

# Traitement du signal

Charles Vin

2022

Cours de

- Hassam Aboushady, équipe CIAN : hassam.aboushady@lip6.fr. Cours inspiré des 5 premiers chapitres du livre "B.P.Lathi, Linear Signals & Systems, Oxford University Press 2005"
- Sebastien Baey : sebastien.baey@lip6.fr

Modalité d'examen :

- Un exam par professeur après chaque partie.
- Pour Aboushady : 60% exam, 40% sur les CR de TD chaque semaine into 50% de la note finale + une feuille A4
- Pour Baey à voir

Table des matières

- Signaux et opération utiles
- Traitement de signal dans le domaine Temporel (convolution)
  - Temps continu
  - Temps discret
- Traitement de signal dans le domaine fréquentiel
  - Transformé de Laplace (Temps continu)
  - Transformé en Z (Temps discret)
- Filtrage en temps continu/discret

Quatre types de signal : Temps continu/discret X Amplitude Analogique(continue)/numérique(discret).

D'un point de vue technique, le type d'amplitude ne change pas grand chose (ça rajoute juste une erreur qu'on modélise comme du bruit). Ce qui est important est le type de temps.

## 1 Opération sur les signaux

### 1.1 Quelques révisions

On a

- Un signal  $x(t)$  en entrée
- Qui passe dans un système  $h(t)$
- Qui sort un autre signal  $y(t)$

3 opérations : Voir les graphiques dans OneNote

- Décalage : On décale le signal dans le temps  $x(t + T), x(t - T)$
- Etalage et compression dans le temps :
  - Etalage :  $x(t/2)$  Aplatit la courbe dans le temps
  - Compression :  $x(2t)$  L'inverse
- Inversion :  $x(-t)$  : symétrie par rapport à l'ordonnée.

On va écrire les fonctions de signal en utilisant cette fonction

$$\begin{cases} 1 & \text{si } t \geq 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

**Exemple 1.1.** Exprimer  $x(t)$  en fonction de  $u(t)$ . Voir OneNote

**Définition 1.1** (L'impulsion (dirac)). On mesure l'impulsion (le saut si on prend une porte) avec cette fonction. L'amplitude ici est infini (mot du prof mais genre la pente est infini).

$$\delta(t) = 0 \text{ pour } t \neq 0, \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1.$$

En fait il le mesure avec cette fonction mais il a fait un dessin où il fait tendre  $\epsilon \rightarrow 0$  pour reserrer la fenêtre de l'intégrale autour de la porte

**Définition 1.2** (L'exponentiel). On passe dans les complexes où on écrit le nombre imaginaire avec  $i$  ou  $j$  (pour pas confondre le  $i$  de l'intensité du courant).

$$\begin{aligned} e^{st} \text{ avec } s &= a + jb \\ e^{st} &= e^{(a+jb)t} = e^{at} e^{jbt} \\ &= e^{at} (\cos(bt) + j \sin bt) \end{aligned}$$

## 1.2 La convolution

**Définition 1.3.** En gardant en tête la définition de tout à l'heure avec le signal d'entrée  $x(t)$  et le système  $h(t)$ . On définit l'intégrale de la convolution tel que

$$\begin{aligned} y(t) &= x(t) \star h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) x(t - \tau) d\tau \end{aligned}$$

**Exemple 1.2.** Déterminez la réponse d'un système défini par  $h(t) = e^{-2t}u(t)$  à une entrée  $x(t) = e^{-t}u(t) \rightarrow u(t)$ .

$$\begin{aligned} y(t) &= x(t) \star h(t) = \int_{(\infty)}^{\infty} x(\tau) h(t - \tau) d\tau \\ &= \int_0^t e^{-\tau} e^{-2(t-\tau)} d\tau \end{aligned}$$

Voir figure 1.

