion est arrêté du fait des parois qui maintiennent l'air, et qu'il le frappe d'une seconde percussion semblable à la première qui fait le son. Ainsi le même son répété est entendu, il répond pour ainsi dire à ce premier. Et il [Aristote] le compare à une balle lancée, à savoir que, quand la balle est lancée, elle arrive par un mouvement similaire au premier mouvement. L'écho est entendu après le premier son, c'est presque évident puisqu'on a déclaré qu'entre deux mouvements il y a un repos.

Le commentaire d'Averroès éclaire le propos d'Aristote. La première percussion est celle qui produit le son, c'est le choc sonore initial. La seconde est celle de l'air dans la cavité, c'est une percussion semblable à la première, et elle produit donc également un son. La nouveauté réside dans l'explication inédite du retard : les sons sont séparées par un temps de repos puisque, si le son est instantané dans sa propagation selon Aristote, selon le même, deux mouvements opposés sont séparés par un repos.

L'air est bien entendu maintenu en une masse unique mais l'emploi à plusieurs reprises par Averroès du terme 'mouvement' constitue une évolution importante de l'approche aristotélicienne, car il permet, par un recours à la physique d'Aristote, de justifier le retard par le repos.

---

[28] *Aristotelis de anima libri tres, cum Averroiis commentariis*, Sophianos, Venise, 1574, p. 92.

L'écho dans le *Commentaire au Traité de l'âme* de Thomas d'Aquin (XIIIème s.)

La source principale de connaissance des savants scolastiques est constitué des textes d'Aristote revus par Thomas d'Aquin. En ce qui concerne le son et ses effets, dans son *Commentaire au Traité de l'âme*, le Dominicain introduit l'analogie des ronds dans l'eau, qu'il a sans doute lue chez Boèce ou dans Vitruve, ou encore chez son adversaire Averroès, et il l'utilise pour expliquer l'écho[29] :

> [...] Il peut en aller de l'affection de l'air, lors de la production du son, comme de l'affection de l'eau, quand une chose y est projetée. En effet, il se produit des ronds autour de l'eau frappée. Ceux-ci, près du lieu du coup, sont petits, et le mouvement est fort. Mais plus loin, les ronds sont grands, et le mouvement plus faible. Enfin, le mouvement s'évanouit totalement, et les ronds disparaissent. Si toutefois, avant que le mouvement ne cesse, les ronds rencontrent un obstacle, il se forme des ronds en sens contraire; et cela avec d'autant plus de véhémence qu'on est plus près du premier choc.[...]

En raison de l'influence de Thomas d'Aquin sur la science du Moyen âge et de la Renaissance, la théorie de la masse d'air *unus et idem permanens* qui propage le son instantanément, agrémentée de l'analogie des ronds dans l'eau, sera la théorie dominante. La mauvaise compréhension du concept aristotélicien de *kinèsis*, traduit en latin par '*motus*', rend l'explication plutôt confuse, car il y est question du déplacement de l'air, ce qui n'a pas de sens concernant le son : en effet, de l'air qui se déplace, c'est du vent. La question de l'instantanéité du son et celle du mouvement, non résolues, ne peuvent plus convenir à des philosophes savants qui observent de plus en plus les phénomènes de la nature.

Un savant jésuite de la seconde scolastique : Francisco Suarez (XVIème siècle)

Les Scolastiques de la seconde époque (XVIème siècle, surtout des Jésuites) reprennent l'analogie des ronds dans l'eau, comme ici le jésuite Francisco Suarez :

> Et dans cette matière, tous les traducteurs sont d'accord, mais s'interrogent sur la façon dont se fait cette réflexion. Certains affirment qu'une partie numériquement unique de l'air percuté parvient sur un corps solide et que cette même partie est renvoyée comme une balle, et pour cette raison, cause le même son. Mais ce mode est impossible, parce que dans l'air il n'y a pas une partie numériquement unique qui se déplacerait et porterait le son. D'autres disent que la réflexion se fait de cette façon : parce que l'air est mis en mouvement par la voix, pour ainsi dire en cercle, et une partie comprime l'autre, ou met en mouvement l'autre, en lui laissant

---

[29] Thomas d'Aquin, *Opera omnia*, t. XLV, *Sentencia libri de anima*, Vrin, Paris, 1984, p. 138.

> comme empreinte le même son, et ainsi ils sont en mouvement jusqu'à ce que la force de l'impulsion cesse, ou qu'elle tombe sur un obstacle, sur lequel ces ondulations de l'air se réfléchissent, la même forme du son étant préservée, de la même façon que si une pierre est projetée dans l'eau d'un étang, l'eau se déplace en cercles, mais, ayant rencontré un obstacle, les ondes reviennent en direction de la pierre en sens inverse.

Suarez met ici en évidence les deux interprétations de la théorie d'Aristote. La première met en jeu une 'partie numériquement unique' de l'air porteuse du son (*una pars numero*). C'est-à-dire que c'est la même partie d'air porteuse du son qui se déplace, du corps sonore à l'organe de l'ouïe. L'autre théorie décrit la partie d'air (*una pars*) qui transmet l'empreinte sonore et le mouvement, par compression, à une partie d'air voisine. Et dans le cas de l'écho, la partie immédiatement à proximité de l'obstacle réfléchissant ne peut pas communiquer son tremblement au corps dur, et donc le communique à la partie précédente, assurant ainsi le retour en arrière du son, et donc la réflexion.

Cette position qui maintient l'unité et la cohésion de l'air est la conséquence du refus d'Aristote d'attribuer un mouvement local au son. Le son est produit par un choc, il se communique à l'air, et est immédiatement perçu. Cette attitude est elle-même la conséquence de la définition aristotélicienne du mouvement local qui ne peut être qu'un transport de matière. Car il ne peut pas être question d'un mouvement de quelque chose, d'une matérialité du son qui impliquerait une nature corpusculaire elle-même incompatible avec l'anti-atomisme d'Aristote et des Scolastiques.

Le son ne peut être qu'une 'qualité' perçue par l'ouïe et propagée par un tremblement de l'air maintenu en une seule masse et continu (*aer unus et continuus*). Et c'est ainsi que l'analogie avec les ronds dans l'eau, empruntée aux Stoïciens, vient au secours des aristotéliciens. L'eau est une, et ses déformations à la surface ne se communiquent pas d'une partie d'eau à une autre, mais se propagent au loin en cercles, en conservant l'unicité de la matière. Il faut pourtant prendre garde de ne pas faire de confusion anachronique, il ne s'agit pas d'ondes au sens moderne, ce qui supposerait une théorie du mouvement vibratoire et ce n'est pas le cas. Il s'agit uniquement d'une représentation destinée avant tout à se prémunir de la théorie du mouvement des parties d'air et de la théorie corpusculaire.

Mystère et magie de l'écho à la fin de la Renaissance

Le caractère mystérieux et magique de l'écho supplée aux insuffisances du dogme pour expliquer l'écho.

On lit nombre d'anecdotes, comme celle de Cardan, qui nous conte l'histoire d'un écho dont la réponse crée un quiproquo[30]. Cardan raconte qu'un ami, passant de nuit près d'une rivière dangereuse et ne trouvant pas le gué, cria '*debo passa qui ?*' (dois-je passer ici ?) et l'écho lui répondit d'une voix aigue '*passa qui*' (passe ici), puis '*qui*' (ici). L'ami en a été quitte pour un bon bain.

A cette époque qui précède la révolution scientifique, le phénomène de l'écho est très mal appréhendé, et même souvent éludé et masqué par des commentaires anecdotiques. Comme par exemple dans les encyclopédies médiévales inspirées des *Problemata* supposés d'Aristote[31] :

> Pourquoy resonnent et rendent cris les lieux profons et les caves ? Ces lieux, par la reflexion en renvoyant le coup, rendent le son: car la voix frappe l'air et l'air le lieu, lequel de tant plus il est frappé, de tant rend il plus grand son. Mais les lieux humides, qui donnent lieu au coup et le resoudent, ne rendent point le son : mais selon la qualité et quantité du coup, se forme et exprime la qualité et quantité du son, qui se nomme Echo.

Cette description sommaire est suivie d'une longue anecdote sur le mythe d'Echo. L'explication est peu claire, mais la référence aux 'qualité et quantité' chères aux aristotéliciens ferme toute objection.

Il arrive également que l'écho, dont on ne doute pas qu'il s'agit d'une voix sans organe, soit évoqué lorsqu'on disserte sur le diable[32] :

> Car si la voix se fait par une agitation et battement d'air, il s'ensuit que Satan s'en peut former une en cette façon, vu qu'il se compose bien un corps d'air. L'exemple de l'écho nous servira en cet endroit : car nous voyons des vallées qui répondent articulément à la voix de l'homme, si bien qu'il est avis qu'elles parlent et imitent notre parole. Et de là, il est aisé de colliger [déduire] que la voix humaine se peut bien feindre sans poumon, sans langue et sans dents.

