

S3

**L'héritage helmholtzien :
l'art-science d'Edgar Varèse, les « alliages » de Iannis Xenakis**

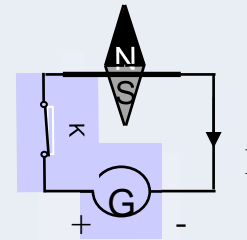
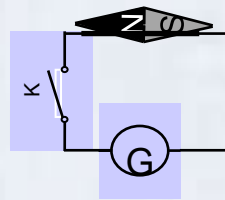
PLAN :

- I) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe
- II) Les révolutions scientifiques, fin XIXe – début XXe
- III) L'art-science d'Edgar Varèse
- IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis

l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe

Développement de l'électromagnétisme

L'expérience d'Oersted (1820)

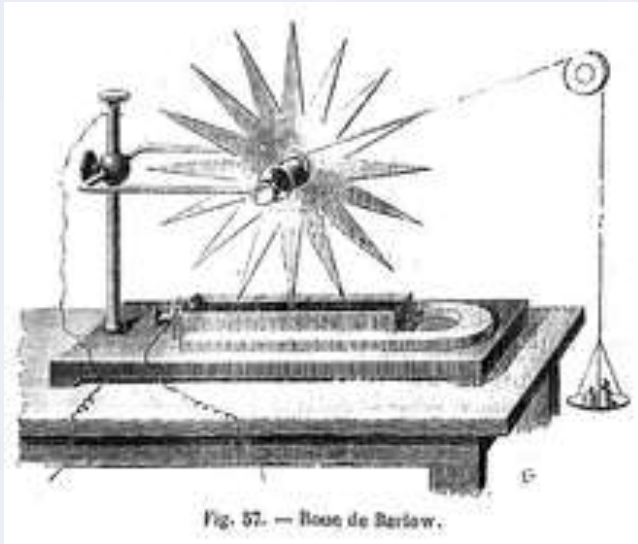


Un fil électrique parcouru par un courant crée un champ magnétique



l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe

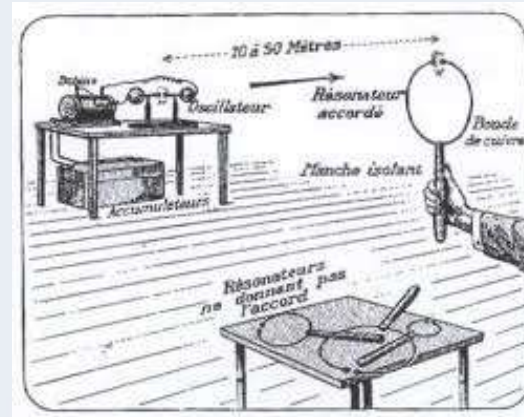
Développement de l'électromagnétisme



Moteur électrique
(ici premier moteur électrique 1828)

$$\begin{cases} \operatorname{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0} \\ \operatorname{div} \vec{B} = 0 \\ \operatorname{div} \vec{E} = 0 \\ \operatorname{rot} \left(\frac{\vec{B}}{\mu_0} \right) = \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \end{cases}$$

1865 Maxwell



1885 Hertz (élève de Helmholtz)

L'HISTOIRE DU TÉLÉPHONE RACONTÉE PAR SON INVENTEUR¹.

Il y a bien des années, mon père, Alexandre Melville-Bell, d'Édimbourg, appelait mon attention sur le mécanisme de la parole; il avait fait de longues études sur ce sujet. Plusieurs d'entre vous peuvent se rappeler l'invention de mon père; elle consistait en un moyen de représenter d'une manière admirablement exacte les positions des organes vocaux, dans la formation des sons. Nous entreprîmes ensemble de nombreuses expériences; nous cherchâmes d'abord à

découvrir le mécanisme des éléments anglais et étrangers de la parole. Je me souviens surtout d'une recherche dans laquelle nous nous trouvâmes engagés, concernant les relations musicales des sons de voyelles. Quand des sons de voyelles sont émis, il semble que chaque voyelle possède une hauteur de ton propre; en prononçant certaines voyelles successivement, l'on peut distinctement percevoir une échelle musicale. Nous nous proposâmes de déterminer la hauteur de ton naturelle à chaque voyelle. Des difficultés inattendues nous firent obstacle; plusieurs voyelles semblaient posséder une double hauteur; probablement la hauteur de la résonance de l'air dans la bouche, et la hauteur de la résonance de l'air contenu dans la cavité postérieure de la langue, cavité comprenant le pharynx et le larynx.

J'imaginai un expédient pour déterminer la hauteur, et crus posséder la priorité de la découverte, qui consistait à faire vibrer un diapason devant la bouche durant les accommodations des organes vocaux prises silencieusement. Il fut constaté

que chaque position de voyelle renforçait tel ou tel diapason ou plusieurs diapasons spécialement.

J'écrivis une relation de ces recherches à M. Alex. J. Ellis, de Londres. Sa réponse m'informa que les expériences relatées avaient déjà été faites par Helmholtz, et d'une manière beaucoup plus parfaite que

je ne l'avais fait. M. Ellis me dit, en effet, que Helmholtz, non-seulement avait analysé les sons de voyelles en leurs éléments musicaux constitutifs, mais qu'il

avait réalisé la synthèse de ces éléments. Helmholtz avait réussi à produire artificiellement certains sons de voyelles en faisant vibrer simultanément, par un courant électrique, des diapasons de différentes hauteurs. M. Ellis eut la bonté de m'accorder une entrevue dans le but de m'expliquer la disposition des

appareils employés par Helmholtz, pour produire ces effets extraordinaires et je consacrai la plus grande partie d'une journée avec lui à l'étude de ce sujet. A

cette époque, cependant, je n'étais pas assez familiarisé avec les lois de l'électricité pour comprendre parfaitement les explications qui me furent données, mais l'entrevue eut pour effet d'appeler toute mon attention sur les sujets du son et de l'électricité, et je n'eus pas de repos avant d'être entré en possession d'un

exemplaire du grand traité de Helmholtz, et d'avoir essayé, d'une manière rudimentaire et imparfaite, il est vrai, de reproduire les mêmes résultats. En réfléchissant

aux possibilités de production du son par des moyens électriques, je fus comme frappé par l'idée que le principe de

découverte du téléphone. — Nous reproduisons presque en totalité la conférence de M. Bell. Ce document, inédit en France, nous paraît offrir une importance capitale; nous le recommandons à l'attention de nos lecteurs.

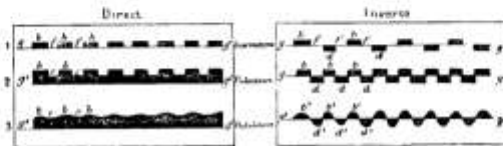


Fig. 1.

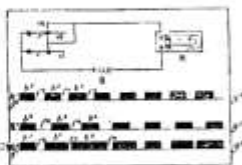


Fig. 2.

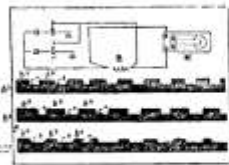


Fig. 3.

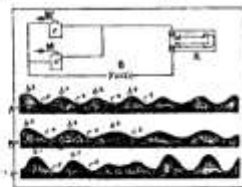


Fig. 4.

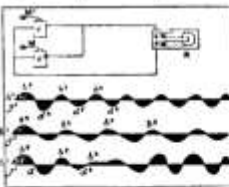


Fig. 5.

¹ La Société des ingénieurs télégraphistes de Londres a reçu récemment la visite de M. Gr. Bell. Cet habile physicien a prononcé un long et remarquable discours sur les travaux et les recherches qu'il a entrepris avant d'arriver à la brillante

faire vibrer un diapason par l'attraction intermittente d'un électro-aimant pouvait s'appliquer à la production électrique de la musique¹.

J'imaginai donc une série de diapasons de différentes hauteurs d'intonation, et les disposai de façon à les faire vibrer automatiquement de la manière indiquée par Helmholtz, chaque diapason interrompant à chaque vibration un courant voltaïque. Et pourquoi, pensai-je, l'abaissement d'une clef, telle qu'une touche de piano, ne dirigerait-elle point le courant d'interruption de l'un quelconque de ces diapasons, au travers d'un fil télégraphique, jusqu'à une série d'électro-aimants actionnant les cordes d'un piano ou d'un autre instrument de musique ?

Ainsi une personne pourrait jouer du piano-diapason en un lieu, et la musique pourrait s'entendre en un autre lieu, en une ville lointaine, sur un piano électro magnétique. Plus je réfléchissais à cet arrangement, plus il me paraissait réalisable. Je ne voyais en effet nulle raison pour laquelle l'abaissement d'un certain nombre de clefs au point de départ du diapason ne serait pas accompagné, dans le circuit, de la production, au lieu d'arrivée, d'un plein accord perceptible sur le piano à l'unisson. L'attrait que m'offrait alors l'étude de l'électricité me conduisit à l'étude des divers systèmes en usage en Angleterre et en Amérique. J'admirai surtout la simplicité de l'alphabet Morse et ce fait que cet alphabet pouvait être lu par la perception du son que produit son fonctionnement. Au lieu de se reporter sur les points et les traits enregistrés sur le papier, les opérateurs contractent l'habitude d'observer la durée de tic-tac des appareils, et ainsi de distinguer à l'oreille les divers signaux.

La possibilité de représenter, d'une manière analogue, le point et le trait du code Morse par la durée d'une note musicale, s'empara de mon esprit. Une personne pourrait agir sur l'une des clefs du piano-diapason, dont nous avons plus haut vu l'arrangement, et la durée du son émis par la corde correspondante du piano lointain y pouvait être observée par une autre personne.

Il me sembla qu'ainsi plusieurs messages télégraphiques distincts pouvaient être simultanément transmis d'un piano-diapason jusqu'à l'autre extrémité du circuit, par des opérateurs manipulant chacun une clef différente de l'instrument. Ces messages seraient lus, me disais-je, par des opérateurs placés auprès du piano d'arrivée, chacun d'eux écoutant des signaux d'une hauteur définie de ton et ignorant tous les autres. L'on pouvait ainsi réaliser la transmission simultanée de plusieurs messages télégraphiques par un seul fil, le nombre de ces messages n'étant limité que par la délicatesse d'o-

reille de celui qui écoutait. L'idée d'accroître la puissance de transmission d'un fil télégraphique de cette manière me vint à l'esprit, et ce fut ce but pratique que j'eus en vue, en commençant mes recherches sur la téléphonie électrique.

Il se trouve généralement que dans le progrès de la science la complication conduit à la simplification, et qu'en faisant l'histoire d'une découverte scientifique, il est souvent utile de commencer par la fin.

Lorsque je porte un regard rétrospectif sur mes recherches, je reconnais la nécessité de désigner, par des noms spéciaux, une variété de courants électriques qui peuvent produire des sons. J'appellerai votre attention sur plusieurs espèces distinctes de courants d'électricité que l'on pourrait appeler *téléphoniques*. Afin que les particularités de ces courants soient bien comprises, je prierai M. Frost de projeter sur l'écran une illustration graphique de ces différentes variétés.

La méthode graphique de représenter des courants électriques, et que nous voyons ici, est la meilleure que l'on puisse imaginer pour étudier exactement les effets produits par diverses formes d'appareils téléphoniques. Elle m'a fait concevoir cette sorte particulière de courant téléphonique que j'appellerai ici courant *ondulatoire*, et qui rend possible la production artificielle du langage articulé par des moyens électriques.

Une ligne horizontale *g g'* (fig. 1) est prise comme ligne du courant à zéro; les impulsions d'électricité positive sont représentées au-dessus de cette ligne, celles d'électricité négative au-dessous ou bien *vice versa*.

L'épaisseur verticale d'une impulsion électrique quelconque (*b* ou *d*) mesurée à partir de la ligne de zéro, indique l'intensité du courant électrique au point observé, et l'extension horizontale de la ligne électrique (*b* ou *d*) indique la durée de l'impulsion. Il y a neuf variétés de courants téléphoniques; il me suffira de vous en indiquer six. Les trois variétés primaires, désignées sous les noms d'intermittentes, de pulsatoires et d'ondulatoires, sont représentées par les lignes 1, 2 et 3. Des sous-variétés peuvent être distinguées sous les désignations de courants directs, ou de courants inverses, selon que les impulsions électriques sont toutes d'une sorte, ou alternativement positives et négatives. Les courants directs peuvent encore se distinguer comme positifs ou négatifs suivant que les impulsions sont d'une sorte ou de l'autre. Un courant intermittent est caractérisé par la présence et l'absence alternatives de l'électricité dans le circuit. Un courant pulsatoire résulte de changements instantanés dans l'intensité d'un courant continu, et un courant ondulatoire est un courant d'électricité, dont l'intensité varie d'une manière proportionnelle à la vitesse du mouvement d'une particule d'air durant la production du son. Ainsi la courbe représentant graphiquement le courant ondulatoire pour un simple ton

¹ Helmholtz, *Die Lehre von den Tonen pfundungen* (traduction anglaise par Alexandre J. Ellis. — *Theory of tone. Théorie de la perception des sons*).

musical est celle qui exprime une oscillation simple du pendule, c'est-à-dire une courbe sinusoïdale.

Intermittent.	Direct.	(Positif, 1	Courant positif intermittent.
		(Négatif, 2	• négatif •
		(Inverse, 3	• inverse •
Pulsatoire.	Direct.	(Positif, 4	Courant positif pulsatoire.
		(Négatif, 5	• négatif •
		(Inverse, 6	• inverse •
Ondulatoire.	Direct.	(Positif, 7	Courant positif ondulatoire.
		(Négatif, 8	• négatif •
		(Inverse, 9	• inverse •

Je dois faire ici la remarque que si la théorie du courant ondulatoire d'électricité est une conception dont je puis revendiquer l'origine, on connaît néanmoins des méthodes de produire des sons au moyen de courants intermittents et pulsatoires.

Par exemple, il y a longtemps que l'on a fait la découverte qu'un électro-aimant émet un son lorsqu'il est subitement aimanté ou désaimanté. Lorsque le circuit dans lequel est placé cet électro-aimant est rapidement fermé et ouvert, une succession de crépitations partent de l'aimant. Ces bruits produisent à l'oreille l'effet d'une note musicale, lorsque le courant est interrompu un nombre suffisant de fois par seconde. La découverte de la musique galvanique par Page¹, en 1857, conduisit les recherches faites en différentes parties du monde, presque simultanément dans le domaine de la téléphonie.

Les effets d'acoustique produits par l'aimantation furent soigneusement étudiés par Marrian², Beaton³, Gassiot⁴, de la Rive⁵, Matteucci⁶, Guillemain⁷, Vertheim⁸, Wartmann⁹, Jannier¹⁰, Joule¹¹, Laborde¹².

¹ C. G. Page, *la Production de la musique galvanique*. *Journal de Silliman*, 1857, xxxv, p. 506; *Journal de Silliman*, 1858, xxxvi, p. 118; *Bibl. univ. (nouvelle série)*, 1859, n. p. 508.

² J. P. Marrian, *Phil. Mag.*, xxv, p. 583; *Inst.*, 1845, p. 20; *Arch. de l'électricité*, voy. p. 195.

³ Beaton, *Arch. de l'électricité*, voy. p. 197; *Arch. des Sc. Phys. et nat. (2^e série)*, n. p. 115.

⁴ Gassiot, *voy. Treatise on Electricity*, par de la Rive, t. p. 500.

⁵ De la Rive, *Treatise on Electricity*, t. p. 500; *Phil. Mag.*, xxxv, p. 422; *Arch. de l'élect.*, voy. p. 200; *Inst.*, 1846, p. 85; *Comptes rendus*, xx, p. 1287; *Compt. rend.*, xxx, p. 432; *Pogg. ann.*, p. 657; *ann. de chim. et de phys.*, xxxv, p. 158.

⁶ Matteucci, *Inst.*, 1845; *Arch. de l'élect.*, voy. p. 200.

⁷ Guillemain, *Compt. rend.*, xxv, p. 264; *Inst.*, 1846, p. 50; *Arch. des sc. phys. et nat. (2^e série)*, t. p. 191.

⁸ G. Vertheim, *Compt. rend.*, xxv, p. 556-544; *Inst.*, 1846, p. 65, 100; *Pogg. ann.*, t. xxvii, p. 140; *Compt. rend.*, xxxi, p. 505; *Inst.*, 1848, p. 142; *Ann. de chim. et de phys.*, xxix, p. 360; *Arch. des sc. phys. et nat.*, viii, p. 200; *Pogg. ann.*, t. xxxv, p. 45; *Berl. Ber.*, iv, p. 121.

⁹ Elie Wartmann, *Compt. rend.*, xxv, p. 544; *Phil. Mag. (2^e série)*, xxvii, p. 544; *Arch. des sc. phys. et nat. (2^e série)*, t. p. 419; *Inst.*, 1846, p. 290; *M. natschr. d. Ber. Bad.*, 1846, p. 111.

¹⁰ Jannier, *Compt. rend.*, xxv, p. 510; *Inst.*, 1846, p. 260; *Arch. des sc. phys. et nat. (2^e série)*, p. 591.

¹¹ J. P. Joule, *Phil. Mag.*, xxv, p. 76-225; *Berl. Ber.*, iii, p. 489.

¹² Laborde, *Comptes rendus*, t. p. 692; *Cosmos*, xvii, p. 154.

Legat¹, Reis², Poggendorf³, du Moncel⁴, Delezenne⁵, et d'autres encore⁶. Il faut aussi mentionner que Gore⁷ obtint des notes musicales claires par le mercure; ces notes étaient accompagnées de rides, singulièrement belles à la surface durant le cours des expériences électrolytiques. Page⁸ produisit des tons musicaux dans les *barres de Trevelyan* par l'action du courant galvanique. Sullivan découvrit plus tard qu'un courant d'électricité est engendré par la vibration d'un fil composé partie d'un métal et partie d'un autre. Le courant durait aussi longtemps que l'émission d'une note musicale et s'arrêtait immédiatement après la cessation du son.

Pendant plusieurs années, mon attention se porta presque exclusivement sur les moyens d'obtenir un instrument interrupteur extrêmement rapide de circuit voltaïque et destiné à prendre la place du diapason transmetteur employé dans les recherches de Helmholtz.

C'est un fait singulier que d'importantes découvertes sont souvent faites presque simultanément par plusieurs personnes en différentes parties du monde, et que l'idée de la télégraphie multiple, telle qu'il l'a développée dans les divers diagrammes montrés à la Société, paraît s'être présentée isolément tant en Amérique qu'en Europe à quatre inventeurs différents. Les détails eux-mêmes des arrangements en circuit ont une très-grande ressemblance avec ceux qu'ont proposés M. Cromwell Varley, de Londres, M. Elisha Gray, de Chicago, M. Paul Lacour, de Copenhague, et M. Thomas Edison, de Newark dans l'État de New-Jersey. Quant à la question de priorité d'invention, je ne me propose pas de la discuter.

Pour faire mieux comprendre la difficulté de l'usage d'un courant intermittent, je vous prierais de me suivre dans l'application de l'effet produit quand deux signaux musicaux de hauteurs d'intonation différentes sont simultanément dirigés le long d'un même circuit. La figure 2 fait voir un arrangement dans lequel les tiges aa de deux transmetteurs interrompent le courant de la même pile B. Supposons que l'intervalle musical entre les deux

¹ Legat, *Brix*, 25, ix, p. 125.

