

LA THEORIE ET LA PRATIQUE DE LA MUSIQUE

L'ETUDE DU SON PAR MERSENNE

Christiane LIZE  
Lycée Sud LE MANS

Dans la pensée grecque antique, la théorie de la musique relève autant de la science que de l'art. Les pythagoriciens, persuadés que tous les phénomènes sont régis par les nombres, donnent une théorie mathématique de la gamme. Aristoxène aménage la gamme pythagoricienne car elle se prête mal à la pratique de l'art et à la fabrication des instruments de musique. Dans les Harmoniques, Ptolémée rassemble les connaissances antérieures et restitue les deux courants : mathématique et artistique. La théorie de la nature du son s'inscrit dans un cadre plus général : celui de la philosophie de Démocrite ou celui de la physique d'Aristote. La théorie de la nature du son et la théorie de la musique sont deux sujets totalement séparés.

En 1623, Mersenne(1) écrit "je demanderai non seulement aux musiciens individuellement, mais aussi à tous les mathématiciens et aux philosophes de voir, si par hasard, la connaissance de la voix et des sons peut être ramenée à une sorte de science semblable à l'optique, pour que nous établissions dans notre siècle une découverte qui avait échappé aux anciens"(2). Le projet de Mersenne est donc de faire, de l'étude du son, une science ; il y travaille

---

(1) MERSENNE (1588-1648) fait ses études au collège des jésuites de La Flèche, il entre en 1611 dans l'ordre des Minimes. Il est connu, avant tout, comme l'ami et correspondant de DESCARTES.

(2) MERSENNE, Quaestiones in Genesim, extrait traduit par Hélène LAPORTE, cité par LENOBLE, Mersenne ou la naissance du mécanisme.

durant dix années et publie en 1636 le résultat de ses travaux dans son ouvrage : L'Harmonie Universelle, contenant, dit le sous titre "la théorie et la pratique de la musique, où il est traité de la nature des sons et des mouvements, des consonances, des dissonances, des genres, des modes de la composition, de la voix, des chants et de toutes sortes d'instruments harmoniques". Mersenne subordonne la théorie et la pratique de la musique à l'étude de la nature du son.

Nous allons voir comment Mersenne définit le son -objet de l'acoustique- et quelle démarche il va suivre pour étudier l'écho et les propriétés des cordes vibrantes. Nous essayerons de montrer les traits dominants de sa pensée, les caractéristiques de sa méthode et d'analyser la contribution de Mersenne dans la naissance et le développement de la "philosophie nouvelle" au début du 17<sup>e</sup> siècle.

## I. Des conceptions sur la nature du son à la définition mécaniste du son

Au début de son ouvrage, Mersenne indique qu'il faut définir l'objet de l'acoustique : le son.

"C'est une chose ordinaire de demander au commencement des traités que l'on fait des sciences, si elles ont quelque véritable objet, et quel est-il ? car c'est parler inutilement, que de ne pas savoir de quoi l'on parle ; il est donc à propos avant que de passer outre de savoir si le son, qui est le sujet, ou l'objet de la musique et de l'ouïe, a un être réel et quel est-il"(1).

Comme pour la lumière(2), différentes conceptions ont cours au sujet de la nature du son ; Mersenne les analyse et les critique. Il réfute les idées du philosophe mécaniste et phénoméniste Hobbes : "car il s'en trouve plusieurs qui croient que le son n'est rien, s'il n'est entendu et que c'est une simple impression de l'air qui ne doit point être appelé son, s'il n'y a quelque oreille qui l'entende et qui la distingue d'avec les autres choses ; certainement si cela est, il faut que l'ouïe lui donne la nature du son, comme l'imagination et l'entendement donnent l'être aux pensées imaginaires et aux fantômes, que l'on appelle êtres de raison"(3). Mersenne critique la réduction de tous les phénomènes à leurs manifestations, à leurs apparences sensibles. Mersenne reproche à cette position de traiter sur le même mode les êtres imaginaires (fantômes ou êtres de raison) qui tiennent toute leur "réalité de celui qui les forme et le son qui ne serait tel que par la présence du sens (oreille). "Quant à mon particulier, j'estime que le son n'est pas moins réel devant qu'il soit entendu, que la lumière, ou les couleurs, et les objets des autres sens extérieurs avant qu'ils soient aperçus et que les sons ne laisseraient pas d'être ce qu'ils sont, encore qu'il n'y eut nulle oreille. Ce que je dirais toujours, bien que j'eusse avoué que le son ne fut pas différent d'avec le mouvement de l'air"(4). On voit, dans ce passage, Mersenne affirmer la réalité du son avant et indépendamment de sa réception par les sens, le son rend possible l'audition et non l'inverse, à la différence des êtres imaginaires

(1) Harmonie Universelle, De la nature et des propriétés du son, p. 1.

(2) Gilles ITARD, article sur la réfraction de la lumière dans le présent document.

(3) Harmonie Universelle, De la nature et des propriétés du son, p. 1.

(4) Ibid. p. 1.

(ou de raison) qui sont produits par l'imagination (ou l'entendement) et c'est cette indépendance du son à l'égard de l'audition qui permet d'affirmer que sa réalité est celle du mouvement de l'air.

Mersenne rejette également les explications mécanistes et atomistiques du son "Ceux qui s'imaginent avec Démocrite et Epicure que tout l'univers est composé d'atomes, croient que les sons différents d'une même corde, ou d'un même tuyau, se font par leurs mouvements divers : par exemple que trois atomes se meuvent, ou se choquent lorsqu'on entend le son aigu de la douzième, tandis qu'il n'y en a qu'un qui se meut pour faire le son grave, ou qu'il y en a quelques uns qui se meuvent trois fois plus vite que les autres. Mais il faudrait expliquer comment un même souffle contraint les uns à se mouvoir trois fois, et pourquoi cela n'arrive pas à tous les tuyaux bouchés et ouverts et mille autres choses que je trouve difficile dans les spéculations des atomes, aussi bien que dans les autres manières de philosopher(1). Cette conception est reprise par Gassendi : "Un son n'est rien d'autre que l'écoulement de particules (atomes) très ténues depuis celui qui parle, qui fait entendre des sons ou qui émet un bruit de n'importe quelle manière, émission telle que parvenue (pénétrant) dans l'oreille, elle affecte l'ouïe"(2). Mersenne reproche à l'atomisme de vouloir expliquer tous les phénomènes par une seule référence : les atomes, d'où la difficulté à expliquer la diversité des réalités et Mersenne critique le caractère occulte des explications atomistes qui ne font que reculer la difficulté sans la résoudre : comment expliquer les différences de vitesse des atomes produites par un même souffle ?