Mais on raconte encore mille histoires et exemples extraordinaires d'échos dans des cavernes (l'oreille de Denys à Syracuse), dans les vallées encaissées (près de Coblence, un écho répète dix-sept fois), dans des cours de grandes demeures (à Mantoue), ou sous les ponts (à Charenton).

---

[30] Jerôme Cardan, *De subtilitate*, Lyon, 1550 : liber XVIII, *De mirabilibus et modo repraesentandi res varias praeter fidem*, p.678.

[31] *Problemes d'Aristote et autres filozophes et medecins selon la composition du corps humain avec ceux de Marc Antoine Zimara, sus plusieurs questions physicales*, trad. de Georges de La Bouthière, Lyon, Jan de Tournes, 1554, chap. 133, p. 252.

[32] Henry Boguet, *Discours exécrable des sorciers*, 1603, p. 27.

Les théories du son et de l'écho à la fin de la Renaissance (fin du XVIème s.)

Vers la Renaissance, on dispose de plusieurs approches dogmatiques de la propagation du son qui résultent davantage d'un souci de cohérence idéologique que sur une connaissance issue de l'observation et de l'expérience. La première, aristotélicienne et scolastique, s'appuie sur la notion de qualité successive, c'est à dire 'mouvement qualitatif' (*alloiôsis*), par opposition au 'mouvement local', ou translation *(phora)* : l'air est une masse continue qui reçoit le choc et le transmet instantanément à l'ouïe. La seconde, alexandriste, décrit la propagation du son comme une suite de chocs de masses d'air contiguës et porteuses d'une 'forme'. Une troisième décrit une partie d'air en mouvement, porteuse de la forme du son. Pour les stoïciens, l'air est continu et ce qui se déplace, c'est une déformation porteuse de l'empreinte sonore, comme les vagues à la surface de l'eau. Cette approche restitue le mieux la notion de propagation, cependant elle a été mal comprise, et on n'en a retenu que la métaphore. Car ces approches s'appuient toutes sur cette analogie commode des 'ronds dans l'eau' adoptée pour son efficacité pédagogique. Quant à la représentation atomiste des grains de son, elle a depuis longtemps disparu.

La réflexion du son fait partie de ces phénomènes mystérieux sur lesquels on s'attarde peu, sauf pour en conter les nombreuses anecdotes et légendes. Aristote est peu disert sur la question. Alexandre d'Aphrodise évoque une propagation de proche en proche des parties d'air porteuses de la forme du son, jusqu'à sa réflexion. Thomas d'Aquin invoque l'analogie des ronds dans l'eau. Averroès et Avicenne rejoignent plus ou moins la position d'Alexandre. Les Scolastiques de la seconde période sont embarrassés, et la position aristotélicienne devient de plus en plus difficile à défendre. Toute la question de l'écho se ramène à celle de la propagation du son : comment envisager le mouvement sans transport de matière et sans altération d'une information aussi complexe que le son.

La révolution scientifique du XVIIème siècle : observations et expérimentations

L'écho, par ses nombreuses propriétés et surtout par sa reproductibilité lorsque le site est favorable, permet une étude expérimentale de la propagation des sons. Les savants observateurs du début du XVIIème siècle s'investissent alors dans l'observation de l'écho, dans le but de comprendre le son.

Une physique simple et populaire : Scipion Dupleix (1603)

Les germes de la science moderne apparaissent d'abord sous forme d'observations, parfois naïves mais qui peuvent se révéler importantes. C'est le cas par exemple du chapitre sur l'écho dans *La Physique* de Scipion Dupleix, un ouvrage qui ne prétend pas à la découverte, mais un livre de vulgarisation qui fut réédité de nombreuses fois, de 1603 à 1641. Ici, le temps de propagation du son est occulté, même à propos de l'écho[33] :

> [l'écho] se fait par la sympathie de l'air extérieur et intérieur. Car l'air extérieur agité et battu du son et bruit venant à battre contre les corps creux et caverneux, communique ses affections et impressions à l'air qui est au dedans, de manière qu'il en résonne et retentit de même. Or d'autant plus qu'il y a de creux et de détours dans une même caverne, d'autant plus de voix sont rapportées par l'Echo.

Selon une pratique fréquente à cette époque, on élude ensuite le problème par des énumérations anecdotiques : ici, des échos extraordinaires, longuement décrits et commentés. Sur les trois pages du chapitre, deux sont consacrées à des anecdotes ou à des descriptions d'échos rapportées par Plutarque, Pausanias, Lucrèce et Cardan.

Toutefois l'auteur met en évidence une caractéristique importante de la production d'un écho, c'est la présence presque toujours constatée de cavernes ou de 'couloirs' situés sur le trajet du son réfléchi[34].

---

[33] Scipion Dupleix, *La physique*, Paris, 1603, Rouen,1640, Fayart, Paris, 1990, chap. XIV, p.465.

[34] Cette 'canalisation' du son réfléchi est nécessaire pour produire un écho audible, car elle limite l'atténuation proportionnelle au carré de la distance observée dans le cas d'une diffusion sphérique. Le son s'atténuant peu, il conserve une intensité qui lui permet d'être entendu à une distance importante. Bien entendu cette remarque ne pouvait pas être faite en ce début du XVIIème siècle. On peut expliquer cette propriété par analogie entre l'intensité sonore et la pression (en effet, on peut considérer le son comme une variation de pression) : pour une énergie initiale donnée, la pression est inversement proportionnelle à la surface sur laquelle elle est appliquée.

Les observations sur le son et l'écho de Francis Bacon (vers 1610)

Au début du XVIIème siècle, Francis Bacon écrit une *Historia soni et auditus* qui ne sera jamais éditée et qui lui servira de matériau pour écrire les deux longs chapitres consacrés aux sons dans *Sylva sylvarum* écrit en anglais et publié juste après sa mort, en 1626. Bacon y développe une théorie qui nie le mouvement local de l'air lors de la propagation du son tout en réfutant la nature matérielle du son[35] :

> La répercussion des sons (que nous nommons 'écho') peut servir à argumenter que le son n'est pas un mouvement local de l'air. Car s'il l'était, la répercussion devrait se faire sur un mode tout à fait semblable à l'original, comme elle se fait pour toutes les répercussions des corps. Or dans le son, puisque sa génération requiert tellement de soin, comme dans la voix qui renferme tant d'instruments, et plus encore dans les instruments de musique qui sont fabriqués avec précision, les dispositifs qui rendent le son réfléchi n'ont rien de ceci, mais sont clairement à l'état brut, et sont le plus souvent de telle sorte que le son ne se transforme pas, ou à peine.

Bacon a ici une argumentation originale, il envisage que le son de l'écho devrait requérir pour sa génération les mêmes dispositifs que le son original. L'écho n'a pas d'existence matérielle, il est une image perçue par l'ouïe dans des conditions particulières, comme les images renvoyées par un miroir qui ne sont pas réelles.

L'analogie avec la lumière se réfléchissant sur un miroir est évoquée dans *Sylva sylvarum*, mais d'une façon nuancée : Francis Bacon est perspicace et sa démarche originale : elle ne sera pas reprise par nombre de ses successeurs qui préfèreront la facilité de l'analogie :

> On décrit la réflexion des 'espèces visibles' par des miroirs de cette façon : se propageant en lignes droites, elles peuvent être dirigées en n'importe quel point. Mais on dispose difficilement de la réflexion des sons, car, remplissant de grands espaces selon des lignes courbes, le son ne peut pas être ainsi dirigé. C'est pourquoi on n'a entendu parler d'aucun moyen de réaliser des échos artificiels. De même aucun écho, à notre connaissance, ne s'est déjà produit dans une pièce fort étroite.

Bacon a ici l'intuition d'un concept moderne, celui de 'champ sonore', par opposition à celui de 'rayon sonore' qui connaît bientôt un grand succès auprès des savants : ancrée dans l'imaginaire à partir de considérations pas toujours scientifiques, cette représentation des lignes sonores, comme celle des ronds dans l'eau, est pédagogique mais inexacte.

Sur l'écho, Bacon distingue avec perspicacité deux types de réflexions:

---

[35] Francis Bacon, *Historia soni et auditus*, ed. Spedding, London, 1859, vol.III, p.673.

> Il existe deux types de réflexion du son : l'un à distance, c'est l'écho, dans lequel le son original est entendu distinctement, et le son réfléchi également distinctement. L'autre est 'en convergence' [*in concurrence*], la réflexion est alors très proche, quand le son qui se réfléchit retourne immédiatement sur l'original sans provoquer de répétition mais une amplification.

