
Bulletin de l'Union des Physiciens

Association des professeurs de Physique et de Chimie

L'histoire des synthétiseurs de musique : plus d'un siècle d'évolutions technologiques

par Thierry ROCHEBOIS
Institut d'Électronique Fondamentale URA22
UPS - Bât 220
91405 Orsay Cedex
et Daniel BEAUFILS
Institut National de Recherche Pédagogique
Département Technologies Nouvelles
91, rue Gabriel Péri - 92120 Montrouge

RÉSUMÉ

Les nouveaux programmes de physique des classes de lycée ont fait apparaître, directement ou indirectement, plusieurs rubriques qui conduisent à s'intéresser aux synthétiseurs : d'une part par la référence générale aux technologies modernes et par leur mention explicite dans la partie acoustique musicale de la classe de seconde, mais également à travers les contenus de spécialité de terminale scientifique. Parce qu'elle est à l'image de l'évolution scientifique qui, depuis un siècle environ, a fait passer la vie quotidienne de l'ère de l'électricité à celle de l'électronique puis à celle de l'informatique, l'histoire des synthétiseurs de musique permet de revisiter les techniques fondées sur les lois de l'électromagnétisme (électromécanique et radioélectricité) et de passer de l'analogique au numérique. C'est cette histoire parfois surprenante, dont les débuts remontent à 1874, qui est retracée ici à travers celle de brevets en avance sur leur temps et d'inventions parfois invraisemblables.

1. INTRODUCTION

Les nouveaux programmes de physique des classes de lycée ont fait apparaître, directement ou indirectement, plusieurs rubriques qui conduisent à s'intéresser aux synthétiseurs de musique : le programme de la classe de seconde mentionne explicitement le «principe du synthétiseur» dans la partie acoustique musicale et les contenus de spécialité de terminale scientifique comportent des éléments relatifs à la modulation des signaux, dont le principe mérite, à l'instar de l'histoire¹, de dépasser la question des télécommunications². Image de l'évolution scientifique, qui depuis un siècle environ a fait passer la vie quotidienne de l'ère de l'électricité à celle de l'électronique puis à celle de l'informatique, l'histoire des synthétiseurs de musique est aussi l'archétype de l'interaction entre une science - l'électronique - et un art - la musique. C'est cette interaction, qui revêt parfois quelques aspects surprenants, que nous illustrons ci-dessous.

2. L'ÈRE ÉLECTROMÉCANIQUE : DU TÉLÉGRAPHE AU TÉLÉPHONE

L'histoire du premier "instrument électrique" commence vers 1870 ! À cette époque, l'application principale de l'électricité est le télégraphe. Deux grands ingénieurs américains, Alexander Graham Bell et Elisha Gray se font une concurrence acharnée. Le premier est resté célèbre grâce à l'invention du téléphone ; le second a été injustement oublié : il a eu le malheur de déposer une demande de brevet presque similaire à celle de Bell deux heures après celui-ci.

2.1. De la musique sur les lignes télégraphiques !

À partir de 1870, Elisha Gray travaille à la transmission simultanée de multiples messages sur une ligne télégraphique unique³. Les enjeux sont évidemment colossaux : une telle technologie permettrait de multiplier le volume des transmissions télégraphiques pour un coût réduit. Comme la plupart des ingénieurs électriciens de cette époque, E. Gray est essentiellement autodidacte et a acquis la plus grande part de ses connaissances de façon empirique. Gardant cet état d'esprit, il incite son jeune neveu à manipuler électroaimants, piles et relais. En 1874, ce dernier lui montre une expérience amusante⁴ qu'il a réalisée autour d'un relais branché en oscillateur astable, d'une pile, d'une baignoire et d'un être humain. Ce montage, on ne peut plus extravagant, constitue

1. Celle des ondes Martenot, par exemple (voir dans la suite).

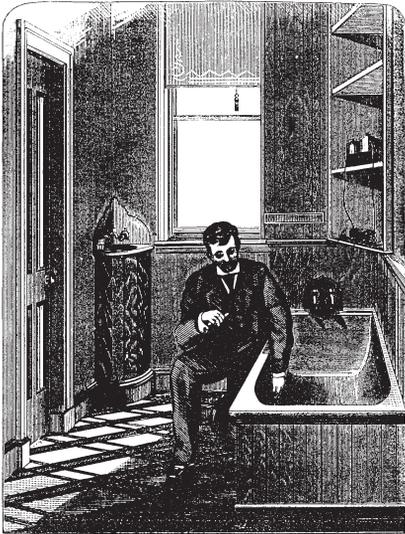
2. Voir, par exemple, les propositions pédagogiques centrées sur le domaine sonore, présentées dans un précédent article [2].

3. Thomas Alva Edison a conçu à cette époque un "Quadruplex telegraph", système à base de relais oscillateurs, permettant la transmission de quatre signaux sur une ligne (deux dans chaque direction).

