

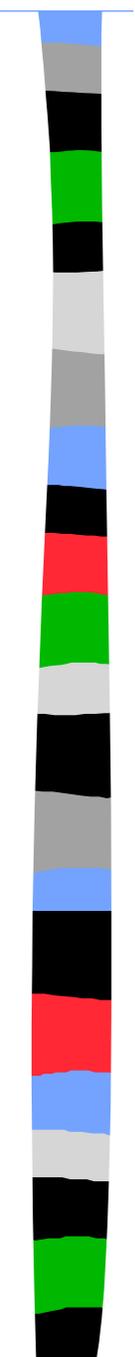
# *La synthèse sonore*

V 1.0 – 2006 – corr. 2009

**Jacques Ferber**

**LIRMM - Université Montpellier II  
161 rue Ada  
34292 Montpellier Cedex 5**

**Email: [ferber@lirmm.fr](mailto:ferber@lirmm.fr)  
Home page: [www.lirmm.fr/~ferber](http://www.lirmm.fr/~ferber)**



# *La synthèse sonore*

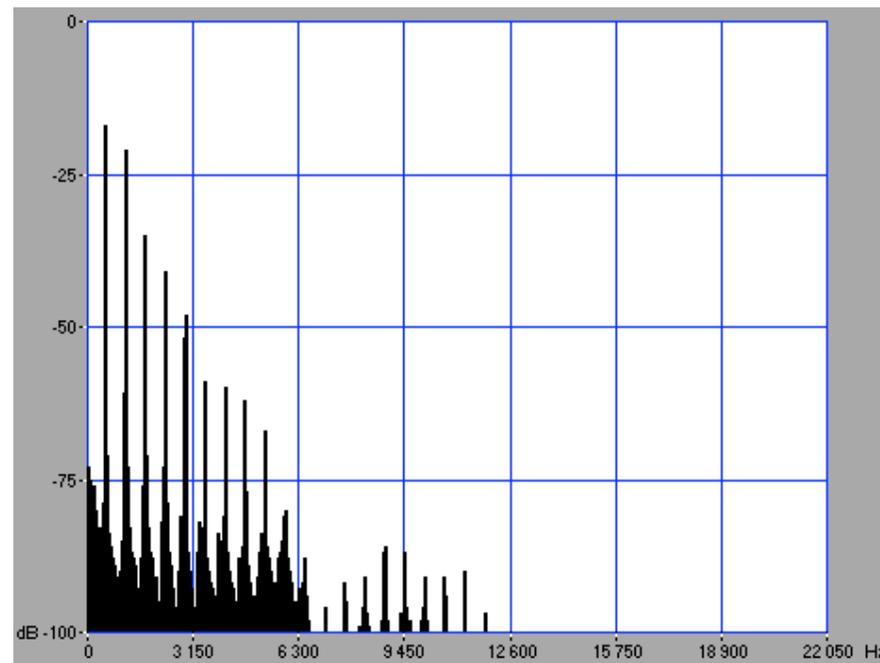
---

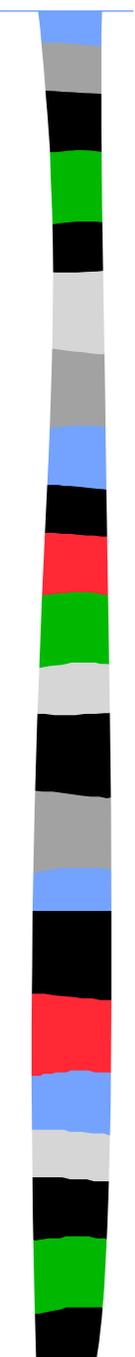
## ◆ Problématique:

- Comment créer des sons “musicaux” de manière synthétique (électronique, numérique)?
- Peut on reproduire des sons d’instruments existants?
- Peut on créer des sons nouveaux?