Dans le traité des consonances(3), Mersenne s'en prend vigoureusement à la doctrine des qualités et à tout ce qui peut y ressembler : "Les hommes ont introduit la sympathie et l'antipathie, et les qualités occultes dans les arts et dans les sciences pour en couvrir les défauts et pour exercer leur ignorance, ou plutôt pour confesser ingénument qu'ils ne savent rien ; car c'est une même chose de répondre que les cordes qui sont à l'unisson se font trembler à raison de la sympathie qu'elles ont ensemble que de répondre que l'on n'en sait pas la cause. Il faut dire la même chose de la sympathie

(1) Harmonie Universelle, p. 307.

(2) GASSENDI, Philosophiae Epicuri Syntagma, traduction H. LAPORTE.

(3) Harmonie Universelle, Traité des consonances, proposition VI, p. 26.

que l'on met entre l'aimant et le fer, la paille et l'ambre, le naphte et le feu, l'or et le mercure et de celles que l'on met entre plusieurs autres choses car lorsque l'on connaît les raisons de ces effets la sympathie s'évanouit avec l'ignorance, comme je démontre dans le tremblement des cordes qui sont à l'unisson". Pour Mersenne, la connaissance ne peut donc reposer sur un examen des qualités. Il prend ses distances à l'égard de l'autorité des anciens" or je demande une chose aux musiciens et à tous les savants qu'ils ne peuvent honnêtement refuser, à savoir qu'ils ne croient à nulle histoire de celles que les anciens rapportent des effets de la musique ou de la manière dont elle a été inventée (...) qu'ils n'aient premièrement fait l'expérience ou qu'ils n'y soient forcés par la démonstration car c'est chose étrange que nous embrassons si facilement les opinions erronées de nos ancêtres, encore qu'ils n'aient eu nulle puissance, ni même le plus souvent la volonté de nous obliger à suivre ce qu'ils ont dit et ce qu'ils ont écrit. Je désire donc qu'on se tire de la captivité qui a coutume de lier les hommes et qu'on ne s'ajutisse plus à la tyrannie des opinions..."(1).

Mersenne combat les idées de Fludd(2) dans les Observations(3) et participe à la discussion sur la doctrine de l'harmonie des sphères dans laquelle les astres sont disposés par rapport à notre globe selon des distances qui sont en mêmes proportions que la longueur des cordes de la gamme, il rejette de cette théorie les interprétations animistes justifiant l'origine de la force mystérieuse de la nature ; alors qu'il fait des expériences sur l'écho, Mersenne ne manque pas d'indiquer "seuls les naïfs croient pouvoir entendre les voix magiques de la nature"(4) et défend l'absence d'intentions dans la nature. Quant à savoir si les distances des astres à la terre se font dans les mêmes proportions que celles de la gamme, comme le croit Képler, Mersenne pense qu'il ne faut pas se laisser abuser par les analogies : "je n'estime pas que les consonances viennent des figures, c'est pourquoi je ne m'arrête pas à ces rapports symboliques, à ces analogies"(5).

(1) Traité de l'Harmonie Universelle, préface du livre second.

(2) FLUDD (1574-1637), médecin anglais, partisan des rose croix.

(3) MERSENNE, Observations, 1623.

(4) Harmonie Universelle, Livre III, proposition XXI, p. 213.

(5) ibid, p. 188.

Mersenne ne recherche pas des explications sur la nature du son, il le définit "le son et le mouvement ne sont point différents" ; il répond ainsi à l'objectif qu'il s'était fixé dès 1623, le son devient l'objet d'une étude scientifique dans le cadre de la pensée mécaniste dont les principaux représentants sont Galilée et Descartes. Mersenne entre en relation avec Galilée vers 1625, il adhère aux principes de sa physique. Dans une lettre du 1er Février 1629, Mersenne propose à Galilée de faire paraître un traité en français, s'il craint de ne pouvoir être publié en Italie(1) ; en 1634, Mersenne publie les Mécaniques de Galilée, il ne fait pas un simple travail de traducteur, il ajoute au texte dix observations personnelles. Dans la préface de cet ouvrage(2), Mersenne rend hommage à Galilée "Je serai content si je suis cause que le sieur Galilée nous donne toutes les spéculations des mouvements, et de tout ce qui appartient aux mécaniques, car ce qui viendra de sa part sera excellent : c'est pourquoi je prie ceux qui ont la correspondance de Florence, de l'exhorter par lettres à donner au public toutes ses remarques". En 1639, Mersenne publie Les nouvelles pensées de Galilée.

Mersenne entretient une correspondance avec les savants les plus illustres de son temps(3), en particulier avec Descartes. Alors que Descartes opte pour une physique des principes et en fait une science démonstrative, Mersenne pense que les principes de la physique sont incertains et qu'elle n'est pas une science démonstrative, qu'en vain on travaille à saisir les principes des phénomènes "car il semble que la capacité des hommes est bornée par l'écorce et par la surface des choses corporelles et qu'ils ne peuvent pénétrer plus avant que la quantité avec une entière satisfaction, c'est pourquoi les anciens n'ont pu donner aucune démonstration de ce qui appartient aux qualités(4)". Mersenne pense que nous n'avons de prise que sur la quantité, que la description mathématique des lois n'atteint que "l'écorce" des phénomènes.

Mersenne est méfiant à l'égard des principes et des systèmes. Il demande que l'on soumette la connaissance à l'épreuve de l'expé-

(1) Lettre de Mersenne à Galilée, Correspondance, tome II, p. 173-180.

(2) MERSENNE, Les Mécaniques de Galilée, 1634.

(3) Correspondance du PM. Mersenne.

(4) Questions Théologiques, p.11.

rience et de la raison(1). En 1625, dans la Vérité des Sciences, Mersenne écrit : "Je ne trouve pas mauvais, que l'on se rende difficile avant que d'embrasser, ou de juger quelque vérité, et demeure d'accord qu'il faut consulter l'expérience, afin de la conjointre avec la raison de peur que nous soyons déçus par des imaginations de notre esprit, quand l'expérience nous manque. Mais quand l'un est conjoint avec l'autre, il ne faut pas craindre de donner son consentement en faveur de la vérité, il ne faut plus dire ἐπέχω, il faut recevoir la vérité dans notre entendement, comme l'ornement et le plus grand trésor, autrement il sera en des ténèbres perpétuelles et n'aura aucune consolation"(2).

