

---

---

# A.M.E.A.

## Synthèse sonore d'un instrument par technique additive

---

### 1 Principe

L'objectif de ce TP est d'étudier une technique de synthèse sonore consistant à générer le son par sommation de formes d'ondes élémentaires. Ici, il s'agira d'ondes sinusoïdales, bien que d'autres formes d'ondes puissent être envisagées. Ces sinusoïdes peuvent être :

- invariantes dans le temps : le spectre du son reste alors identique au cours du temps ; les instruments modélisables par cette approche sont les instruments à son entretenu tel que les flûtes, l'orgue Hammond, ou encore les cuivres.
- pondérées par une enveloppe (i.e., modulées en amplitude) : le spectre varie au cours du temps, et permet de modéliser des instruments à son non-entretenu, comme le piano, la guitare, les percussions ; en général, on utilisera des sinusoïdes amorties exponentiellement  $y_n(t) = A_n e^{-t/\tau_n} \sin(\omega_n t + \phi_n)$ , qui correspondent au fonctionnement physique "réel" de ce type d'instrument (l'amortissement provenant de la dissipation d'énergie mécanique, soit dans la structure de l'instrument, soit par rayonnement).

Il existe plusieurs techniques pour réaliser ces sinusoïdes. Une méthode consiste à générer des sinusoïdes à partir d'oscillateurs indépendants (ou de tables d'onde stockées en mémoire), puis à appliquer une enveloppe à chaque oscillateur ainsi construit. On peut également appliquer une enveloppe à l'ensemble du son. La définition des enveloppes est couramment fournie sous la forme ADSR : Attack, Decay, Sustain, Release. Cf. figure ci-dessous.

### 2 Mise en oeuvre

#### 2.1 Estimation des paramètres

La mise en oeuvre d'une méthode de synthèse débute par une **étape d'analyse** consistant à déterminer les paramètres de synthèse, en l'occurrence les fréquences, amortissements et amplitudes de chaque sinusoïde (ou partiel), ainsi que, éventuellement, les paramètres ADSR de l'enveloppe globale. Pour cette étape, vous pourrez, après avoir choisi un instrument à synthétiser :

- soit utiliser un échantillon préexistant (cf. piano sur le site web de l'option),
- soit réaliser la prise de son de votre propre instrument (demander microphones et cartes son),

Ensuite, il s'agira d'identifier les paramètres  $(A_n, \tau_n, \omega_n, \phi_n)$  de chaque partiel.

Pour analyser les échantillons, il est possible d'utiliser une technique de filtrage partiel par partiel (i.e., le fondamental de chaque note disponible) :

- filtrage complexe de la composante. Le filtre sera un filtre RIF passe-bas obtenu par la méthode de remez puis décalé autour de la fréquence centrale de la composante.

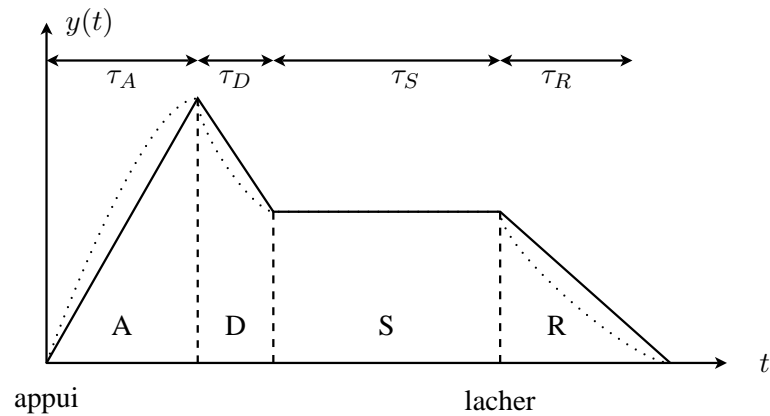


FIG. 1 – Paramètre de la forme d'onde ADSR. La courbe en pointillés correspond à la forme "réaliste" réalisée à partir de portion d'exponentielles. Les termes "appui" et "lacher" correspondent au cas du piano.

Le résultat obtenu, si la composante est simple, est une exponentielle complexe de la forme  $x[n] = Ae^{-\alpha n + j(\omega n + \phi)}$ .

- on obtient  $A$  et  $\alpha$  par régression linéaire sur  $|x|$
- on obtient  $\omega$  et  $\phi$  par régression linéaire sur  $\arg(x)$

## 2.2 Programmation du code de synthèse et écoute critique

La seconde étape consistera à programmer le code de synthèse (matlab ou C), puis à introduire les paramètres estimés dans le modèle de synthèse pour produire le son.

Une éventuelle troisième étape (selon temps restant) consistera, par des méthodes de traitement du signal et (surtout) par l'écoute critique, à comparer le son obtenu par synthèse et le son de l'instrument réel recherché, ce afin d'affiner les paramètres du modèle pour rendre le son plus intéressant.

## Bibliographie

Fletcher & Rossing, The Physics of Musical Instruments. Disponible au centre de documentation de l'ensea.