## Rappel

- ◆ Un son périodique est constitué d'un ensemble de formes d'ondes: fondamentale, harmonique
- ◆ Exemple: spectre d'une note jouée sur une flûte à bec

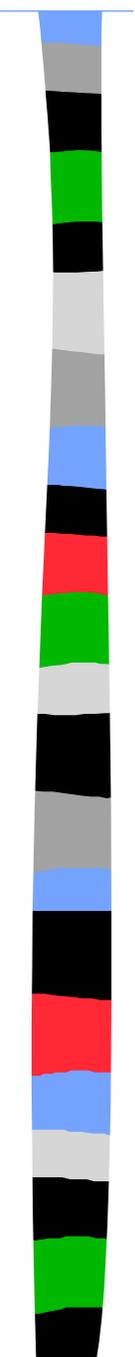




## *Différents types de synthèse*

---

- ◆ Synthèse soustractive
- ◆ Synthèse par échantillon
- ◆ Synthèse par table d'onde (wave table)
- ◆ Synthèse additive
- ◆ Synthèse FM
- ◆ Synthèse granulaire
- ◆ Synthèse par modélisation physique

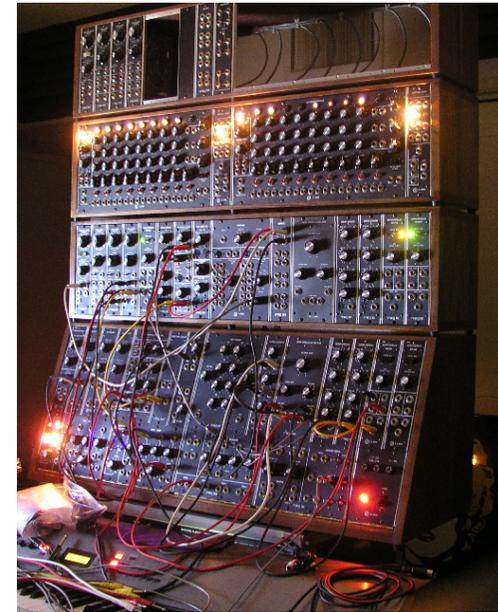


# Historique

---

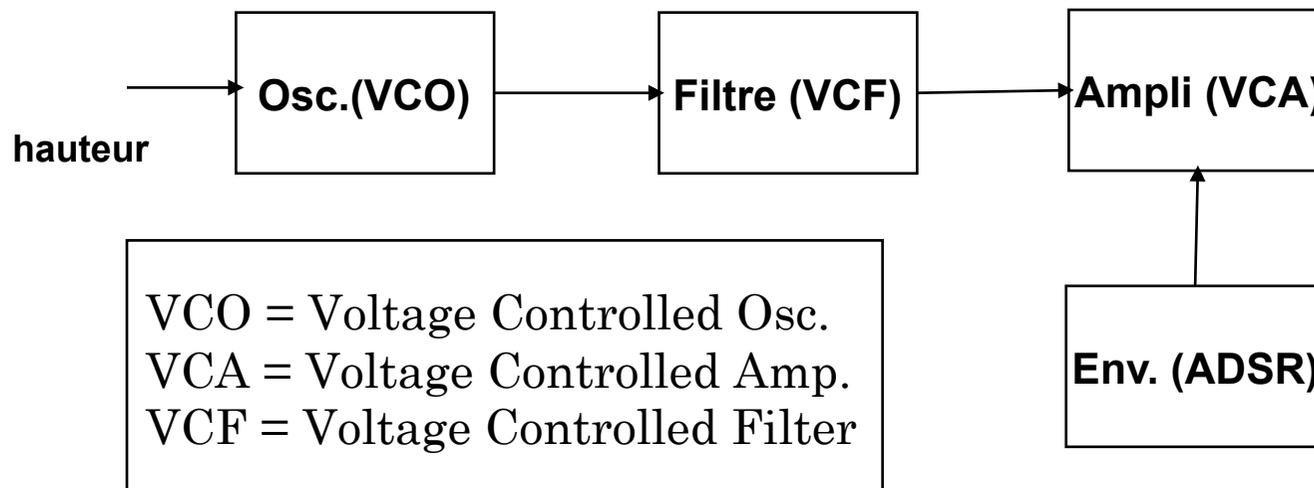
- ◆ **1920- Le theremin, En 1920 Léon Thérémin, crée le Theremin**
  - (il est toujours vendu.. Voir les videos sur youtube)
- ◆ **Années 50: création de musique par ordinateur (Music V) de Max Mathews**
- ◆ **1965- Robert Moog crée le premier synthétiseurs à partir de modules**
  - La synthèse soustractive est née (elle n'a cessé de faire parler d'elle depuis)
  - 1968 « Switched on Bach » de Wendy (alors Walter) Carlos.. et la musique de Orange Mécanique du même auteur.
- ◆ **Années 70**
  - Moog modular, minimoog, etc..
  - Puis: ARP, Sequential Circuits (Prophet), EMS,
- ◆ **Année 80: premiers synthés digitaux et synthèse FM**

