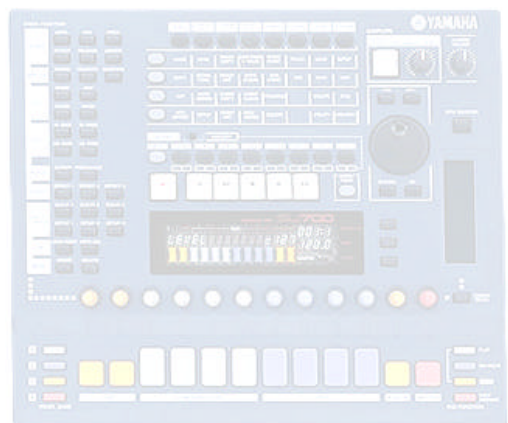


Thématique :
Art et Science



LA CONCEPTION DES INSTRUMENTS DE MUSIQUE



Jérôme CROCHET
Ingénieur en Partenariat (2003/2006) 2^{ème} année.

Plan :

Introduction	3
Avant propos	4
Instruments de musique Acoustiques	5
La guitare classique	
La guitare électrique	
Instruments de musique électroniques	12
L'échantillonneur	
Le synthétiseur	
Conclusion	17
Bibliographie	18

Introduction :

La musique fait partie de notre vie, elle est partout : Télévision, Radio, Cinéma, Internet, etc. La musique née des instruments de musiques, elle prend vie dans les vibrations d'un instrument de musique, et par la même occasion nous fait vibrer. Avant de traiter de l'expression de la musique qui sort de notre sujet, il y a l'art de créer, concevoir et fabriquer ces instruments. Nous commencerons par la conception d'un instrument de musique analogique : la guitare à travers la lutherie. Puis nous poursuivrons par la création d'instruments électroniques. A travers ces 2 exemples, nous mettrons en avant les aspects artistiques et scientifiques de leur mises en oeuvre.

Avant propos :

Avant d'entrer dans le vif du sujet, nous passerons un peu de temps à définir ce qu'est l'Art, et ce qu'est la Science dans le sens musical du terme.

L'art est une aptitude à exprimer quelque chose, elle peut se décliner de multiples manières. La peinture, le dessin, la musique, le champ, la sculpture, sont des déclinaisons de l'art, mais elles ne sont pas seules, le fait de concevoir et de réaliser des instruments de musique en est aussi une.

La science englobe un ensemble de connaissances ayant un objet déterminé. Ici ce sera toutes les connaissances à mettre en œuvre pour fabriquer des instruments de musiques.

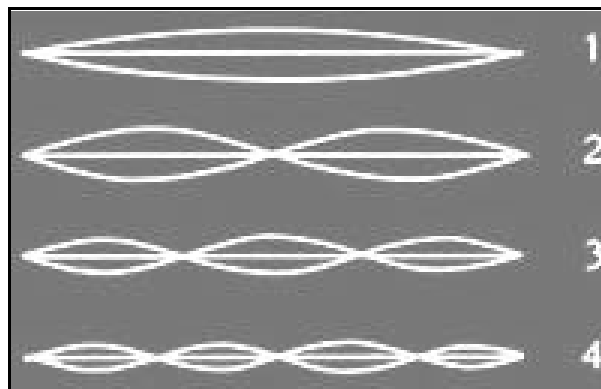
Dans notre sujet, les deux sont intimement liés.

1. Les instruments acoustiques

Il existe tellement d'instrument de musiques acoustiques, qu'énumérer leurs principes de conception n'aurait que peu d'intérêt dans le cadre de cet exposé. Nous allons dans cette partie, traiter de la fabrication des guitares à travers la lutherie. Il en existe des acoustiques, électro-acoustique, électrique. Elles ont toutes un point commun, les cordes : Origine du son.