4. Mais que nous vous déconseillons formellement !

en fait *le premier générateur-amplificateur-transducteur électroacoustique* : la pile et le relais constituent un oscillateur électrique ; l'oscillation électrique est transmise aux muscles de la main par une électrode (la polarité négative de la pile est reliée à la terre) ; le circuit est fermé lorsqu'on frotte la main sur le revêtement de la baignoire (implicitement reliée à la terre) et l'oscillation électrique est transformée en oscillations mécaniques et acoustiques par stimulation électrique des muscles de la main !⁵

Pour E. Gray, cette expérience ouvre la voie de la téléphonie, c'est-à-dire de la transmission de sons à distance. Il réalise alors le premier "télégraphe harmonique" : il s'agit de huit *relais oscillateurs* accordés selon les notes de la gamme. Cet instrument permet alors de *transmettre de la musique sur les lignes télégraphiques*, dès 1874, c'est-à-dire *deux ans avant l'invention du téléphone...*



Gravure : l'expérience de la baignoire !

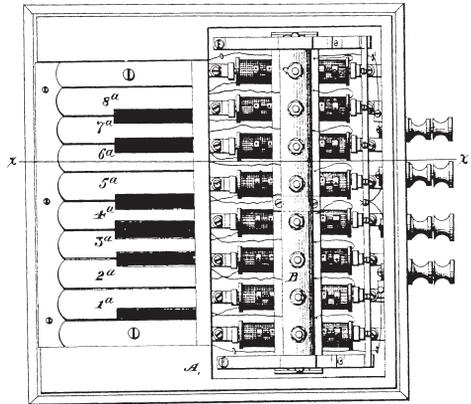


Schéma du brevet du télégraphe harmonique.

2.2. Puis sur les lignes téléphoniques...

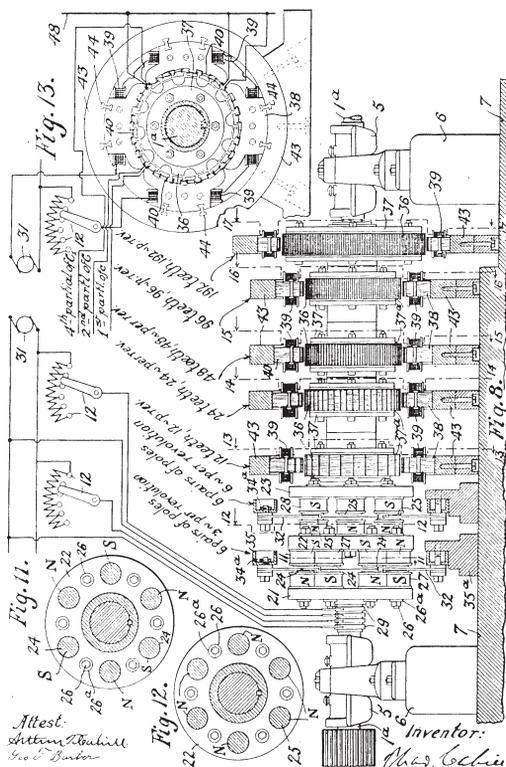
Les travaux de Gray et les travaux d'Hermann von Helmholtz sur les sons musicaux seront ensuite la source d'inspiration de l'ingénieur américain Thaddeus Cahill.

5. Cet appareil appartient à la Smithsonian Institution. Une illustration peut être obtenue par Internet : <file:///photo1.si.edu/images/gif89a/tech-history/HARMON.GIF> (elle n'est pas du domaine public).

Au début de ce siècle le téléphone ne sert pas uniquement à transmettre la parole, c'est aussi un moyen de distribution de musique.

Le "Telharmonium" de Thaddeus Cahill est considéré comme le premier synthétiseur digne de ce nom. Ce gigantesque instrument (deux cents tonnes !) est une véritable usine électrique : celui-ci est en effet constitué de multiples *alternateurs* délivrant chacun un signal sinusoïdal de fréquence fixe et les sons musicaux sont obtenus par mélange de ces signaux (*synthèse additive*). Le "Telharmonic hall" ouvre ses portes le 26 septembre 1906 mais, très rapidement, des problèmes financiers et techniques apparaissent (perturbation des transmissions téléphoniques régulières par induction) et 1911 voit la dernière émission de musique "telharmonique". L'instrument sombre alors dans l'oubli et, hélas, aucun enregistrement de cet instrument ne subsiste.

T. CAHILL.
 METHOD AND APPARATUS FOR GENERATING AND DISTRIBUTING MUSIC ELECTRICALLY.
 APPLICATION FILED JUNE 25, 1913. RENEWED MAY 4, 1919.
 1,295,691. Patented Feb. 25, 1919.
 17 SHEETS—SHEET 13.



Brevet du dernier Telharmonium.

3. L'ÈRE RADIOÉLECTRIQUE : DES TRANCHÉES À MANHATTAN...

3.1. Des oscillateurs radio aux ondes Martenot...

En 1906, l'américain Lee Forest, travaillant sur l'amplification de signaux téléphoniques, invente la lampe triode. Cette invention, qui ne sera réellement exploitée qu'à compter de 1915, marquera en fait la naissance de l'électronique. La triode est produite en grande quantité en France pour ses applications dans le domaine des transmissions militaires, et c'est dans le cadre de la Première Guerre mondiale que le jeune violoncelliste français Maurice Martenot, affecté aux transmissions, s'initie à cette technologie nouvelle. À partir de 1917, les postes "à étincelles"⁶ sont remplacés par des postes à lampes qui génèrent un son sinusoïdal presque pur. L'âme musicale de Martenot le pousse à expérimenter ; pour le plaisir de ses compagnons d'infortune, il s'amuse à jouer *Au clair de la Lune* en tournant le bouton de syntonisation de son poste... Au sortir de la guerre, Maurice Martenot consacre alors ses loisirs à la mise au point de ce qui deviendra les célèbres "ondes musicales Martenot".