- 
- (1) MERSENNE, Harmonie Universelle, préface du livre second, déjà cité.  
(2) MERSENNE, La Vérité des sciences, p. 210.
-

## II. L'étude de l'écho et le calcul de la vitesse du son

Dans ses premiers ouvrages publiés en 1623, Quaestiones in Genesim et L'impïété des déistes, Mersenne s'intéresse à l'optique. Il fait des expériences avec Mydorge(1) sur les miroirs paraboliques. Il reviendra sur l'optique dans son ouvrage publié à titre posthume, L'optique et la Catoptrique, dans lequel il donne, en particulier, un inventaire des théories de la lumière : celles de JP Porta, de Gassendi et de Descartes. Son inclination va à celle de Descartes.

Mersenne reprend l'analogie que l'on soupçonne depuis longtemps, entre la lumière et le son. Pour fonder son analogie, il fait une description et une analyse des ressemblances et des différences entre la lumière et le son.

La première différence est que le son ne dépend pas tant des corps par lesquels il est produit comme la lumière du corps lumineux : "Et bien que le bucheron se repose, l'on entend néanmoins le coup dont il a frappé l'arbre ou le bois, parce que l'air qui a été ébranlé ne cesse pas de si tôt que le coup (...). Quand aux corps lumineux, leur lumière s'évanouit et se perd si tôt qu'ils sont soustraits ou éteints (...). Le son ne dépend pas des corps dont il a été fait parce qu'il ne leur sert pas de propriété, car son propre sujet, à savoir l'air, est d'une différente nature et se meut longtemps après le repos par lesquels il a été mu et battu"(2). La seconde différence notée par Mersenne est que le son ne se communique pas en un instant comme la lumière "l'on expérimente que toutes les actions naturelles ne se font pas dans un moment, ni dans un temps imperceptible et qu'il y en a qui ont besoin de temps ; la lumière s'étend dans toute la sphère de son activité dans un instant, ou si elle a besoin de quelque temps, il est si court que nous ne pouvons le remarquer ; mais 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 l'on expérimente en plusieurs manières"(3). Dans cet extrait, Mersenne marque une hésitation ; sous l'influence de Descartes, il adopte l'idée que

(1) MYDORGE (1585-1647) a fait tailler d'excellents verres pour Descartes.

(2) Harmonie Universelle, Livre 1er, p. 16-17.

(3) Ibid, p. 14.

la lumière se propage "in instanti". Dans les Questions théologiques, en 1634, Mersenne écrit "si l'on connaissait la vitesse de la lumière, et le mouvement qu'elle fait dans l'air et dans l'oeil et le mouvement, ou l'impression que les autres objets impriment sur nous, l'on pourrait déterminer, et expliquer leurs raisons, et leurs analogies par les moyens des sons"(1). Beeckmann pense que la vitesse de la lumière est finie, il communique ses idées à Descartes et Mersenne(2).

En revanche, Mersenne note que la lumière et le son se propagent de la même manière "puisque tous les agents naturels produisent leurs effets en forme de cercle ou de sphère, et que la lumière nous peut servir de modèle pour parler des autres qualités naturelles, il faut conclure que le son s'étend également de tous les côtés"(3).

Mersenne connaît les travaux sur la lumière de Képler et de Descartes, il utilise leurs résultats pour quantifier les phénomènes acoustiques. En premier lieu, Mersenne recherche en quelle proportion se fait la diminution du son depuis le lieu où il est émis. "Le son diminue quand les espaces augmentent. Or la surface de ces espaces est en raison doublée de la distance du son d'avec les corps par lesquels il a été premièrement produit, et conséquemment le son diminue en proportion géométrique comme je démontre par cette figure, qui représente une partie de la sphère d'activité qu'il faut donner au son, dans laquelle A représente le lieu où commence le son. AH qui est double de AD montre que le son étant venu jusqu'à EG est plus large et conséquemment plus faible que lorsqu'il est au point BC puisque le triangle AEG est quatre fois grand qu'ABC d'autant que toutes les figures semblables sont en raison doublée de leurs côtés homologues. C'est pourquoi l'on peut dire qu'il est quatre fois plus faible en EG qu'en BC d'autant que le cône AEG est huit fois plus grand que le cône ABC, puisque les cônes semblables sont en raison triplée de leurs bases"(4) (Fig. 1). Le son est représenté comme une grandeur, les arguments utilisés dans cette proposition sont géométriques et sont en conformité avec la façon dont Mersenne conçoit la propagation du son mais quels sont les arguments méthodologiques ? "Or il est très mal aisé de faire les expériences qui

(1) Questions Théologiques, p. 105-106.

(2) Correspondance du PM. Mersenne, tome I, p. 307-308, Tome II p. 119.

(3) Harmonie Universelle, Livre I, p. 20.

(4) Harmonie Universelle, Livre I, prop. XII, p. 20-21.

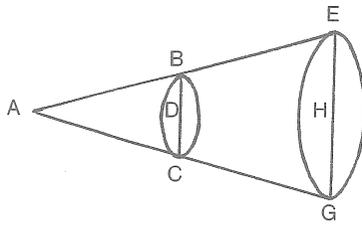


Fig. 1

sont nécessaires pour savoir cette diminution, à raison des différentes dispositions et changements de l'air qui empêche la certitude. C'est pourquoi il faut ici plutôt suivre la raison que l'expérience, comme l'on fait en parlant de la lumière. Et parce que l'on démontre dans l'optique que la lumière se diminue en proportion géométrique, et qu'il n'y a nulle raison qui empêche que cette manière de diminution ne convienne aux sons puisqu'ils s'étendent et se diminuent aussi naturellement que la dite lumière, et qu'ils agissent sur l'ouïe comme elle agit sur l'oeil, il est raisonnable de conclure qu'ils diminuent en proportion géométrique, c'est à dire proportionnellement en espaces égaux"(1). Ici, Mersenne, faute de pouvoir procéder à des expériences, en raison du manque d'instrument, fait appel à la raison. On le voit donc ici mettre en oeuvre les principes de la "philosophie nouvelle" : il ne se préoccupe pas d'atteindre la nature du son ou d'agir sur cette nature, l'essentiel est de quantifier les effets et d'en rechercher les lois mathématiques.



MERSENNE

(1) Ibid.