² Reis, *Téléphonie Polytech. Journ.*, t. xviii, p. 185; *Böttger's notiz*, h., 1865, n^o 6.

³ J. C. Poggendorf Pogg., *Ann.*, xxviii, p. 19; *Berliner Monatsber.*, 1856, p. 153; *Cosmos*, ix, p. 49; *Berl. Ber.*, xv, p. 241; *Pogg. ann.*, t. xxxvii, p. 150.

⁴ Du Moncel, *Exposé*, n. p. 175, et iv, p. 85.

⁵ Delezenne, *Sound produced by magnetization*; *Bibl. univ. (new-series)*, 1841, xv, p. 400.

⁶ Voy. *London Journ.*, xxxv, p. 402; *Polytech. Journ.*, cx, p. 101; *Cosmos*, iv, p. 45; Glaucon, *Traité général*, et c. p. 350; Dove, *Repert.*, vi, p. 58; *Pogg. Ann.*, xii, p. 411; *Berl. Ber.*, t. p. 144; *Arch. des sc. phys. et nat.*, t. xvi, p. 400; *Khan's Encyclopædie der Physik*, p. 1014-1021.

⁷ Gore, *Proceedings of Royal Society*, xi, p. 217.

⁸ C. G. Page, *Vibration of Trevelyan's bars by the galvanic current*; *Silliman's Journal*, 1850, ix, p. 105-1 *Sullivan*; *Currents of Electricity produced by the vibration of metals*; *Phil. Mag.*, 1845, p. 261; *Arch. de l'élect.*, t. p. 540.

tiges soit une tierce majeure. En ce cas les vibrations sont dans la proportion de 4 à 5, c'est-à-dire que 4 vibrations de a sont faites dans le même temps que 5 vibrations de a' . A^1 et B^1 représentent les courants intermittents produits, 4 impulsions de B^1 étant produites dans le même temps que 5 impulsions de A^1 . La ligne A^2 et B^2 représente l'effet résultant sur la ligne principale de la simultanéité d'action des tiges a et a' , interrompant et rétablissant le même circuit.

Vous voyez par le dessin que le courant résultant, tout en conservant une intensité uniforme, est moins interrompu lorsque les deux tiges sont en opération, que lorsqu'une seule tige est employée.

Continuant d'approfondir la question, vous reconnaîtrez que si un plus grand nombre de tiges de différentes hauteurs de tons ou de différentes vitesses de vibration sont occupées simultanément à interrompre et à rétablir le même circuit, l'effet résultant sur la ligne principale est réellement l'équivalent d'un courant continu. Vous comprenez aussi que le nombre maximum de signaux musicaux pou-

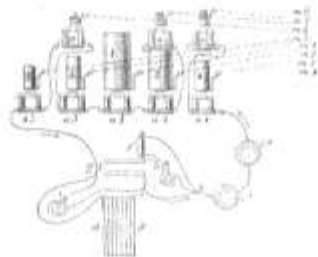


Fig. 4.

vant simultanément être dirigés le long d'un seul fil sans confusion, dépend beaucoup de la proportion de durée du rétablissement quant à celle de l'interruption. Plus le contact est court, en même temps que plus l'interruption est longue, plus le nombre des signaux pouvant se transmettre sans confusion est grand, et *vice versa*. L'appareil au moyen duquel cette conclusion théorique a été vérifiée se trouve devant vous. Il consiste en une boîte ordinaire d'harmonium, dont les tiges sont actionnées par l'air de la manière habituelle. Devant chaque tige est une vis métallique contre laquelle la tige frappe en vibrant. En ajustant la vis on rend le contact long ou court. Les tiges sont reliées à l'un des pôles d'une pile, et les vis contre lesquelles elles frappent communiquent avec la ligne; des impulsions partent ainsi de la pile dans la ligne durant la vibration des tiges.

Sans entrer dans des détails de calcul, vous voyez qu'avec un courant pulsatoire l'effet de transmission simultané de signaux musicaux est presque l'équivalent d'un courant continu d'intensité minima, — comme l'indique la figure 5. Si des courants ondu-

latoires sont employés, l'effet est différent (voyez la figure 4). Le courant qui vient de la pile B, est formé en ondulations à la suite de l'action inductive des tiges de fer ou d'acier MM' , lesquelles vibrent devant les électro-aimants $e e'$ mis dans le circuit de la pile. A^1 et B^1 représentent les ondulations causées dans le courant par la vibration des corps aimantés et l'on voit qu'il y a quatre ondulations de B^1 pour cinq de A^1 . La résultante d'effet sur la grande ligne est exprimée par la courbe $A^2 + B^2$, somme algébrique des courbes sinusoidales A^1 et B^1 . Un semblable effet est produit quand des courants ondulatoires inverses sont employés comme on le voit en la figure 5 où le courant est produit par la vibration d'aimants réunis en circuit sans une pile voltaïque. Par les figures 4 et 5, on peut voir que l'effet de la transmission de sons musicaux de différentes hauteurs simultanément le long d'un seul fil, n'est point d'effacer le caractère vibratoire du courant comme dans le cas des courants intermittents et pulsatoires, mais de changer les formes des ondulations électriques. En effet, le courant est influencé précisément d'une manière analogue à celle de l'air par la vibration des corps inducteurs MM' . Il devrait donc être possible de transmet-

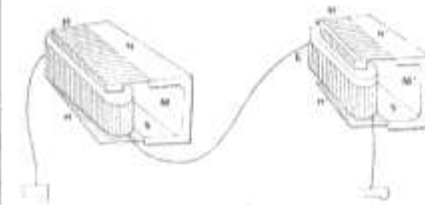


Fig. 5.

tre simultanément autant de tons musicaux par un fil télégraphique que par l'air. La possibilité de se servir de courants ondulatoires, dans un but de télégraphie multiple, m'a permis de laisser de côté tous les arrangements compliqués de circuit et d'employer une seule pile pour tout le circuit, en ne conservant que les récepteurs qui m'avaient précédemment servi.

J'ai dit que Helmholtz avait pu produire artificiellement des tons de voyelles en combinant des tons musicaux de différentes hauteurs et intensités. Nous voyons son appareil en la figure 6. Des diapasons de différentes hauteurs sont placés entre les pôles d'électro-aimants (a^1, a^2 , etc.), et maintenus en vibration par l'action d'un courant intermittent qui part du diapason g . Des résonateurs 1, 2, 3, etc., sont placés de façon à renforcer les sons, plus ou moins, selon que les orifices extérieurs sont plus ou moins élargis.

On voit que dans le procédé de Helmholtz, les diapasons eux-mêmes produisent des tons d'intensité uniforme, et dont la sonorité varie par un renforcement externe. Ce qui me frappa, c'est que les mêmes résultats pouvaient être obtenus, et d'une manière beaucoup plus parfaite, en faisant vibrer les diapa-

sons à différents degrés d'amplitude. J'imaginai alors l'appareil de la figure 7; ce fut ma première forme de téléphone articulé. Dans cette figure, une harpe à tiges d'acier est attachée aux pôles d'un aimant permanent N S. Lorsque l'une quelconque des tiges est mise en vibration, un courant ondulatoire est produit dans les bobines de l'électro-aimant; l'électro-aimant correspondant E attire les tiges de la harpe H' avec une force variable, et met en vibration celle des tiges qui se trouve à l'unisson de la tige qui vibre à l'autre extrémité du circuit. Ce n'est pas tout; l'amplitude de vibration dans l'une des tiges détermine l'amplitude de vibration dans l'autre, car l'intensité du courant induit est déterminée par l'amplitude de la vibration inductrice, et l'amplitude de la vibration à l'extrémité de réception dépend de l'intensité des impulsions attractives. Lorsque nous chan-

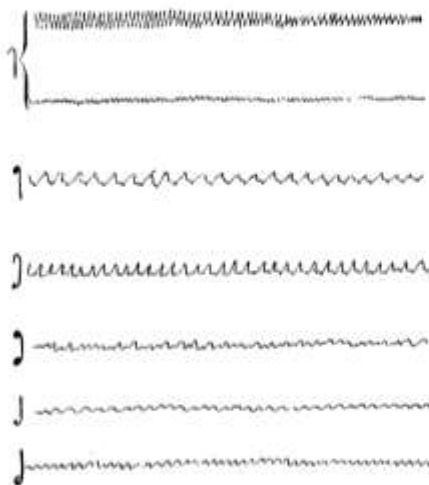


Fig. 8.

tous dans un piano, certaines cordes de l'instrument sont mises en vibration avec sympathie par l'action de la voix, et, à différents degrés d'amplitude, un son approché de la voyelle proférée part du piano. La théorie nous fait voir que si le piano avait un nombre beaucoup plus considérable de cordes, à l'octave, les sons de voyelles seraient parfaitement reproduits. Mon idée de l'action de l'appareil, action indiquée en la figure 7, était la suivante: proférer un son dans le voisinage de la harpe H, et certaines tiges seraient mises en vibration à des amplitudes différentes. A l'autre extrémité du circuit, les tiges correspondantes de la harpe H' vibreraient avec leurs relations propres de force, et le timbre du son serait reproduit. La dépense de la construction d'un semblable appareil m'empêcha de m'engager dans cet ordre de recherches.

J'ai déjà parlé d'une invention de mon père, d'un

système de symboles physiologiques, pour représenter l'action des organes vocaux, et j'avais été invité par le Conseil de l'instruction publique de Boston, à faire une série d'expériences sur ce système dans l'École des sourds et muets. L'on sait que les sourds-muets sont muets parce qu'ils sont sourds, et que dans leurs organes vocaux il n'y a aucun défaut qui les empêche de parler. L'on avait donc pensé que le système de mon père, système de symboles illustrés et depuis longtemps connu sous la désignation vulgaire de langage visible, pourrait être le moyen d'apprendre à un sourd-muet à se servir de ses organes vocaux et à parler. Le grand succès de ces expériences me porta vers la recherche de méthodes de représentation graphique et optique des vibrations du son, pour l'enseignement des sourds-muets. Pendant quelque temps, je poursuivis mes expériences avec



Fig. 9.

la capsule manométrique de Koenig, et avec le phonautographe de Léon Scott. Les appareils scientifiques de l'Institut de technologie de Boston furent généreusement mis à ma disposition pour ces expériences, et il se trouva qu'à cette époque, un étudiant de l'Institut de technologie, M. Maurey, venait d'imaginer un perfectionnement du phonautographe. Il avait réussi à faire vibrer par la voix un style de bois de la longueur environ d'un pied, fixé à la membrane du phonautographe. Par cette disposition il avait obtenu des traces agrandies sur une surface plane et noircie à la fumée. Avec cet appareil, je réussis à mon tour à produire de très-belles traces des vibrations de l'air par les vibrations de voyelles. Quelques-unes de ces traces sont indiquées dans la figure 8.

Mon esprit fut frappé par cette forme perfectionnée de l'appareil, et je vis là une ressemblance

LE MICROPHONE

Après le téléphone et le phonographe, voici le tour du *microphone*. La science de l'acoustique est dans une voie de progrès extrêmement remarquable. La physique étend son domaine vers la physiologie; l'oreille entendra désormais les plus faibles bruits.

C'est M. Hughes, l'inventeur de l'appareil télégraphique imprimant les dépêches en caractères d'imprimerie, qui vient placer son nom après ceux de MM. Bell et Edison. Le téléphone est le point de départ de cette nouvelle découverte.

Ce qui caractérise le téléphone de M. Bell, c'est l'absence d'une source extérieure d'électricité, d'une pile. Les effets électriques y sont déterminés par les réactions magnétiques qui résultent des vibrations du diaphragme. Le transmetteur et le récepteur dans ce système sont identiques.

Un autre téléphone a été construit par M. Edison, plus célèbre encore par la découverte du phonographe. Dans le téléphone de M. Edison le transmetteur et le récepteur sont différents; nous n'indiquerons aujourd'hui que le transmetteur, parce que cet appareil est en réalité le précurseur du microphone.

Le transmetteur du téléphone d'Edison est très-simple : un crayon de plombagine renfermé dans son étui métallique est placé derrière une plaque contre laquelle on parle; le courant d'une pile traverse cet assemblage de la plaque et du crayon, puis il se continue sur la ligne télégraphique.

Lorsqu'on parle contre la plaque, les vibrations de celle-ci déterminent une pression variable contre la plombagine et produisent dans le courant, des changements d'intensité, des modulations qui répètent la voix dans le téléphone récepteur.

La Nature, 1878

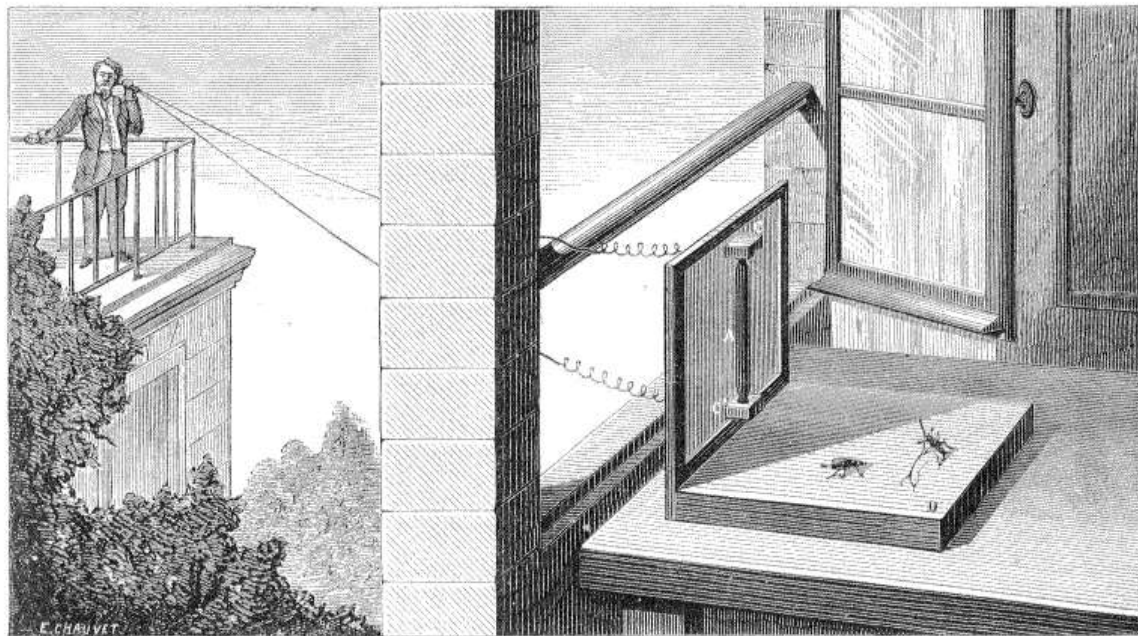


Fig. 5. Microphone Hughes. — Audition à distance du bruit très-amplifié produit par le frôlement de pattes d'insectes.

EVOLUTION OF ELECTRONIC ORGANS (1897-1970)

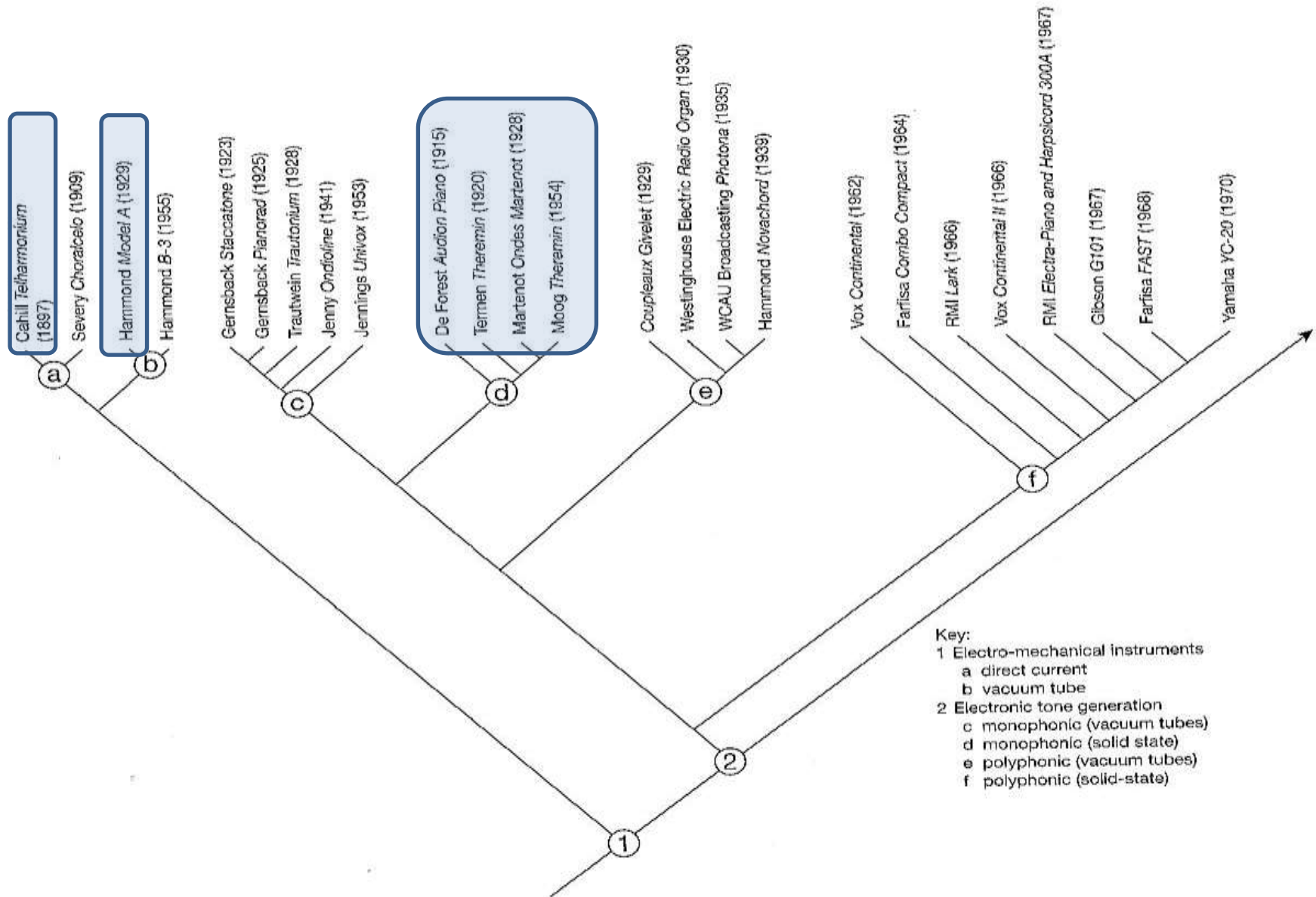


Figure A1.1 Evolution of electronic organs (1897-1970).