1.1 la guitare acoustique et électro-acoustique

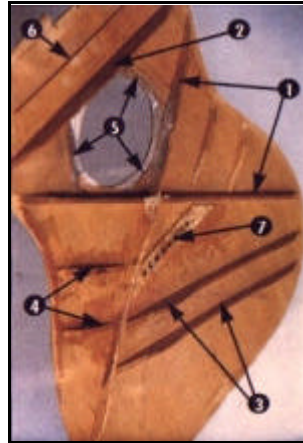
L'origine du son sur une guitare vient de la vibration d'une ou plusieurs cordes. En grattant une corde, on transmet une multitude de fréquences aux cordes, c'est ce qu'on appelle l'attaque du son. Puis un bon nombre de fréquences s'atténuent rapidement, c'est le relâchement, pour laisser ressortir une fréquence fondamentale et ces harmoniques.



Résonance : fondamentale(1) et ces harmoniques (2,3,4...)

C'est la longueur des cordes qui permet de sectionner le fondamental qui va raisonner. C'est ce qui donne une note de musique (exemple connu, le LA 440 Hz et ces harmoniques 880 Hz, 1320 Hz...). Pour finir, le son retombe, c'est ce que l'on appelle le relâchement.

Pour que ces vibrations soient perceptibles par l'homme, l'instrument de musique, va amplifier certaines fréquences. C'est le rôle de la table d'harmonie.



barrages et table d'harmonies

La table d'harmonie est l'un des éléments les plus importants de la guitare. Suivant la nature du bois utilisé, la guitare sonnera différemment.

Les barrages (montré par des numéros sur l'image) sont des renforts en bois positionnés derrière la table d'harmonie qui suivant leurs emplacements servent à rigidifier mécaniquement la table (pour éviter de l'éventrer) mais aussi pour modifier son comportement au niveau résonance.

La table d'harmonie est fixée sur une caisse de résonance jouant ainsi le rôle de « peau ». Sur cette caisse sera fixé le manche de la guitare, cette fixation est délicate car si elle est mal conçue, peut dénaturer complètement le son de la guitare, en modifiant les contraintes exercées sur la table d'harmonies.

Les vibrations sont transmises à la table d'harmonie par le biais d'un chevalet (pièce qui retient les cordes) collé sur la table.



Le chevalet "pyramide".

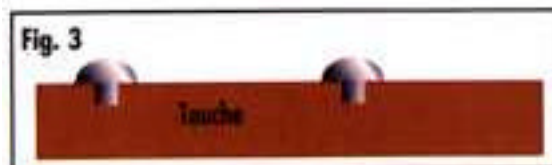


Le "Belly Bridge".



Sans chevilles, sans fendillement...

Avec 5 cordes, un musicien peut faire une multitude de notes, pour se faire, il raccourcit la longueur des cordes en posant les doigts sur le manche. Pour obtenir toujours la même note le manche est séparé par des frettes formant ainsi les cases.



Frettes de différents type.