Parallèlement à ces expérimentations, un jeune ingénieur russe, Lev Termen⁷, conçoit un système d'alarme électronique. Cet appareil est constitué pour l'essentiel d'un oscillateur radio-fréquence dont la fréquence peut être perturbée par la présence d'un corps dans le voisinage d'une antenne. Ces perturbations de fréquence sont ramenées dans le domaine audible par hétérodyne (c'est le principe même des postes à lampes et de la radio).



Lev Termen et son instrument.

L'appareil ne restera pas longtemps un système d'alarme : en mouvant ses mains autour de l'antenne Lev Termen parvient à jouer de la musique. Vers 1922, il fait une démonstration de cette invention, baptisée "Étherophone", devant Lénine. C'est le début d'une longue série de démonstrations. En 1927, il entame une tournée internationale qui le mène en Europe et aux États-Unis.

Maurice Martenot est un musicien rigoureux et, bien que les résultats de ses expérimentations soient probants, il repousse jour après jour la date de présentation de son

6. Au début de la guerre, les transmissions hertziennes sont en effet réalisées par des postes "à étincelles" : les oscillations radioélectriques sont obtenues grâce à un arc électrique ; le son obtenu est une sorte de "krrr-krrr" suffisant pour les transmissions morse.

7. Alias Léon Thèremin.

invention. Sa première version des “ondes” ressemble fort à l'Étherophone, la principale différence étant la présence d'un fil entre la main de l'exécutant et l'instrument. En 1927 Lev Termen fait deux démonstrations à Paris : la presse est enthousiaste ; la revue “La Science et La Vie” titre «vers une électrification de la musique». Sans doute aiguillonné par le succès de l'ingénieur russe, Maurice Martenot se lance alors dans une série de représentations et redouble d'efforts. Les “Ondes Martenot” seront rapidement améliorées et équipées d'un clavier. Le succès ne se fera plus longtemps attendre. C'est encore aujourd'hui l'instrument électronique considéré comme le plus abouti. Elles ont été fabriquées pendant plus de cinquante ans⁸.

L'Étherophone, quant à lui, a été rebaptisé “Thereminvox” et commercialisé aux États-Unis à partir de 1930. En raison de son timbre surnaturel, il est adopté par les cinéastes de science-fiction américains et ce, jusqu'aux années 50. Le premier à l'utiliser est Max Steiner pour King Kong en 1933. La simple sonorité du “Theremin” suffit à évoquer les films de martiens des années 50. Ce fait n'a d'ailleurs pas échappé à Tim Burton !

3.2. Les premières orgues électroniques

La synthèse soustractive

Martenot et Termen ont ainsi ouvert la voie de la musique électronique. Mais leurs instruments étaient monophoniques : ils ne pouvaient jouer qu'une note à la fois. La réalisation d'un orgue électronique était alors un défi technologique presque insurmontable à l'époque en raison de la fiabilité des lampes triodes.

Le premier orgue électronique est français : il est le produit de la collaboration de l'ingénieur radioélectricien Armand Givelet et du facteur d'orgues Eloy Coupleux. Quatre orgues “radioélectriques” seront construites entre 1930 et 1935. Ces orgues constituées d'environ deux cents lampes fonctionnent sur le principe de la synthèse soustractive : chaque oscillateur à lampe produit en effet un signal riche en harmoniques et le timbre de l'instrument est défini par des bancs de filtres qui modifient le spectre des signaux. Le plus important des orgues “radioélectriques” a été réalisé en 1933 pour le “Poste Parisien”⁹, le branchement “direct” (pas de microphone pour une prise de son) permettait une transmission radiophonique de fidélité inégalable.

8. Des centaines d'œuvres ont été créées ou adaptées pour Ondes Martenot (Honneger, Messiaen, Jolivet,...). Voir par exemple “Magie des ondes Martenot” (œuvres originales et transcrites), Disque 33T, Sylvette Allart, Disques ADES, 16.011.

9. “L'orgue des ondes” du “poste parisien” et la synthèse de la musique, voir La Science et La Vie, n° 187, janvier 1933.



Orgue Givelet et Coupleux : la console.

Orgue Givelet et Coupleux :
circuits d'oscillateurs.

L'orgue "électromécanique" Hammond

En 1934, l'américain Laurens Hammond, inventeur de l'horloge électrique et musicien passionné, conçoit une sorte de Telharmonium miniaturisé.