EVOLUTION OF ELECTRONIC PIANOS (1926-72)

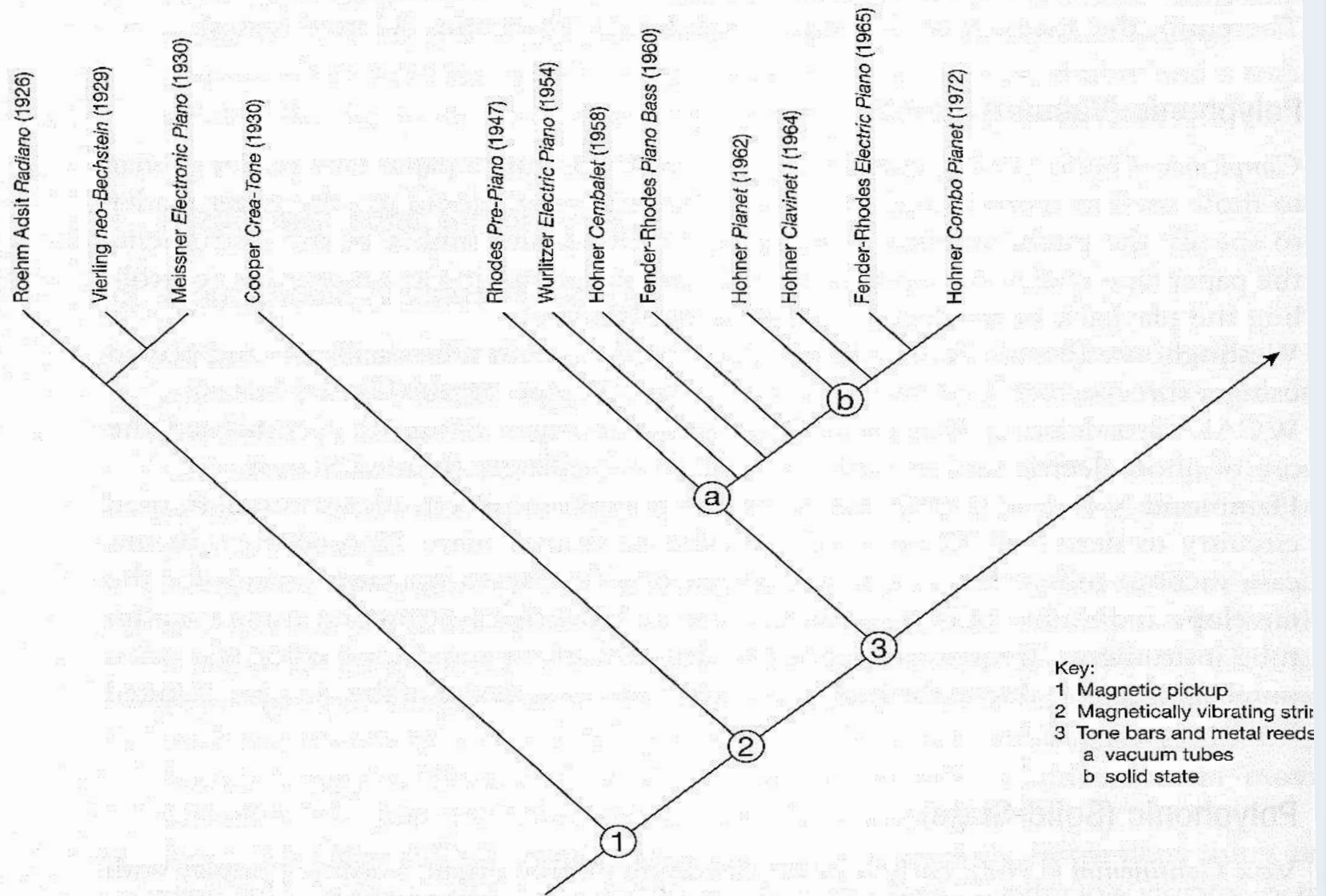


Figure A1.2 Evolution of electronic pianos (1926-72).

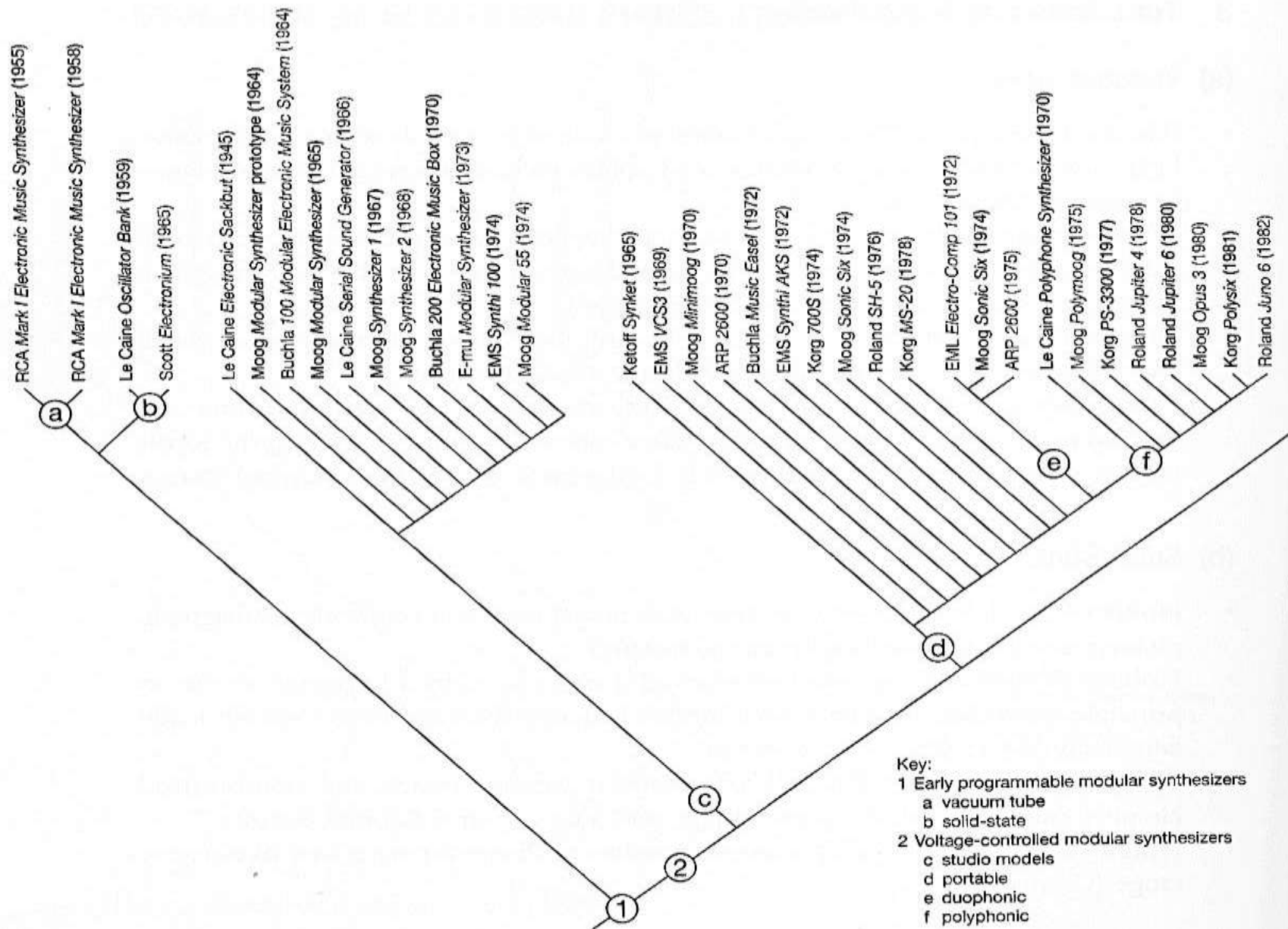


Figure AI.3 Evolution of analog synthesizers (1945–82).

EVOLUTION OF AUDIO SAMPLING INSTRUMENTS, SOFTWARE, AND CONTROLLERS (1917–2011)

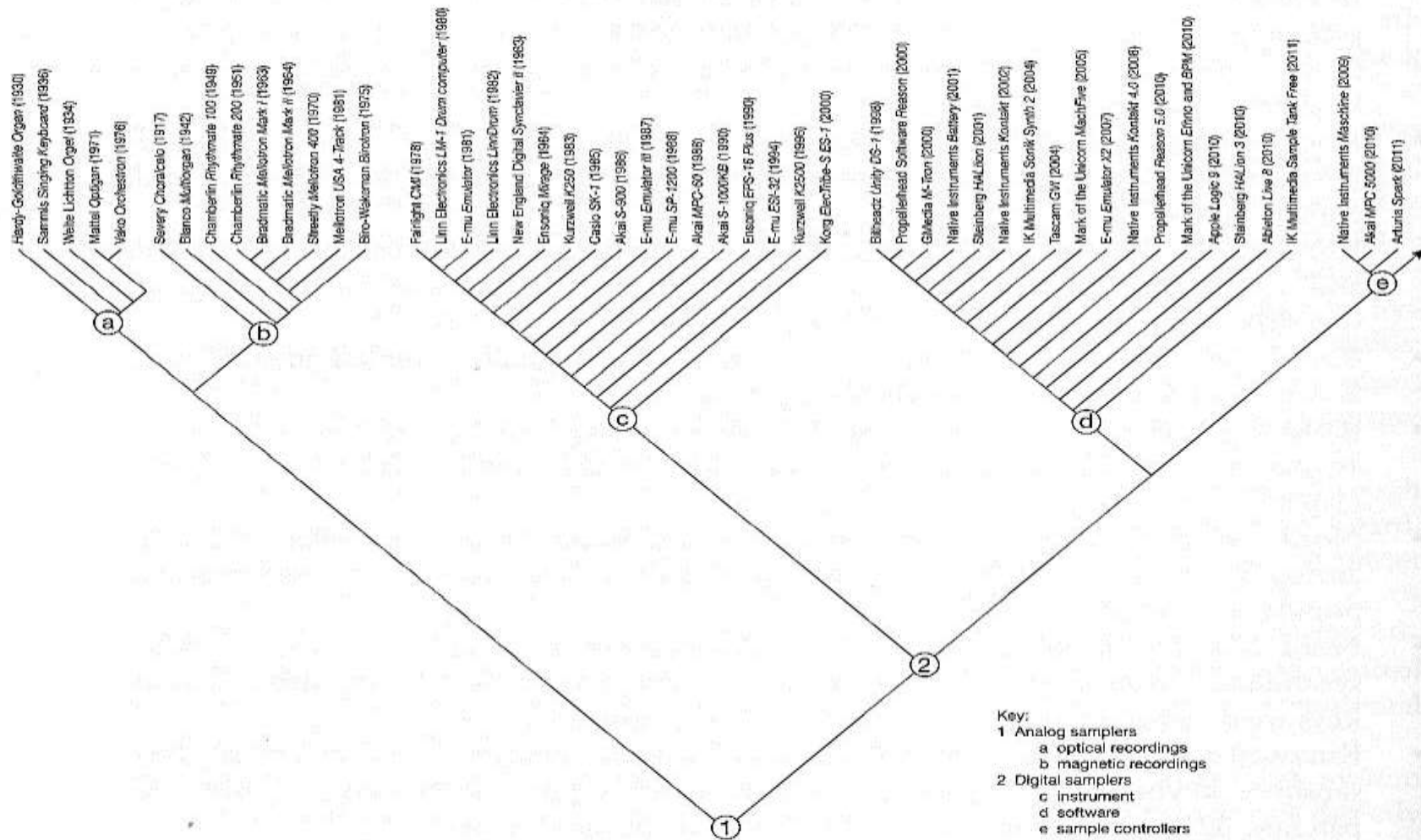


Figure AII.3 Evolution of audio sampling instruments, software, and controllers (1917–2011).

l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE TELHARMONIUM



Thaddeus Cahill
(1867 – 1934)

Avocat et inventeur.

1884 : étudie la musique à l'Oberlin Academy Conservatory of Music (Ohio). C'est là qu'il découvre le travail de Helmholtz. Ceci lui inspire la possibilité de mettre la puissance d'un orchestre synthétique dans les mains d'un seul compositeur.

Son projet est de « générer la musique électriquement à l'aide de sons de bonne qualité et une puissance importante, avec une parfaite expression musicale, et de distribuer la musique générée électriquement à l'aide de ce que nous pourrions appeler une « génération électrique originelle » depuis une station centrale vers des instruments situés en différents points »

D'après Thom Holmes, *Electronic and Experimental Music. Technology, Music, and Culture*, Routledge, New-York, 2012 (4th edition).

l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THELHARMONIUM

UNITED STATES PATENT OFFICE.

THADDEUS CAHILL, OF NEW YORK, N. Y.

ART OF AND APPARATUS FOR GENERATING AND DISTRIBUTING MUSIC ELECTRICALLY.

SPECIFICATION forming part of Letters Patent No. 560,035, dated April 6, 1897.

Application filed February 4, 1896. Serial No. 578,046. (No model.)

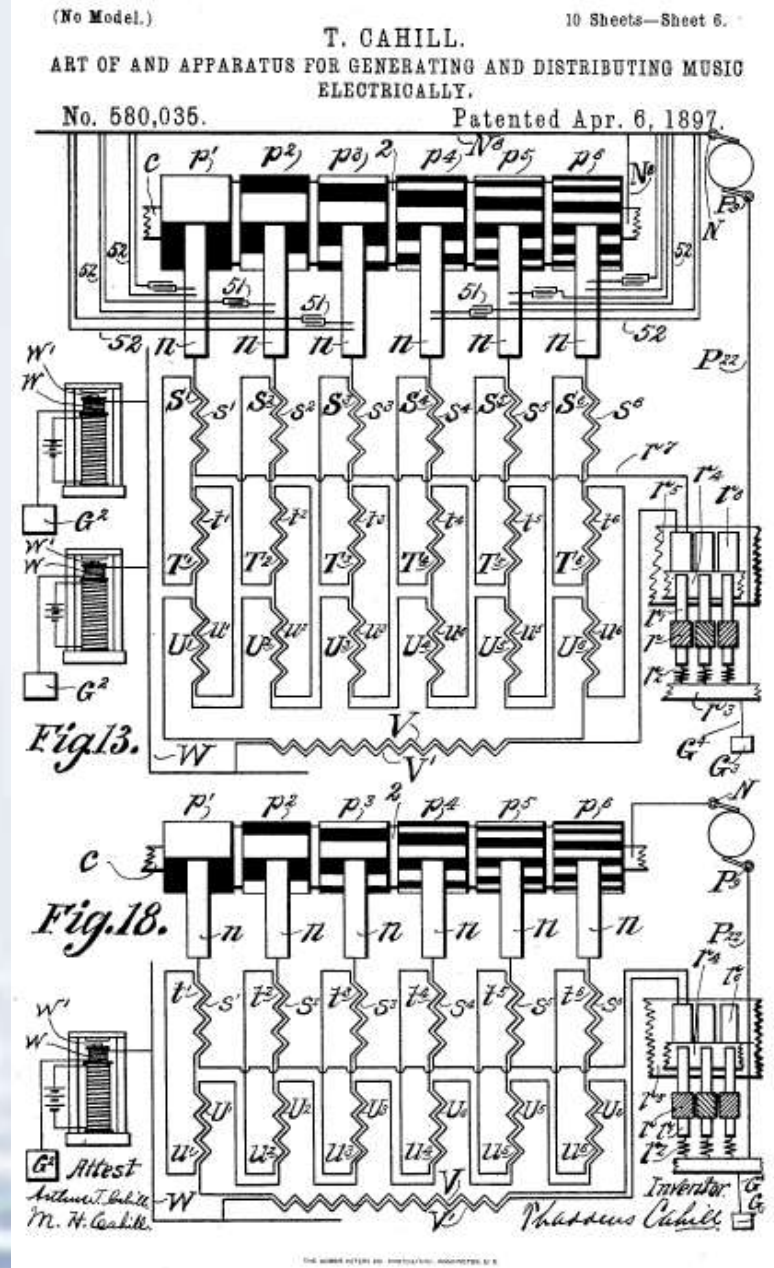
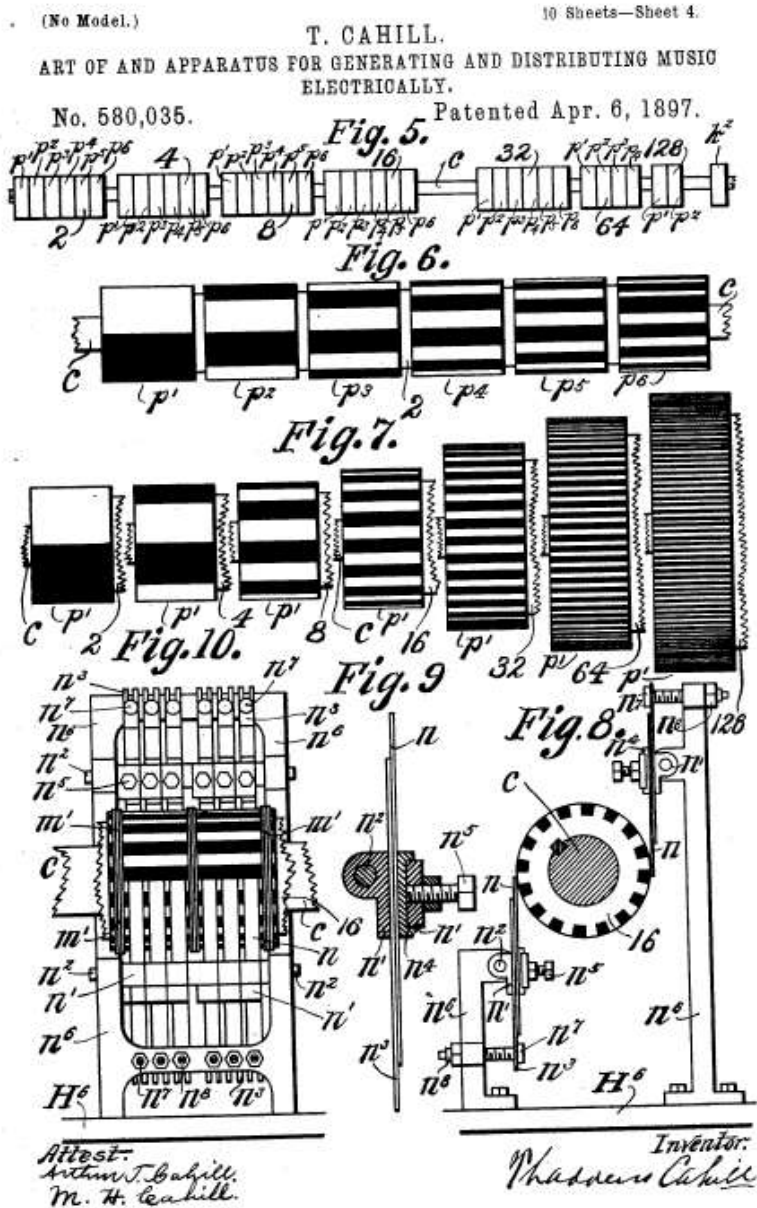
To all whom it may concern:

Be it known that I, THADDEUS CAHILL, a citizen of the United States, and a resident of the city, county, and State of New York, (residing temporarily at Washington, in the District of Columbia,) have invented a new and useful Art of and Apparatus for Generating and Distributing Music Electrically, of which the following is a specification.

