

- Identifier les paramètres caractéristiques des signaux analogiques et numériques
- Représenter les signaux de manière temporelle et fréquentielle

15 CARACTÉRISATION DE L'INFORMATION ANALOGIQUE ET NUMÉRIQUE

Un signal est porteur d'une grandeur physique variable contenant l'information à transmettre entre une source et son récepteur. Cette grandeur peut être électrique, optique, acoustique, ou vibratoire...

1 L'information analogique

Elle se caractérise par les grandeurs physiques évoluant de manière continue en fonction du temps. Les signaux analogiques (courant, tension, charge) sont caractérisés par des paramètres spécifiques. Ainsi un signal (courant ou tension) peut être défini par des paramètres dynamiques (valeur moyenne, amplitude, valeur crête à crête, rapport cyclique)

Cette information peut être périodique ou non périodique (transitoire).

A Considération temporelle

Un signal analogique peut être caractérisé temporellement par :

- ▶ sa période $T = \frac{1}{f}$ (en seconde, s) ;
- ▶ le rapport cyclique $\alpha = \frac{T_H}{T}$ (en %) ;
- ▶ le déphasage φ (en radian, rad, ou degrés) ;
- ▶ Temps de montée (s) t_m ou t_r ;
- ▶ Temps de descente (s) t_d ou t_f .

Il peut aussi être vu de manière spatiale par la fréquence $f = \frac{1}{T}$ (en Hertz, Hz).

La tension (en Volt, V) ou différence de potentiel est un paramètre caractérisant la dynamique du signal.

Elle peut être définie (comme pour l'intensité, en Ampère, A) par :

- ▶ son amplitude ;
- ▶ sa valeur moyenne ;
- ▶ sa tension efficace ;
- ▶ sa valeur crête-crête ou pic-pic.

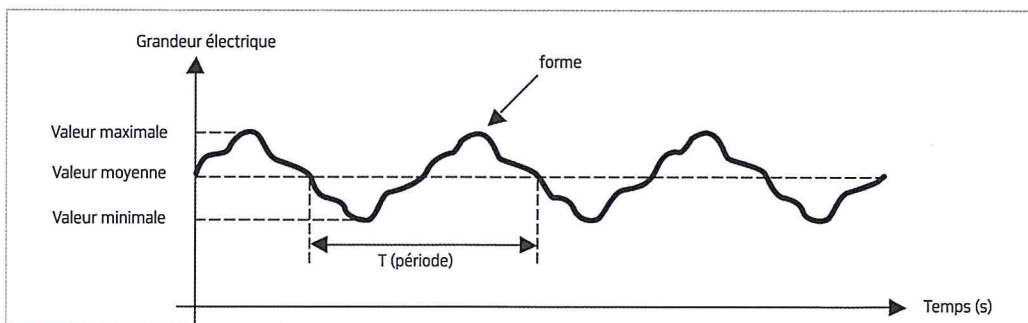


Fig. 1 Signal périodique quelconque

► **Forme d'un signal périodique**

On distingue principalement quatre formes remarquables de signaux périodiques :

- sinusoïdale ;
- rectangulaire ;
- triangulaire ;
- quelconque.

► **Détermination des temps de montée et de descente**

Il est pris entre 10 % et 90 % de sa valeur en régime établi.

Cette valeur est généralement issue d'une observation sur un instrument de mesure de type oscilloscope.