Cette hypothèse basée sur l'observation est audacieuse. Elle ne sera d'ailleurs reprise que bien plus tard par les physiciens[36]. Jusqu'alors le phénomène de l'écho, pourtant fréquent, ne faisait l'objet que de descriptions, et on se contentait de l'expliquer par le modèle du miroir ou de la balle rebondissant sur un mur. Ce type de réflexion produit la réverbération, lorsque les obstacles réfléchissants sont trop proches pour produire un écho distinct : le nombre de répétitions convergentes génère alors une confusion des sons.

Bacon revient longuement sur la réflexion du son et lui consacre un chapitre entier qui traite de l'écho[37]. Après la réflexion convergente, il décrit l'écho qu'il nomme itératif (*iterant*), pour en souligner le caractère de répétition. Bacon s'intéresse également à la directivité de l'écho, problème que pose l'analogie avec la lumière se réfléchissant dans un miroir : « il faudrait, dit-il, faire des observations pour établir si la réflexion du son suit la loi de l'angle d'incidence et de réflexion, comme pour les rayons lumineux ». Cette problématique va se révéler bientôt et plusieurs savants n'hésiteront pas à manipuler ces 'rayons sonores' de la même façon qu'on le fait dans la catoptrique (science des réflexions dans les miroirs).

Francis Bacon a produit un travail d'observation encore jamais effectué sur la propagation des sons ; toutefois, ses lacunes en mathématiques et en physique l'ont sans doute contraint à se limiter à des propositions d'expériences.

Giuseppe Biancani : L'échométrie, une géométrie des 'rayons sonores' (1620)

Dès la fin du XVIème siècle, on mesure l'écho par le nombre de syllabes qu'il répète, on dit alors qu'il est polysyllabique. Mais il peut être simple ou polyphone lorsqu'il répète plusieurs fois. Le nombre de syllabes répétées introduit la notion d'intervalle de temps, donc la distance parcourue par le son en un temps donné, c'est-à-dire la vitesse.

Le premier philosophe ayant étudié l'écho de façon mathématique, à partir d'observations et de conjectures, mais sans beaucoup de vérifications expérimentales, est Giuseppe Biancani (1566-1624), mathématicien jésuite et astronome de Bologne,

---

[36] Claude Perrault reprend cette hypothèse dans le *Traité du Bruit* paru en 1684.

[37] Francis Bacon, *Sylva sylvarum*, 1627, ed. Spedding, London, 1859, vol II, p.425-428, *Experiments in consort touching the reflexion of sounds*.

contemporain et volontiers admirateur, discret, de Galilée. Il écrit vers 1615 un vaste traité de géographie, de cosmographie et de mathématiques intitulé *Sphaera Mundi* qui n'est publié qu'en 1620. La troisième partie, une quinzaine de pages, a pour titre *'Echometria, idest Geometrica tractatio de Echo' : 'L'échométrie : traité géométrique sur l'écho'.*

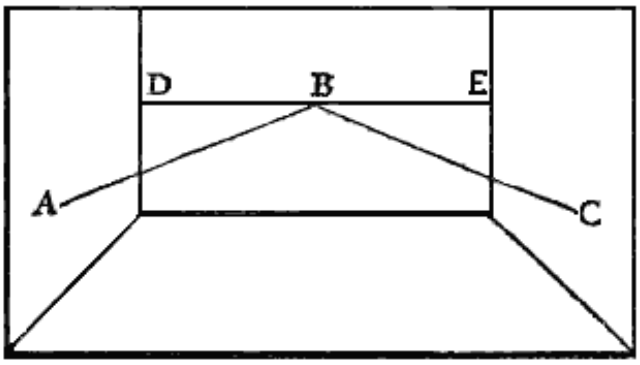
La démarche de Biancani est donc essentiellement géométrique, et ce qui l'intéresse dans l'étude de la réflexion des sons, c'est avant tout l'étude des trajectoires des 'rayons sonores'[38] :

> La ligne sonore, ou vocale, est droite ; en conséquence de quoi la voix se propage de façon directe. En outre, le son dans un lieu ouvert et libre se diffuse de tous côtés par des lignes, ceci se fait clairement avec raison. [...] L'écho n'est rien d'autre que le son réfléchi de la voix articulée ou modulée, c'est-à-dire lorsque notre voix portée et poussée de tous côtés par le mouvement de l'air, rencontrant directement un corps plan ou creux qui fait un obstacle assez lisse, revient à nous ensuite comme une balle. Il faut ici distinguer entre le bourdonnement et l'écho.

Puisque le son se déplace en suivant des lignes sonores, on applique les lois de la catoptrique, et la réflexion se fait selon le principe connu de l'égalité des angles d'incidence et de réflexion :

Anguli incidentiæ, & reflexionis lineæ ſonoræ ſunt inuicem equales. Theorema I.

Sicuti in radijs lucis, & viſus, prædicti anguli æquales exiſtunt, vt optimè Optici oſtendunt; ijdem eadem ratione exiſtimandi hic quoque, ſunt æquales. quod probè experientia confirmat, ſi enim duo ſint ab eodē pariete, necnon ab inuicem ita diſtantes, vt vnus audiat alterius Echum, fiunt prædicti anguli æquales. vt in ſequenti figura, ſi Sonorum ſit vbi A, audiens autem Echum ipſius ex repercuſſu parietis D B E, ſit, v. g. vbi C, obſeruatio docet reflexionē fieri, in tali parietis loco, vt lineæ ductæ ab eo, ad Sonorū vna, altera ad audientem, faciunt angulos D B A, E B C, æquales.



[38] Giuseppe Biancani, *Sphaera mundi, seu cosmographia…*, Additamentum III, *Echometria, idest Geometrica tractatio de Echo*, Bologne, 1620, p. 419.

« Les angles d'incidence et de la ligne sonore de réflexion sont égaux deux à deux ». C'est le premier théorème énoncé par Biancani après un bref exposé des définitions. Selon cette théorie, l'auditeur placé en C reçoit le son émis en A après sa réflexion sur la surface plane DBE. Il se réfère, en appui à sa démonstration, à Vitellius pour ce qui est de la catoptrique, et aux *Problemata*, encore attribués à Aristote à cette époque, qui pose la question de la réflexion du son[39]:

> Ainsi le son se maintient et il en sort deux fractions de forme identique. Car la réflexion a lieu sous le même angle, et c'est pourquoi la voix répercutée par l'écho est identique à la voix originale.

On sait de nos jours que le son ne se réfléchit pas de cette façon, mais que la nature omnidirectionnelle de sa propagation rend ses réflexions bien plus complexes, chaque point d'incidence devenant lui-même source omnidirectionnelle de propagation. Il est clair que Biancani n'a pas expérimenté ni vérifié cette proposition malgré le « *quod probe experientia confirmat* » qu'il assène au lecteur, selon la tradition des textes scientifiques jésuites.

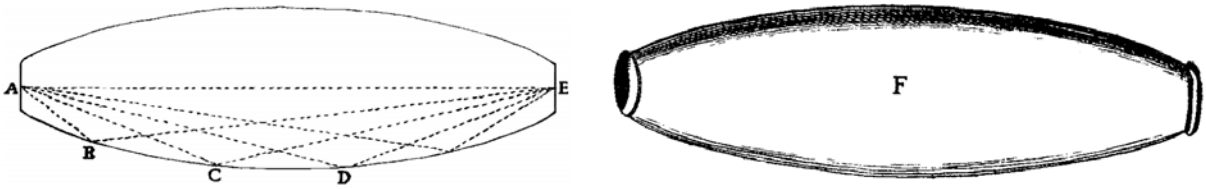
Toutefois, Giuseppe Biancani est novateur lorsqu'il introduit la notion de durée de propagation du son. C'était jusqu'alors une grandeur inutile et de toute façon difficilement mesurable. Biancani ne mesure pas la durée, mais il rompt avec le dogme aristotélicien de l'instantanéité du son en expérimentant de nombreuses fois sur des échos à différentes distances. Il observe que l'intervalle entre le son direct et l'écho dépend de la distance. Biancani établit que la durée de propagation d'un écho est double du son direct et que le son effectue donc le trajet direct et le trajet réfléchi. Il expérimente sur un écho monosyllabique avec un intervalle de temps entre l'émission et le retour du son très court. Biancani détermine que la distance minimale pour percevoir un écho est de 24 pas géométriques, environ 38m. Pour la première fois, on dispose d'un instrument de mesure de l'écho qui n'est plus l'anecdotique nombre de syllabes, mais la distance de réflexion : c'est une grandeur mesurable, à condition bien entendu de déterminer précisément le lieu de réflexion. Biancani a également étudié l'influence de l'environnement, arbres, herbes, constructions et relief, sur les affaiblissements et les distances parcourues par le son.