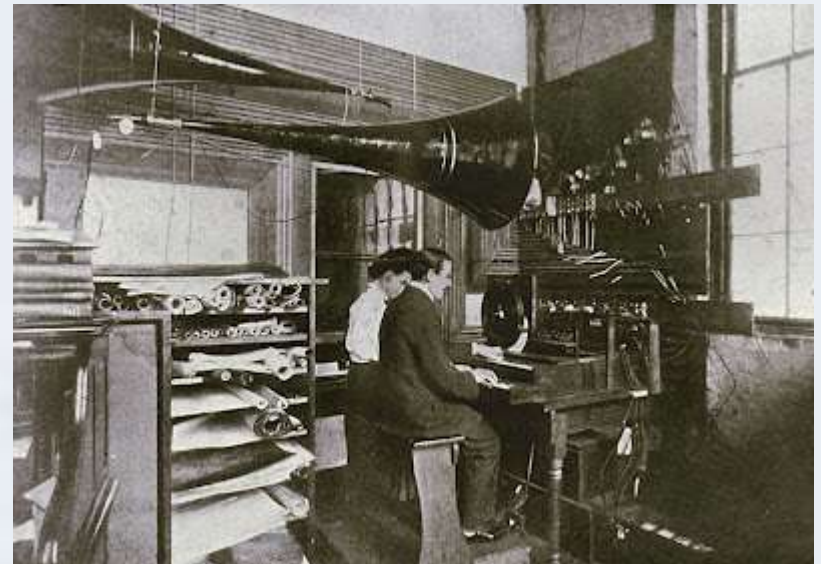
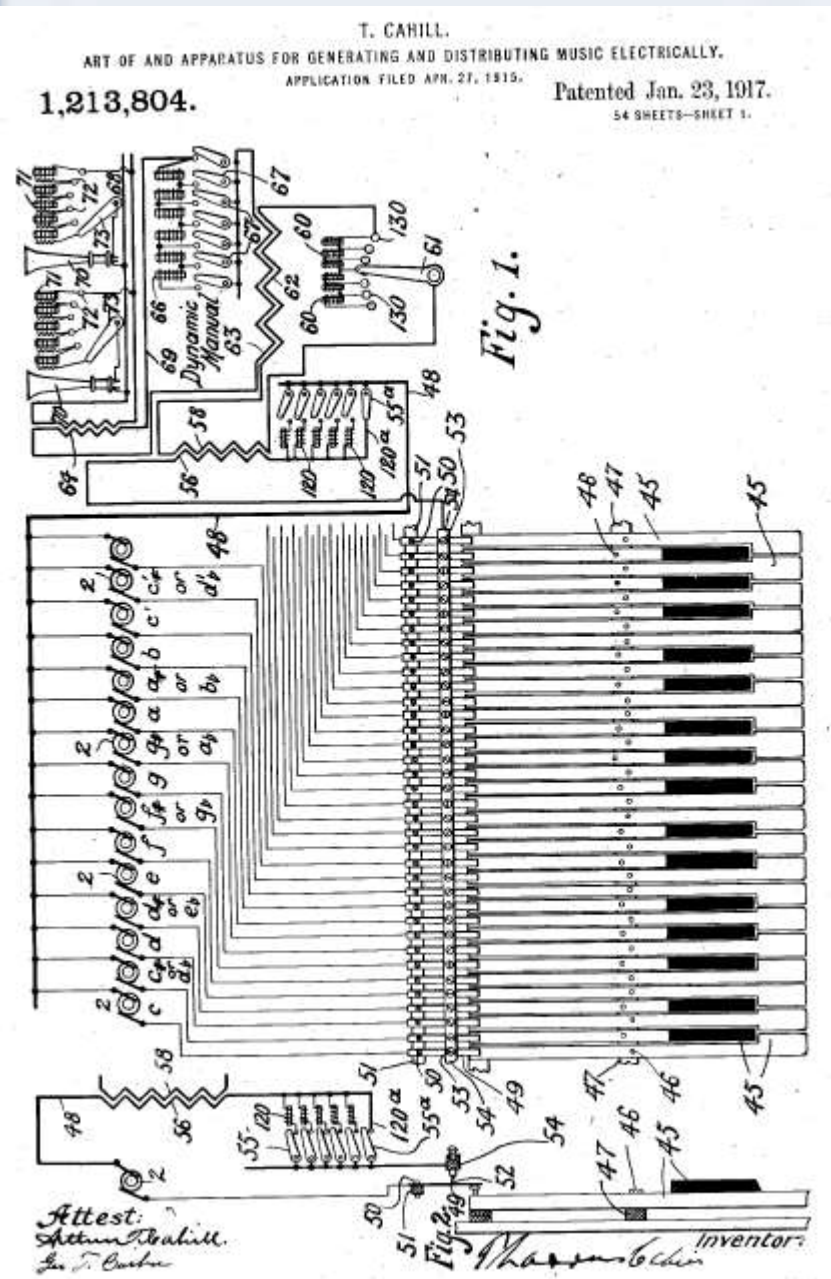
In a former application of mine, filed August 10, 1895, Serial No. 558,939, an art of and apparatus for generating and distributing music electrically is described. The art described in this application is the same art

the subject-matter of the original application, filed August 10, 1895, as is disclosed in the present case, and I have removed the claims for such subject-matter from the former case in order to prosecute them in this, and to prosecute in the original application, Serial No. 558,939, only that subject-matter which belongs peculiarly to it and which is not illustrated or described in this. In other words, the line of division which I draw between this case and the original application, Serial No. 558,939, filed August 10, 1895, is to cover in this case everything illustrated and described in it, reserving herein all claims for

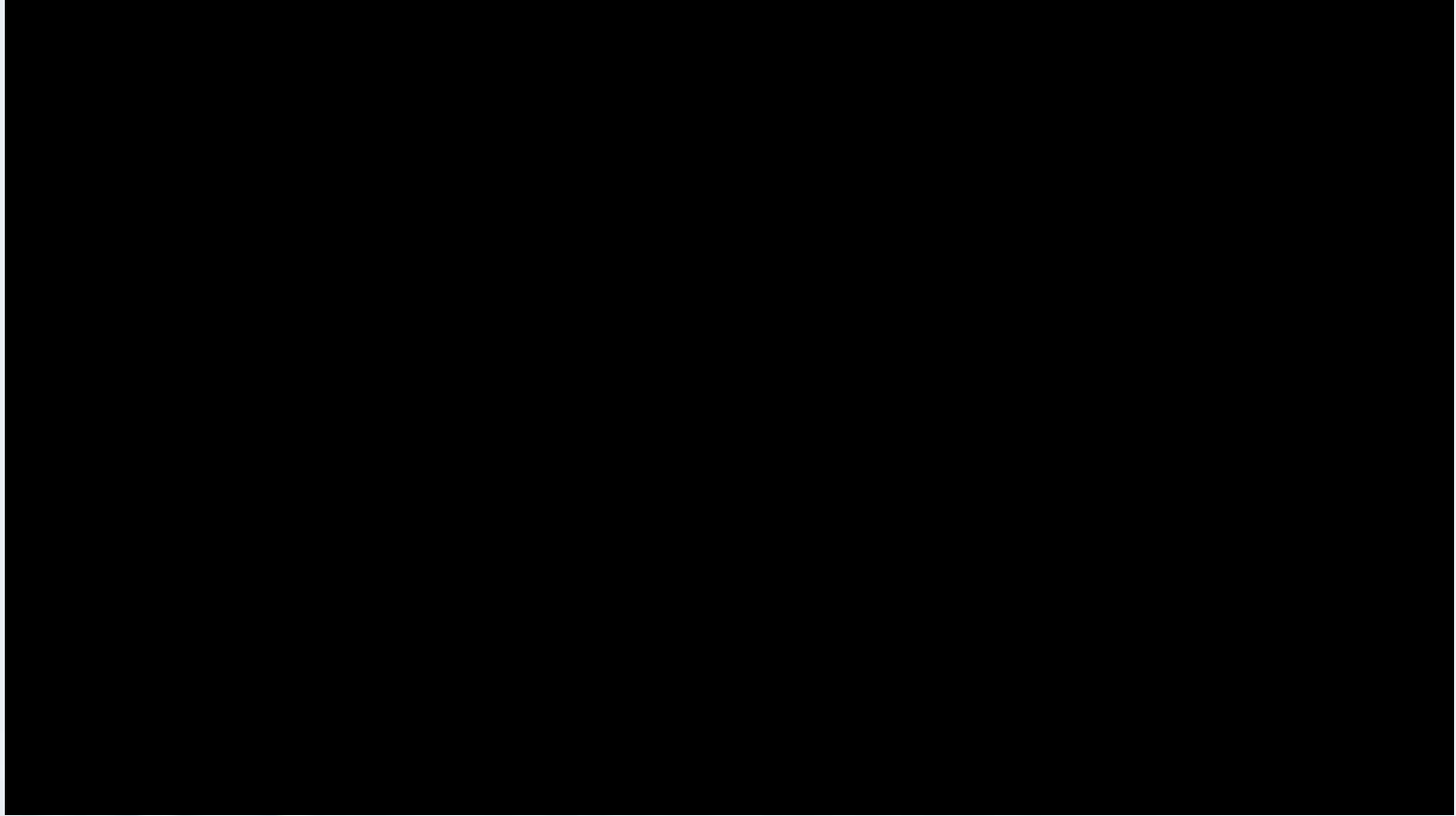
I) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THELHARMONIUM



l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THELHARMONIUM



l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THELHARMONIUM



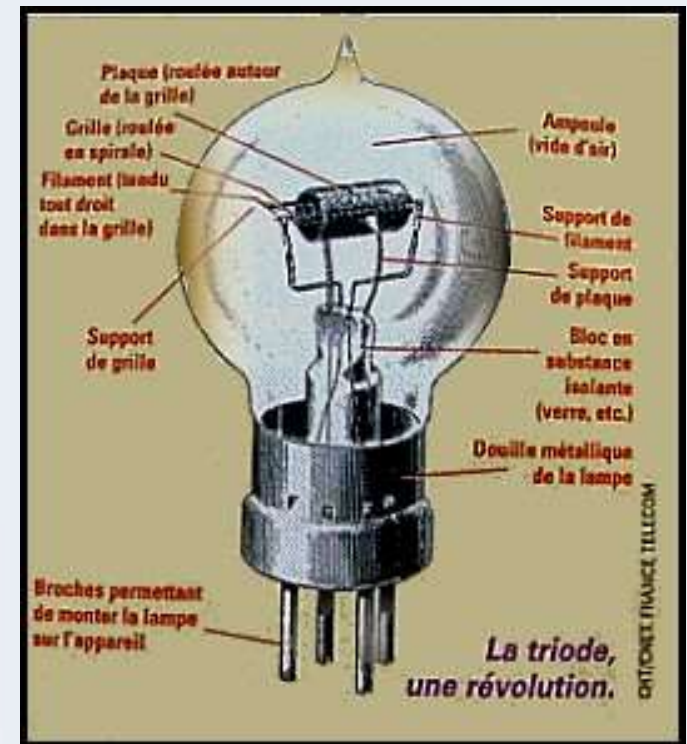
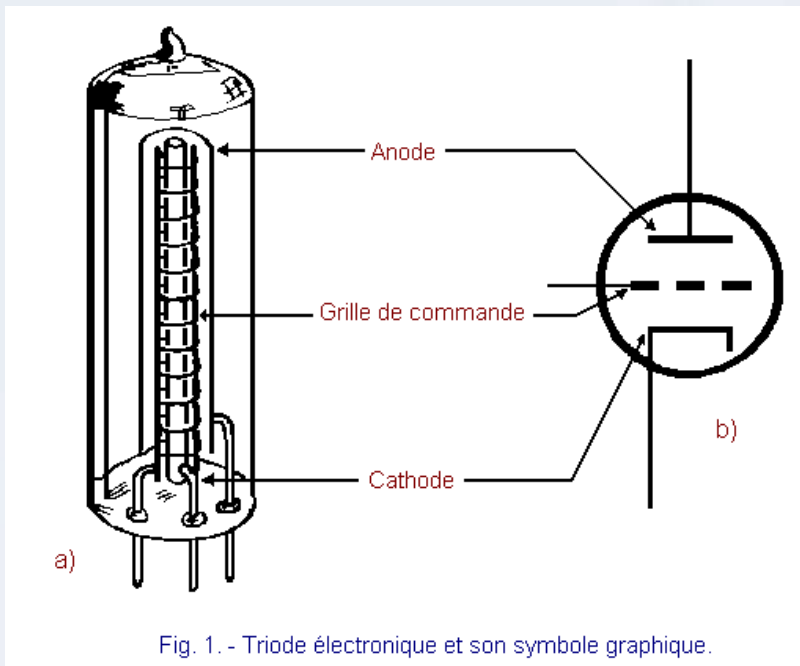
l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE TELHARMONIUM

Possibilité d'une musique microtonale grâce au telharmonium :

I refer to an invention by Dr. Thaddeus Cahill. He has constructed a comprehensive apparatus which makes it possible to transform an electric current into a fixed and mathematically exact number of vibrations. As pitch depends on the number of vibrations, and the apparatus may be "set" on any number desired, the infinite gradation of the octave may be accomplished by merely moving a lever corresponding to the pointer of a quadrant.

Ferruccio Busoni, *Sketch Of A New Esthetic Of Music*, 1911.

l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe :



1906 : Invention de la triode par Lee Deforest
Son rôle principal est d'amplifier les tensions et les courants.

l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe

1915, DeForest conçoit le Audion piano utilisant le principe de l'hétérodyne : un circuit générant un timbre à fréquence variable ce qui en ferait le premier prototype d'instrument de musique électronique.



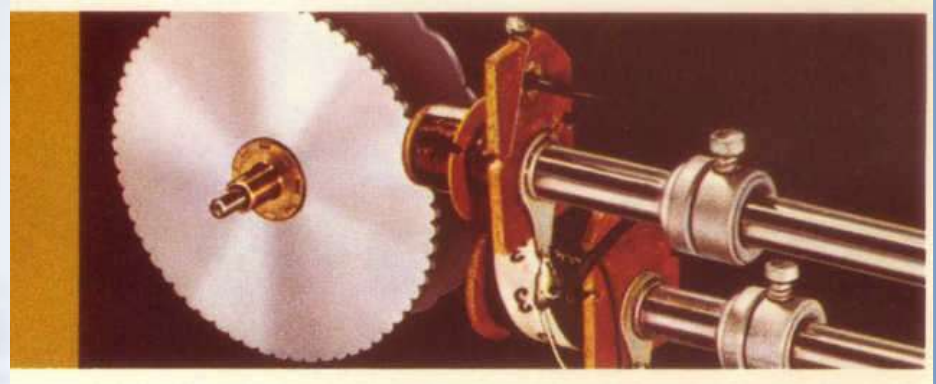
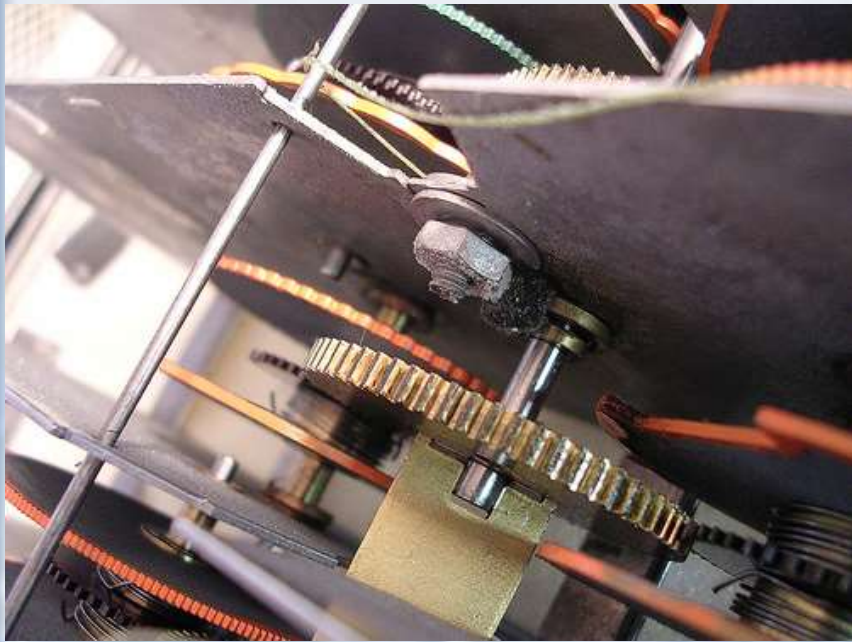
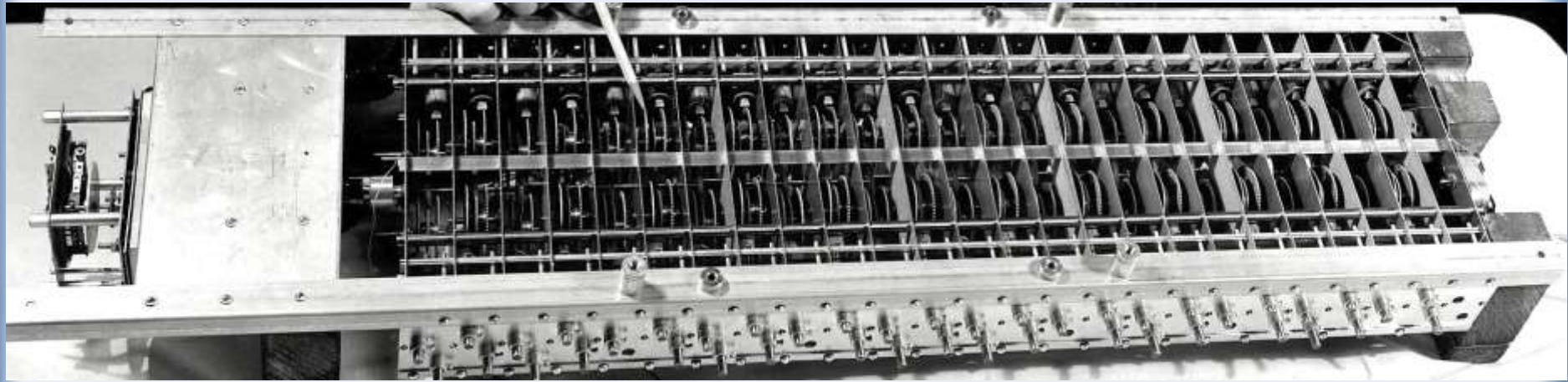
l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : L'Orgue Hammond