# Photos



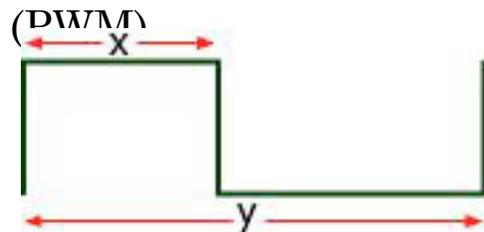
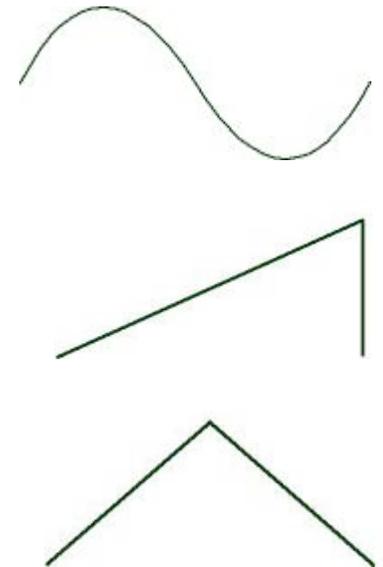
# Synthèse soustractive

- ◆ **Principe: partir d'un signal relativement riche en harmonique et supprimer des harmoniques à ce signal**
- ◆ **La plus ancienne et la plus utilisée des formes de synthèse.**
  - La plupart des synthétiseurs mythiques (Moog, Prophet, Juno, etc..) sont fondés sur cette synthèse..
  - Fait toujours les beaux jours des musiques « technoïdes » (basses, nappes, arpèges)
- ◆ **Diagramme général:**



# Les formes d'ondes standard

- ◆ Ce sont des formes d'ondes riches en harmoniques et relativement faciles à créer par composants électroniques (dans les années 60/70)
- ◆ Sinus: pas d'harmoniques
- ◆ Dent de scie
  - Toutes les harmoniques
  - Valeurs des harmoniques:  $1/p$  où  $p$  est la  $p$ ème harmonique
- ◆ Triangle
  - Harmoniques impaires uniquement (son du hautbois)
  - Décroissent en  $1/p^2$
- ◆ Pulse - carré
  - Uniquement les harmoniques impaires pour un carré (clarinette)
  - Décroit en  $1/p$
  - L'intérêt majeur est de pouvoir moduler le rapport  $x/y$  ( $DW/M\Lambda$ )



# Le filtrage

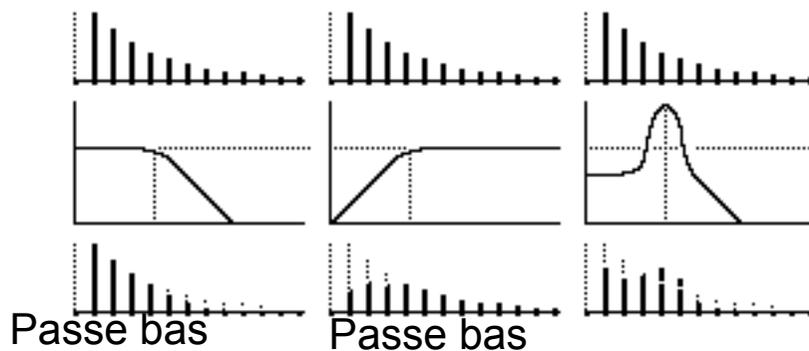
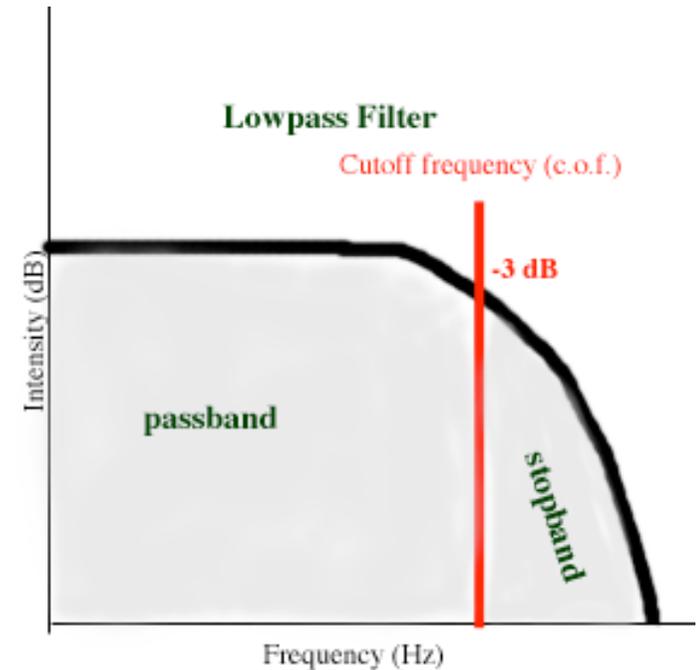
◆ Le filtre est utilisé pour supprimer des fréquences à un son