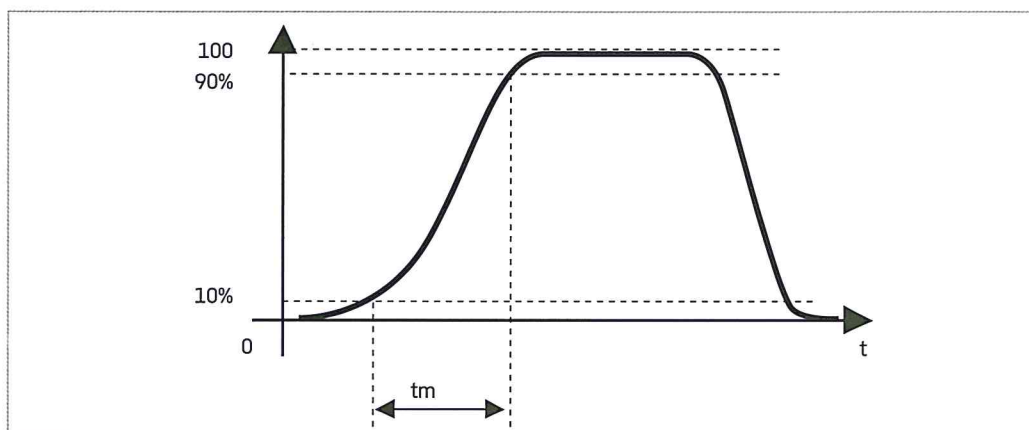


Fig. 2 Temps de montée d'un signal

Des opérations algébriques peuvent s'effectuer sur des signaux simples pour composer des ondes (Fig. 3b) ou signaux (Fig. 3a) plus complexes.

Il est alors nécessaire de pouvoir visualiser un même signal (Fig. 4) à travers des représentations temporelles (Fig. 4) et fréquentielle (Fig. 5) afin de déterminer les composantes fréquentielles du signal observé.

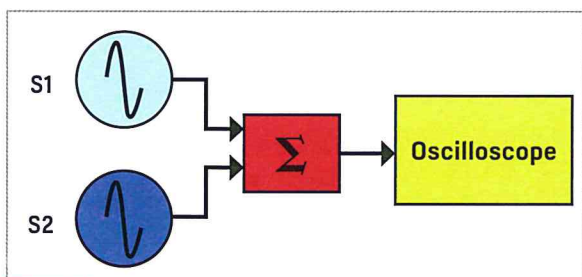


Fig. 3a Addition de deux signaux et visualisation temporelle

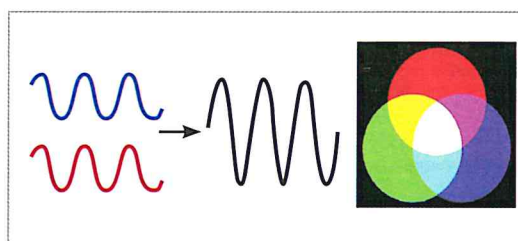


Fig. 3b Addition d'onde lumineuse

B Représentation fréquentielle

On montre par des opérations mathématiques, qu'un signal peut être la composition (addition) de plusieurs sinusoïdes de fréquences et d'amplitudes différentes.

Cette opération est appelée décomposition en série de Fourier.

Si on considère le signal original rectangulaire périodique de la figure 4.