Le philosophe a une grande influence sur les savants qui traitent du sujet, notamment Mersenne, mais également sur les savants jésuites qui développent longuement l'analogie entre son et lumière en appliquant les lois de la catoptrique à la réflexion des sons. Parmi ceux-ci, on trouve Mario Bettini, auteur d'une *Apiaria*, un livre destiné à l'enseignement scolaire, en 1642, rédigée avec l'aide d'un astronome jésuite renommé, Christoph Grienberger. Dans son ouvrage, Mario Bettini ne se pose même pas la question : il divise la *Sonometrica* en trois parties, l'étude des lignes

---

[39] Ps Aristote, *Problemata*, sectio XI, quaest. 23.

sonores directes, réfléchies et réfractées[40]. Son traité comporte de nombreuses illustrations destinées à conforter le discours géométrique sur la propagation du son. Bettini prolonge les travaux de Biancani et les applique à la géométrie de l'ellipse qui se comporte d'une façon particulière en présence de champs sonores[41].



Les expériences de Mersenne sur l'écho (vers 1630)

Avec Mersenne, le débat sur la nature du son est clos : le son a une nature réelle et c'est un mouvement. Ce mouvement prend un certain temps, et, comme Mersenne est mathématicien, à l'inverse de Francis Bacon, si le déplacement a une durée, il a une vitesse[42] :

> Le Son ne se communique pas dans un moment, comme fait la lumière, selon toute son étendue, mais dans un espace de temps.
>
> [...] Le Son ne peut remplir la sphère de son activité que dans un espace de temps qui est d'autant plus long que le lieu où se fait le Son est plus éloigné de l'oreille ; comme on l'expérimente de plusieurs manières, et particulièrement lorsque l'on voit que la hache ou le maillet du bûcheron et des autres qui frappent sur quelque corps, a déjà frappé deux coups lorsque l'on oit [entend] le premier coup: ce qui arrive quand on est éloigné de cinq ou six cent pas ou davantage.

---

[40] Mario Bettini, *Apiaria universae philosophiae mathematicae*, Bologne, 1642, *Apiarium decimum*, p. 35-43.

[41] On sait que les rayons de lumière émis d'un des deux foyers d'un volume ellipsoïde viennent se concentrer à l'autre foyer. Pour le son, on assiste à un phénomène qui ressemble, quoique infiniment moins énergétique. Les champs sonores ont une directivité qui leur permet de se concentrer en un foyer. Cependant il s'agit d'un cas limite dont il ne faut pas généraliser la portée ; cette directivité des champs sonores contribue à augmenter l'énergie sonore dans une direction, mais la comparaison avec l'énergie propagée par des rayons de lumière est inappropriée et induit l'inexactitude. Les réflexions sonores sur des surfaces planes montrent bien que le son ne se réfléchit pas selon des lignes sonores, mais selon des champs qui embrassent des volumes. Le son est la propagation sphérique plus ou moins directionnelle d'une variation de pression dans l'air, et son comportement est différent de celui de la lumière qui est la propagation rayonnante d'une perturbation du champ électro-magnétique.

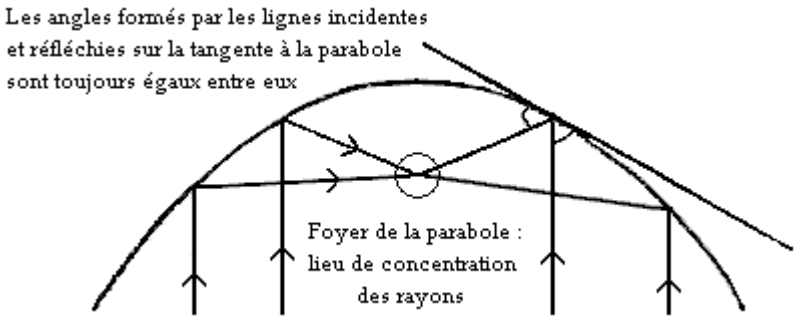
[42] Marin Mersenne, *Harmonie Universelle*, Paris, 1636, livre I, proposition 8. Le texte est 'modernisé'.

L'approche géométrique de la propagation est clairement affirmée et l'énigme de la hache du bûcheron est enfin élucidée, sans avoir recours à la différence de perception entre la vue et l'ouïe qui accompagne le dogme du son sans mouvement. Mersenne, comme tous les auteurs, décrit dans un premier temps l'écho comme une réflexion semblable à celle de la lumière. Cependant, lorsqu'il l'étudie plus profondément, Mersenne admet que l'écho n'obéit pas aux lois de la catoptrique[43] :

> Ce [expliquer l'écho] qui serait très aisé si la réflexion des Sons se faisait comme celle de la lumière, que les Géomètres règlent dans la Catoptrique suivant les différentes incidences du rayon qui tombe sur les corps dont les plans sont droits, concaves et convexes. Mais parce que l'air est sujet à plusieurs mouvements étrangers qui l'empêchent souvent de se porter en droite ligne, ce qui, il semble, n'arrive pas à la lumière, il n'est pas possible de régler les Echos aussi infailliblement que les réflexions de la lumière, quoiqu'il nous en faille servir pour expliquer celles des Sons.

Mersenne observe, et si les causes ne sont pas encore établies, il défend, contre l'opinion courante, que si la lumière se propage en lignes droites, ce n'est pas le cas du son. Enoncer une loi géométrique de la réflexion des sons s'avère difficile.

Après avoir constaté par observation que toutes sortes de surfaces et de matériaux, pas forcément lisses et durs, pouvaient réfléchir le son, Mersenne s'intéresse aux surfaces d'une forme particulière, ici une surface paraboloïde, et réfute l'idée d'une concentration de l'air :



> Et l'on n'expérimenta jamais que l'air réfléchi par un corps concave soit plus épais dans le point de réflexion qu'en un autre lieu, si ce n'est que l'on dise que le Son qui s'entend audit point, témoigne l'épaisseur de l'air, comme l'ardeur de la lumière montre celle des rayons [...] C'est pourquoi je conclus que l'Echo ne se fait pas dans les lieux

[43] Mersenne, *Harmonie Universelle* ; l'étude de l'écho couvre les propositions 25 à 28 du premier livre.

> concaves par la réflexion de plusieurs parties d'air dans un même point, ou dans un petit espace.

Si les 'rayons sonores' existent et sont constitués par des déplacements d'air sonore, ils sont supposés être convergents vers un point focal ; on devrait alors y observer une accumulation d'air, l'air deviendrait 'épais', et puisque ceci n'est pas constaté, c'est que la théorie de Bettini, théorie de la convergence des lignes sonores n'est pas valide.

Toutefois, à ce moment de la rédaction de l'*Harmonie Universelle*, qui semble être écrite comme un journal, au fil de la pensée de l'auteur, c'est bien la perplexité qui prédomine. Mersenne, bien différent de son ami Descartes et de ses certitudes assénées avec arrogance, n'hésite pas à avouer son ignorance ; c'est pourquoi, en physique particulièrement, Mersenne pense en vrai philosophe, en quête de la vérité scientifique par des hypothèses cohérentes, par des lectures fructueuses et non polémiques et par des vérifications méthodiques :

> C'est pourquoi je conclus que l'Echo ne se fait pas, dans les lieux concaves, par la réflexion de plusieurs parties d'air dans un même point, ou dans un petit espace, et qu'il est très mal aisé de savoir comme il se fait.

Plus loin, il admet l'insuffisance de la connaissance de son temps pour donner une explication exacte de l'écho :

> Or il y a trop peu de choses connues de l'Echo pour en faire une science aussi certaine que l'Optique; et l'on ne peut [il me] semble faire des Echo portatifs qui réfléchissent le Son aussi régulièrement, comme les miroirs réfléchissent la lumière, ou du moins l'art n'en est pas encore inventé.

Mersenne cite alors un long texte, le 'Traité particulier de l'Echo', d'un ami inconnu qu'il introduit respectueusement. Ce texte est une longue description d'expériences diverses sur l'écho, agrémentée de commentaires lyriques sur la nymphe de l'Antiquité.