◆ Types de filtre:

- Passe bas (low pass): supprime les fréquences hautes
  - ☞ Le plus utilisé en synthèse soustractive
- Passe haut (high pass): supprime les fréquence basse
- Passe bande (band pass): ne laisse passer que des fréquences intermédiaires
- Réjection (Notch): supprime les fréquences intermédiaires (peu utilisé)
- Filtre en peigne (Comb filter): filtre tout un ensemble de fréquences

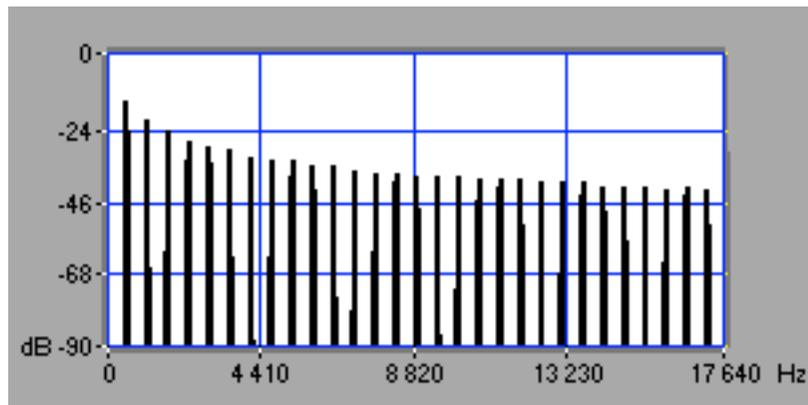
# Caractéristiques d'un filtre

- ◆ Fréquence de coupure (cut-off)
- ◆ Pente: nbre de db par octave
  - -12db
  - -24db: pente + raide
- ◆ Résonance (Q)
  - Accentue les fréquences juste avant la la coupure
  - Un fort facteur de Q peut entraîner l'auto-oscillation du filtre

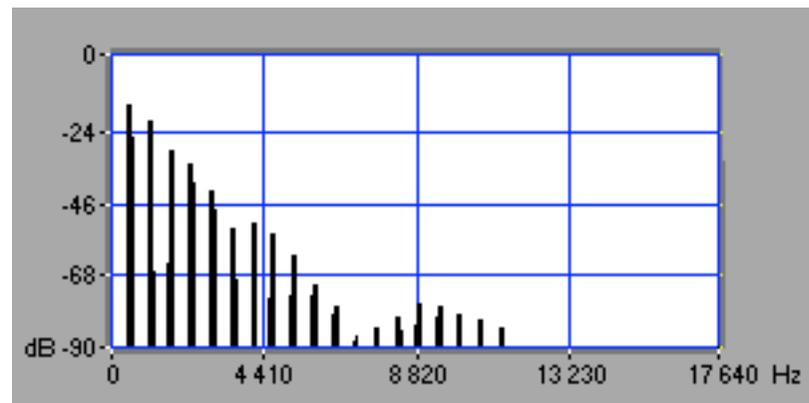


# Filtrage multiples

Il est possible de mettre plusieurs filtres en série ou en parallèle pour donner plus de couleur au son