Les phénomènes de réflexion sont connus depuis l'Antiquité. Mersenne est le premier à faire un traité de l'écho "Ce que nous appellerons écho est le son rendu et renvoyé par l'instrument qui multiplie le son et le réfléchit comme les miroirs réfléchissent la lumière(1)". Descartes ne trouve pas cette comparaison évidente(2). Dans une lettre à Mersenne de Juin 1632, il écrit "Pour vos questions, premièrement, je ne crois pas que le son se réfléchisse en un point comme la lumière d'autant qu'il ne se communique point comme elle par des rayons qui soient tous droits mais il s'étend toujours en rond de tous les côtés. Par exemple, si le corps A rend de la lumière, le rayon de cette lumière qui passe par le trou B, ne pourra être vu qu'en la ligne droite BC ; mais si le même corps rend quelque son, ce son passant par le trou B ne sera guère moins bien entendu vers D et vers E que vers C"(3) (Fig. 2). Bien que les propos de

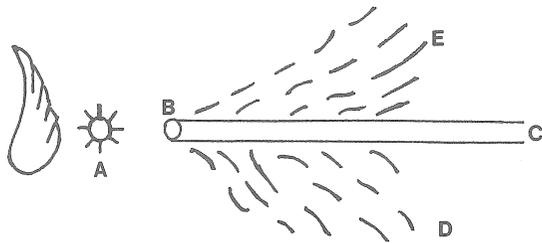


Fig. 2

Descartes soient peu encourageants, Mersenne persiste à faire le parallèle entre la réflexion des sons et celle de la lumière ; l'objectif atteint en vaut la peine, Mersenne sera le premier à donner une estimation de la vitesse du son.

(1) Harmonie Universelle, p. 3.

(2) En 1618, DESCARTES compose le Compendium Musicae, cet ouvrage propose une étude qualitative des sons.

(3) Lettre de Descartes à Mersenne, Correspondance tome III, P. 315.

Que les sons se réfléchissent est une évidence pour Mersenne ; Observons les faits : "Quant à la réflexion du son, l'on aperçoit dans l'écho des cloches, des voix et des autres sons qui répondent deux, trois ou quatre fois et qui enseignent que les sons se réfléchissent comme la lumière, lorsqu'ils rencontrent des corps fermes et durs, soit diaphanes ou opaques qui leur résistent (...). Mais il est difficile d'expliquer la vraie raison de ces réflexions et pourquoi les sons ou la lumière ne finissent pas leur action sur la surface des dits corps qui les empêchent de passer outre. Si ce n'est que l'on dise que ces qualités produites par un mouvement, semblable à celui de la projection des missiles, ne peuvent s'arrêter jusques à ce que la vertu de projection et d'émission soit finie, qui meut perpétuellement la lumière et les sons tandis qu'elle demeure en sa vigueur, et qui les fait rejaillir et réfléchir à l'opposé des corps dont elle est empêchée, afin qu'elle recouvre d'un côté ce qu'elle perd de l'autre, et qu'elle conserve l'équilibre de la nature, qui ne veut ni ne peut rien perdre, et qui se récompense toujours elle-même"(1). Ce passage est remarquable car Mersenne montre qu'étudier les propriétés du son, la réflexion par exemple, c'est étudier celles des mouvements. La comparaison du mouvement de l'air -le son- avec les mouvements des projectiles est saisissante. Mersenne installe donc l'étude du son dans le champ de la pensée mécaniste. La réflexion des sons se fait à la manière des corps lancés sur un obstacle et s'explique par le principe d'inertie.

Mersenne explique ensuite comment le son se réfléchit, comment se fait l'écho. "Ce 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 ligne droite, ce qui n'arrive, ce semble, pas à la lumière, il n'est pas possible de régler les échos aussi infailliblement que les réflexions de la lumière, quoi qu'il nous en faille servir pour expliquer celle des sons. Car l'on doit toujours prendre ce qui est plus constant et mieux réglé pour y rapporter ce qui est plus variable, afin que la règle et la mesure soit certaine, puisque l'on ne peut raisonner comme il faut,

(1) Harmonie Universelle, De la nature et des propriétés du son, p. 18-19.

si l'on n'a quelque principe assuré, et quelque point ferme et inébranlable, sur lequel le discours soit appuyé, comme la balance sur son centre, afin d'examiner par la droite raison tout ce qui tombe sous le discours"(1). Mersenne admet le principe de la réflexion des sons fondé sur l'égalité des angles d'incidence et de réflexion. Mersenne fait la transposition : "Si le son se fait au point A et qu'il tombe sur la muraille, ou sur le plan DE au point C, il se réfléchira au point B, parce que l'angle de réflexion ECB doit être égal à l'angle d'incidence DCA, et conséquemment l'écho se fera au point B, et dans toute la ligne BC"(2). "Mais il est difficile de trouver le lieu où l'écho fait paraître la voix réfléchie, et si l'oreille l'entend au même lieu que l'oeil voit l'image de son objet : par exemple, si le son qui se fait en A, et qui va frapper C, est entendu par l'oreille qui est en B, comme s'il était au point I, où l'image paraît à l'oeil, comme l'on démontre dans la catoptrique.

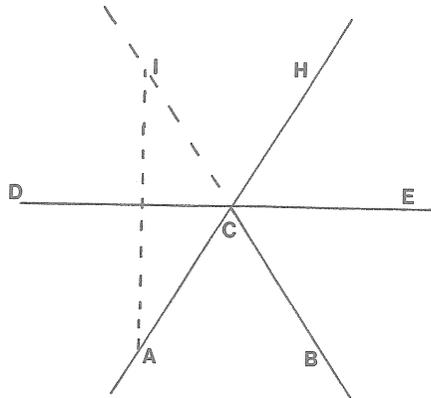


Fig. 3

Je ne vois nulle raison qui doive nous empêcher de discourir du lieu de l'image des sons, comme de celui des couleurs : c'est pourquoi, je conclus que la voix, que nous appellons l'écho, semble venir de deux fois aussi loin, comme est le lieu où se fait la réflexion: par exemple si la voix est éloignée de cinquante pieds du corps réfléchissant qu'elle frappe perpendiculairement, elle paraîtra éloignée de cent pieds par delà le corps qui réfléchit la voix.

(1) Harmonie Universelle, Livre premier, proposition XXVI, p. 48.

(2) Ibid, p. 49.

Et si la voix frappe obliquement le corps réfléchissant, l'écho paraîtra à l'opposé de la ligne d'incidence, comme l'on voit dans la figure précédente : de là vient que ceux qui entendent l'écho, s'imaginent que le son est du côté où il n'est pas"(1).