Voici comment ce mystérieux observateur de l'écho propose de mener correctement les recherches:

> La manière de rechercher la nature de cette image de la voix est double, à savoir par l'opération et la pratique, ou par la spéculation et la Théorie Philosophique. La Théorie se prend des trois principes de génération, à savoir de la matière, de la forme, et de la privation; ou des quatre causes, ou des universaux, ou des dix Catégories. La pratique consiste aux promenades, où deux cailloux frappés l'un contre l'autre servent pour le soulagement de la voix, en remarquant les retentissements qui sont les préparatifs, les avant-coureurs, et les fourriers marquant le logis et la demeure de l'Echo. Et puis l'on use

> d'un plan géométrique pour tracer la figure des lieux, avec le pas Géométrique de cinq pieds de Roy. Puis après on suit pas à pas ce qu'on cherche en tous les endroits de la Sphère d'activité, où il y a moins ou plus de force jusqu'à ce que l'on parvienne devant le corps réfléchissant, pour voir quelle est la ligne vocale, à quel point elle commence d'agir, où elle finit, quel temps est plus propre pour l'Echo, quels sont les intervalles de la prononciation et de la répétition, avec une montre à la main, ou avec les tours de bras circulaires, dont on marque la différence des pauses et des intervalles.

L'auteur se fait moqueur envers les péripatéticiens et décrit sa méthode : une promenade, deux cailloux qu'on cogne pour ne pas fatiguer la voix et une écoute attentive. Puis on fait de la géométrie, on mesure, on évalue l'intensité sonore, on localise le corps réfléchissant et les trajectoires du son, et on mesure les durées avec des méthodes empiriques. Les distances sont mesurées avec le pas géométrique qui fait 5 pieds (une toise est égale à 6 pieds, donc le pas mesure 5/6 de toise).

En général, les auteurs précisent bien que les surfaces réfléchissantes doivent être solides, dures et polies. Cependant notre auteur, qui a observé un grand nombre d'échos, rapporte que la nature du matériau faisant écho est peu déterminante :

> Quant à l'habit de cet invisible, il reçoit toute sorte de couverture, car il ne dédaigne pas les murailles et les voûtes décrépies et polies, les herbes, les saules, les marais, les vieilles masures, les jardins et les feuilles.

Les observations sont chiffrées et pertinentes :

> Quant à la quantité et à la longueur de la ligne vocale de l'Echo, je trouve que pour entendre clairement un dissyllabe, il faut vingt-cinq à trente toises de distance, et qu'il ne faut pas que le lieu soit vague, mais renfermé par quelque continuation de muraille, ou fossé.

Cette dernière remarque est précieuse, car c'est une condition essentielle de la production d'un écho : il est nécessaire, en effet, que le son soit canalisé, afin qu'il ne subisse pas l'atténuation qui accompagne sa diffusion sphérique (ou plutôt hémisphérique) à l'air libre.

Dans la suite de son étude, Mersenne, sans doute sollicité par une hiérarchie toujours soucieuse des applications à retirer des travaux de « ceux qui cherchent mais ne trouvent pas », imagine des applications (si possible rentables…) pour l'écho. C'est ainsi qu'il propose plusieurs réalisations architecturales destinées à améliorer les conditions de réception de la voix, notamment dans les édifices de culte. D'autres idées fleurissent, comme la mesure des largeurs de fossés inaccessibles, et même la transmission de messages à distance par un système de relais sonores. L'écho peut également servir à mesurer l'intensité relative de la voix. En revanche, si on peut faire beaucoup de choses grâce aux échos, ils ne peuvent pas tout :

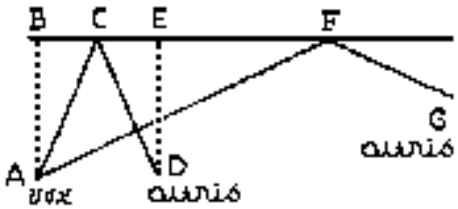
> Mais je ne crois pas qu'il soit possible de faire des Echos qui répondent en autre langue ni d'autres syllabes que les mêmes que l'on prononce.

En effet de nombreuses légendes circulent, encore à l'époque de Mersenne, sur des échos extraordinaires qui répondent en d'autres langues, ou par des mots différents, ou encore qui modulent les notes à la quinte ou à la tierce dans le cas d'instruments de musique. Toutefois, de toutes ses propositions, il en est une que Mersenne va réellement expérimenter, c'est l'utilisation de l'écho pour mesurer la vitesse du son, mais ce sujet dépasse le cadre de cette étude.

Les chocs de corpuscules des Atomistes : Beeckman, Gassendi, Bérigard (1620-1650)

Pour les atomistes qui envisagent la propagation des sons comme un flux de corpuscules, la réflexion du son par l'écho est très simple, elle obéit aux lois de la mécanique. Les corpuscules sont des petits corps, et lorsqu'ils heurtent un obstacle, il rebondissent.

C'est ainsi que Beeckman représente la réflexion du son[44] :



> Trouver la position d'où vient la voix . Si, comme unique auditeur, tu veux connaître la position de la voix de quelqu'un, d'où la voix provient, la voix se réfléchit sur un corps quelconque, te tenant dans deux endroits différents, écoute le et cherche le point où les lignes qui partent de ton oreille vers le second corps arrêtent des angles égaux de réflexion. Ce point est le lieu d'où vient la voix.

Il ne s'agit pas ici d'écho, mais Beeckman met en œuvre la théorie des corpuscules de son et le schéma en montre les trajectoires. Une lecture rapide de ce schéma fait penser aux dessins des lignes sonores de Biancani, et la tentation est grande d'y adhérer, tellement la représentation qu'on se fait de la réflexion des sons semble naturelle par cette modélisation. Chez Beeckman ce ne sont pas des 'rayons sonores' qui se réfléchissent, mais des 'grains de son' qui se comportent comme des

---

[44] Isaac Beeckman, *Correspondance*, Ed. C. de Waard, M. Nijhoff, La Haye, 1939, t 1, 1616- 1618, p. 159.

projectiles qui rencontrent un obstacle. Les lois de la cinétique doivent donc s'appliquer.

Chez Gassendi, adepte d'une physique atomiste, le caractère important du son est son 'image', c'est-à-dire le 'timbre' ou ce qui fait que la même note jouée à la viole ou à la flûte n'a pas le même son. La conservation de cette 'image' malgré les réflexions, les atténuations ou les superpositions avec d'autres sons constituent le premier problème pour Gassendi. La physique du son des Atomistes est la seule approche qui insiste autant sur cette qualité primordiale du son lorsque les autres théories ne parviennent pas à l'expliquer et évitent le sujet avec constance. Encore une fois, c'est le phénomène de l'écho qui met en évidence cette problématique[45] :

> [...] L'écho a quelque chose de semblable à une image qu'un miroir ou un objet poli réfléchit à nos yeux. Car de même que, outre l'image qu'un objet envoie directement à notre oeil, il y en a un nombre innombrable d'autres que ce même objet envoie dans diverses parties de l'espace circonvoisin, lesquelles pourraient être renvoyées à nos yeux s'il y avait partout des miroirs justement placés et disposés pour cela ; de même, outre la voix ou le son qui sort avec impétuosité de notre bouche ou de quelque autre corps, et qui vient en premier lieu à notre oreille, il y en a un nombre innombrable d'autres répandus dans l'air qui peuvent être réfléchis vers nous et qui nous peuvent faire derechef entendre la même voix s'ils tombent sur des corps solides, et quelque peu polis.

La théorie corpusculaire fonctionne selon les lois de la mécanique, les corps sont projetés, ils rebondissent contre les obstacles, pourvu que ceux-ci n'absorbent pas le choc.

Quand Gassendi écrit ces lignes, vers 1640 un mouvement d'inspiration atomiste se développe en Italie, notamment à Pise, dont Claude Bérigard est un des animateurs. Dans *Circulus Pisanus*, il développe quelques théories sur l'audition et parle ainsi de l'écho[46] :

> Dans l'écho, les simulacres de son venant à tomber sur des corps solides et creux sautent en arrière, et renvoient la voix déjà entendue vers l'oreille par une répercussion parfois multiple, de même que les images des couleurs se réfléchissent d'ordinaire dans les miroirs.

La définition de l'écho est ici assez conventionnelle et fidèle à celle de Gassendi, mais l'emploi d'un vocabulaire typiquement atomiste l'est moins. C'est

---

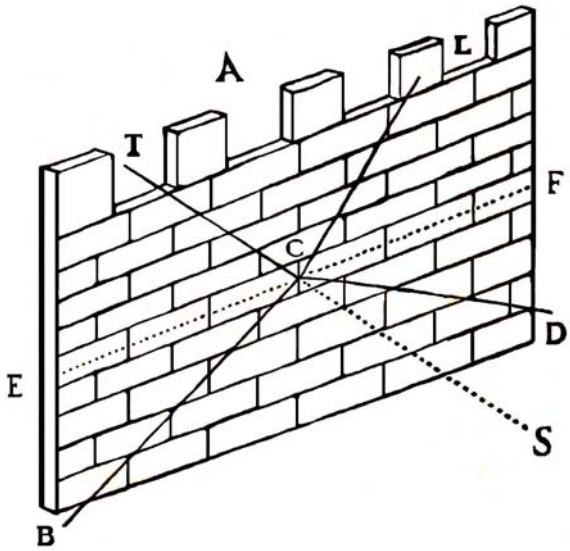
[45] François Bernier, *Abrégé de la philosophie de Gassendi*, Anisson, Lyon, 1674, p. 368.
Pierre Gassendi, *Animadversiones in decimum librum Diogenii Laertii,* Lyon, Anisson, 1649, t 1, p.274.