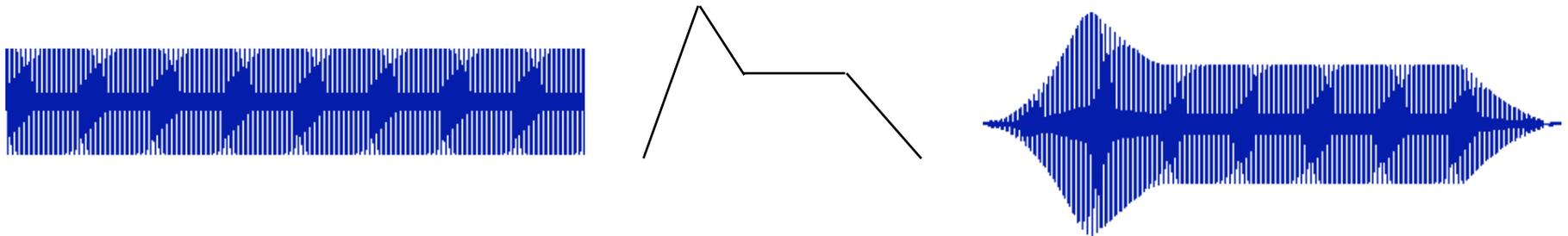
initial



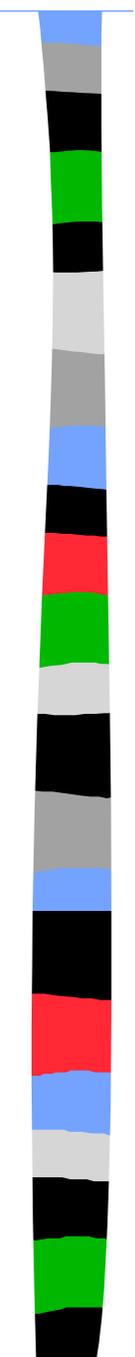
Filtré par plusieurs filtres

# L'évolution du son

- ◆ Un son n'est pas uniforme: il évolue dans le temps, à la fois en intensité et en couleur (timbre, gestion des harmoniques)



- ◆ On distingue généralement 4 phases dans l'évolution d'un son:
  - Attack (attaque)
  - Decay (décroissance)
  - Sustain (maintient)
  - Release (relâchement - lorsque la touche est relâchée)
- ◆ ==> terme **ADSR** pour décrire les enveloppes utilisées dans les synthés.