Dans cet orgue, les oscillations électriques sont obtenues au moyen de *roues métalliques dentées*, dites roues phoniques, situées dans l'alignement de *capteurs électromagnétiques*¹⁰, et dont la rotation génère ainsi par induction un faible signal électrique ensuite amplifié par un circuit à lampes. L'orgue Hammond est d'abord destiné à remplacer les orgues à tuyaux. Malgré un coût intéressant et un encombrement réduit (200 kg), il essuie un échec cuisant : son timbre est trop différent de celui des orgues à tuyaux et, par ailleurs, il est victime d'une campagne menée par les facteurs d'orgues qui l'accu-

10. Similaires aux actuels "pick-up" des guitares électriques.

sent de concurrence déloyale... Il trouvera cependant sa place dans le monde de la musique en devenant l'orgue de jazz par excellence.

April 24, 1934.

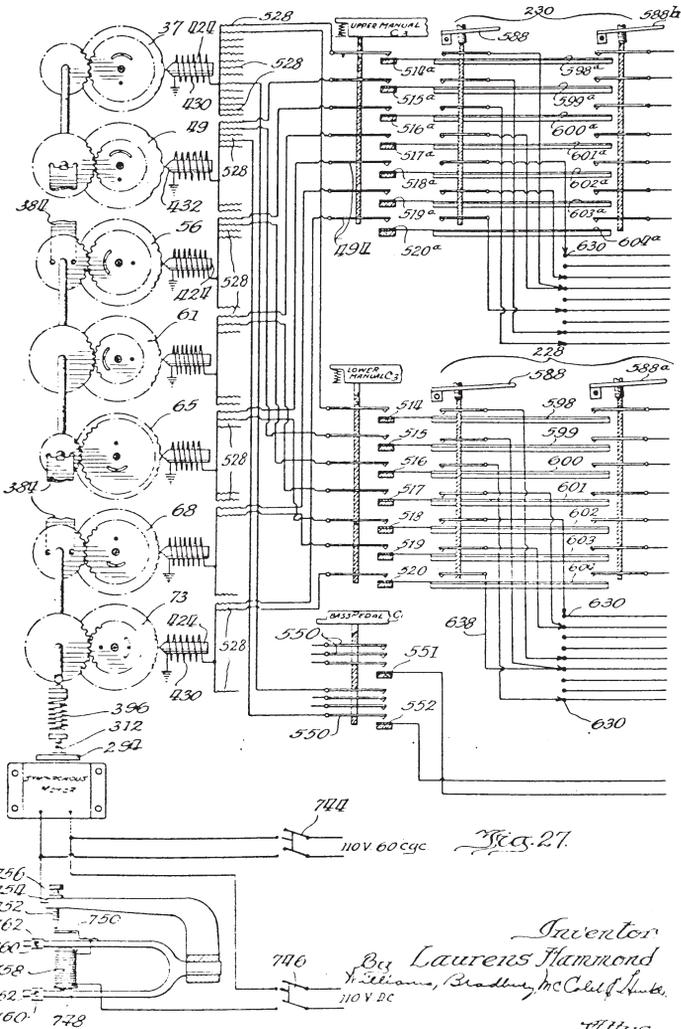
L. HAMMOND

1,956,350

ELECTRICAL MUSICAL INSTRUMENT

Filed Jan. 19, 1934

18 Sheets-Sheet 15



De l'orgue au calculateur : préfiguration ?

En 1936, Laurens Hammond, sans doute inspiré par l'orgue "radioélectrique", conçoit le "Novachord". D'une taille similaire à l'orgue Hammond classique, celui-ci ne comporte pas moins de 170 lampes. Vers 1939, un ingénieur américain fait l'acquisition d'un "Novachord". Quelques années plus tard, ce dernier, alors qu'il travaillait à la réalisation de calculateurs pour l'élaboration de tables balistiques, est impressionné par la fiabilité de son Novachord malgré le nombre important de lampes¹¹. Il décide de renoncer à son projet de réalisation électromécanique et d'adopter un système électronique ; John Eckert réalise alors l'ENIAC¹² et est rapidement rejoint par un certain John von Neumann... L'ordinateur ENIAC, avec ses 18 000 lampes environ, sera utilisé pour résoudre des équations aux dérivées partielles dans le cadre d'un autre projet...

4. L'ÈRE ANALOGIQUE

Bien qu'inventé en 1948, et malgré le gain considérable de coût et de place, le *transistor* mettra quinze ans pour supplanter la lampe triode. Mais c'est très rapidement qu'il est utilisé dans la conception des synthétiseurs.

4.1. L'électronique analogique

Le premier synthétiseur analogique moderne est l'œuvre de l'américain Robert Moog. Durant les années 50, Robert Moog commercialise des Thereminvox transistorisés en kits, cette source de revenus lui permettant de financer ses études. C'est dans ce contexte qu'il fait la connaissance de son compatriote compositeur Herbert Deutsch. En 1964, ils se réunissent pendant une semaine et travaillent à la conception d'un instrument de musique électronique capable de synthétiser une grande variété de sons. Le fruit de ces cogitations est le premier synthétiseur modulaire analogique. Un tel synthétiseur repose sur le concept de *module*. Un module est un circuit électronique disposant en général d'entrées, de sorties et de boutons de réglage. Les modules de base sont :

- L'oscillateur (VCO : voltage controlled oscillator) : c'est un générateur de fonctions dont la fréquence est commandée par une tension. Cette tension provient en général d'un clavier et détermine la note jouée.
- Le générateur d'enveloppe (VCA : voltage controlled amplifier) : combiné au générateur d'enveloppe, il permet de faire varier l'amplitude d'un signal.