L'analogie entre les phénomènes : lumière et son et l'adaptation du principe de réflexion permettent à Mersenne d'expliquer le fonctionnement de l'écho. Mersenne pose deux problèmes dont la solution dit-il "dépend de l'expérience" ; à savoir si le son qui commence au point A va plus vite par la ligne d'incidence AC, qu'il ne revient par la ligne de réflexion CB, et de combien il va plus ou moins vite que l'autre ; il se demande également de combien il faut s'éloigner du corps pour entendre l'écho. Il est intéressant de noter le rôle que Mersenne assigne à l'expérimentation, elle n'est pas à l'origine de la théorie, mais elle intervient lors de la résolution d'un problème nécessitant de mesurer. Il conduit ses expériences à l'écho de Charanton : "j'ai expérimenté que l'écho répond une syllabe à deux pas géométriques. Quant aux échos qui répondent 2, 3 ou 4 syllabes, il faut qu'ils soient 2, 3 ou 4 fois plus éloignés et conséquemment que celui qui répond le vers entier : Arma Virunque cano Troie qui primus ab oris, qui a quinze syllabes soit éloigné de trois cent trente pas géométriques, si l'on donne vingt deux pas à chaque syllabe"(2).

Dans ces mêmes expériences, Mersenne cherche à calculer la vitesse du son. "L'on peut conclure quelle est la vitesse du son par les expériences que l'on fait des échos, car l'on prononce aisément deux syllabes l'une après l'autre, desquelles on entend l'écho tandis que le pouls bat une fois, c'est-à-dire dans le temps d'une seconde minute. Or la voix fait nonante et six pas géométriques dans cet espace de temps, d'autant qu'elle va et revient deux fois par la ligne vocale d'une syllabe, qui est de vingt quatre pas géométriques ou environ et conséquemment l'on peut dire que le son fait cent pas géométriques dans une seconde minute, et deux lieues dans une minute d'heure etc, et qu'il ferait le tour de la terre dans soixante heures, qui valent deux jours et demi"(3). Mersenne fait ces expériences de nombreuses fois, en utilisant l'horloge à seconde(4).

(1) Harmonie Universelle, Livre premier, proposition XXVII, p. 57.

(2) Ibid, p. 57.

(3) Ibid, p. 58.

(4) Harmonie Universelle, Du mouvement et du son des cordes, proposition XXI, p. 213.

Que le son ait une vitesse, la chose était connue depuis Aristote. Mais Mersenne est le premier à présenter un traité scientifique de l'écho dans lequel s'insère le calcul de la vitesse du son. Il évalue cette vitesse à 230 toises (soit 472 m). Dans une lettre à Rivet(1), il donne un chiffre encore plus élevé. Ces différentes valeurs données pour la vitesse du son viennent sans doute du fait qu'il n'a pas tenu compte des conditions atmosphériques dans lesquelles se faisaient les expériences, et que les instruments, dont il disposait étaient trop imparfaits pour obtenir des mesures exactes. Gassendi fait, lui aussi, des expériences à ce sujet et propose des valeurs très voisines. A propos du problème de la vitesse des sons directs et de celle des sons réfléchis, Mersenne indique que celle des sons réfléchis serait moindre(2). Mais, en 1647, il met cette idée en doute : "les sons réfléchis ne paraissent pas plus lents que les sons directs"(3).

L'expérimentation permet également à Mersenne de corriger certaines erreurs. Aristote pensait que les sons aigus vont plus vite que les graves, Mersenne rectifie "la vitesse des sons réfléchis, laquelle j'ai toujours trouvé égale, soit que l'on use du bruit des trompettes et des arquebuses, ou de celui des pierres, et de la voix grave ou aigüe ce qu'il faut soigneusement remarquer, afin de quitter les différentes opinions, ou plutôt les erreurs, touchant la plus grande vitesse des sons forts et aigus, que des faibles et des graves, et des autres circonstances, que j'explique ici suivant la grande multitude d'épreuves que j'en ai faites en présence de plusieurs, et que tous peuvent faire pour se désabuser eux-mêmes"(4).

Mersenne ouvre la voie à d'autres recherches sur le son. Durham, en 1705, découvre le premier l'influence du vent sur la vitesse du son. L'Académie des sciences nomme une commission composée de Cassini, Maraldi et La Caille. Celle-ci, dans son rapport publié en 1738 indique qu'à la température de zéro degré, le son se propage à la vitesse de 1038 pieds à la seconde, soit 332 mètres par seconde.

Mersenne attache beaucoup d'importance aux applications pratiques de la science. Il propose d'utiliser l'écho à la mesure "de la largeur des fossés ou autres lieux"(5). Il réalise également des anticipations:

- (1) Correspondance, lettre de Mersenne à Rivet du 15 février 1647, il donne alors le chiffre de 300 toises.
- (2) Harmonie Universelle, Nouvelles observations à la fin de l'ouvrage.
- (3) MERSENNE, Novarum observatorum, p. 164, tome III.
- (4) Harmonie Universelle, Du mouvement du son et des cordes, proposition XXI, p. 214.
- (5) Harmonie Universelle, Ibid, proposition XXI, p. 215.

"si l'on établissait des postes de sons depuis Rome jusqu'à Paris, l'on pourrait avoir d'heure en heure des nouvelles de tout ce qui s'y passe, car le son n'emploie que 55 minutes à faire 300 lieues..."

(1). Il s'adresse aux ingénieurs et aux architectes "qui voudront faire paraître leur industrie et la subtilité de leur art, par les différents échos qui peuvent se faire dans les salles, cours, jardins, parterres, églises et autres lieux" et "en quels lieux il faut placer les concerts pour en recevoir le plus grand contentement que l'on puisse s'imaginer". Dans le livre de la voix(2), Mersenne recherche les surfaces qui réfléchissent le son et propose que "l'on construise les voûtes des salles en forme d'ovale de sorte que les sons qui vont frapper la voûte elliptique, quand celui qui parle en un certain lieu donné (l'un des foyers) se réfléchissent tous à l'autre extrémité (l'autre foyer)"(3). Mersenne utilise également les figures paraboliques pour créer des échos artificiels. Il présente plusieurs montages composés de deux paraboles ayant le même foyer. Dans cet exemple (Fig. 4), les deux paraboles AK et BC ont le même foyer O ; la surface

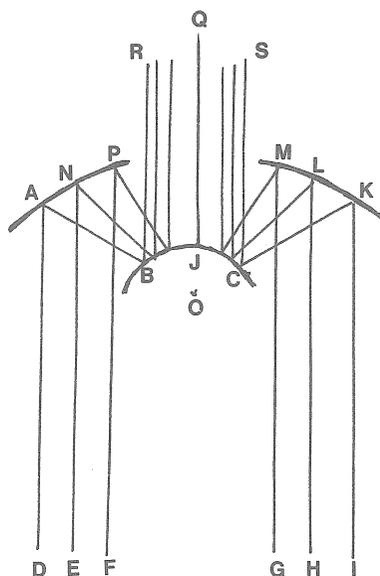


Fig. 4

(1) Harmonie Universelle, traité des instruments, proposition IX, p. 46.