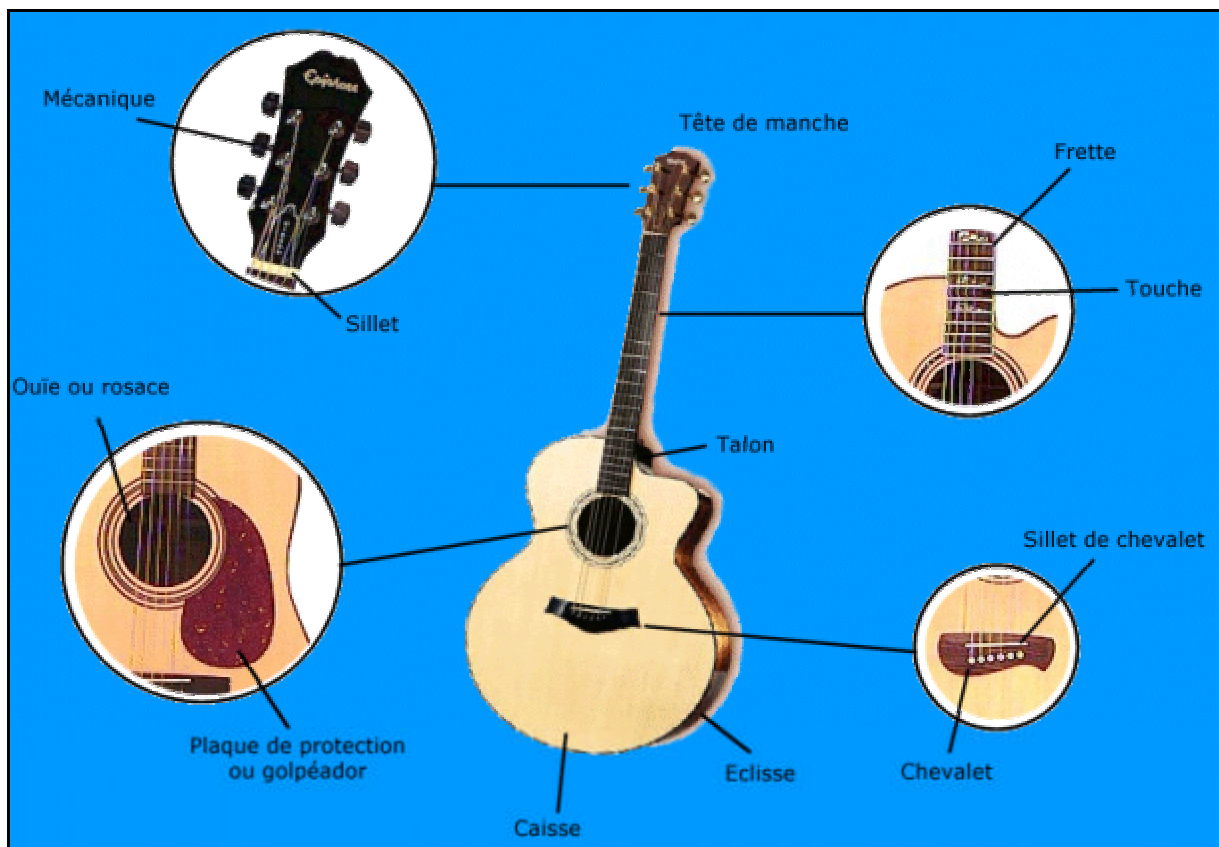
On a vu passer pas mal de matériaux dans les frettes, ces matériaux étaient utilisés pour leur résistance à l'usure mais aussi pour le confort de jeu.

La rosace (le trou) sert à faire sortir le son de la caisse de résonance, mais aussi à ré-exciter les cordes pour entretenir les vibrations.

La guitare sera surmontée d'une tête avec un jeu de clefs permettant de l'accorder.

Nous ne sommes pas rentrés dans le détail de la fabrication de la guitare, mais nous pouvons nous apercevoir, que la guitare amasse autour d'elle pas mal de science. Cependant, le luthier a pas mal de marge de manœuvre pour personnaliser ou rendre unique une guitare, ce qui la transformera par la même occasion en œuvre d'art.

Pour résumer :



La guitare électroacoustique n'est ni plus ni moins qu'une guitare acoustique, sur la quelle on à rajouter un micro par corde. En règle générale, une bobine, l'élément actif du micro étant la corde : la vibration de la corde devant la bobine transforme le son en une vibration électrique.



Micro de cordes.