11. Cette fiabilité est due à quelques astuces employées par Hammond (et précédemment par Givélet).

12. Electronic Numerical Integrator and Computer.

- Le générateur d’enveloppe (EG : envelope generator) : il génère une tension de commande variable dans le temps. Cette variation est définie au moyen de boutons de réglage. Ce module est généralement utilisé pour piloter le VCA ou le VCF.
- Le filtre (VCF : voltage controlled filter) : il permet d’affecter le spectre du signal. Sa fréquence de coupure est commandée par une tension. Par exemple, elle peut provenir d’un générateur d’enveloppe, on obtient ainsi un son dynamique plus vivant qu’un son statique¹³.
- L’oscillateur basse fréquence (LFO : low frequency oscillator) : tout comme le générateur d’enveloppe, ce module génère une fonction de commande destinée à affecter les paramètres d’un module. Appliqué à un oscillateur, il permet de créer un effet de vibrato.
- Le générateur de bruit : ce module produit un signal bruité similaire au bruit du vent. Après filtrage, ce signal permet de réaliser de nombreux effets.
- Le modulateur en anneau (RM : ring modulator) : le signal de sortie de ce module est égal au produit des signaux d’entrée¹⁴. L’effet de ce module est une translation dans le domaine spectral. Il est utile pour générer des sons dissonants tels que des sons de cloche.

On conçoit aisément que l’interconnexion d’une telle variété de modules conduise à une quasi infinité de sons. Même aujourd’hui, ces synthétiseurs sont appréciés pour leurs possibilités de recherche¹⁵. Hélas, les synthétiseurs modulaires ont plusieurs défauts majeurs : ils sont compliqués à utiliser (surtout pour des musiciens), ils sont monophoniques et ils sont encombrants. Ces défauts limitent en fait leur utilisation au cadre des studios.

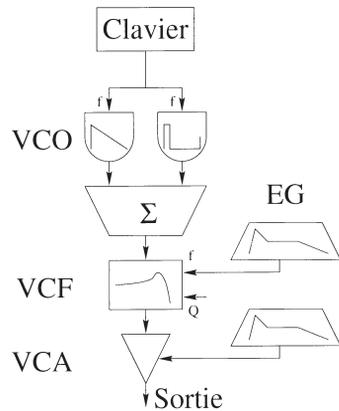


Schéma VCO-VCF-CVA.

-
13. Ces filtres de synthétiseurs sont conçus sur des critères esthétiques ; ils sont donc souvent bien différents du filtre “idéal” du “physicien” (ils comportent quelques non linéarités).
 14. Le nom un peu magique vient du principe de la première réalisation (anneau de diodes) ; aujourd’hui, on fait utiliser des circuits intégrés “multiplicateurs” dans la réalisation de modulation d’amplitude ; la différence est qu’ici, on ne met justement pas de tension continue de décalage...
 15. Le principe de la cascade VCO-VCF-VCA reste une base de présentation de la synthèse “analogique”, y compris pour des enseignants d’éducation musicale ! (Cf. Éducation musicale et informatique, n° 1, MEN, 1991).

Pour satisfaire à la demande d'un synthétiseur de scène, léger et simple, Robert Moog conçoit le Minimoog en 1971. Ce petit synthétiseur monophonique dispose d'une architecture "soustractive" fixe : les modules sont interconnectés selon le schéma "oscillateurs-filtre-amplificateur" avec deux générateurs d'enveloppe qui viennent piloter le filtre et l'amplificateur. En dix ans, plus de dix mille Minimoogs seront vendus.

En 1974, l'américain Tom Oberheim présente le SEM, il s'agit d'un petit module sans clavier comportant à peu près l'équivalent d'un Minimoog. Une telle miniaturisation a été rendue possible grâce à l'utilisation des circuits intégrés analogiques tels que les *amplificateurs opérationnels*.



Oberheim à 8 voies.

En 1975, il présente le premier synthétiseur analogique polyphonique : il s'agit de quatre SEM reliés à un clavier. Pour pouvoir jouer correctement de cet instrument, il fallait régler à l'identique les quatre modules.

4.2. L'arrivée du microprocesseur

À partir de 1975, c'est le microprocesseur qui s'impose¹⁶. Par ailleurs la demande en circuits intégrés analogiques dédiés à la synthèse est suffisamment importante pour en lancer la production. En 1977, l'équivalent d'un Minimoog peut être réalisé avec deux circuits intégrés analogiques spécialisés. Le premier synthétiseur hybride est commercialisé en 1978 : c'est le "Prophet 5" composé d'un microprocesseur qui commande

16. Les premiers micro-ordinateurs APPLE I sont commercialisés sous la forme de kits.

un banc de synthétiseurs analogiques. Les nombreux réglages définissant le son peuvent être mémorisés et rappelés grâce à une mémoire numérique.