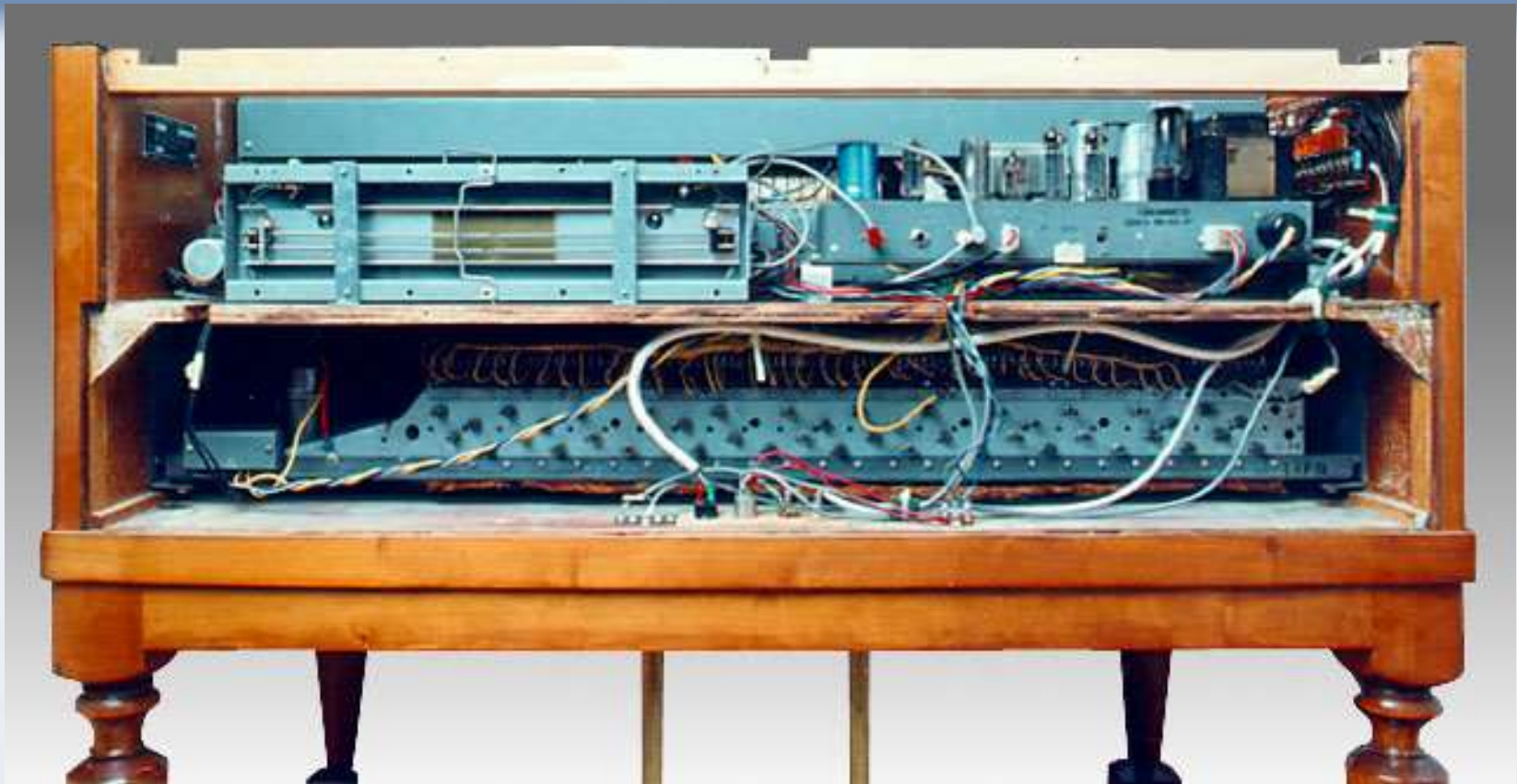
1929 Orgue Hammond Model A

= Telharmonium (roues phoniques) +
Triode

= Réduction de l'encombrement !







l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THEREMIN



l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THEREMIN



1) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THEREMIN



l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LE THEREMIN



l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LES ONDES MARTENOT



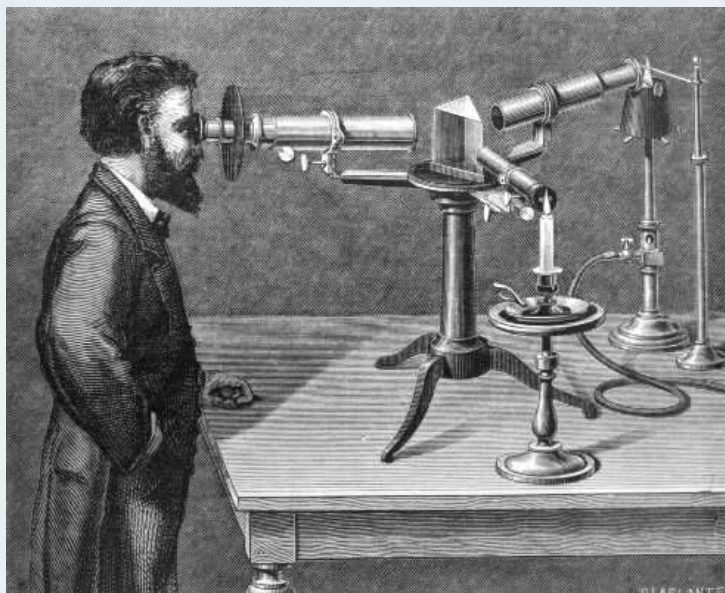
En 1917, au cours de la première guerre mondiale, Maurice Martenot fut affecté dans les transmissions. Il découvrit le principe de son futur instrument en utilisant des postes à lampes triodes fraîchement mises au point. Il remarqua "la pureté des vibrations produites par les lampes à trois électrodes dont on fait varier l'intensité à partir d'un condensateur". Il se mit au travail dès 1919.

Au même moment, le Russe Lev Theremin mit lui aussi au point un nouvel instrument de musique électronique doté de deux sortes d'antennes dont on approche les mains, sans les toucher, pour faire varier la hauteur et l'intensité. Piqué au vif par la présentation du Theremin à Paris, en 1927, Martenot se décida à présenter publiquement la deuxième évolution de ses "ondes musicales" à l'Opéra, le 3 mai 1928. Les critiques firent écho à la tournée mondiale triomphale qui suivit : "Theremin est un physicien-musicien alors que Martenot est un musicien-physicien" (Deutsche Allgemeine Zeitung); "Si Maurice Martenot avait vécu au Moyen-Age, il aurait été accusé de sorcellerie et brûlé vif sur la place publique" (New York Herald); "C'est aérien, surnaturel, inexplicable" (Information); "Ce fut la victoire du merveilleux sur le doute" (Der Abend, Vienna).

l) L'évolution instrumentale, fin XIXe – début XXe : LES ONDES MARTENOT



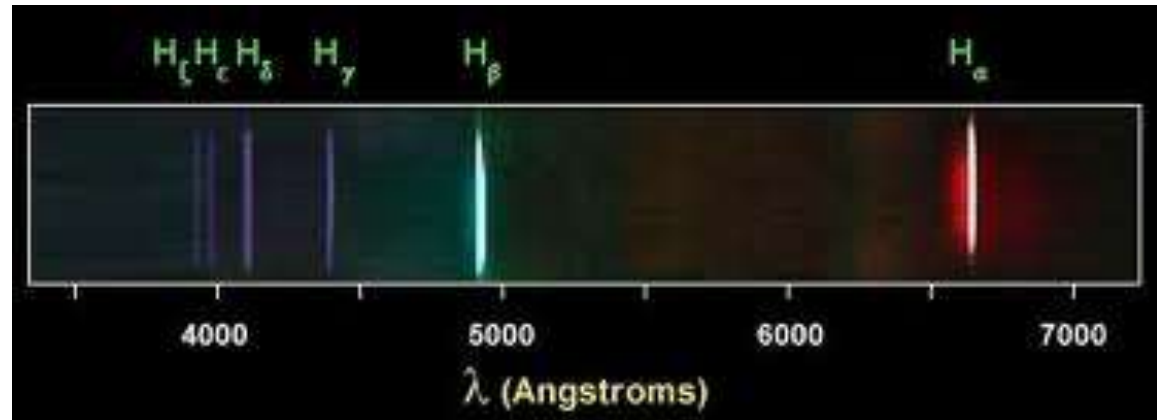
II) Les révolutions scientifiques, fin XIXe – début XXe



La recherche de relations numériques



Johann Jakob Balmer



$$\frac{9}{5} h$$

$$\frac{4}{3} h$$

$$\frac{25}{21} h$$

$$\frac{9}{8} h$$

$$\frac{9}{5} h$$

$$\frac{16}{12} h$$

$$\frac{25}{21} h$$

$$\frac{36}{32} h$$

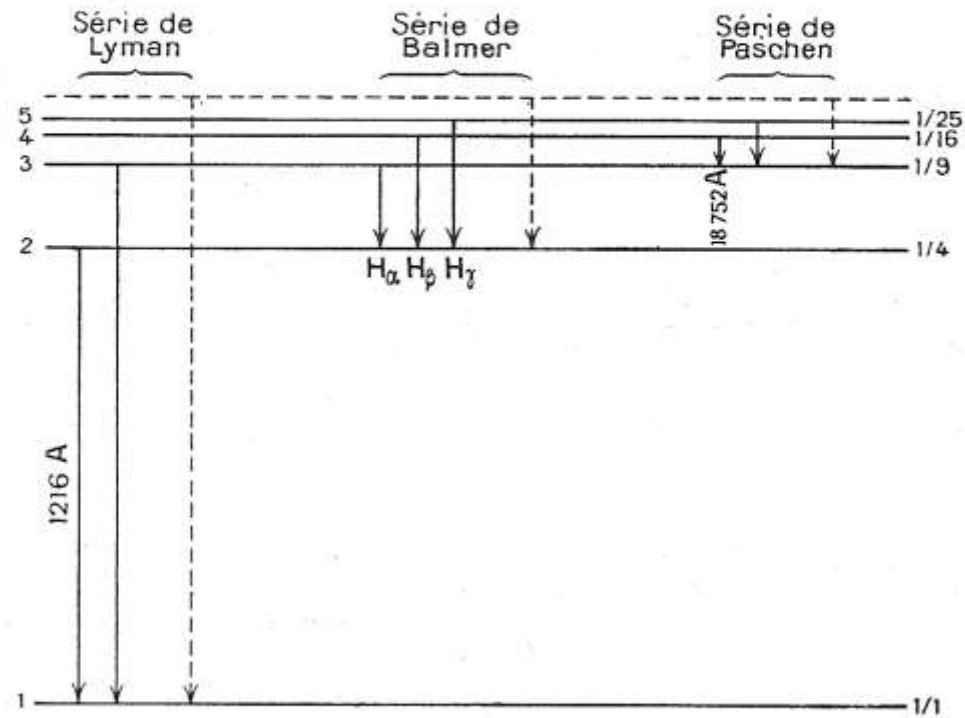
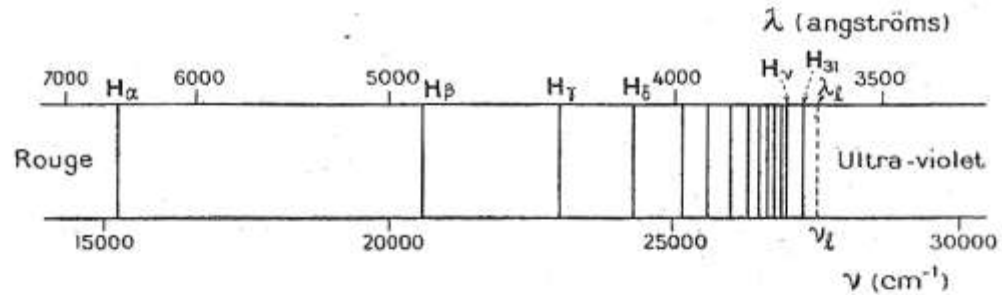
$$\lambda = h \cdot \frac{m^2}{(m^2 - 2^2)}$$

La recherche de relations numériques

$$\bar{\nu} = R_H \cdot \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2} \right) \text{ et } \bar{\nu}' = R_H \cdot \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right)$$

« Le but essentiel de la Spectroscopie est la détermination des termes spectraux et l'étude des règles suivant lesquelles ils peuvent être combinés »

La recherche de relations numériques



Vers une explication quantique des spectres



Pour la première fois, nous entrevoyons un moyen de pénétrer dans la constitution intime de l'atome. [...]

Chaque atome serait constitué, d'une part, par une ou plusieurs masses très fortement chargées d'électricité positive, sorte de soleils positifs dont la charge serait très supérieure à celle d'un corpuscule, et d'autre part, par une multitude de corpuscules, sorte de petites planètes négatives, l'ensemble de ces masses gravitant sous l'action des forces électriques, et la charge négative totale équivalant exactement à la charge positive totale, en sorte que l'atome soit électriquement neutre.

Les planètes négatives qui appartiennent à deux atomes différents sont identiques ; s'il arrivait que les soleils positifs fussent aussi identiques entre eux, la totalité de l'univers matériel serait formée par le groupement de deux espèces seulement d'éléments primordiaux, l'électricité positive et l'électricité négative.[...]

L'atome apparaît ainsi comme un tout gigantesque, dont la mécanique intérieure aurait pour base les lois fondamentales des actions électriques. Les durées de gravitation des différentes masses intérieures à l'atome correspondraient peut-être aux différentes longueurs d'onde des lumières que manifestent les raies du spectre d'émission.

PERRIN, J., « Les hypothèses moléculaires », *La Revue Scientifique*, 1901, tome 15, p.460.

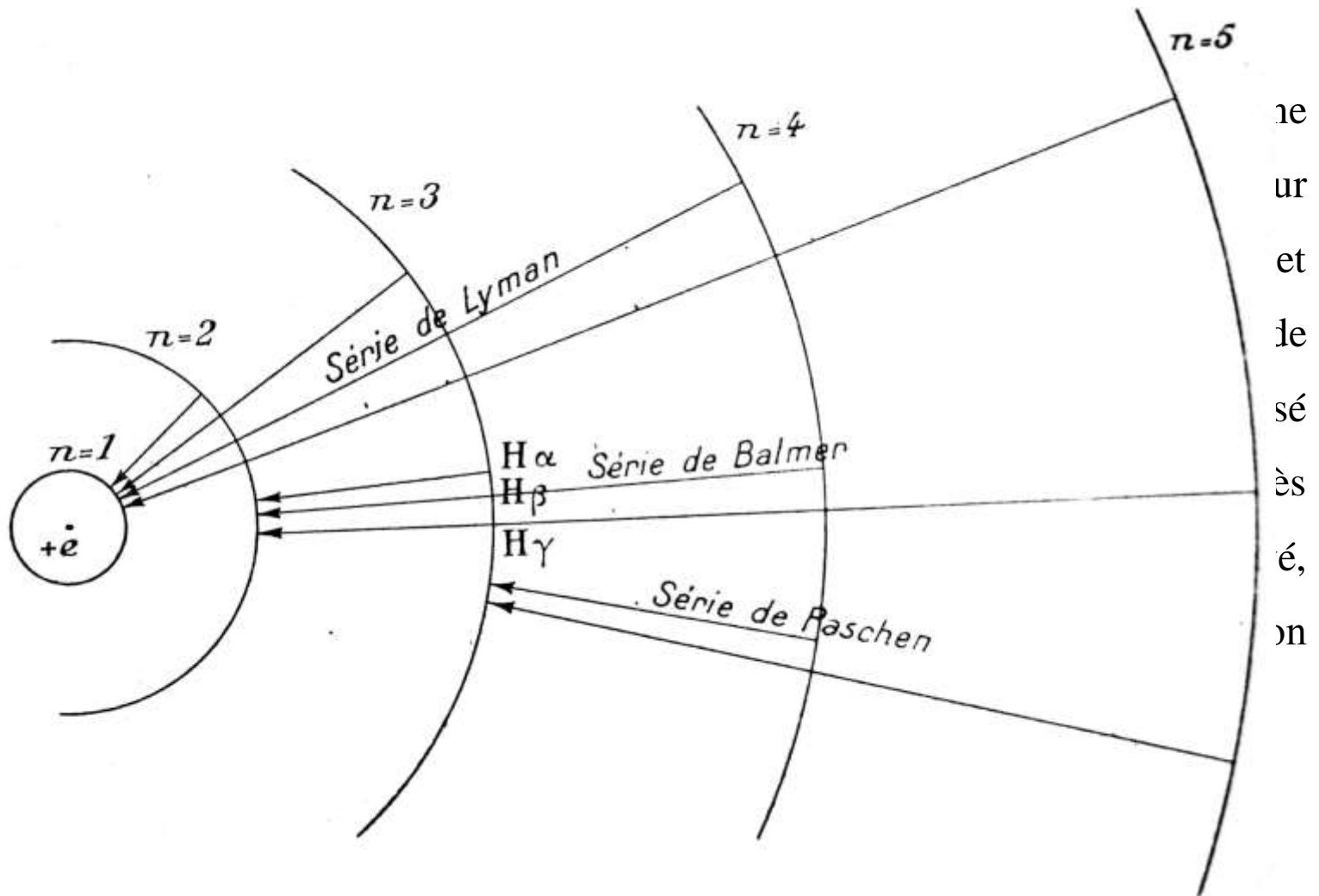
Vers une explication quantique des spectres

Modèle atomique de Bohr

1. Le mouvement de l'électron ne peut se faire que sur les orbites pour lesquelles le moment de la quantité de mouvement de l'électron est égal à un multiple entier de $\frac{h}{2\pi}$, où h est la constante de Planck.
2. Quand l'électron se meut sur des orbites possibles, satisfaisant à la relation ci-dessus, il n'émet pas de rayonnement.
3. Lorsqu'un électron passe d'une orbite possible à une autre plus proche du noyau, l'énergie perdue par l'atome est transformée en un quantum d'énergie rayonnante émise par l'atome en cet instant.