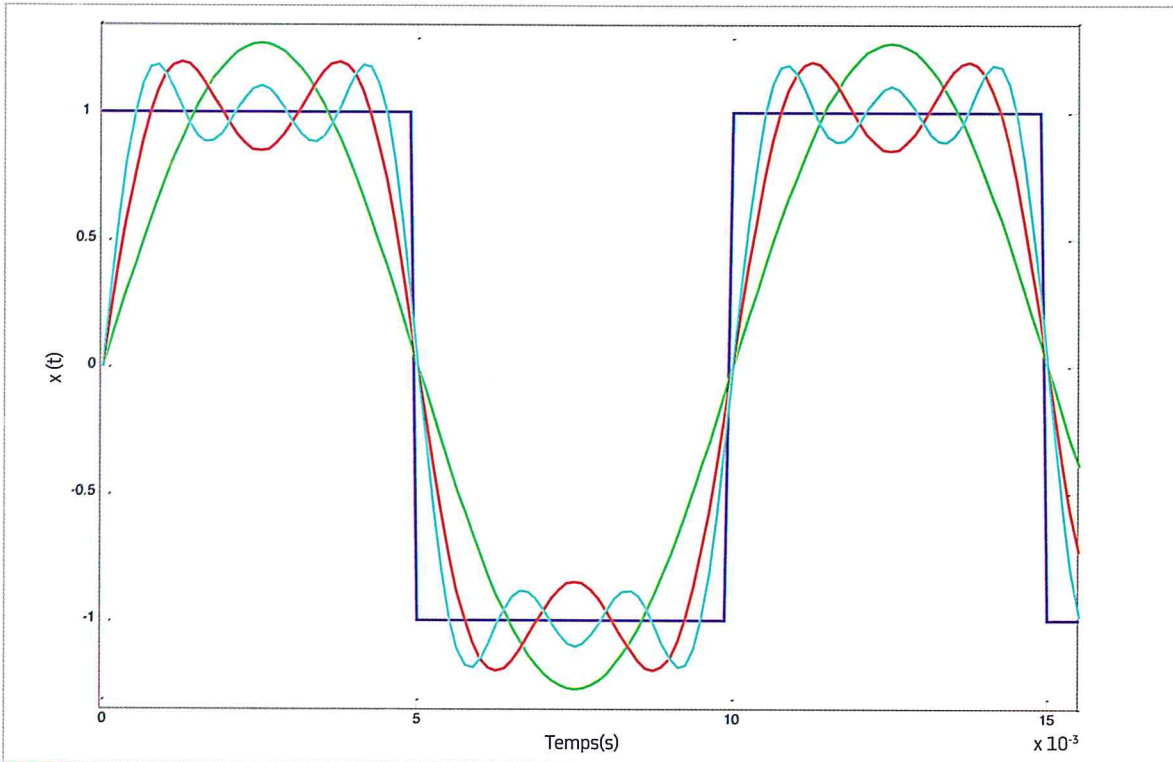


Fig. 4 Décomposition en série de Fourier d'un signal rectangulaire

On constate que pour un signal de type rectangulaire, le fondamental (courbe en vert) a une amplitude $\frac{4}{\pi}$ supérieure à celle du signal rectangulaire subissant la décomposition en série de Fourier.

On peut à l'aide de la décomposition en série de Fourier écrire :

$$x(t) = \frac{4}{\pi} \sin(2\pi f_0 t) + \frac{4}{3\pi} \sin(2\pi(3f_0)t) + \frac{4}{5\pi} \sin(2\pi(5f_0)t)$$

L'expression mathématique montre la présence d'un fondamental (f_0) et de plusieurs harmoniques multiples impaires de f_0 .

La décroissance harmonique est lente, il faut alors un nombre élevé d'harmonique pour constituer le signal.

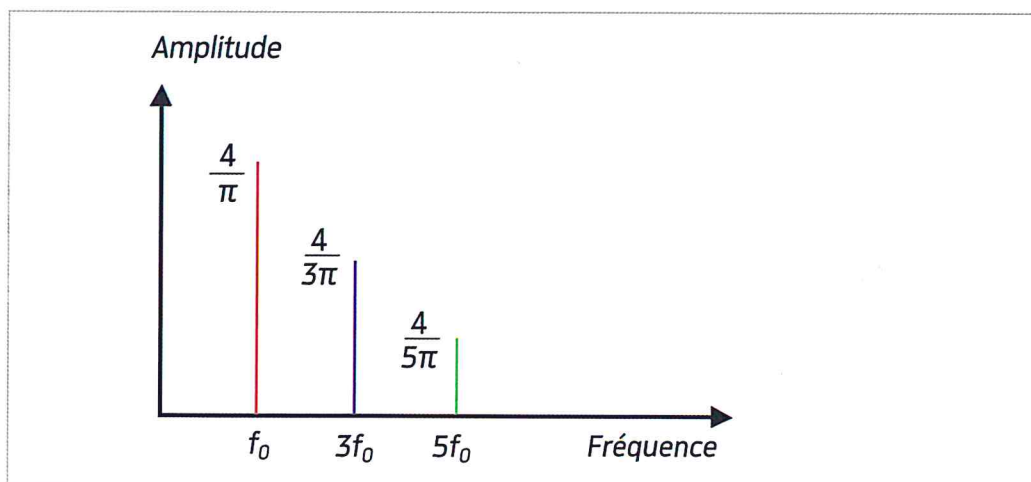


Fig. 5 Représentation fréquentielle du signal Fig. 4

ACTIVITÉ 1 À partir de la représentation temporelle de la figure 6 :

1. Repérer la période et en déduire la valeur de la fréquence de ce signal.
2. Identifier alors cette fréquence sur la représentation fréquentielle de la figure 6.