(2) Harmonie Universelle, Livre de la voix, p. 35.

(3) Ibid.

convexe de la petite parabole BC est tournée vers le concave de la grande AK. Les sons qui se font aux points D, E, F, G, H, I et qui tombent comme les lignes parallèles DA, EN, FP, GM, HL et IK vont se réfléchir vers le foyer O, mais rencontrant la parabole BC qui les empêchent d'aller en O, ils vont se réfléchir parallèlement à la ligne JQ et les sons faits par exemple en D et I s'entendront en R et S et feront un excellent écho(1).

Dans la partie de son ouvrage, qui semble avoir été rédigée en dernier lieu(2), Mersenne reproduit les mêmes figures, en ce qui concerne le trajet des rayons lumineux. Mersenne soumet cette idée au jugement de Descartes. Celui-ci émet des critiques dans ses lettres du 19 juin et 16 octobre 1639(3), Descartes pense que ces télescopes à double miroirs n'ont pas de champ car l'oeil ne peut se placer dans une position favorable.

Mersenne pense également à établir une analogie entre la lumière et le son à propos de la réfraction. Il en connaît le principe par Descartes. Mersenne mentionne la loi des sinus(4), il fait également référence aux travaux de Képler. Mersenne conduit avec l'un de ses amis quelques expériences en utilisant des milieux de densités différentes, mais il fait observer que : "l'expérience que l'on fait dans l'eau pour savoir si les sons se rompent comme la lumière, ou au contraire de la lumière, ne peut donner assez d'assurance pour conclure ce qui en est, d'autant que le son qui se fait entre deux eaux paraît si faible que l'on ne peut, ce semble, en faire d'autre jugement que celui que l'on fait de la faiblesse et de la gravité (...). Je laisse mille autres considérations qui sont

nécessaires pour trouver la réfraction des sons, laquelle mérite le travail des plus excellents esprits(5). Dans ce cas, Mersenne se plie aux limites de l'expérimentation, elle ne lui permet pas de quantifier, il ne peut donc pas poursuivre l'analogie car il n'a pas les moyens de valider la loi des sinus pour la réfraction des sons, il se montre fidèle à sa méthode "conjoindre l'expérience et la raison". Les premières expériences sur la propagation du son dans l'eau et dans les solides seront réalisées dans la première moitié du 18ème siècle.

(1) Ce dispositif est décrit dans l'Harmonie Universelle, p. 62;

(2) Correspondance, tome V, p. 360 à 362.

(3) Correspondance, tome VIII, lettres de Descartes à Mersenne du 19 juin et du 16 octobre 1639, p. 457 et p. 555.

(4) Harmonie Universelle, Livre I, proposition XXIX, p. 65.

(5) Ibid.

### III. L'étude des cordes vibrantes

Dans le dernier livre de l'harmonie universelle, Mersenne recense et décrit les instruments de musique de son époque, il s'agit d'instruments à cordes (viole, luth, épinette...), d'instruments à percussion (cloches, cymbales, tambours...) et d'instruments à vents (flûtes, trompettes, hautbois...). Il pense également à la possibilité de composer "des machines harmoniques (...) qui raviront tous ceux qui ne savent pas les secrets de l'harmonie joints à ceux des mécaniques"(1). L'idée selon laquelle la finalité de la science est dans la construction de machines, d'instruments apparaît souvent dans l'oeuvre de Mersenne ; elle est accompagnée, généralement d'une dimension religieuse. Dans la préface de la Vérité des sciences, Mersenne dit "que les mathématiques nous élèvent à Dieu, surtout en faisant de nous, des ingénieurs imitant par les arts mécaniques, l'Ingénieur DIVIN". Cette étude des instruments est précédée d'un livre consacré à "l'étude du mouvement, de la tension, de la force, de la pesanteur et des autres propriétés des cordes harmoniques et des autres corps"(2). Aussi Mersenne se propose de faire une étude du mouvement des cordes. Déjà chez les Grecs on évoque les vibrations longitudinales de l'air mais leur intérêt demeure fixé sur les rapports simples permettant de comparer musicalement les vibrations des cordes. Lors de son séjour en 1629 en Hollande, Mersenne rencontre Beeckmann(3) et prend connaissance des travaux de son hôte sur les cordes vibrantes(4). Il les utilise dans la proposition intitulée : "La raison du nombre de retours de toutes sortes de cordes est inverse de leurs longueurs". La démonstration proposée par Beeckmann est très ingénieuse. Elle est la suivante :

"Je suppose que la nature de la voix humaine, des syrinx, de la lyre et de n'importe quel instrument musical, est la même que la nature des cordes, puisqu'il est établi par l'expérience que tous les sons peuvent être en accord avec les cordes. Donc tout ce que nous démontrerons réellement au sujet de la corde, nous supposons que cela sera démontré au sujet des sons de toute origine".

(1) Harmonie Universelle, Livre des instruments, préface au lecteur.

(2) Harmonie Universelle, Livre III, p. 157.

(3) Isaac Beeckmann réalise ses travaux sur les cordes vibrantes en 1616, il les communique à Descartes en 1618.

"Soit donc la corde AB coupée en son milieu, au point C, alors AB et CB résonneront en harmoniques. Soit aussi AB de telle nature qu'elle puisse être tendue jusqu'en H de telle sorte que la même corde AB soit une fois tendue plus longue en AHB. La demi-corde CB sera donc de telle nature qu'elle puisse être égale en longueur à la moitié de AHB, si elle est tendue de la même manière que AB était tendue ; la corde CB sera donc la même CLB et CLB est CB tendue.