Vers une explication quantique des spectres

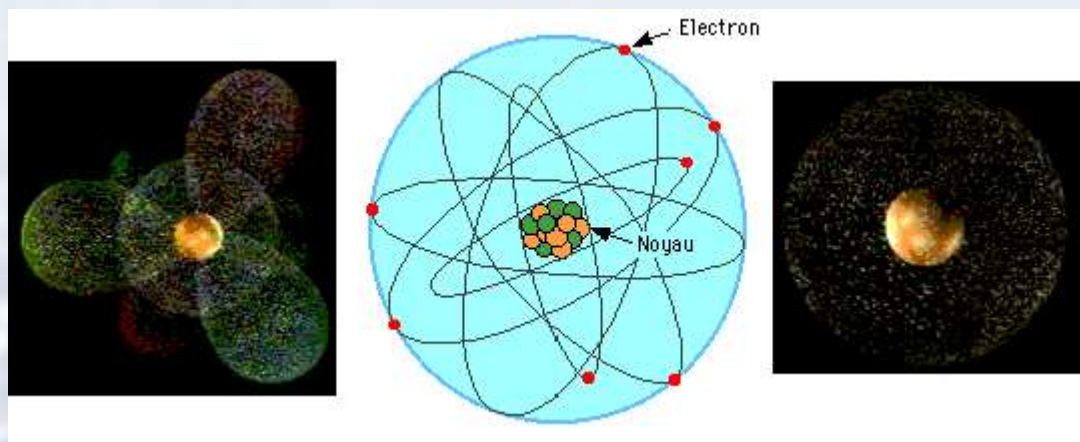
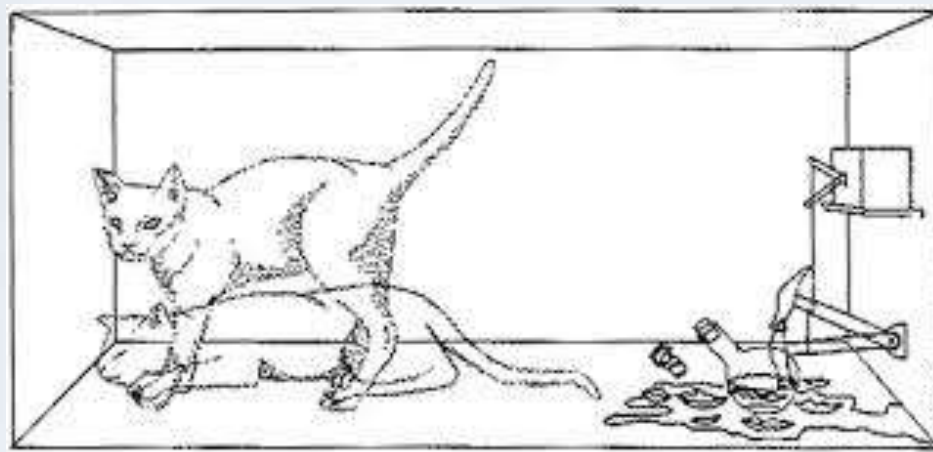
Modèle atomique de Bohr



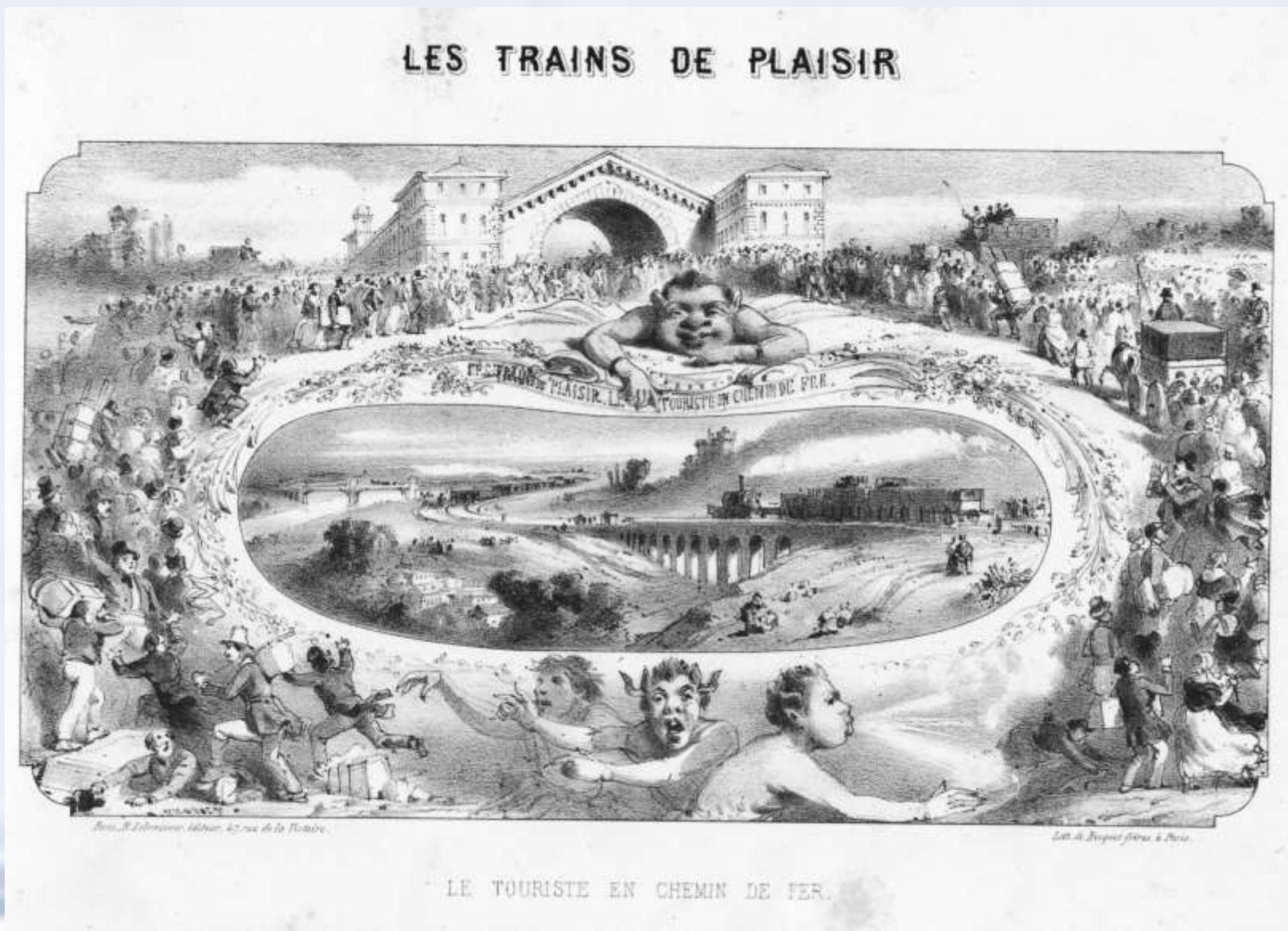
En
interp
explic
que le
manière
partie
forten
puis s
marqu
BLOC

le
ur
et
le
sé
ès
é,
on

II) Les révolutions scientifiques, fin XIXe – début XXe



II) Les révolutions scientifiques, fin XIXe – début Xxe : EINSTEIN ET LA RELATIVITE



II) Les révolutions scientifiques, fin XIXe – début XXe

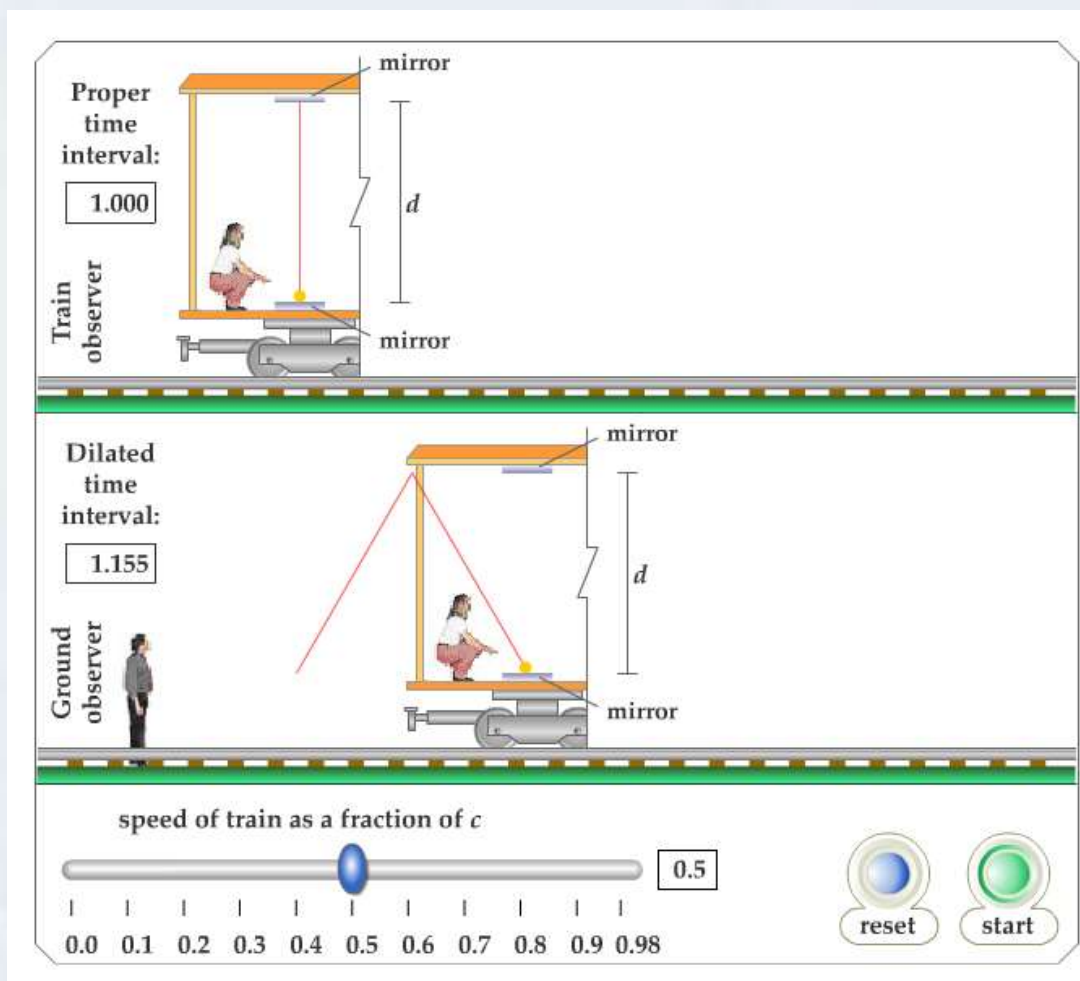
Pour les éviter, il faut distinguer le temps, l'espace, le lieu, & le mouvement, en *absolus & relatifs*, *vrais & apparens*, *mathématiques & vulgaires*.

I. Le temps absolu, vrai & mathématique, sans relation à rien d'extérieur, coule uniformément, & s'appelle *durée*. Le temps relatif, apparent & vulgaire, est cette mesure sensible & externe d'une partie de durée quelconque (égale ou inégale) prise du mouvement : telles sont les mesures d'*heures*, de *jours*, de *mois*, &c. dont on se sert ordinairement à la place du temps vrai.

II. L'espace absolu, sans relation aux choses externes, demeure toujours similaire & immobile.

L'espace relatif est cette mesure ou dimension mobile de l'espace absolu, laquelle tombe sous nos sens par sa relation aux corps, & que le vulgaire confond avec l'espace immobile. C'est ainsi, par exemple, qu'un espace, pris au dedans de la terre ou dans le ciel, est déterminé par la situation qu'il a à l'égard de la terre.

II) Les révolutions scientifiques, fin XIXe – début XXe



Jusqu'à présent notre réflexion avait en vue un corps de référence particulier, que nous désignons par la « voie ferrée ». Supposons un train très long se déplaçant sur cette dernière avec une vitesse constante v dans la direction indiquée sur la figure 1. Les voyageurs de ce train auront avantage de se servir du train comme corps de référence rigide (système de coordonnées) auquel ils rapporteront tous les événements. Tout événement qui a lieu le long de la voie ferrée a aussi lieu en un point déterminé du train. La définition de la simultanéité peut aussi être formulée exactement de la même façon par rapport au train que par rapport à la voie. La question suivante se pose ainsi tout naturellement :

Deux événements [...] qui sont simultanés *par rapport à la voie*, sont-ils aussi simultanés *par rapport au train* ? Nous montrerons tout à l'heure que la réponse doit être négative.

Albert Einstein, *La relativité*, Paris, Payot, 1956 [1905], p.34-35.



III) L'art-science d'Edgar Varèse (1883-1965)

IONISATION



III) L'art-science d'Edgar Varèse



« L'ordinateur est une invention merveilleuse qui semble presque surhumaine.[...]

Mais cet art nouveau en est encore à sa toute petite enfance: j'espère et je crois fermement, maintenant que les compositeurs et les physiciens travaillent enfin ensemble, que la musique est à nouveau liée au domaine des sciences, comme au Moyen Age, que des appareils nouveaux et musicalement plus efficaces seront inventés ».

Edgar Varèse, *Ecrits*, 1983, p.165 (1961)

III) L'art-science d'Edgar Varèse

III.1) Influences

Hoene Wronski (cite par ailleurs Durutte) : la musique est la
« corporification de l'intelligence qui est dans les sons. »

Helmholtz : voir après

Busoni : cf *Une nouvelle esthétique musicale*

Leonard de Vinci / Paul Valery : : figure de l'artiste ingénieur

III) L'art-science d'Edgar Varèse

Citation de P. Valery, par Varèse (ici telle quelle, un peu modifié par Varèse) :

Nos Beaux-Arts ont été institués, et leurs types comme leur usage fixés, dans un temps bien distinct du nôtre, par des hommes dont le pouvoir d'action sur les choses était insignifiant auprès de celui que nous possédons. Mais l'étonnant accroissement de nos moyens, la souplesse et la précision qu'ils atteignent, les idées et les habitudes qu'ils introduisent nous assurent de changements prochains et très profonds dans l'antique industrie du Beau. Il y a dans tous les arts une partie physique qui ne peut plus être regardée ni traitée comme naguère, qui ne peut pas être soustraite aux entreprises de la connaissance et de la puissance modernes. Ni la matière, ni l'espace, ni le temps ne sont depuis vingt ans ce qu'ils étaient depuis toujours. Il faut s'attendre que de si grandes nouveautés transforment toute la technique des arts, agissent par là sur l'invention elle-même, aillent peut-être jusqu'à modifier merveilleusement la notion même de l'art.

III) L'art-science d'Edgar Varèse

« De nos jours, la musique en est au point mort parce qu'elle n'est pas en contact avec le monde actuel. Les deux raisons profondes en sont d'une part la commercialisation de la musique qui privilégie les interprètes, et d'autre part la tendance qu'ont les musiciens à rester accrochés au passé. Il faut en outre comprendre que la musique est à la fois une science et un art, qu'elle s'ouvre sur des horizons nouveaux...[...]

Le public devrait secouer cette indifférence et se laisser aller à apprivoiser la vraie nature de la musique. Pour l'appréhender, l'auditeur doit se soumettre au phénomène physique... La musique est à la fois un art et une science.

Paul Valéry met l'accent sur le fait que les transformations actuelles dans le domaine des arts sont plus inévitables que jamais (...). Nos instruments et notre écriture doivent être modifiés pour satisfaire les nouvelles exigences d'un art qui se métamorphose dans un monde lui-même en mutation.[...]

Avec des instruments (électroniques), il sera possible de se libérer du système tempéré pour obtenir toutes les fréquences et toutes les subdivisions de l'octave, pour obtenir un élargissement du registre tonal qui atteignent les limites de la perception humaine, de nouvelles applications harmoniques des sons obtenus, de nouvelles couleurs et de nouvelles dynamiques. L'interprète va disparaître et il n'y aura plus alors de prisme déformant entre le compositeur et l'auditeur. »

Varèse, *Ecrits* (1949)

III) L'art-science d'Edgar Varèse

Quand la circonstance me fît considérer le Vinci, je vis en lui le type de ce travail si conscient que l'art et la science y sont inextricablement mêlés, l'exemplaire d'un système d'art fondé sur l'analyse générale et toujours soucieux, quand il fait œuvre particulière, de ne la composer que d'éléments vérifiables.

L'analyse de Leonard le conduit à étendre son désir de peindre à la curiosité de tous les phénomènes, même non visuels, aucun ne lui semblant indifférent à l'art de peindre, comme celui-ci lui semblait précieux pour la connaissance en général.

Cette réciprocité remarquable entre la fabrication et le savoir, par quoi la première est garantie du second, est caractéristique de Léonard, s'oppose à la science purement verbale, et a fini par dominer dans l'ère actuelle, au grand détriment de la philosophie qui apparaît chose incomplète.

Paul Valéry, *Léonard et les philosophes*, 1929.



Hommage à Léonard de Vinci, « Non si volta chi a stella è fisso », sans date. Photo : Dominique Nabokov.

III) L'art-science d'Edgar Varèse

A 5h30 conférence d'Einstein.

Je suis intéressé vers la fin – Il se montre en grand artiste et c'est le seul *artiste* au milieu de tous ces savants –

Il développe son incertitude et sa FOI fondée sur l'architecture (ou beauté) des formes.

Ceci me touche infiniment – Einstein peut procéder comme j'aurais voulu procéder – par voie des *formes*. [...]

Paul Valéry, *Cahiers, tome 2*, Paris, Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, 1974 (1929)



Hommage à Léonard de Vinci, « Non si volta chi a stella è fisso », sans date. Photo : Dominique Nabokov.

III) L'art-science d'Edgar Varèse

Léonard possède comme aucun autre artiste le sentiment des formes naturelles.

Il est l'ange de la morphologie.

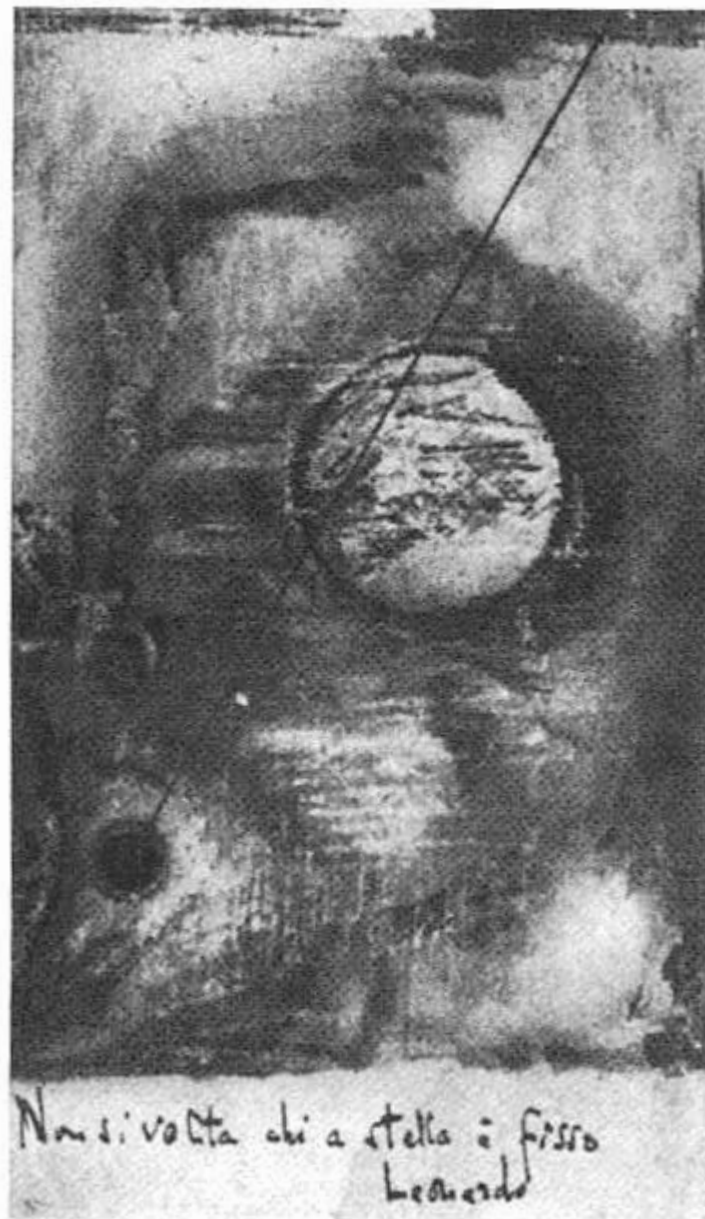
Cartilages du larynx, fleurs, roches, draperies, sont traitées par lui, avec une égalité de vue – et cette vue toujours assistée d'une volonté de comprendre – d'être fidèle et abstrait tellement que ses dessins sont desseins et doivent le laisser ayant saisi quelque chose. On dirait qu'il perçoit en dessinant les forces formatives.

C'est ce qui donne à ses figures de fantaisie cet aspect de produits de synthèse, et en lui paraissent pour la 1ère fois et sous les espèces d'œuvre d'art, les caractères de cette puissance dans l'artificiel qui a triomphé depuis – dans l'industrie.

Or nous avons au contraire délaissé dans l'art ce mode de possession.

User des formes.

Paul Valéry, *Cahiers, tome 2*



Hommage à Léonard de Vinci, « Non si volta chi a stella è fisso », sans date. Photo : Dominique Nabokov.