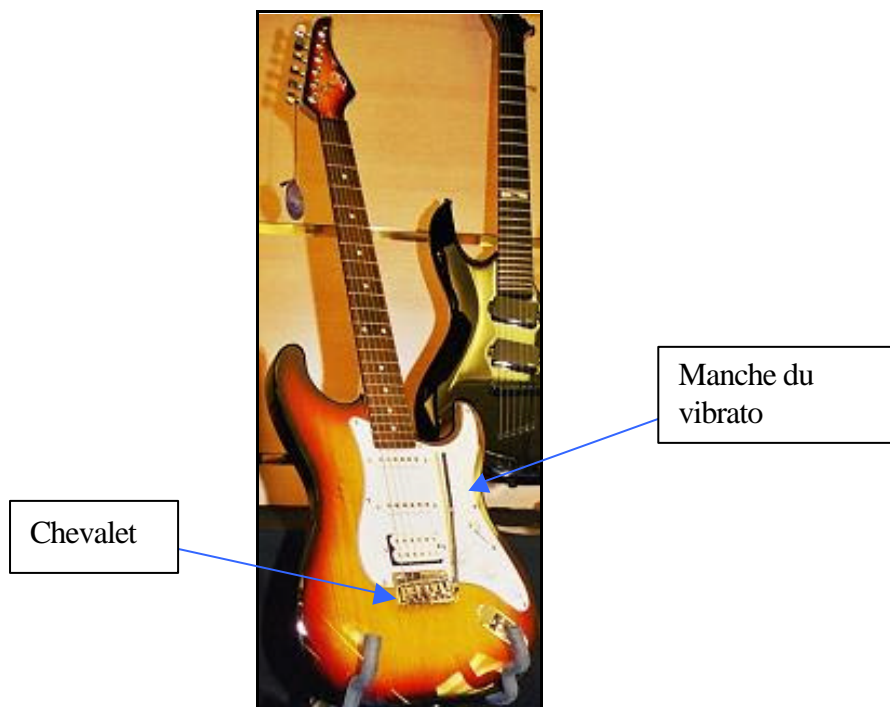
Ce genre d'artifice permet facilement de reprendre le son d'une guitare, mais ne remplace pas un micro statique (micro très sensible et directif utilisé pour la prise de son d'un instrument de musique) qui récupère bien plus que la simple vibration des cordes.

1.2 La guitare électrique.

La guitare électrique reprend le principe de vibration des cordes, mais la reproduction du son sera déportée sur un organe électrique (amplificateur).

De ce fait, l'acoustique de la guitare ne dépendra donc plus du corps de la guitare (les vibrations étant récupérées directement au niveau des cordes comme sur une électroacoustique). Le son sera retravaillé à la guise du musicien (en fonction de ces moyens) à l'aide de pédales d'effet, et autres préamplificateurs spécialisés.

La guitare électrique à vu aussi apparaître un organe : le vibrato, c'est une manette qui permet de retendre et de détendre l'ensemble des cordes d'un seul coup, ce qui fait vibrer le son. Cette manette est située sur le chevalet.



L'amplificateur et tous les appareils de traitement de signal sont des machines qui font appelle à la technique, et ne font pas parties du sujet de cet exposé.



Amplificateur à tubes

Cependant, on peut relever une anecdote sur l'effet « overdrive » ou saturé du son des guitares électriques. A la naissance des guitares électriques, les amplificateurs utilisés étaient à tube (ancêtre du transistor). Le principe simplifié de fonctionnement d'un tube, on amène à une certaine température le tube (à l'aide d'un filament incandescent) pour obtenir un effet transistor du tube. Le fait de surchauffer le tube provoque la saturation de ce dernier. L'effet saturé a été découvert par hasard par un musicien dont l'amplificateur surchauffait. Depuis, quand nous entendons parler de guitare électrique, nous l'assimilons à ce son saturé.

La guitare électrique est un instrument qui fait intervenir beaucoup moins de paramètres que la guitare acoustique. Cet instrument est beaucoup plus solide. Sa fabrication sur chaîne de production est donc plus aisée. L'art dégagé par une guitare électrique sera plus souvent de type design.

Cette partie est maintenant terminée, intéressons-nous à une autre grande famille d'instruments, les instruments électroniques.