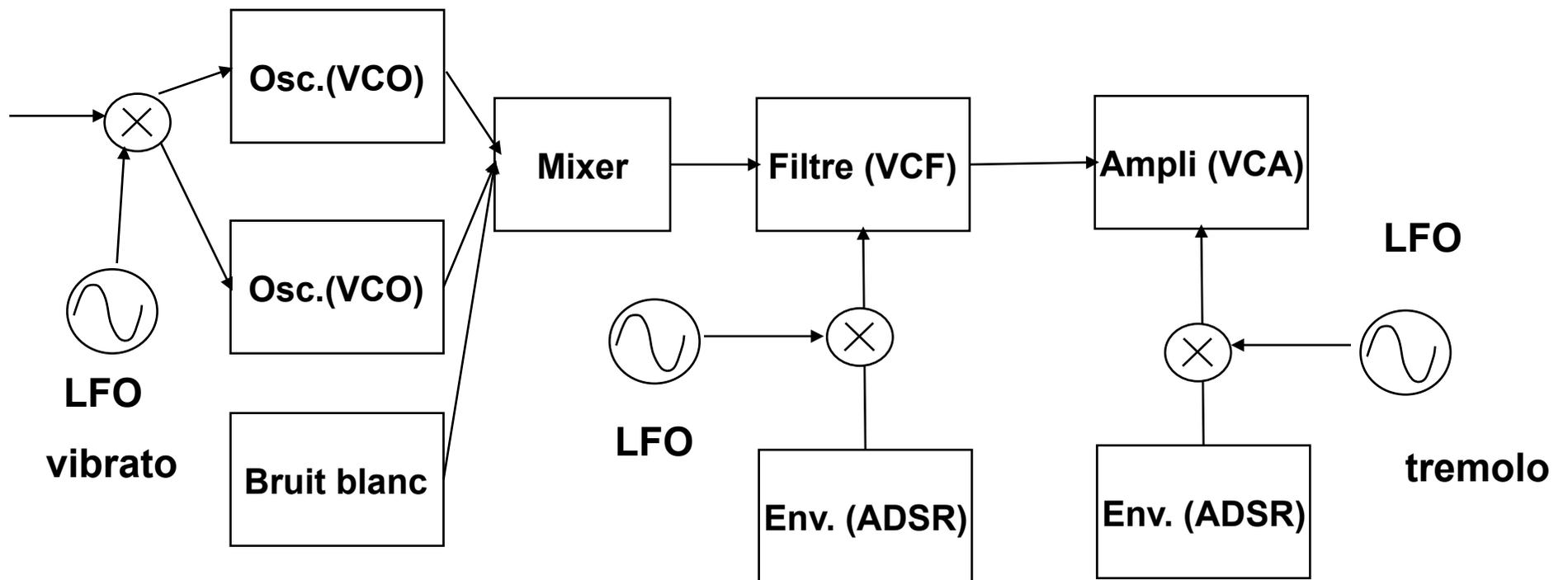
# Modulations

---

- ◆ Evolutions de type « tremolo » (modulation d'amplitude) ou « vibrato » (modulation de hauteur)
- ◆ Evolutions d'autres facteurs
- ◆ Utilisation de LFO (Low Frequency Oscillators): oscillateurs de basse fréquence qui viennent moduler des aspects du son

## Un diagramme plus complet

- ◆ Chemin du son et des contrôles dans un synthé classique à base de synthèse soustractive



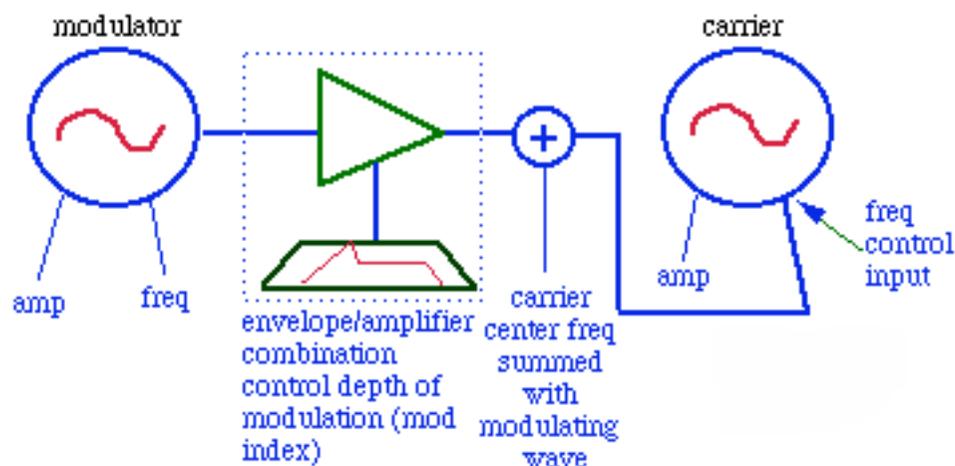
- ◆ On peut moduler à peu près n'importe quoi... on parle de « matrice » de modulation (quel contrôleur module quoi)

- Terme qui vient des premiers synthés avec patches

# La synthèse FM

- ◆ FM = Frequency modulation
- ◆ Développée par Chowning dans les années 70
- ◆ Arrive dans les années 80 avec le célèbre DX7
- ◆ Principe de la modulation de fréquence dans les systèmes audio: un signal porteur est modulé par un (ou plusieurs) « modulateurs »

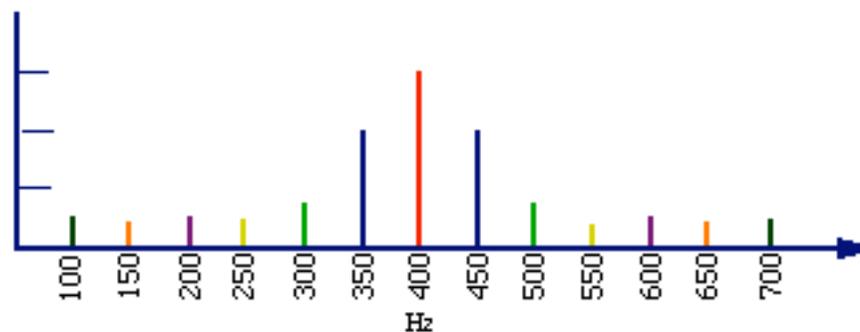
$$s = s_o \cdot \sin(2\pi f_p t + \beta \cdot \sin(2\pi f_m t)) \quad (1)$$