[46] C. Bérigard, *Circuli Pisani, seu de veterum et peripatetica philosaphia dialog*i, Udine, 1643, *De auditu*, p. 97.

ainsi que '*species*' et '*imagines*' ponctuent le chapitre traitant de l'audition, ainsi que les verbes '*resilere*' et '*referre*' qui s'emploient plutôt lorsqu'on évoque des corps. Les adeptes de cette philosophie avaient pour habitude de ne jamais parler directement de corpuscules ou d'atomes, mais d'employer cette terminologie un peu codée.

Un ultime avatar de la physique jésuite : la phonocamptique de Kircher (1650)

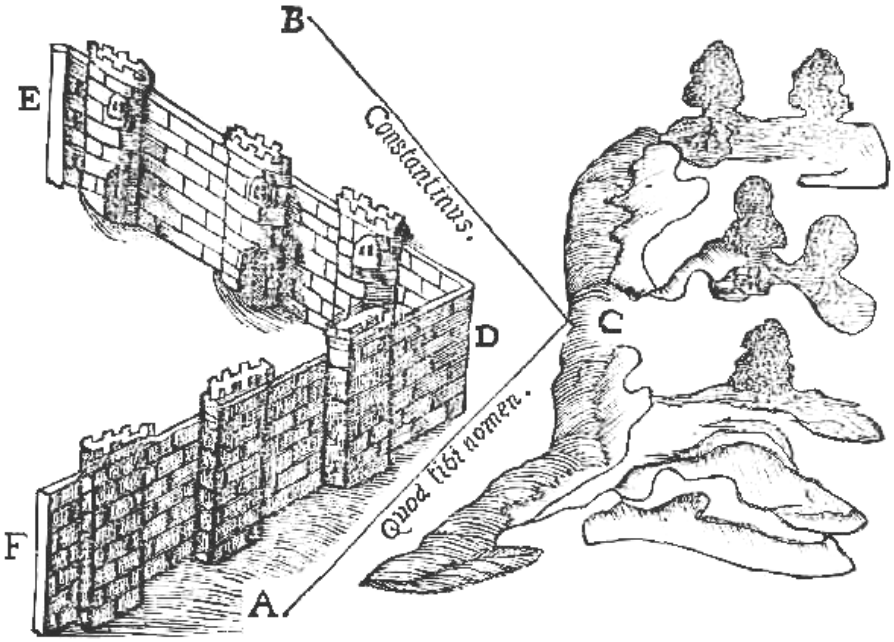
On ne peut pas parler d'écho au XVIIème siècle sans évoquer Athanase Kircher, la phonocamptique et les illustrations maintes fois reproduites qui parsèment ses ouvrages. Esquissée dans un de ses premiers livres, développée dans la célèbre *Musurgia* de 1650, plus abondamment encore dans la *Phonurgia*, la phonocamptique est la science des sons dont la réflexion est envisagée selon les mêmes lois que celles de la catoptrique[47]. Les sons se propagent selon des 'rayons sonores' et donc se réfléchissent comme la lumière dans un miroir, selon la loi des angles d'incidence et de réflexion. Utilisant, comme Biancani, Bettini et Mersenne, les cas limites des réflexions focalisées par des paraboles ou des ellipses, Kircher généralise et imagine des miroirs acoustiques propres à créer autant de types d'échos qu'on voudra. Kircher expérimente peu mais fait réaliser de nombreux dessins remarquables dans le but d'illustrer ses démonstrations.



Certes, le son émis en B sera bien réfléchi en D. Mais Kircher affirme, qu'au point S on n'entend rien du tout, *quod erat demonstrandum*…

---

[47] A. Kircher, *Ars magna lucis et umbrae*, 1646, lib. II, pars I, cap. VI et VII, p. 131-146.
–, *Musurgia universalis*, Rome, 1650, liber IX, '*Magia phonocamptica*', t. 2, p. 237-308.
–, *Phonurgia nova*, Kempten, 1673.



On atteint un sommet dans ce dessin qui suggère qu'un interlocuteur placé en A pourrait poser une question (« *quod tibi nomen ?* ») à un autre qui se tient en B, en utilisant la réflexion sur le rocher C, ce qui permettrait à B de répondre « *Constantinus* », sans que les gardes disposés sur les murs d'enceinte n'entendent rien de ce dialogue.

Dans leurs écrits abondamment illustrés, les Jésuites tels que Kircher et Gaspar Schott préconisent l'utilisation d'effets spéciaux, lumineux et sonores, pour créer dans les églises des ambiances stupéfiantes et envoûtantes auprès des fidèles. La démarche de Gaspar Schott, disciple et collaborateur de Kircher, est davantage celle d'un scientifique, et la partie de son ouvrage qui est consacrée à l'écho constitue une source de documentation très complète[48]. En revanche, de nombreux développements, sur le mode de la révélations de secrets, s'inscrivent dans le courant de magie naturelle que ces savants jésuites semblent revendiquer à cette époque.

Embarras de Descartes et explication cartésienne de l'écho : Jacques Rohault (1630-1671)

Descartes parle très peu de la nature physique du son ; on trouve seulement quelques phrases ici ou là dans sa correspondance. Dans l'ensemble les cartésiens adoptent la théorie des parties d'air qui se choquent successivement.

---

[48] Gaspar Schott, *Magia universalis naturae et artis*; pars II, *acustica*; Herbipolis (Würzburg), 1658; liber II, *De magia phonocamptica, sive de soni reflexi natura, et proprietatibus, mirandisque effectibus*, p.76-134.

On trouve, dans une lettre d'octobre 1638 de Descartes répondant à Mersenne, une allusion à un écho entendu dans des champs d'herbes hautes[49] . Mersenne, semble-t-il, met en doute le récit de Descartes, qui lui répond avec sa condescendance habituelle : « Au reste, la raison de cet écho me semble si claire que je ne doute point qu'on le puisse rencontrer en plusieurs autres lieux, comme par exemple dans les blés quand ils sont fort hauts et prêts à couper ». Malheureusement, Descartes n'a pas donné suite à cette raison du phénomène qui lui semble si claire. On ne peut que constater l'embarras de Descartes devant un phénomène dont il ne parvient pas à donner une explication.

Jacques Rohault (1618-1672) est considéré comme le physicien qui a popularisé les thèses de Descartes. C'est avant tout un adversaire résolu de la science d'Aristote, suffisamment habile pour passer entre les filets tendus par la science dogmatique représentée alors par les savants Jésuites. Son ouvrage principal, de nombreuses fois réédité pendant près de soixante ans, est un *Traité de Physique* paru pour la première fois à Paris en 1671. Rohault réfute les théories d'Aristote puis prend quelques exemples très concrets de sons, une cloche, une viole, un verre qui tinte, un choc sur une pièce de bois[50]. Fidèle dans le style et la méthode à son maître Descartes, Rohault use abondamment de la comparaison, et c'est ici pertinent puisque le son est par nature invisible. On passe donc des tremblements aux bouillonnements puis aux sautillements des petites masses d'air ; on n'est pas loin des tourbillons de Descartes. Le frémissement de la liqueur sur le feu fait place au bâton qu'on remue dans l'eau avant de revenir aux sons avec le luth. L'essentiel est de comprendre la théorie à laquelle Rohault se rattache, celle des parties d'air qui se choquent entre elles.

Voici comment Rohault introduit avec pédagogie le phénomène de l'écho :

> Le son s'étendant en rond de tous côtés, c'est-à-dire comme du centre d'une sphère vers sa superficie, il peut arriver que les parties d'air qui sont en état de transmettre leur mouvement à d'autres plus éloignées, rencontrent quelque corps dur qu'elles ne peuvent ébranler. Ce qui les doit en quelque façon faire réfléchir vers le côté opposé, et ainsi faire qu'elles redonnent leur mouvement aux parties de qui elles l'ont reçu, et celles-ci à d'autres. De façon qu'il se doit faire un nouveau trémoussement d'air au lieu même où il a commencé et où il y a déjà peut-être quelque temps qu'il a cessé. Et par conséquent l'on y doit entendre pour la seconde fois le même son qu'on y a ouï auparavant. Et c'est ce son ainsi redoublé que l'on appelle un écho.