2. Les instruments électroniques

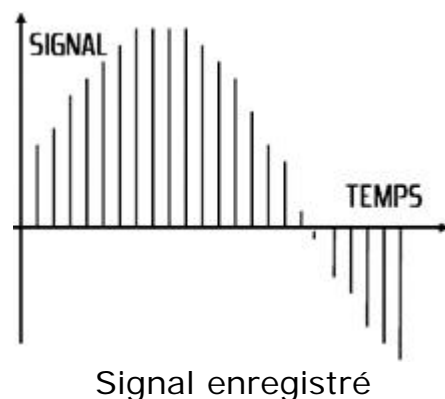
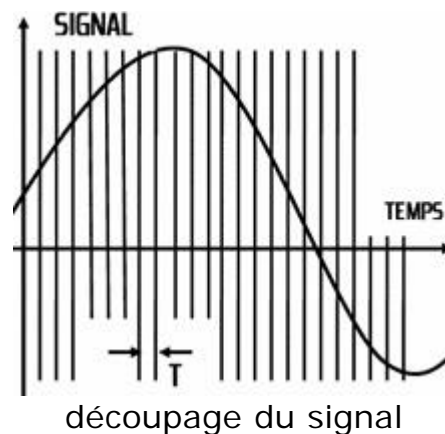
Il existe 2 grandes familles d'instruments de musique électronique. Je ne reviendrais pas sur l'aspect séquenceur que j'avais développé dans un précédent exposé (<http://www.j2c-s2c.com/musique/doc/musique.pdf>) Nous avons les échantillonneurs et les synthétiseurs.

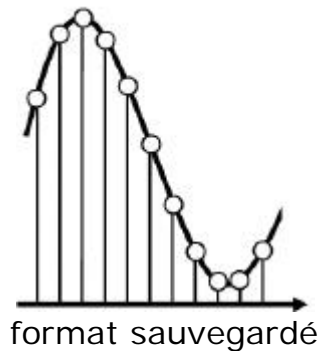
2.1 Les échantillonneurs

Un instrument électronique, est apprécié, pour sa portabilité (poids, encombrement), sa stabilité dans le temps, sa relative insensibilité aux changements d'environnement, il ne peut pas se substituer aux instruments de musique acoustique. En effet, le phénomène qui donne naissance au son est très complexe à reproduire. (et sera vu dans la partie suivante). Les ingénieurs du son ont donc pris le pas de la peinture classique, ils recopient l'existant pour le reproduire.

L'enregistrement d'instruments ce fait en numérique, pour pouvoir stocker l'information en mémoire, elle doit être binaire (0 ou 1).

Le principe de l'échantillonneur est de capturer à des intervalles réguliers la valeur du signal.

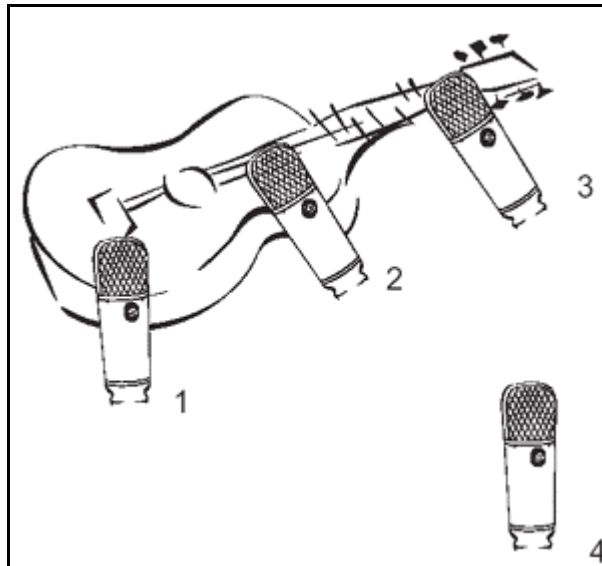




Nous ne rentrerons pas dans les détails techniques et les problèmes liés à l'échantillonnage (notamment les problèmes de recouvrement de spectre qui fait apparaître une fréquence dite de Nyquist (fréquence la plus haute du signal à échantillonner) moitié de la fréquence d'échantillonnage).