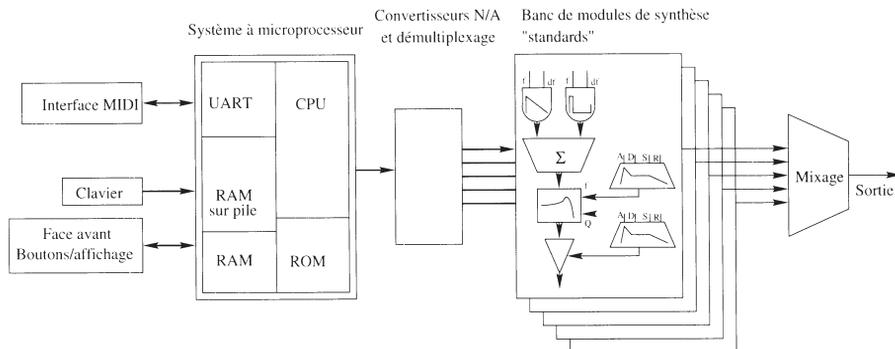


Schéma d'un bloc de synthèse hybride.

En une quinzaine d'années, le synthétiseur analogique a gagné en intégration, en polyphonie et en souplesse d'utilisation. Il a cependant perdu la capacité de synthèse au sens premier, puisque l'utilisateur ne peut plus créer des sons nouveaux à la manière des premiers synthétiseurs modulaires.

5. L'ÈRE NUMÉRIQUE

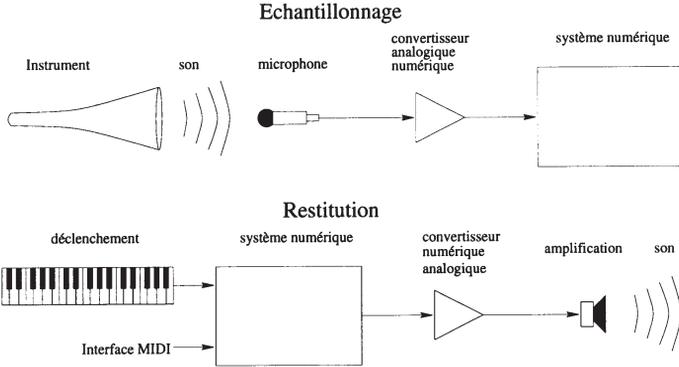
La première synthèse de son par ordinateur (synthèse numérique) est l'œuvre de l'américain Max Mathews en 1957. La synthèse numérique de son restera le domaine des laboratoires de recherche jusqu'au début des années 80.

5.1. L'échantillonnage

Les premiers synthétiseurs-échantillonneurs sont commercialisés à partir de 1979 par la société australienne Fairlight. Ce type de synthétiseur repose sur l'enregistrement de sons dans une mémoire numérique (échantillonnage). Les sons sont restitués par simple lecture de ces mémoires¹⁷. Mais l'enregistrement numérique de sons est très consommateur de mémoire : une seconde de musique enregistrée en stéréo en 16 bits à 44,1 kHz¹⁸ occupe 176 400 octets... Constatant que la plupart des sons musicaux ont

17. En faisant varier la cadence de lecture, il est possible de transposer la fréquence des sons et ainsi de jouer des notes différentes.

une forme d'onde presque constante durant leur maintien, les concepteurs d'échantillonneurs ont eu l'idée de "boucler" le son.



Traitements numériques de base

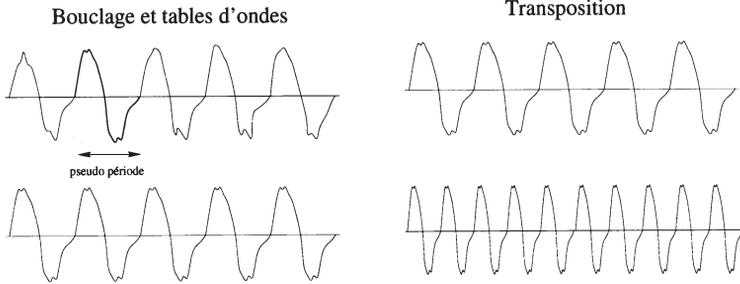


Schéma d'un bloc échantillonneur.

5.2. La synthèse F.M.

Les années 80 voient la naissance de la micro-informatique. Les technologies numériques vont se vulgariser de façon considérable en une décennie. Le premier synthétiseur numérique grand public apparaît en 1983. Il s'agit du DX7 de la firme Yamaha. Ce synthétiseur repose sur le principe de la modulation de fréquence. Ce principe a été avancé dès 1973 par John Chowning. Il repose sur le fait que la modulation en fréquence d'un oscillateur par un autre oscillateur engendre un spectre dont la richesse peut être réglée aisément¹⁹. On comprend alors pourquoi cette forme de synthèse a sé-

18. Format CD-Audio.

duit les ingénieurs de Yamaha : avec un minimum de calcul, la synthèse par modulation de fréquence permet de créer une grande variété de sons. Le synthétiseur DX7 est capable de générer huit sons simultanément, chacun étant constitué de six oscillateurs assemblés de façons diverses.