**Proposition 1.1** (de la convolution). *Quelques propriétés de la convolution*

- *Commutativité* :  $x_1(t) \star x_2(t) = x_2(t) \star x_1(t)$
- *Distributivité* : toi même tu sais
- *Associativité* :  $x_1(t) \star x_2(t) \star x_3(t) = (x_1(t) \star x_2(t)) \star x_3(t) = x_1(t) \star (x_2(t) \star x_3(t))$
- *Décalage* : Si  $x_1(t) \star x_2(t) = c(t)$  alors

$$\begin{aligned} x_1(t) \star x_2(t - T) &= c(t - T) \\ x_1(t - T) \star x_2(t) &= c(t - T) \\ x_1(t - T_1) \star x_2(t - T_2) &= c(t - T_1 - T_2) \end{aligned}$$

- *Convolution avec une impulsion* :  $x(t) \star \delta(t) = x(t)$
- *La durée de la convolution* : On somme les deux durées (temps entre le zéro du début et celui de la fin). Soit un signal  $x_1(t)$  d'une durée  $T_1$  et un signal  $x_2(t)$  d'une durée  $T_2$ . Alors  $x_1(t) \star x_2(t)$  a une durée de  $T_1 + T_2$ .

### 1.2.1 La convolution graphique de $x(t) \star h(t)$

1. Je garde  $x(\tau)$  fixe (ou  $h(t)$ )
2. Je trace  $h(-\tau)$  (ou  $x(t)$ )
3. Je décale  $h(-\tau)$  pour une valeur de  $t$  (ou  $x(t)$ )
4. J'intègre  $x(\tau)h(t - \tau)$  dans chaque cas (ou inverses)
5. Je répète 3. et 4. pour différentes valeurs de  $t$

**Exemple 1.3.** Trouvez la convolution de  $x(t), h(t)$ . Voir une note

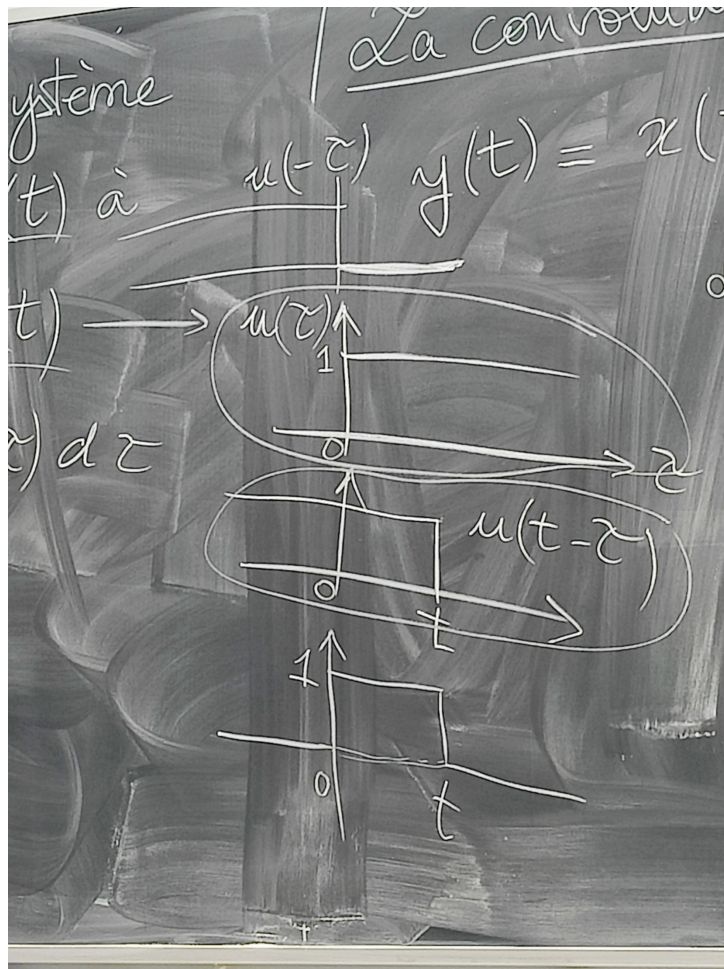


Figure 1 – Exemple convolution