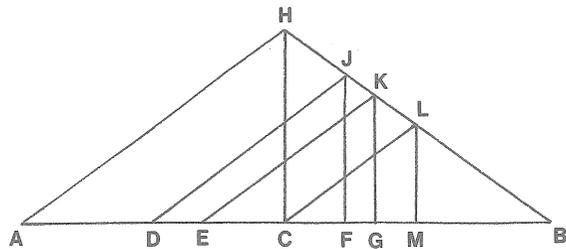


Fig. 5

Puisque CLB est moitié en longueur de AHB (en effet HB est égale par construction à AH), il s'ensuit donc que HC est double de LM : en effet comme BL par rapport à BH, de même LM par rapport à HC. Comme la nature de la corde CLB n'est ni plus ni moins affectée que celle de la corde AHB, par un effort égal, chacune des deux tendent vers le lieu de repos AB et CB ; et quand elles se sont avancées au-delà, elles reviennent également rapidement. Mais puisque HC est double de LM, le point L aura franchi son lieu de repos M deux fois, pendant que le point H franchit seulement une fois son lieu de repos L. Et puisque en C et M le mouvement est très rapide et intense (en effet en H et L la corde se repose), là où la corde est plus éloignée du lieu de pause (en effet L et H sont lieux moyens de pause entre chaque son), c'est là que le son est provoqué plus

intensément et c'est là qu'il devient très puissant. Donc la corde CB ou CLB émet deux fois un son pendant la durée précisément où la corde AB ou AHB émet, une seule fois seulement, un son. Que l'on divise maintenant la corde AB en E de telle sorte que le rapport  $\frac{AB}{EB}$  égale  $\frac{3}{2}$ . Le rapport  $\frac{AHB}{EKB}$  sera aussi égal à  $\frac{3}{2}$  ; ainsi aussi sera

HC. Donc la corde EKB émettra trois sons, pendant que AHB en émet deux

et est de la nature d'un accord dit par "quinte". Que l'on divise de nouveau la corde AB en D, de telle sorte que  $\frac{AB}{DB}$  soit  $\frac{4}{3}$ . DIB

donne par la même démarche quatre sons, pendant que AHB en émet trois. Or quand AB résonne deux fois, pendant que EB résonne trois fois donc pendant que AB résonne six fois, EB résonne neuf fois. De nouveau AB résonne trois fois, pendant que DB résonne quatre fois, donc pendant que AB résonne six fois, DB résonne huit fois. Donc pendant que DB résonne huit fois EB résonne neuf fois, de telle sorte que  $\frac{DB}{EB}$  soit  $\frac{8}{9}$  : donc DB résonne au ton pur de EB. Ainsi

l'accord dit "tierce majeure" se produit, quand une corde est mise en mouvement quatre fois, pendant qu'une autre est mise en mouvement cinq fois et est divisée selon le rapport  $\frac{5}{4}$  ; "sexe majeure" selon  $\frac{5}{3}$ , "tierce mineure selon le rapport  $\frac{6}{5}$  ; "sexe mineure" selon le rapport  $\frac{8}{5}$ , de telle sorte que la quarte avec la quinte, la tierce majeure avec la sexte mineure, la tierce mineure avec la sexte majeure forment un octave complet"(1).

Mersenne poursuit l'étude des cordes vibrantes et cherche à déterminer comment le nombre de vibrations d'une corde varie en fonction du poids des tenseurs. Il expérimente : "qu'il ne suffit pas de bander une corde deux fois plus fort pour qu'elle vibre deux fois plus vite, mais qu'il faut la bander quatre fois"(2). Il considère alors une corde "donnant un son pris comme étalon et si l'on connaît sa tension on pourra savoir de quel poids on doit user pour qu'elle donne telle note demandée. Ainsi, si nous prenons une corde qui tendue par un poids de 4 livres donne l'ut, il faudra 16 livres pour qu'elle monte à l'octave".

(1) Correspondance de Mersenne, tome I, p. 234-235, traduction H. LAPORTE.

(2) Harmonie Universelle, Traité de la nature des sons et des mouvements, Livre III, proposition XIII, p. 184.

Mersenne réalise des expériences et construit des tables de correspondance : "la table qui suit contient les poids qui font monter la corde à l'octave par tous les intervalles harmoniques de l'octave, selon l'expérience que j'en ai fait en présence de plusieurs ; le poids de six livres en est le fondement, d'autant que je m'en suis servi, ce qui n'empêche pas que l'on prenne tel autre poids que l'on voudra pour marquer l'unisson de la corde, ou le premier son auquel les autres sont comparés. Le premier nombre de la première colonne, à savoir six, montre le poids par lequel les cordes sont mises à l'unisson ; celui qui suit, à savoir vingt quatre, signifie que le poids qui fait l'octave en haut est quadruple de six ; les autres nombres montrent les poids qui font chaque intervalle harmonique ; et les nombres de la troisième colonne signifient les raisons de chaque intervalle, dont le nom se voit dans la seconde colonne"(1) (Fig. 6). Par exemple, si n est le nombre de vibrations et 6 le poids du tenseur à l'unisson, alors  $\frac{4}{3} n$  représente le nombre de vibrations et  $10\frac{2}{3}$  le poids du tenseur pour la quarte, on a :

$$\frac{n}{6} = \frac{\frac{4}{3} n}{32/3}$$

I	II	III
6	Unisson.	1. 1.
24	Octave.	2. 1.
13 $\frac{1}{2}$	Quinte.	3. 2.
10 $\frac{2}{3}$	Quarte.	4. 3.
9 $\frac{3}{8}$	Tierce majeure.	5. 4.
8 $\frac{4}{15}$	Tierce mineure.	6. 5.
7 $\frac{5}{12}$	Ton majeur.	9. 8.
7 $\frac{31}{81}$	Ton mineur.	10. 9.
6 $\frac{131}{325}$	Semiton majeur.	16. 15.
6 $\frac{274}{578}$	Semiton mineur.	25. 24.
6 $\frac{6114}{15625}$	Dieze.	128. 125.
6 $\frac{986}{6400}$	Comma.	81. 80.

(1) Ibid, p. 185.

Mersenne obtient ainsi la deuxième loi des cordes vibrantes : le nombre de vibrations de deux cordes de même longueur et de même épaisseur est proportionnel à la racine carrée du poids des tenseurs. Ce résultat est obtenu expérimentalement, il est fort probable que la construction de cette table ait nécessité de nombreuses expériences, et une grande minutie dans la conduite de celles-ci. A la fin de son étude, Mersenne fait remarquer que par suite de l'allongement de la corde, cette loi n'est pas absolument juste. Il tient compte de tous les paramètres dans ses expériences, et il estime que la loi obtenue ne s'applique pas sans corrections à tous les ordres de grandeur : les lois sont des lois avec limites.

Mersenne recherche également la relation entre le nombre de vibrations et le poids (grosueur) de la corde : "par exemple, si l'une des cordes pèse trois grains et l'autre deux, il faudra trois livres pour faire que celle qui pèse trois grains soit à l'unisson de celle qui pèse deux grains quand elle est tendue par deux livres" (1). Le poids du tenseur est donc proportionnel à la grosueur de la corde. Aussi, en utilisant la deuxième loi et ce dernier résultat, il prouve que le nombre de vibrations pour deux cordes de même longueur et de même tension est comme la racine carrée de leur poids. Il faut signaler que dans ses travaux, Galilée introduit la notion de fréquence, et caractérise la hauteur des sons par la fréquence(2). Par ailleurs, Brook Taylor montre en 1715, que si  $T$  est la tension d'une corde,  $\rho$  sa densité linéaire et  $l$  sa longueur alors la fréquence est proportionnelle à  $\frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ .