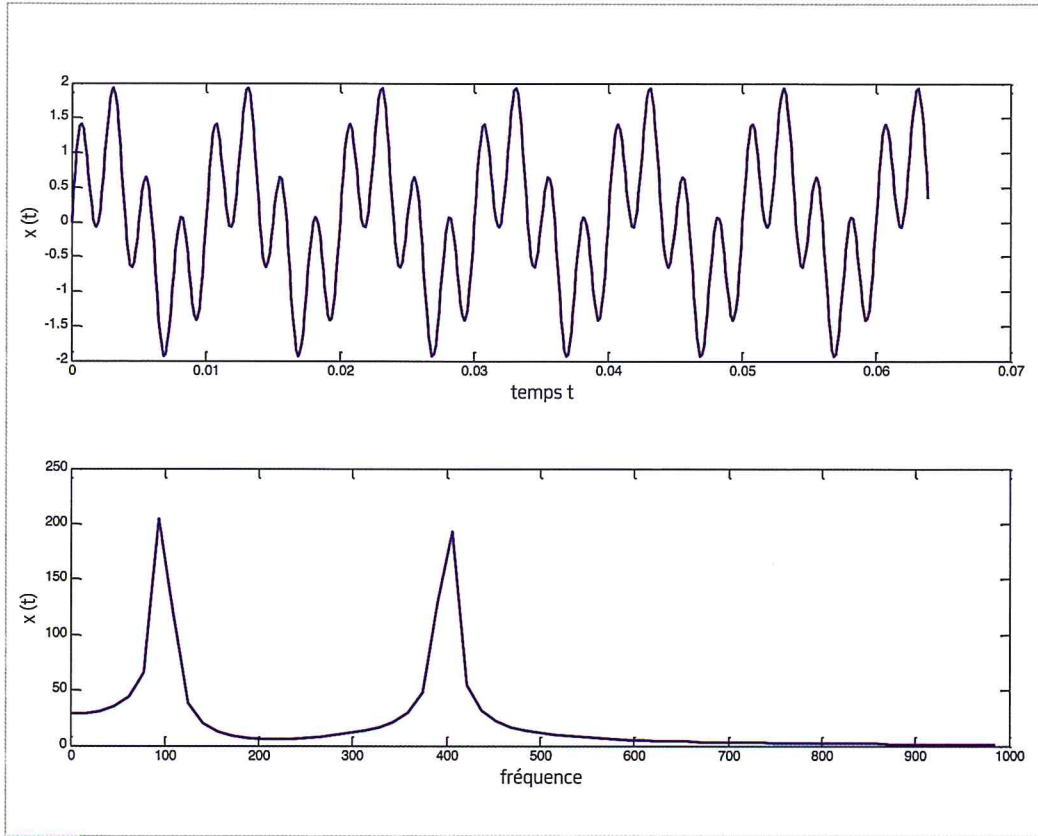


Fig. 6 Représentation temporelle et spectrale d'un même signal (temps en (s), fréquence en (Hz))

La représentation d'un signal rectangulaire peut aussi s'effectuer via un spectrogramme (Fig. 7). Ce diagramme permet de représenter à chaque instant t le spectre du signal analysé. Il est très souvent utilisé dans l'identification des sons et dans le traitement audio.