Cette modélisation, qui parait parfaite, souffre de quelques imperfections qui ne rendent pas compte de certaines caractéristiques et de certains événements. On

---

[49] René Descartes, *Correspondance*, ed. Cousin, Paris, 1824, t VII, p. 452.

[50] Jacques Rohault, *Traité de physique*, Paris, 1671, ed. Guillemin, Lyon, 1696, p. 278.

peut relever l'absence d'informations sur la conservation du timbre, la forme des ces 'trémoussements', et surtout sur le résultat d'une rencontre fortuite entre deux parties d'air qui proviennent de deux sons différents, en particulier lors d'un écho. Rohault a bien prévu le cas de deux sons différents, mais qui « agissent sur l'air en même temps » :

> Ils lui doivent imprimer un mouvement composé des deux qu'ils produiraient s'ils agissaient séparément. Et l'air doit ensuite ébranler d'une telle manière l'organe de l'ouïe qu'il en résulte une sensation qui participe des deux que ces corps exciteraient par des impressions séparées.

Rohault poursuit en décrivant ce qui se passe lorsque les chocs sont commensurables ; il s'agit de la théorie dite 'de la coïncidence des coups' à l'origine des consonances, théorie élaborée en Italie par Giovanni Battista Benedetti au siècle précédent. Le processus de composition de ces chocs n'est pas explicité, alors, comme souvent, Rohault invoque la désormais classique et scolastique analogie :

> La propagation du son se peut assez proprement comparer à ces cercles qui se font dans l'eau quand on y a jeté une pierre [...]

En dépit du ralliement à cette représentation consensuelle, le modèle des parties d'air qui se choquent, comme le modèle corpusculaire des atomistes, ne résout pas la question des percussions de ces parties d'air entre elles.

Les corps qui retiennent le son : Otto Von Guericke (vers 1660)

Otto Von Guericke devenu célèbre grâce à son expérience sur le vide à Magdeburg en 1653 a rassemblé peu après ses observations sur des sujets divers, dans le *De vacuo spatio*, ouvrage paru tardivement. Il consacre trois pages au son et développe une théorie très originale à propos de l'écho[51] :

> Le son ne se propage pas en un instant, comme la lumière, mais progressivement, quoique de façon sphériqu,e comme la lumière ; il se réfléchit comme l'énergie lumineuse et comme l'énergie impulsive ; cette réflexion est généralement nommée écho [...]
>
> L'écho sonore est l'énergie reçue dans un corps capable de conserver le son avec toutes ses qualités, et restituée, à plusieurs reprises, avec toutes ses qualités. [...]

Nous sommes ici en présence d'une modélisation dont l'origine est toute scolastique, puisque le phénomène particulier du son qui est la réflexion par l'écho trouve sa cause dans le corps sonore et non dans les propriétés de propagation du

---

[51] Otto von Guericke, *Experimenta nova Magdeburgica de vacuo spatio*, Amsterdam, 1672, p. 138-140.

son lui-même. Il existerait donc des matériaux aux vertus mystérieuses qui seraient capables de conserver le son un court instant, et de le restituer en plusieurs fois avec toutes ses qualités.

Von Guericke est un proche de Gaspar Schott qui avait une certaine tendance à élaborer des théories mystérieuses où la magie naturelle avait toute sa place. Otto Von Guericke observe des échos qui se produisent dans les forêts et dans diverses situations où il ne se trouve aucun corps solide et lisse, comme l'exigent la plupart des théories sur l'écho à cette époque. Il évoque alors, en appui à son hypothèse, la propriété de la 'pierre de Bologne', le phosphore, qui possède cette capacité de conserver la lumière un moment.

Nous sommes en 1672 lorsque l'ouvrage paraît, et Von Guericke l'a écrit une quinzaine d'années auparavant ; cette théorie est, de ce fait, en décalage avec les avancées de la science à cette époque, notamment en ce qui concerne la pneumatique.

L'écho produit par une concentration de son : Hautefeuille (1718)

Jean de Hautefeuille (1647-1724) – la particule a sans doute été ajoutée car il était fils de boulanger – est un ecclésiastique du bas clergé, praticien de la physique avant d'en être un théoricien. C'est probablement une des raisons de son maintien à l'écart de la communauté scientifique. Mécanicien horloger, il n'a jamais pu entrer à l'Académie des Sciences, malgré ses recherches et ses publications. Hautefeuille, quasiment inconnu depuis trois siècles, publie plusieurs essais sur des sujets divers, et l'acoustique est une science qui le passionne particulièrement. En 1715, il propose une *Dissertation sur l'écho* à l'Académie des Sciences de Bordeaux qui venait de mettre la question au concours. Hautefeuille obtient le prix, et son essai est publié en 1718. Ses recherches remontaient probablement à plusieurs décennies. Ce texte méconnu met l'accent sur plusieurs points quant aux conditions de production de l'écho[52].

Après avoir rapidement réfuté les thèses aristotéliciennes, scolastiques et celles développées par Kircher et Schott, Jean Hautefeuille déclare, à propos de la comparaison convenue de l'écho avec une balle qui rebondit[53] :

> Cette comparaison est assez juste si on n'a égard qu'au simple son, mais elle ne convient point du tout à l'écho, la seule réflexion des voix et des sons n'en pouvant produire aucun.

---

[52] Hautefeuille a écrit un grand nombre de courts essais sur des inventions diverses. Il a par ailleurs écrit plusieurs texte sur l'acoustique réunis en un volume posthume : Jean de Hautefeuille, *Problème d'acoustique curieux et intéressant*, Varin, Paris, 1788.

[53] Jean Hautefeuille, *Dissertation sur la cause de l'écho*, Brun, Bordeaux, 1718, p.8.

> [...] pour la production de l'écho, ils [Fromondus, Kircher, Schott, Perrault] n'ont point établi d'autre cause que la réflexion des sons qui seule ne suffit pas.

« La seule réflexion des sons ne suffit pas » est une nouveauté pour tous ceux qui pensent que l'écho se résume à une réflexion selon l'égalité des angles d'incidence et de réflexion. Hautefeuille observe que, même si la réflexion du son est indubitable, l'écho ne se fait pourtant que rarement et toujours dans des conditions particulières. En outre, Hautefeuille remarque, et c'est rare, que l'écho n'a pas besoin de surface réfléchissante solide et polie :

> Ceux [les corps] qui sont mous et fort poreux ne laissent pas que de réfléchir les sons. L'expérience fait connaître que les arbres et les toits, couverts de neige et de givre, réfléchissent la voix et produisent des échos, mais plus faiblement.

Cette observation est en opposition avec l'hypothèse catoptrique. En effet celle-ci ne fonctionne que si les surfaces réfléchissantes sont solides et suffisamment dures et polies pour faire obstacle aux 'rayons sonores'. Pourtant le mystérieux auteur du traité sur l'écho rapporté par Mersenne dans l'*Harmonie Universelle*, dit bien que l'écho « ne dédaigne pas les murailles et les voûtes décrépies et polies, les herbes, les saules, les marais, les vieilles masures, les jardins et les feuilles. ». On a vu que Descartes avait fait la même observation.

Pour Hautefeuille, la condition déterminante de la production d'un écho est que les réflexions soient multiples et concentrées dans un foyer, c'est-à-dire lorsque la surface réfléchissante présente une courbe de la famille des coniques : ellipse, hyperbole mais surtout parabole. Bien entendu la nature ne propose pas souvent exactement ce genre de courbes, mais il suffit que la concavité de la surface permette la focalisation pour que l'écho se produise :

> Tous les corps de la nature sont capables de réfléchir le son, de le réunir dans un foyer et de produire l'écho.
>
> [...] Si les corps qui réfléchissent la voix sont disposés de telle sorte qu'ils renvoient les ondulations de l'air parallèles, il ne s'en fera aucune réunion, et par conséquent point d'écho, qui est le contraire de ce que tous les philosophes ont écrit jusqu'à présent.
>
> Si ces corps les réfléchissent *convergens*, elles produiront un foyer, et la voix s'entendra une seconde fois.