Cependant, nous aimerions souligner une anecdote, savez vous pourquoi un son de « qualité CD » est-il échantillonné à 44,1 KHz ? A l'époque, on cherchait une fréquence supérieur au double de la fréquence supérieur audible de signal (20Khz). Le débit de donnée pour les prises de son de l'époque était dans les environs de 1Mb/s. Les lecteurs de disquette les rendaient possible, mais leurs capacités étaient insuffisantes pour des enregistrements d'une certaine durée ; aussi se tourna-t-on vers les enregistreurs vidéo. Ceux-ci furent adaptés en vue du stockage d'échantillons audio, en créant un signal dit pseudo-vidéo qui transportait des données binaires sous forme de niveau de noir et de blanc. La fréquence d'échantillonnage de tels systèmes fut conditionnée par le fait d'être en relation simple avec la structure et la fréquence des trames du standard vidéo utilisé, de façon qu'un nombre entier d'échantillons soit enregistré par ligne utile. Les standards vidéo ont ainsi imposé cette fréquence de 44,1 kHz.

La qualité et la justesse du rendu sonore final est pour beaucoup du au travail de prise de son d'instruments existants. Certaines parties du son peuvent ainsi être accentuées d'autres atténuées.



Différentes configurations de prises de son.

Suivant la position des micros statiques, le son sera différent. Sur notre image, le fait de positionner le micro en 1 donnera beaucoup de douceur au son, la position 2 (en face de la rosace) fera ressortir à la fois les basses (son chaud) et les aigus (son brillant) de la guitare, la position 3 fera ressortir des sons métalliques (très chargés en harmoniques).

Mais ces prises de sons peuvent choquer l'auditeur qui a l'habitude du son de la guitare acoustique, il reste donc une prise de son d'ambiance.

Le travail d'un ingénieur du son est de façonner le son, c'est là qu'intervient sa subjectivité, son rôle d'artiste est donc sollicité.

Et comme les peintres (notamment les impressionnistes), les ingénieurs du son ont eut envie de plus liberté.

Les prises de son se diversifient, on voit apparaître des sons du genre bruit de tondeuse à gazon, vieux téléphones... bruits d'ambiances (applaudissement, circulation automobile)

Si on prend en considération les appareils de traitement du signal (comme pour la guitare électrique), on peut encore élargir l'espace d'interaction avec l'ingénieur du son, avec en plus les traitements non-temps-réel (renversement de l'échantillon : C'est à dire commencer par la fin).

Ces « instruments » de musiques ont permis le développement de nouveaux styles de musique comme la techno.

Certains de ces enregistrements peuvent coûter le prix de l'instrument acoustique équivalent, tellement le travail de l'ingénieur au niveau de la prise de son et du traitement a été important.

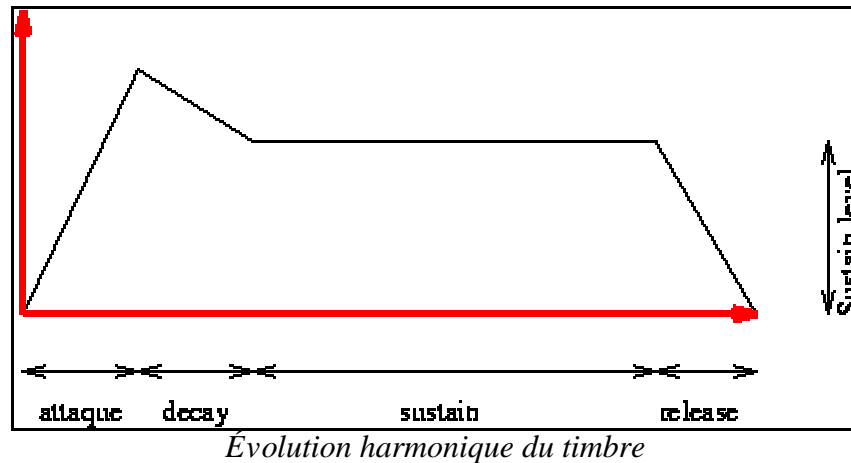
Mais les ingénieurs ont essayé de comprendre comment naissait un son, et ont essayé de le recréer de toute pièce : la synthèse.