## Les partiels

- ◆ La fréquence centrale (la porteuse) est entourée d'un ensemble de partiels dont l'espacement vaut la fréquence de la modulante
- ◆ Les niveaux des différents partiels est entièrement déterminée par l'indice de modulation  $\beta$
- ◆  $Pf = Cf \pm nMf$  [n=0,1,2,3...] Pf = fréquence du partiel, Cf= fréquence du porteur, Mf= fréquence du modulateur, n=all positive integers including 0:

Ex: porteuse de 400hz, modulation de 50hz



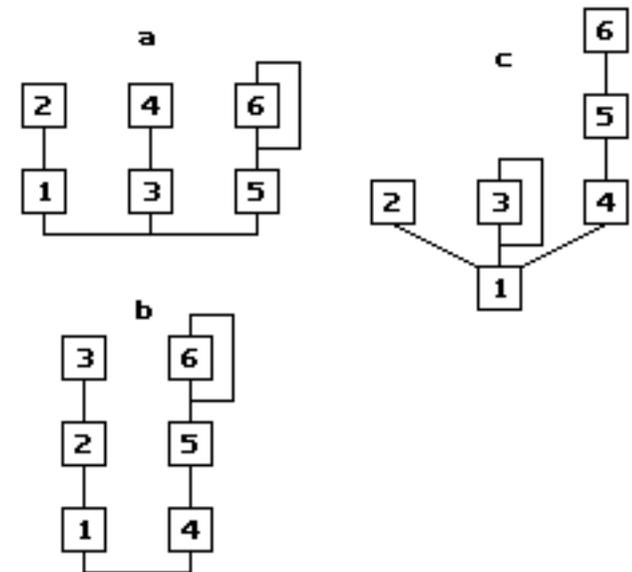
## *Le rapport C/M (porteur/ modulateur)*

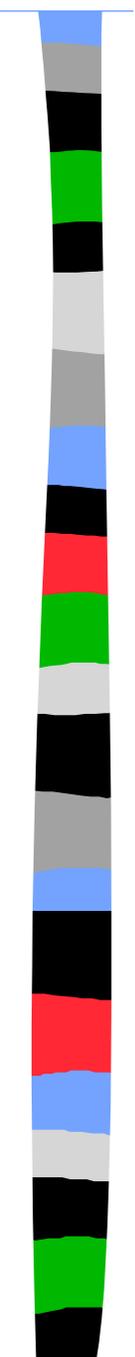
---

- ◆ On peut calculer les partiels autrement en donnant le rapport partiel/modulateur
  - Ex:  $Cf = 100\text{Hz}$ ,  $Mf = 200\text{Hz}$ ,  $C/M = 1/2$
  - Partiels:  $C+M$ ,  $C+2M$ ,  $C+3M$ ,  $C+4M$
  - Valeurs:  $3C$ ,  $5C$ ,  $7C$  (en fait tous les harmoniques impaires!!)

# Les opérateurs

- ◆ Principe: chaque opérateur est un oscillateur avec son enveloppe.
- ◆ DX7 : 6 opérateur, TX81Z: 4 opérateurs
- ◆ On peut associer ces opérateurs en des configurations diverses appelées « algorithmes »
- ◆ Dans le DX7, les opérateurs ne peuvent produire que des sinus (FM Chowning)
- ◆ Dans les nouveaux systèmes (souvent virtuels) les opérateurs peuvent avoir une forme d'onde quelconque..





# Les autres synthèses

---

## ◆ Par échantillon:

- Comme la synthèse soustractive, mais on utilise au départ des sons issus d'échantillons d'instruments

## ◆ Additive

- On ajoute les fréquences partielles une à une
- Très peu utilisée en pratique car consomme beaucoup de ressources calcul:
  - ☞ Fairlight, 4X de l'IRCAM

## ◆ Modélisation physique

- On construit un modèle physique de l'instrument:
  - ☞ Propagation des ondes, frottement des cordes, etc..
  - ☞ La modélisation qui se développe énormément.

## ◆ Synthèse granulaire

- Décomposition en grains que l'on recompose ensuite.