III) L'art-science d'Edgar Varèse

III.2) La technologie, l'évolution instrumentale et l'évolution du contexte sonore

« Mais je tiens à dire que je suis particulièrement reconnaissant à l'électronique pour trois apports indispensables qui ont permis la réalisation de mes idées : elle a libéré la musique du système tempéré, elle a enrichi la musique de nouveaux sons, et elle a rendu possible la simultanéité d'éléments n'ayant aucun rapport entre eux. »

(Varèse, *Ecrits*, p.175)

(cf Valéry : « l'incohérence est le moyen de l'imagination »)

III) L'art-science d'Edgar Varèse : quelle méthodologie ? Quelle épistémologie ?

« Parmi les nombreux pouvoirs dont l'électronique enrichit la composition musicale, la simultanéité métrique, du moins en ce qui me concerne, est l'un des plus précieux. Et comme ma musique s'appuie principalement sur le mouvement de masses sonores sans rapport entre elles, j'avais depuis toujours ressenti le besoin de les déplacer simultanément à des vitesses différentes et j'en escomptais l'effet. Or une telle chose est désormais possible. Le dispositif électronique très complexe du pavillon Philips à l'exposition de Bruxelles l'a démontré de façon éclatante. Le pavillon était l'œuvre de Le Corbusier et le dispositif, conçu par la société hollandaise, assurait une projection spatiale multiple de ma musique.[...] La machine ne rend que ce que l'on veut bien y mettre. Les principes sont les mêmes, qu'un musicien écrive pour l'orchestre ou pour la bande magnétique. Les problèmes les plus difficiles demeurent : le rythme et la forme. Ce sont aussi les deux éléments de la musique que l'on comprend le plus mal. »

Varèse, *Ecrits*, Christian Editeur, Paris, 1983, p.157.

III) L'art-science d'Edgar Varèse : filiation Helmholtz - Varèse

1. Masse sonore

Expression déjà employée chez Helmholtz :

« Nous avons à démontrer maintenant que la présence , dans une masse sonore, de certains sons élémentaires simples, détermine dans le monde extérieur, des actions mécaniques particulières, indépendantes de l'oreille et de ses sensations, indépendantes de toute considération théorique, et qui donnent, par conséquent, à la décomposition en vibrations pendulaires, une signification réelle, *objective*. »

(Helmholtz, *TPM*, p.48)

III) L'art-science d'Edgar Varèse : filiation Helmholtz - Varèse

« Vous serez conscient des transmutations des masses en mouvement quand elles traverseront différentes couches, quand elles pénétreront certaines opacités, ou quand elles seront dilatées dans certaines raréfactions. En outre, le nouveau dispositif musical que j'envisage sera capable d'émettre des sons à n'importe quelle fréquence, et élargira les limites des registres les plus graves et les plus aigus, d'où naîtront de nouvelles organisations de résultantes verticales : les accords, leurs agencements, leurs espacements – c'est-à-dire leur oxygénation. Non seulement les possibilités des harmoniques seront révélées dans toute leur splendeur, mais l'utilisation de certaines interférences créées par les partielles seront des accords appréciables. On pourra s'attendre également à utiliser l'impensé radical des résultantes inférieures et des sons différentiels et additionnels. Une féerie entièrement nouvelles de sons ! » (Varèse, *Ecrits*, p.92)

III) L'art-science d'Edgar Varèse

2. Projection sonore :

Influence des sirènes de Helmholtz.

« La musique est le plus abstrait de tous les arts et en même temps le plus physique. La musique s'apparente à deux choses : les étoiles et le vin. Trois principes sont à la base de toute composition : l'inertie, la force et le rythme, avec toutes les contradictions que ceux-ci renferment.

Les gens confondent la mélodie et l'air quand ils sont en présence d'une masse sonore. Dans mes propres œuvres, ces masses organisées de sons évoluent les unes contre les autres, modifiant ainsi leur rayonnement et leur volume sonore. Je recherche, dans la projection du son, la qualité d'une troisième dimension dans laquelle les rayonnements sonores ressemblent aux rayons de lumière balayés par un projecteur...un prolongement, un voyage dans l'espace. » (Varèse, *Ecrits*, p.89 (1936))

III) L'art-science d'Edgar Varèse

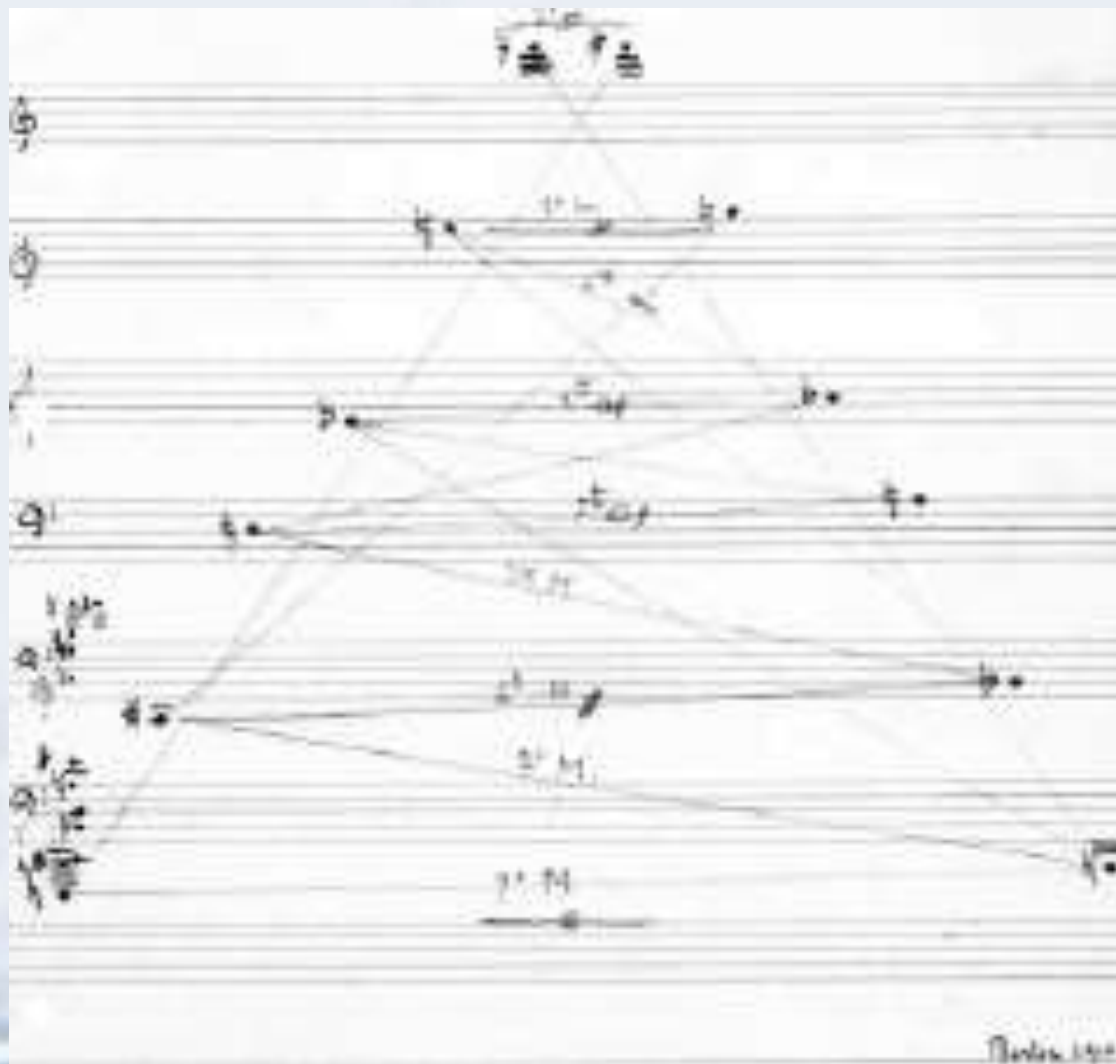
2. Projection sonore :

Influence des sirènes de Helmholtz.

« La musique aujourd'hui, connaît trois dimensions : une horizontale, une verticale, et un mouvement de croissance et de décroissance. Je pourrais en ajouter une quatrième, la projection sonore (cette impression que le son nous quitte avec l'idée qu'il ne reviendra pas, une impression qui ressemble à ce qui émerge des rayons lumineux émis par un puissant projecteur) : un sentiment de projection, de voyage dans l'espace, pour l'oreille comme pour l'œil. » (Varèse, *Ecrits*, p.91 (1967))

III) L'art-science d'Edgar Varèse

3. Organisation de la dissonance



III) L'art-science d'Edgar Varèse

Conclusion : une nouvelle définition la musique : la notion de son organisé

« Comme le terme de « musique » me paraît avoir perdu de plus en plus sa signification, je préférerais employer l'expression de « son organisé » et éviter la question monotone : « Mais est-ce de la musique ? ». « Son organisé » semble mieux souligner le double aspect de la musique, à la fois art et science, alors que les récentes découvertes de laboratoire nous permettent d'espérer une libération inconditionnelle de la musique, en même temps que la possibilité pour ma musique de s'exprimer et de satisfaire ses exigences. » (Varèse, *Ecrits*, p.56)

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis

« En fin de compte, le lieu véritable par où Xenakis se singularisait était dû, le plus sûrement, à la vision d'architecte qui était la sienne. En conclusion de son petit essai [La crise de la musique sérielle, 1955], il évoquait son vrai modèle, Varèse, et aussi plus curieusement le jazz, dont pourtant il ne s'est guère approché. Mais il est vrai que les jeux de volumes et les masses de timbre, qui donnent à l'œuvre de Varèse son style dominant, ne pouvaient que séduire l'architecte Xenakis [...] »

Célestin Deliège, *Cinquante ans de modernité de musicale*, Editions Mardaga, 2011, p.197.

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis

« En fait, un des objectifs de la poïétique xénakienne fut de donner un véritable contenu conceptuel à la notion d' « art-science » forgée dans les années trente par Edgar Varèse qui l'employait essentiellement en un sens métaphorique. Dans le projet xenakien, l'articulation entre sciences et art est plus précisément définie : il crée en effet des structures musicales inédites en appliquant à des éléments tels que les hauteurs, les durées, etc. des lois qui régissent des phénomènes sonores qu'il a vécu (crissement de milliers de cigales, bruits de combat de rue), ou simplement des phénomènes physiques tels que la diminution de la radioactivité d'un corps ou l'agitation des molécules d'un gaz. »

Anne-Sylvie Barthel-Calvet, « Le Temps dans l'Art-Science Xenakien », *Publication électronique des actes des 1ères rencontres internationales « Arts. Sciences et technologies »*, 22.23.24 novembre 2000.

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis

« D'autres courants se fortifièrent dont le principal est celui de l'exploration systématique des êtres sonores, d'instruments nouveaux, des « bruits ». Varèse en était le pionnier et les musiques électromagnétiques les bénéficiaires (la musique électronique étant une succursale de la musique instrumentale). Pourtant dans les musiques électromagnétiques les problèmes de construction et de morphologie n'étaient pas consciemment posés. »

Xenakis, *Musiques Formelles*, Chapitre I, p.18

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis (1922-2001)



- 29 mai : naissance à Braïla, en Roumanie, de Iannis Xenakis
- 1940 : entre à l'Ecole Polytechnique d'Athènes
- 1941 : s'engage dans la Résistance
- 1946 : diplômé de l'EP d'Athènes
- Réfugié politique en France en 1947
- travaille d'abord comme ingénieur chez Le Corbusier (couvent de la Tourette (1957), pavillon Philips (1958))
- Soutenu par Olivier Messiaen
- synthétise musique, architecture et mathématiques afin de créer une musique nouvelle constituée de masses sonores construites grâce aux mathématiques ; Métastasis (1954), Nomos Alpha (1966), XAS (1987)
- Polytopes, spectacles de sons et de lumières qui marqueront son époque (Montréal, Persépolis, Cluny, Diatope...).

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la notion de Temps

« C'est pourquoi son auteur s'est préoccupé de fabriquer une certaine imitation mobile de l'éternité et, tout en organisant le Ciel, il a fait, de l'éternité immobile et une, cette image éternelle qui progresse suivant la loi des Nombres, cette chose que nous appelons le Temps. »

Platon, *Timée*

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la notion de Temps

« le véritable élément de la description spatio-temporelle est l'événement qui est décrit dans l'espace et dans le temps par les quatre nombres x_1, x_2, x_3, t . [...] En abandonnant l'hypothèse du temps absolu [...] l'aspect quadri-dimensionnel de l'espace-temps s'impose immédiatement. Ce n'est pas le point spatial où quelque chose se passe, ce n'est pas le moment du temps où quelque chose arrive qui a une réalité physique, mais seulement l'événement même. »

Einstein, *Quatre conférences sur la Théorie de la Relativité faites à l'Université de Princeton (mai 1921)*, Paris, Gauthier-Villars, 1964, p.27

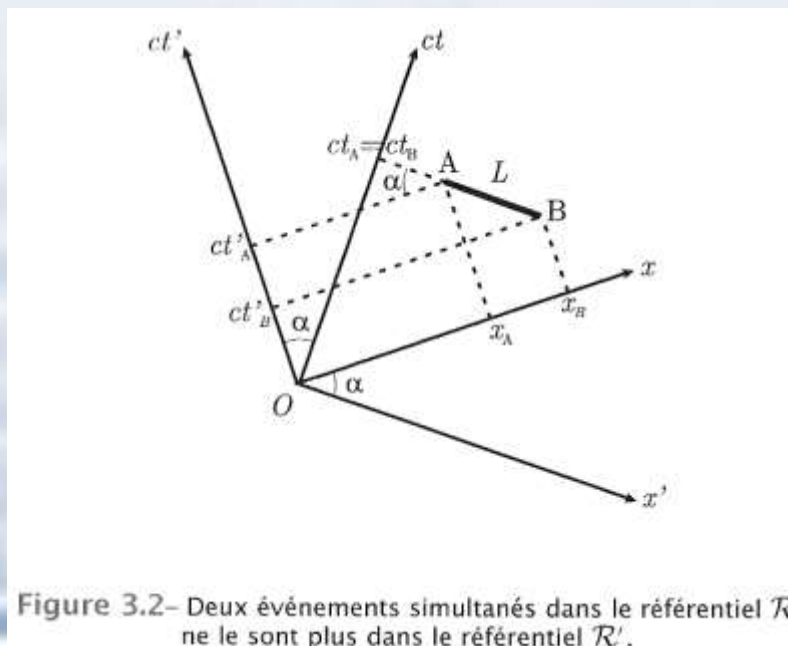


Figure 3.2- Deux événements simultanés dans le référentiel \mathcal{R} ne le sont plus dans le référentiel \mathcal{R}' .

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la notion de Temps

De l'événement sonore au Temps :

Postulat. — Nous nous refuserons systématiquement un jugement de qualité sur tout événement sonore; ce qui comptera, seront les relations abstraites à l'intérieur de l'événement ou entre plusieurs événements et les opérations logiques que l'on pourra leur infliger. A ce titre, son émission est une sorte d'énoncé, d'écriture, une sorte de symbole sonore que l'on peut, à son tour, noter graphiquement par une lettre, a.

S'il est émis une fois, ceci ne signifie pas autre chose qu'une existence unique apparue et disparue : nous avons a.

S'il est émis plusieurs fois de suite, on compare les événements et l'on conclut qu'ils sont *identiques*, c'est tout. L'identité, la tautologie est donc impliquée par une répétition. Mais simultanément un autre phénomène sous-jacent est créé en raison de cette répétition même, c'est la *modulation du temps*. Si cet événement était un son de Morse, les abscisses temporelles prendraient un sens externe au son et indépendant de lui. Donc, en plus de la déduction de la tautologie, la répétition fait apparaître un phénomène nouveau inscrit dans le temps et qui le module.

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la notion de Temps

Temps lexicographique / Temps métrique

En-Temps / Hors-Temps

« Avec l'exposé de cette catégorisation dichotomique, Xenakis quitte le terrain de la pure *poïétique* et vise à l'élaboration d'une véritable *théorie*, susceptible de rendre compte d'œuvres du passé ou de musiques d'autres civilisations ; dès les premiers textes portant sur cette catégorisation, il insiste sur sa portée universelle en mettant en évidence les structures hors-temps des échelles des musiques grecque antique et byzantine. »

Anne-Sylvie Barthel-Calvet, « Le Temps dans l'Art-Science Xenakien », *Publication électronique des actes des 1ères rencontres internationales « Arts. Sciences et technologies »*, 22.23.24 novembre 2000

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la notion de Temps

Temps lexicographique / Temps métrique

En-Temps / Hors-Temps

Non-commutatif / Commutatif

Expérience perceptuelle / expérience conceptuelle

« une quinte est un rapport de fréquences qui, prises soit simultanément sous forme d'accord, soit mélodiquement sous forme de mélodie, donnent toujours une quinte. Donc l'intervalle mélodique est en effet un caractère indépendant du temps. »

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la musique stochastique ou utilisation des probabilités



J.C. Maxwell
(1831-1879)

La chaleur : leçons élémentaires sur la thermométrie, la calorimétrie, la thermodynamique et la dissipation de l'énergie

THÉORIE MOLÉCULAIRE DU RAYONNEMENT.

Les phénomènes déjà décrits sous ce titre s'expliquent, dans la théorie moléculaire, par le mouvement d'agitation des molécules, mouvement qui est extrêmement irrégulier. Les intervalles entre les rencontres successives, et les vitesses des molécules pendant les trajectoires libres ne sont soumis à aucune loi définie. Le mouvement intérieur d'une seule molécule est d'une espèce toute différente : si les parties de la molécule sont susceptibles d'un mouvement relatif qui n'entraînent pas la séparation de ces parties, ce mouvement relatif devra consister en quelque espèce de vibration ; mais les petites vibrations d'un système solidaire peuvent être décomposées en un certain nombre de vibrations simples, dont la loi est semblable à celle du mouvement pendulaire. Or, il est probable que dans les gaz, de telles vibrations s'exécutent en grand nombre entre deux rencontres successives.

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la musique stochastique ou utilisation des probabilités

$$f(v) = \frac{2}{t\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{v^2}}$$

Application en musique :

vitesse d'un son = $\frac{\text{grandeur d'un intervalle}}{\text{temps mis par un instrument pour parcourir cet intervalle}}$

Handwritten musical score for strings, showing multiple staves with complex notation and dynamics. The score is dense with notes and markings, including dynamic markings like *mf* and *ff*.