En effet, le problème de l'écho n'est pas tant dans la capacité de réflexion, ce dont tout le monde convient, mais, dans une certaine configuration qui permet la focalisation, donc l'amplification du son, non par des 'rayons sonores', mais par les 'ondulations de l'air'. Mersenne avait bien évoqué cette possibilité, mais il l'avait écarté car « on n'expérimenta jamais que l'air réfléchi par un corps concave soit plus épais dans le point de réflexion qu'en un autre lieu ». Hautefeuille ne parle pas d'un

'épaississement' de l'air, mais constate une plus forte intensité du son au foyer. Il entrevoit la théorie de l'écho, sans la formuler explicitement : la configuration des lieux doit permettre d'obvier à l'atténuation du son avec la distance ; compte tenu que l'atténuation est proportionnelle au carré de la distance, en diffusion sphérique, il n'existe que peu de moyen pour réduire cette atténuation, ou pour simuler une amplification. La focalisation en est un, l'effet de canalisation, dans lequel la surface de pression est assimilée à un plan en est un autre. Peu importe la nature, la matière et le polissage de la surface, pour faire un écho il faut que le son réfléchi, outre qu'il soit à une assez grande distance, ne s'atténue pas, ou peu. Pour Hautefeuille, il importe peu de connaître la physique du son, encore très incomplète, mais seulement de déterminer la configuration des lieux propre à produire un écho :

> Il n'est pas nécessaire, pour avoir une idée claire et distincte de la véritable cause de l'écho, de connaître cette modification de l'air qui produit la voix et les sons, il suffit de savoir que le mouvement de l'air, quel qu'il soit, se trouve exactement le même dans le foyer des rayons sonores, et tel qu'il était au sortir de la bouche : que, de chaque point physique de l'air ému, il s'écarte à la ronde des agitations dont, plusieurs venant à se réunir, elles forment une seconde voix semblable à la première, toutes choses supposées égales.

Il faut que l'air de la voix soit « tel qu'il était au sortir de la bouche », avec toutes ses caractéristiques, et notamment son intensité : la concentration en un foyer est un des procédés qui permet à la voix de conserver la même intensité qu'au sortie de la bouche.

Hautefeuille fait progresser la science des sons, mais sa faible notoriété va longtemps retarder les avancées dans ce domaine, et les 'rayons sonores' ont encore un bel avenir…

Retour à Montesquieu : le Discours sur la cause de l'écho (1718)

La dissertation de Jean Hautefeuille a donc reçu le prix de l'Académie des Sciences de Bordeaux, et Montesquieu écrit et prononce à cette occasion un discours qui résume assez bien, en ce tout début du XVIIIème siècle, l'état des connaissances sur le phénomène de l'écho, tout en soulevant, en conclusion une des question qui ne trouve pas encore de réponse : la fidélité du son retardé par rapport au son direct, malgré les contraintes subies pendant sa propagation et ses réflexions. Voici un extrait de ce texte écrit dans une langue remarquable :

> Le sujet proposé était plus difficile à traiter qu'il ne paraît d'abord : c'est en vain qu'on prétendrait réussir dans l'explication de l 'écho, c'est-à-dire du son réfléchi, si l'on n'a une parfaite connaissance du son direct ; c'est encore en vain que l'on irait chercher du secours chez les Anciens, aussi malheureux sans doute dans leurs hypothèses que les poètes dans leurs fictions, qui attribuèrent

> l'effet de l'écho aux malheurs d'une nymphe causeuse, que Junon irritée changea en voix, pour avoir amusé sa Jalousie, et, par la longueur de ses contes (artifice de tous les temps) l'avoir empêchée de surprendre Jupiter dans les bras de ses maîtresses.
>
> Tous les philosophes conviennent généralement que la cause de l'écho doit être attribuée à la réflexion des sons, ou de cet air qui, frappé par le corps sonore, va ébranler l'organe de l'ouïe ; mais s'ils conviennent en ce point, on peut dire qu'ils ne vont pas longtemps de compagnie, que les détails gâtent tout, et qu'ils s'accordent bien moins dans les choses qu'ils entendent que dans celles qu'ils n'entendent pas.
>
> [...] Avec tout ceci on n'est pas fort avancé dans la connaissance de la cause de l'écho. Mais enfin un philosophe est venu, qui, ayant étudié la nature dans sa simplicité, a été plus loin que les autres : les découvertes admirables de nos jours sur la dioptrique et la catoptrique ont été comme le fil d'Ariane qui l'a conduit dans l'explication de ce phénomène des sons. Chose admirable ! il y a une image des sons, comme il y a une image des objets aperçus : cette image est formée par la réunion des rayons sonores ; comme, dans l'optique, l'image est formée par la réunion des rayons visuels.
>
> [...] Cependant je ne puis passer ici une difficulté commune à tous les systèmes, et qui, dans la satisfaction où nous étions d'avoir contribué à donner quelque jour à un endroit des plus obscurs de la physique, n'a pas laissé que de nous humilier. On comprend aisément que l'air qui a déjà produit un son, rencontrant un rocher un peu éloigné, est réfléchi vers celui qui parle, et reproduit un nouveau son, ou un écho : mais d'où vient que l'écho répète précisément la même parole, et du même ton qu'elle a été prononcée ? comment n'est-il pas tantôt plus aigu, tantôt plus grave ? comment la surface raboteuse des rochers, ou autres corps réfléchissants, ne change-t-elle rien au mouvement que l'air a déjà reçu pour produire le son direct ? Je sens la difficulté et plus encore mon impuissance de la résoudre.

Montesquieu, en soulevant cette question parmi toutes les autres non encore résolues, montre la limite de la méthode d'investigation scientifique qui a caractérisé le XVIIème siècle : les observations et les expériences ne suffisent plus pour décrire les processus physiques. Il est nécessaire d'abandonner les tentatives de représentation et de faire appel à de nouveaux outils méthodologiques, un nouveau symbolisme plus abstrait, qui permette d'élaborer des lois physiques applicables en toutes circonstances. Cet outil est mathématique, c'est le calcul différentiel et l'analyse.

Certes, la réflexion du son produit l'écho, mais pas toujours, pas partout. Il faut se rendre à l'évidence et reconnaître sa défaite : au début du XVIIIème siècle, on ne parvient pas à expliquer le phénomène de l'écho.

Conclusion : vers une approche physico-mathématique de l'acoustique au XVIIIème

Avec l'avancée considérable que représente la pneumatique, l'étude du son se transforme, et l'expérimentation prend toute la place qu'elle n'avait pas auparavant. La production du vide permet de disposer réellement du matériau, l'air, et de machines qui le manipulent et le mesurent. En ce sens, l'expérience de Boyle, vers 1660 (le son ne se propage pas dans le vide), représente plus qu'un simple exercice sur les effets du vide, c'est une avancée importante dans l'étude de la nature du son. Dès lors, les théories scolastiques ne peuvent plus être défendues, le son est forcément un mouvement d'air. De plus, comme l'air est compressible et extensible, ce mouvement est très localisé, ce n'est pas un mouvement d'une masse d'air mais le mouvement d'un transfert local d'énergie, d'une quantité de mouvement, qui affecte chaque partie d'air, en poussant la partie d'air conjointe, si on peut encore parler ainsi.

Claude Perrault (*Traité du bruit,* 1684) approfondit le sujet de la propagation du son, mais, malgré des tentatives de modélisations de ce phénomène invisible, ne parvient pas à appréhender ce que représente la 'propagation d'une perturbation', définition de la propagation d'une onde. Vers la même époque, le Jésuite quelque peu dissident, Ignace-Gaston Pardies élabore une théorie, à peine ébauchée, d'un tel phénomène. Il écrit à Isaac Newton qui semble-t-il ne lui répond pas, et fait part de sa théorie à son ami Huygens qui la développe dans son célèbre *Traité de la lumière*, sans l'appliquer réellement au son. Pour sa part, en 1687, Isaac Newton, dans un long chapitre très obscur de son ouvrage essentiel, les *Principia*, exprime pour la première fois une théorie mathématique de la propagation des ondes sonores dans l'air[54].

L'introduction du calcul différentiel, à la même époque, permet d'aborder d'une façon mathématique les phénomènes variables en introduisant les durées très courtes pendant lesquelles une grandeur évolue. Cet outil mathématique permet aux physiciens de la nouvelle génération de dépasser les observations et les tentatives de représentation en définissant les phénomènes par des expressions mathématiques grâce à une symbolique abstraite. Il s'agit de Léonard Euler, de Jean d'Alembert, de Daniel Bernoulli et de Joseph-Louis Lagrange, suivis par quelques autres qui, à partir du milieu du siècle établissent les équations d'onde encore en usage aujourd'hui. Cependant, ces physiciens qui ont depuis longtemps abandonné l'observation, ne s'intéressent plus à l'écho jusqu'en 1760, lorsque Joseph-Louis Lagrange, âgé de 23 ans, explique l'écho d'une façon physico-mathématique dans un de ses premiers textes[55].

---

[54] Isaac Newton, *Philosophiae naturalis principia mathematica,* Londres, 1687, livre II, section 8, 41 à 51.

[55] Joseph-Louis Lagrange, *Œuvres complètes*, T. 1, *Recherches sur la nature et la propagation du son*, chap. 2, *De la réflexion du son ou des échos*, p. 132-139.