Cas simple : deux opérateurs en série

Cas plus complexe : algorithme 13 du DX7

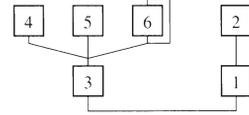
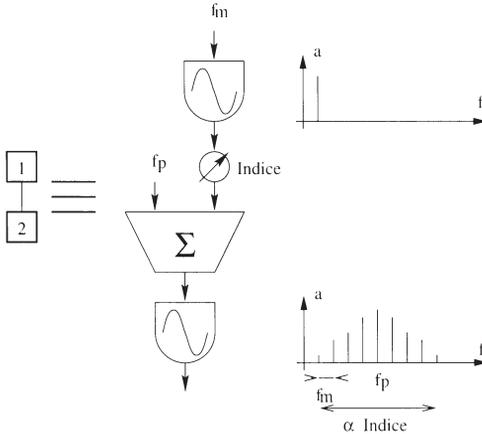


Schéma d'un bloc de synthèse F.M.

Par contre, contrairement à la synthèse soustractive, la synthèse par modulation de fréquence est très difficile à maîtriser pour les musiciens, du fait que les paramètres de contrôle physique s'écartent notablement des paramètres physiologiques et des contrôles manuels classiques.

5.3. Musique par ordinateur en laboratoire

La première synthèse de son par Max Mathews en 1957 a été réalisée sur un ordinateur géant pour l'époque : l'IBM 704. Cet ordinateur, constitué de lampes triodes, appartenait à IBM et a été prêté aux Laboratoires Bell qui ont financé le projet. Le premier logiciel de Max Mathews, MUSIC I, écrit en assembleur, n'était capable que de générer une forme d'onde : le triangle.

Ce n'est qu'avec MUSIC III conçu en 1960 que la notion d'unité de génération (équivalent logiciel des modules) est introduite. Le programme le plus connu de la série

19. Voir article [3].

est le MUSIC V développé en 1968. Ce programme, écrit en Fortran IV, sera distribué à de nombreuses universités. Aujourd'hui, CSound, descendant direct de MUSIC V, est gratuitement disponible pour diverses machines¹⁹.

5.4. Micro-ordinateurs, synthétiseurs et MIDI

Les années 80 voient l'apparition des micro-ordinateurs. À cette époque, la mémoire se compte en kilo octets et les micro-ordinateurs ont environ un centième de la puissance des ordinateurs actuels. Mais dès 1983, un standard de communication entre micro-ordinateurs et synthétiseurs est établi : c'est l'interface MIDI (Musical Instrumental Digital Interface). Celle-ci consiste en un simple câble reliant synthétiseurs et ordinateurs permettant le transit de données purement numériques correspondant aux diverses instructions destinées aux synthétiseurs. Les instructions sont relativement simples, du type "appuyer sur la touche 63 de l'instrument 4 avec une vélocité de 45". Après quinze ans d'évolutions technologiques, ce standard est toujours largement utilisé, sans doute en raison de sa simplicité.

Après le succès de la synthèse F.M., de nouveaux synthétiseurs fondés sur la synthèse hybride font leur apparition : le principe est simplement l'association de plusieurs types de synthèse ; ainsi le D50 Roland associe synthèse soustractive et lecture de table d'ondes. La plus grande partie des synthétiseurs actuels fonctionnent sur ce principe. Cette méthode a profité des progrès technologiques : baisse du coût des mémoires (ce qui permet d'avoir un plus grand nombre de sons disponibles), processeurs puissants (un plus grand nombre de notes peuvent être jouées simultanément) et convertisseurs numériques analogiques précis (meilleure qualité en terme de rapport signal bruit).

Le marché micro-informatique et multimédia n'a cessé de se développer au cours de la dernière décennie. Les technologies de pointe d'hier, telles que la modulation de fréquence, la synthèse soustractive, l'échantillonnage et l'enregistrement direct sur disque dur, sont désormais disponibles sur les cartes audionumériques de niveau de gamme moyen. Le multimédia permet à tous de s'initier à la musique de façon interactive : l'auditeur peut devenir compositeur et interprète, il en a les moyens²⁰.

CONCLUSION

L'histoire des sciences est toujours intéressante, qu'il s'agisse de la dimension anecdotique porteuse de motivation ou du fait qu'elle permet de re-situer les idées, concepts et techniques actuelles, dans une évolution de la pensée où l'on peut voir les diffi-

19. Et téléchargeable : voir "Internetographie" en fin d'article.

20. Mais en a-t-il la volonté ?

cultés, les aléas, les traits de génie... L'histoire des techniques relève de cette évidence mais, de plus, il nous semble que la référence aux technologies actuelles risque d'être problématique en l'absence de réflexion ou d'information sur leur genèse car la sophistication grandissante des outils et instruments modernes (en particulier électroniques et informatiques) les éloignent de tout sens commun. Cela peut être perçu comme un avantage dans la mesure où l'on risque sans doute moins de tomber dans les ornières de raisonnements naturels si facilement mis en œuvre quand les phénomènes semblent aller de soi, mais au prix de risquer un vide conceptuel qui conduit alors à des usages non raisonnés, voire à l'absence d'usage...