Mersenne termine sa proposition par cet appel qui pourrait être celui de "cette philosophie nouvelle" : la pensée mécaniste. "Si l'on peut trouver des instruments qui multiplient la force des sons en même proportion que les lunettes de longue vue multiplient la grandeur des objets visibles, l'on entendra le son que font les cirons, et les autres petits animaux en cheminant, et mille autres sortes de petits bruits, qui se font jour et nuit dans tous les corps vivants, et dans nous mêmes, comme l'on voit les yeux et les pieds des cirons, le poil et le pied des mittes, ou des vers du fromage, et les petits serpents ou vers qui sont dans le vinaigre,

(1) Harmonie Universelle, traité de la nature des sons et des instruments L III, proposition XIV, p. 192.

(2) GALILEE, Discours concernant deux sciences nouvelles, 1638.

par le moyen des petites lunettes, qui grossiraient encore davantage les objets, si les verres avaient la figure hyperbolique nécessaire pour perfectionner la dioptrique"(1).

Mersenne remarque, qu'outre le son fondamental, il y a d'autres sons et il pose une question importante : "Déterminer pourquoi une corde touchée à vide fait plusieurs sons en même temps"(2). Aristote s'était demandé pourquoi le son grave contient de l'aigu. Mersenne considère que la corde frappée à vide donne au moins cinq sons différents, tous plus aigus que le son fondamental et suivant la raison des nombres 1, 2, 3, 4, 5. Il remarque qu'étant donnée une corde LM, si l'on prend dessus un point K telle que LK vaille 3 parties pendant que LM en ait 4, elle fera la quarte, de même, si LK vaut 2 pendant que LM en ait 3 elle fera la quinte. Si l'on donne 8 parties à LM et 3 à LK on aura l'onzième, on entendra la douzième en divisant LM en 3 et en prenant LK comme 1 et la quinzième en prenant 1 pour LK et 4 pour LM. Mersenne conclut que toutes ces consonances sont parfaites.

Mersenne pose les bases de la science des harmoniques et ouvre la voie à d'autres travaux. Sauveur, en 1700, fournit une explication mécaniste du phénomène et introduit les harmoniques supérieurs.

En se dégageant des conceptions naturalistes et atomistes du son, Mersenne donne à l'acoustique sa dimension scientifique. Il considère que les mathématiques sont l'instrument permettant d'expliquer les lois de la nature et c'est ainsi qu'il élabore les lois sur les cordes vibrantes. Sa démarche repose sur un remarquable équilibre entre la raison et l'expérimentation. Il se réfère à la raison lorsqu'il s'agit de principes : pour l'étude du son, son principe fondamental est une analogie. En revanche, lorsqu'il s'agit de quantifier, l'expérimentation est sa règle : il réalise de nombreuses expériences pour donner la première estimation de la vitesse du son.

---

(1) Ibid, p. 189.

(2) Harmonie Universelle, Traité des Instruments L VII, proposition XI, p. 208.

ANNEXE

LES OEUVRES DE MERSENNE

- 1623 - Quaestiones in Génésim, contenant des éléments de physique, d'astronomie, de musique.
- 1624 - L'Impiété des Déistes, texte publié en français.
- 1625 - La Vérité des Sciences, contre les sceptiques ou Pyrrhoniens. Dans cet ouvrage, Mersenne donne les mathématiques comme l'instrument de la science certaine, s'oppose à la doctrine des naturalistes et à celle des sceptiques.
- 1626 - Synopsis Mathematica  
Mersenne réunit les oeuvres mathématiques de quelques anciens : Théodore, Apollonius de Perga, Euclide..., il y joint des travaux de Képler ainsi que des observations personnelles de cosmographie, d'optique et de mécanique.
- 1627 - Traité de l'Harmonie Universelle : plan de l'oeuvre de 1636.
- 1634 - Publication de quatre traités :  
Questions inouyes et Questions harmoniques.  
Questions morales, théologiques et mathématiques.  
Les Mécaniques de Galilée.  
Les Préludes de l'Harmonie Universelle.
- 1636 - Harmonie Universelle contenant la théorie et la pratique de la musique.  
Mersenne inscrit l'étude du son dans le cadre de la pensée mécaniste et donne à l'acoustique sa dimension scientifique.
- 1639 - Les Nouvelles pensées de Galilée.
- 1644 - Cogitata Physico mathematica.  
Mersenne décrit des expériences de mécanique, de balistique et d'hydraulique.
- 1647 - Novarum Observationum tomus III, complément des Cogitata.
- 1651 - L'optique et la catoptrique : ouvrage publié à titre posthume.

**BIBLIOGRAPHIE**

- DAUMAS Maurice, Les instruments scientifiques aux 17<sup>e</sup> et 18<sup>e</sup> siècle, P.U.F., 1953.
- DAUMAS Maurice, Histoire de la Science, Pléiade, 1957.
- DAUMAS Maurice, Histoire générale des techniques, P.U.F., 1964.
- GILLE Bertrand, Les problèmes techniques au XVII<sup>e</sup> siècle, in Techniques et Civilisations, 1954.
- LENOBLE Robert, Mersenne ou la naissance du mécanismes, Vrin, 1943.
- LENOBLE Robert, Histoire de l'idée de nature, Albin Michel, 1969.
- MATRAS Jean-Jacques, Le Son, P.U.F., 1967.
- MERSENNE Père Marin, Harmonie Universelle, Cramoisy, 1636. Edition facsimilé de l'exemplaire conservé à la bibliothèque des Arts et Métiers, Editions du C.N.R.S., 1963.
- MICHEL Henri, Les Instruments des Sciences in l'art et l'histoire, Albert de Visscher, 1980.
- ROCHEMONTEIX Le Père C. de Un collège des Jésuites aux XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, le collège Henri IV à la Flèche, Le Mans, 1889.
- ROUSSEAU Pierre, Histoire de la science in les Grandes études historiques, Fayard, 1946. Edition revue 1965.
- TATON René, Histoire Générale des Sciences, P.U.F., 1957.
- WAARD Cornélis de Correspondance du P. Marin Mersenne (14 volumes) Edition entreprise sur l'initiative de Mme Paul Tannery en 1636, poursuivie et achevée par le C.N.R.S. en 1972.