2.2 Le synthétiseur

Le son est caractérisé :

- Par sa hauteur, qualité qui fait distinguer un son grave d'un son aigu. La hauteur d'un son est liée à la fréquence de vibration de la source sonore. Les sons aigus sont dus au mouvement vibratoire de fréquence élevée et les sons graves au mouvement de basse fréquence. Toutefois, l'oreille ne peut percevoir que les sons dont les fréquences sont comprises entre 20 et 20000 Hz environ, soit une dizaine d'octaves.
- Par son intensité, qualité qui fait distinguer un son fort d'un son faible. L'intensité est liée à l'amplitude des vibrations sonores. Toutefois, l'oreille ne peut percevoir un son que si cette amplitude a une valeur minimale. L'intensité minimale correspondante s'appelle "seuil d'audibilité". Si, au contraire, on fait croître progressivement l'amplitude des vibrations sonores, l'audition finit par devenir extrêmement pénible. L'intensité maximale correspondant à la limite du supportable pour l'oreille est appelé "seuil de douleur".
- Par son timbre, qualité qui permet de distinguer deux sons émis par deux instruments différents. Si le son est "musical" au sens acoustique du terme, c'est à dire créé par un mouvement vibratoire périodique, on montre que le son peut être considéré comme la superposition de sons simples harmoniques, dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence d'un son de base, appelé fondamental. Le timbre d'un tel son dépend des intensités relatives des différents sons simples harmoniques qui le composent.

Comme nous avons pu le voir dans la première partie, l'établissement d'un son peut-être décomposé en plusieurs parties (ADSR Attaque – Decay –Sustain - Release) :



L'attaque c'est la première chose que l'on entend, en règle générale, elle est intense, et comporte beaucoup de fréquences.

Le decay (ou relâchement) est le temps qu'il faut pour laisser à toute les fréquences de l'attaque qui ne font pas partie de la note jouée, pour s'estomper.

Le sustain (ou maintient) est la durée pendant laquelle le fondamental et les harmoniques d'un son vont se faire entendre.

Le release (ou retombée) est l'extinction progressive du son.

Pour recréer un son, il faut prendre en considération la durée et l'intensité de l'attaque, la durée du decay, la durée du sustain, le nombre d'harmoniques pour un fondamental donné, la durée de release, et la vitesse d'extinction de chaque harmonique.

Un synthétiseur tout comme un échantillonneur permet de faire des post-traitement sur le son.

L'immense avantage d'un synthétiseur, est de pouvoir se passer de la prise de son, et de pouvoir créer de toute pièce un son (unique), c'est la porte ouverte à la créativité, donc à l'art (de la synthèse sonore).

Il reste le problème des interférences des notes dans un morceau : sur un piano, les cordes sont disposées dans l'espace ce qui limite les interférences. Au niveau synthèse sonore, le positionnement des sons dans l'espace est donc impératif.

Conclusion :

La conception des instruments de musique, qu'ils soient acoustiques ou électroniques, fait intervenir un certain nombre de connaissance (science) tout en laissant pas mal de marge de manœuvre, au concepteur pour personnaliser l'instrument (Art). Ce n'est pas pour rien que la musique est symbole d'union, car la musique en générale fait intervenir beaucoup d'artistes : les concepteurs, les compositeurs, les musiciens (qui reproduisent la musique composée, chanteurs inclus), sonorisation (cela fait l'objet d'un autre exposé).

Bibliographie :

Encyclopedia Universalis 1990 (version papier)
Encyclopedia Universalis 4.0 (Version CD)
Encyclopédie Encarta 99
Dictionnaire Petit Robert

<http://dictionnaire.metronimo.com>

<http://fr.audiofanzine.com/>

<http://perso.wanadoo.fr/guitares.beuzon/photos3/ATE1.htm>

<http://www.alain-queguiner.com/>

<http://www.chimix.com/T-fiches/spe1.htm>

http://www.classicalguitarmidi.com/history/guitar_history_fr.html

<http://www.swer.net/atel.elements.guitare.html>

<http://perso.wanadoo.fr/dominique.charpagne/Lutherie/GuitareElectrique/ImagesDW/Fabricationduneguitareelec>

<http://users.skynet.be/stamjer/guitare.html>

Version informatique de ce document disponible sur le site :

<http://www.j2c-s2c.com/musique/doc/instruments.pdf>