L'histoire des synthétiseurs (comme celle de la photographie pour l'étude des mouvements²¹) nous paraît intéressante parce que, d'une part, elle est en relation avec le monde actuel de la musique que côtoient les élèves et étudiants, et d'autre part, elle rétablit des ponts d'intelligibilité avec les connaissances de physique et/ou de musique plus classique. Pour revenir sur le lien avec les programmes d'enseignement, à côté de la mention explicite des programmes de seconde, nous avons rappelé l'idée d'une possible connexion entre les éléments relatifs aux télécommunications du programme de terminale (spécialité) dont on a pu relever précédemment "l'analogie historique". Cette référence au domaine sonore et musical pour le traitement du signal peut également être envisagée à d'autres niveaux : celui de l'option IESP de la classe de seconde (où conversion analogique-numérique, chaîne de capteurs-adaptateurs, traitements informatisés sont au programme), celui de l'option informatique des classes de première et terminale qui se met en place (dans sa liaison avec les disciplines utilisatrices), jusqu'à des formations d'ingénieurs sur le traitement du signal où les techniques d'électronique analogique et les méthodes numériques peuvent être utilisées de façon complémentaire dans l'enseignement de l'analyse spectrale, de la modulation, etc.²².

BIBLIOGRAPHIE

Note : pour ce qui concerne les ouvrages traitant de l'électronique des synthétiseurs, nous ne donnons que quelques références indicatives ; une liste exhaustive serait en effet très longue.

- [1] D. BEAUFILS : *«Mesurer sur l'image : utilisation de techniques de numérisation pour l'enseignement de la physique»* - Actes des Journées Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques, INRP-UDP, 1990, pp. 53-58.

21. Voir par exemple [1] et [5]

22. Un T.P. sur le traitement du signal a été ainsi mis en place en formation EEA du DEA et DESS d'électronique de l'Université d'Orsay.

- [2] D. BEAUFILS : «*Modulation d'amplitude et modulation de fréquence : les avantages du domaine sonore*» - BUP n° 793, 1997, pp. 741-749.
- [3] D. BEAUFILS : «*Modulation de fréquence et synthèse F.M.*» - BUP n° 794, 1997, pp. 929-945.
- [4] F. BROWN : «*La musique par ordinateur*» - Collection Que-Sais-Je ? n° 2011, PUF, (1982).
- [5] G. BORVON : «*Du phénakistoscope au cinématographe*» - BUP n° 786, 1996, pp. 1245-1258.
- [6] J. CHOWNING et D. BRISTOW : «*F.M. ; théorie et applications (par des musiciens et pour des musiciens)*», Yamaha (1985 ?).
- [7] G. LETRAUBLON : «*Musique électronique*» - Éditions Radio, 1975.
- [8] MEN-DLC15 - Éducation musicale et Informatique, Vol 1, CNDP, 1991.
- [9] MEN-DLC15 - Éducation musicale et Informatique, Vol 2, CNDP, 1993.
- [10] J. R. PIERCE : «*Le son musical*» - Belin, 1984.
- [11] J.-C. RISSET : «*Synthèse et matériau musical*» in *La synthèse sonore*, Les cahiers de l'IRCAM, n° 2, 1993, pp. 43-65.
- [12] SCIENCE ET VIE (Coll.) - Grands Ingénieurs : «*Qui a inventé l'ordinateur*», Les Cahiers de Sciences et Vie, Hors-série n° 36, décembre 1996.
- [13] J.-P. VERPEAUX : «*Technique complète des synthétiseurs*» - Vol. 1 et 2, Musicom Publication.
- [14] J.-L. ZUBER : «*Synthétiseur vocal à formants*», BUP n° 746, 1992, pp. 1065-1077.

PETITE "INTERNETOGRAPHIE"

Histoires de synthétiseurs

– Une bonne introduction proposée par Benoît Decaudin et le magazine Keyboards peut être trouvée à :

<http://www.imagnet.fr/Keyboards/SYNTHES1/index.html>.

– Une brève histoire des instruments électroniques, peut être trouvée à :

<http://www.ief.u-psud.fr/~thierry/history/historyf.html>

– L'histoire de chaque firme illustrée de nombreuses images de synthétiseurs à The Virtual Synthesizer Museum :

<http://www.synthmuseum.com/>

- L'histoire de Robert Moog, inventeur du synthétiseur moderne, à Joyful Noise :
<http://eagle.online.discovery.com/DCO/doc/1012/world/yourstory/moog/moogl.html>.
- Logiciel de synthèse Csound, descendant direct de MUSIC V ; très puissant mais assez difficile à utiliser. Accessible gratuitement à :
<ftp://ftp.maths.bath.ac.uk/pub/dream/>

À propos des brevets

Plusieurs illustrations sont issues de brevets américains. Des copies intégrales de ces brevets peuvent être obtenues par l'US Patent Trademark Office pour environ 3 \$ (port compris) par copie. Ci-dessous l'adresse, puis les brevets avec leur numéro d'enregistrement :

Patent and Trademark Copy Sales, Box 9
Washington, DC 20231
USA

(Adresse Internet : <http://www.uspto.gov/web/offices/ac/ido/opr/ptcs/>)

- Le télégraphe harmonique de Gray :
173,618 Electro-harmonic Telegraph Elisha Gray (1876).
- Le Telharmonium (document très épais et complet) :
1,295,691 Art of and Apparatus for... Thaddeus Cahill (1919).
- L'orgue Hammond :
1,956,350 Electrical Musical Instrument Laurens Hammond (1934).