Ecriture graphique:

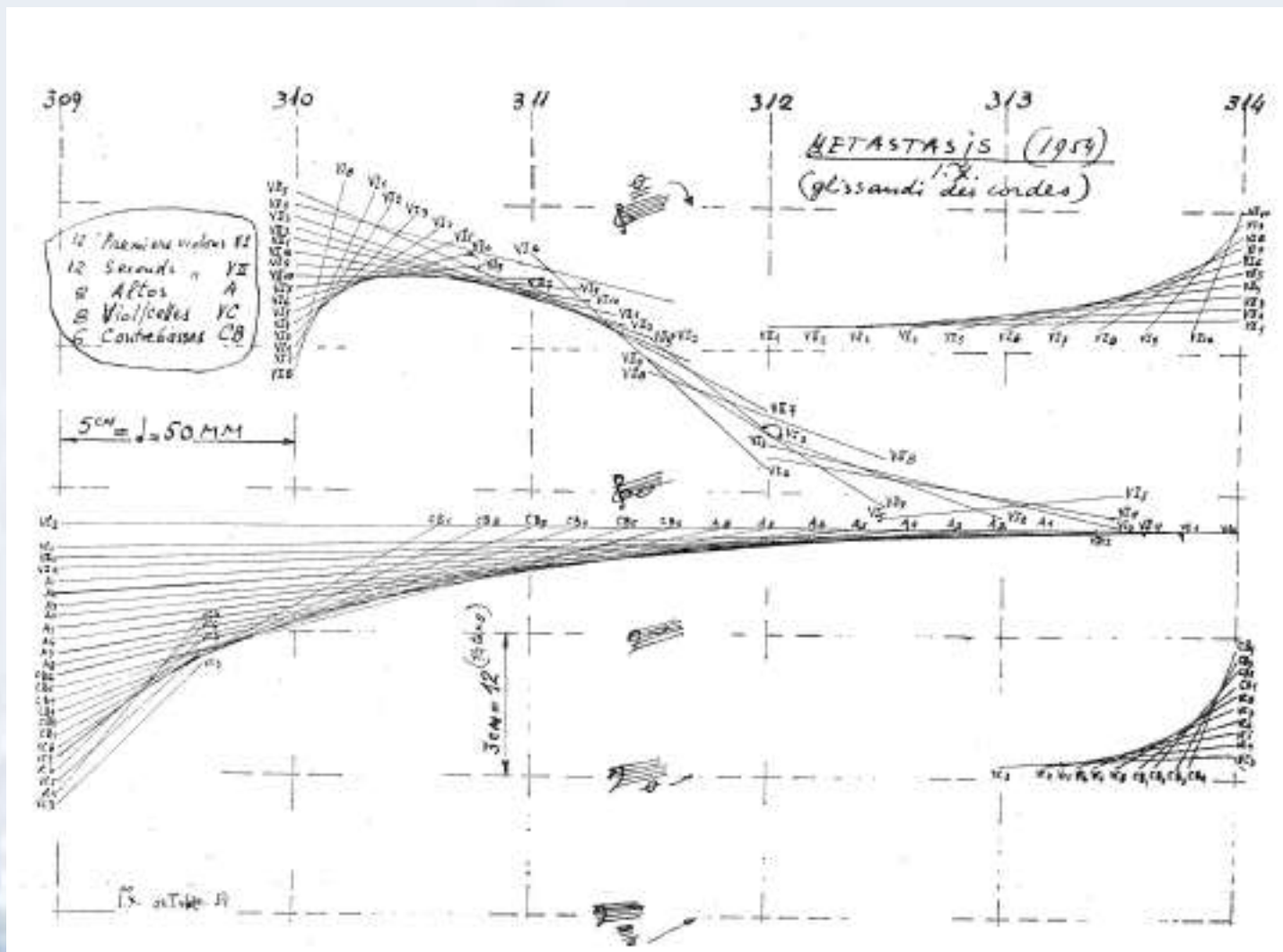


Résultat sonore:

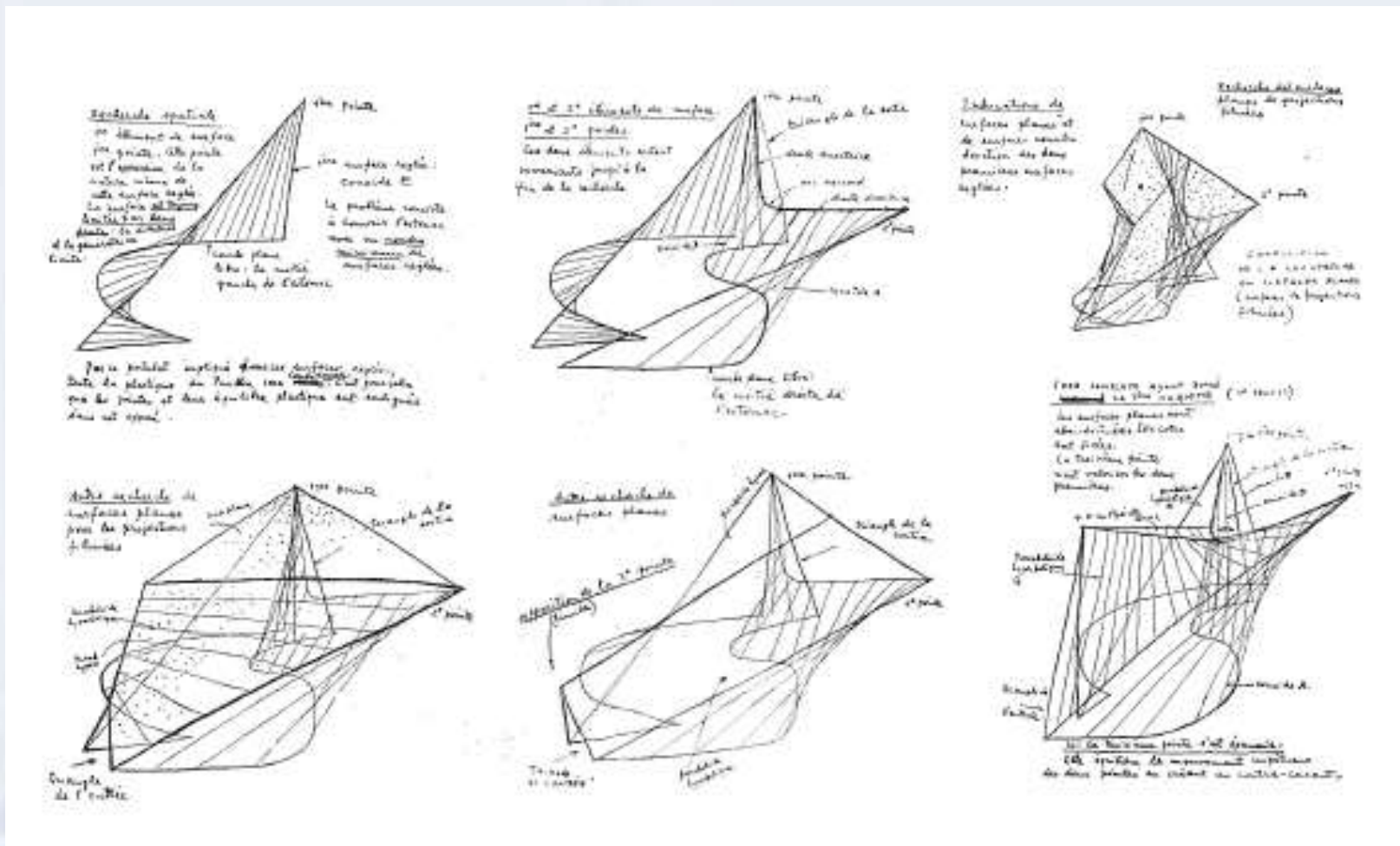
Musical staff showing a note with a fermata and a dynamic marking "p".

Musical staff showing a note with a fermata.

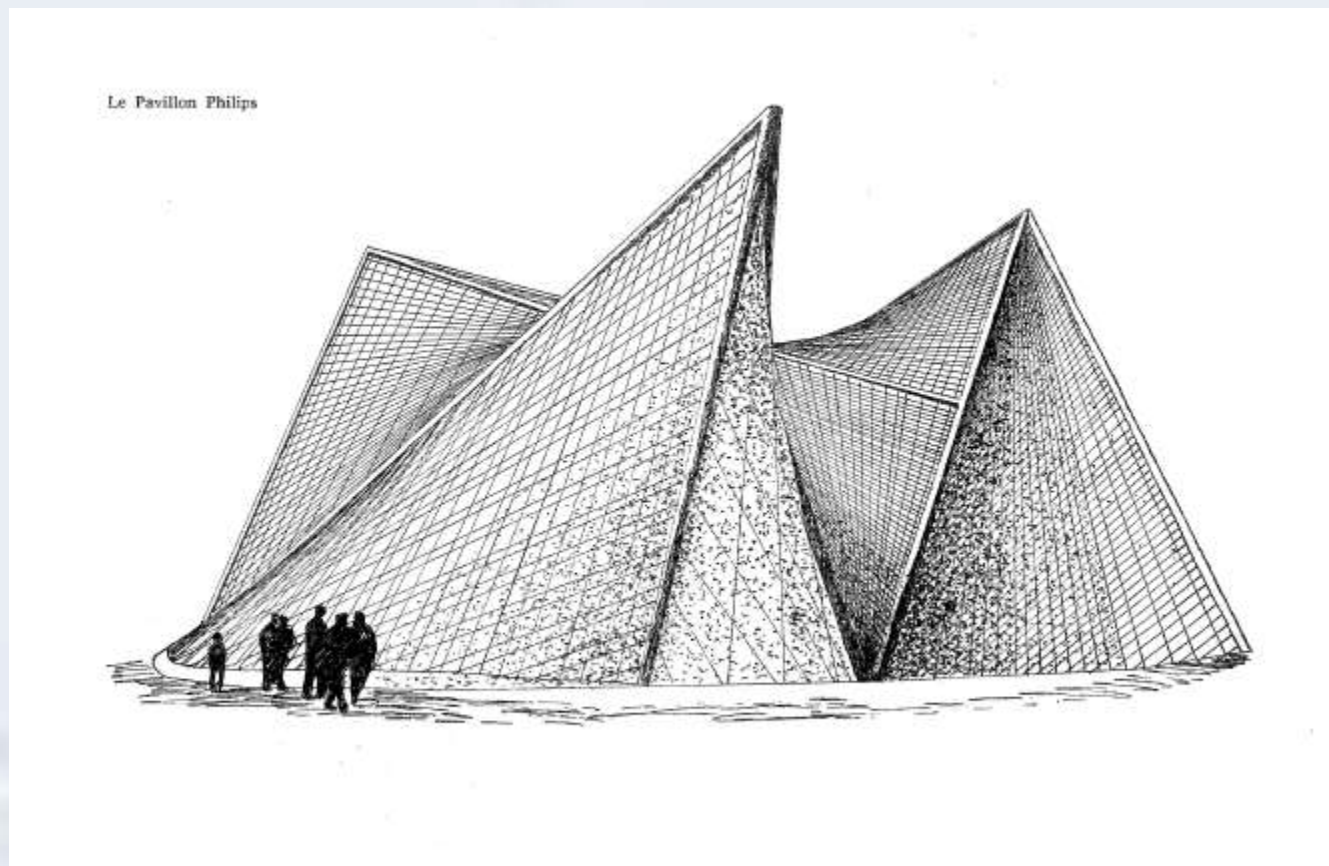
IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la musique stochastique ou utilisation des probabilités



IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la musique stochastique ou utilisation des probabilités



IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la musique stochastique ou utilisation des probabilités



IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la musique stochastique ou utilisation des probabilités

Ici, nous touchons du doigt un des grands problèmes qui ont hanté l'intelligence depuis l'antiquité : la transformation continue ou discontinue. Les sophismes du mouvement (Achille et la tortue), celui de la définition (calvitie), sont, notamment le dernier, résolus par la définition statistique, c'est-à-dire par la stochastique. Or on peut engendrer la continuité soit à l'aide d'éléments continus, soit à l'aide d'éléments discontinus. Une foule de glissandi courts de cordes peut donner l'impression du continu, et une foule d'événements pizzicati le peut également. Les passages d'un état discontinu à un état continu sont réglables à l'aide de la stochastique. J'ai fait toutes ces expériences passionnantes dans des œuvres instrumentales depuis longtemps déjà. Mais le caractère mathématique de ces musiques a effarouché les musiciens et en a rendu l'approche particulièrement difficile.

IV) Les « alliages » de Iannis Xenakis : la musique stochastique ou utilisation des probabilités

HYPOTHÈSE DE BASE (Lemme) ET DÉFINITIONS [19].

TOUT son est une intégration de grains, de particules élémentaires sonores, de quanta sonores. Chacun de ces grains élémentaires a une triple nature : la durée, la fréquence et l'intensité *. Tout son, toute variation sonore même continue est conçue comme un assemblage de grains élémentaires suffisamment nombreux et disposés dans le temps d'une façon adéquate. Donc : tout complexe sonore est analysable en séries de sons purs sinusoïdaux même si les variations de ces sons sinusoïdaux sont infiniment rapprochées, brèves et complexes. Dans l'attaque d'un son complexe, dans son corps, dans sa chute, des milliers de sons purs apparaissent dans un intervalle de temps Δt assez court. Des hécatombes de sons purs sont nécessaires à la création d'un son complexe. Il faudrait imaginer un son complexe comme un feu d'artifice de toutes couleurs dans lequel chaque point lumineux apparaîtrait et disparaîtrait instantanément sur le ciel noir. Mais dans ce feu il y aurait tellement de points lumineux et ils y seraient ainsi organisés que leur succession rapide et fourmillante créerait des formes, des volutes à déroulement lent ou au contraire des explosions brèves incendiaires de tout le ciel. Une ligne lumineuse serait constituée par une multitude suffisante de points apparaissant et disparaissant instantanément.

Loin de rapprocher l'art et la science, notre analyse conduit donc à les séparer profondément, surtout pour des raisons génétiques. Dans l'art, le donné est représenté par des états intérieurs, réalisés ou possibles respectivement, dans le créateur et le spectateur. C'est alors l'univers continu qu'il s'agit d'adapter à ces existants discontinus, en en isolant certaines portions, et en les modifiant par le travail jusqu'à obtenir une correspondance satisfaisante. [...] Dans la science, c'est l'univers continu qui est donné et qu'il s'agit de représenter au mieux par les idées discontinues que nous sommes capables de constituer en nous – en rendant celles-ci de plus en plus complexes et particularisées pour que leurs relations entre elles se rapprochent le plus possible de celle des éléments correspondant de l'univers entre eux.

Pierre Auger, *L'Homme microscopique*, Paris, Flammarion, 1966, p.141.

Prenons un cas précis, celui d'une molécule complexe dont la formule a été imaginée et calculée sur le papier, d'après les règles connues de l'affinité et de la stabilité chimique. Elle n'a jamais été rencontrée dans la nature ni dans les laboratoires, mais elle est « possible » si certaines circonstances sont réunies. Le chercheur heureux y parvient et la molécule apparaît, étant devenue « probable », puis « réelle ». Les chimistes n'ont d'ailleurs pas le monopole de ces Formes contingentes car de leur côté les physiciens ont imaginé le positronium, les atomes mésoniques ou l'anti-matière : toutes ces Formes possibles, prévues théoriquement, sont (ou seront bientôt) réalisées. Devons-nous aller plus loin et rechercher, derrière ces trois niveaux d'existence, des Formes encore plus lointaines et plus obscures, des Formes impossibles ? Mais sans doute ce niveau représente-t-il alors enfin, comme celui qui serait composé des êtres mathématiques à nature contradictoire, le véritable néant des Formes.

Ibid., p.188.

Et c'est sans doute une démarche parallèle que l'artiste crée son œuvre. Ce qu'il réalise constitue en fait une suite d'étapes concrètes, résultats de décisions et d'actions partielles, basées elles-mêmes sur des idées qui forment une chaîne microfinaliste. Il a un but, pourtant, une intention, une nostalgie de l'œuvre à créer. Cette idée-force qui le guide, c'est une de ces idées imprécises encore qui naissent des libres rencontres et des mariages secrets – heureux ou malheureux – qui se font au sein du peuple des Formes de notre monde intérieur. Il en a choisi une qui brillait parmi ses compagnes, il a arrêté au passage un groupe séduisant – jouant du privilège du bon plaisir que lui confère sa qualité d'individu. Cette élection faite, le reste est littérature, car il faudra bien toute la série laborieuse des décisions techniques avant que l'œuvre finale ne projette dans le monde extérieur une Forme qui possède à la fois les charmes spontanés et profonds de l'idée originale et la structure intégrée qui en fait un objet humain.

Ibid., p.194-195.

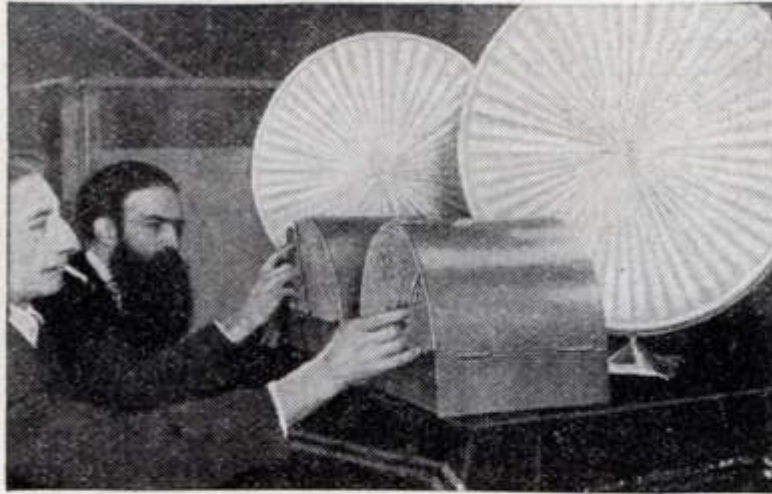
François NICOLAS, Entretemps, n°6, février 1988 – Dossier Iannis Xenakis

Disponible ici : <http://www.entretemps.asso.fr/Nicolas/TextesNic/Xenakis.html>

p.8

« La vision de l'histoire musicale que propose Xenakis est particulièrement dérisoire ; quelques rares noms circulent sans qu'on ait jamais l'acuité d'une sensibilité musicale. Lorsque Xenakis s'avance à émettre un jugement sur une oeuvre ou un compositeur, on touche à la caricature ; quand il parle de la Fugue, c'est pour déclarer sans ambages qu'elle est « un automate » ce que même une fugue d'école n'est pas, sans parler bien sûr des fugues de J.-S. Bach toutes entièrement singulières et au parcours original ; quand Xenakis écrit : « le Boléro de Ravel dont l'unique variation est la dynamique », on se demande s'il lisait une réduction pour piano de cette oeuvre ou s'il l'écoutait dans une transcription pour accordéon ; quand il écrit ailleurs : « Schoenberg n'avait aucune raison, en dehors d'une ignorance relative à son temps et à son éducation de musicien, de réintroduire un ordre temporel dans les douze sons », on se prend à penser que l'ignorant pourrait être celui qui siège fièrement en une Académie qui n'est peut-être plus ce temple du Savoir qu'elle se prétend toujours être. S'il est exact, selon Lacan, qu'une vérité se donne en « trou dans le savoir », si une vérité se mesure donc aux positions constituées du savoir qu'elle met en défaillance, encore faut-il admettre qu'éviter un savoir n'est pas l'ignorer. »

Odd Device Makes Music From Air



Rene Bertrand, French engineer, operating his new instrument which, he claims, produces music through electrical transcription through the air.

A FRENCH engineer, Rene Bertrand, has developed an instrument which, he claims, will produce music through electrical transcription from the air. How the apparatus operates has not been divulged by the promoters, save for the information that it is far superior to the instrument devised by the Russian scientist, Prof. Theramin. Tone and volume of the music is controlled by the dials on the two cabinets, while the sounds issue from the two large speakers.