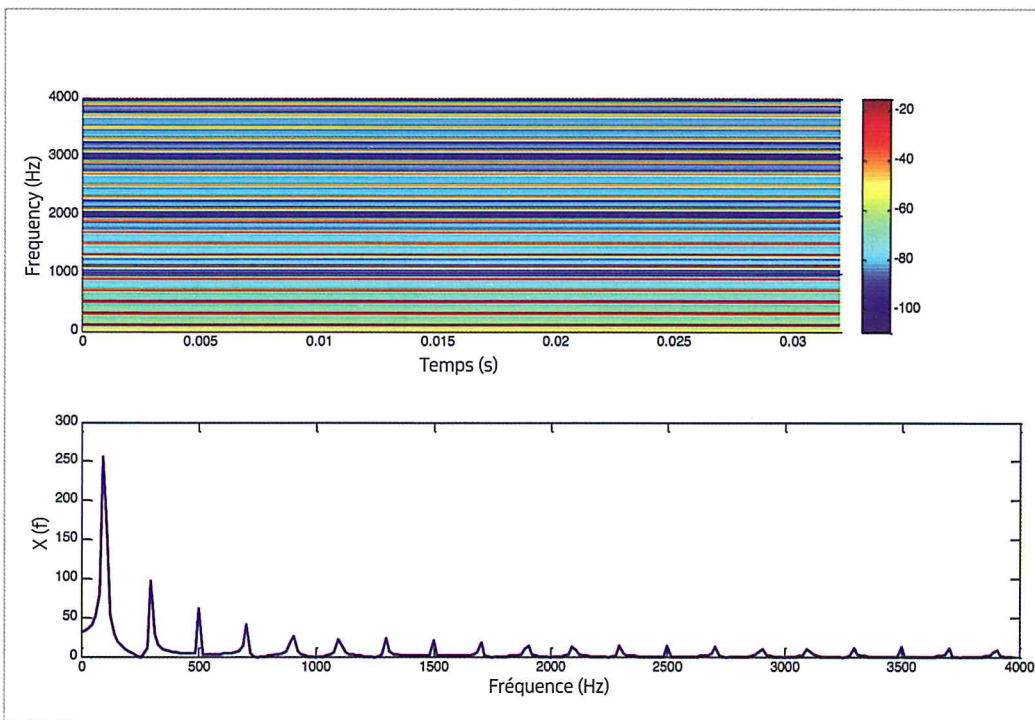


Fig. 7 Représentation spectro-temporelle d'un signal rectangulaire

INFORMATIONS

Un signal rectangulaire est composé de plusieurs sinusoïdes. Sa décomposition en série de Fourier est donnée par $X(f)$. La représentation de l'amplitude en fonction de la fréquence trouve sa correspondance dans le spectrogramme et dans une représentation Fréquence, Temps, Amplitude.

► Étude quantitative

Soit la tension sinusoïdale, définie par les expressions mathématiques suivantes :

$$U(t) = U_{max} \times \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

$$U(t) = U_{max} \times \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

La pulsation électrique exprimée en radians/seconde est définie par : $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$
 t est ici la variable courante sur l'axe des abscisses ; φ est le déphasage ou phase à l'origine.

► Calcul de la valeur moyenne

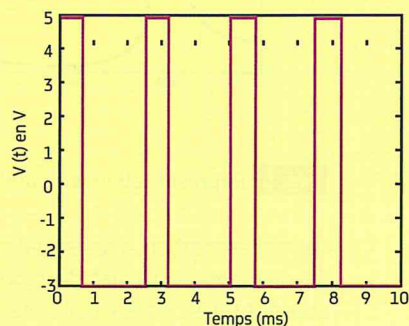
Il est parfois utile de déterminer la composante continue (valeur moyenne) qui est superposée à la composante alternative. Le plus souvent, cette opération peut se réaliser visuellement en effectuant une opération de soustraction d'une composante continue de manière à ce que la composante alternative évolue symétriquement autour de sa médiane (V pour une tension).

Un autre moyen est d'effectuer un calcul d'aire afin de déterminer la valeur moyenne du signal. Cette action est particulièrement adaptée aux signaux de type rectangulaire et passe par l'expression suivante :

$$U_{moy} = \bar{U} = \frac{|A_1| - |A_2|}{T} \text{ avec } A_1 \text{ aire de l'alternance positive en V.s, } A_2 \text{ aire de l'alternance négative en V.s et } T \text{ en seconde}$$

ACTIVITÉ 2 Soit le signal de la figure ci-dessous, la visualisation montre sur une période, une partie positive et négative.

Déterminer la valeur moyenne de cette tension.



Pour une tension quelconque, la tension efficace est déterminée par l'expression ci-dessous, où les opérations doivent s'effectuer dans l'ordre :

- ① la tension est élevée au carré ;
- ② on calcule la valeur moyenne de tension au carré ;
- ③ on extrait la racine carrée de la valeur moyenne de la tension au carré.

$$U_{eff} = \sqrt{U^2}$$

Pour une tension sinusoïdale, la tension efficace est exprimée par le rapport de la tension maximum par racine carrée de deux.

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$V1(t) = 3 \times \sin(2 \times \pi \times 50 \times t + 0)$$

$$V2(t) = 3 \times \sin(2 \times \pi \times 50 \times t + 0) + 1.$$

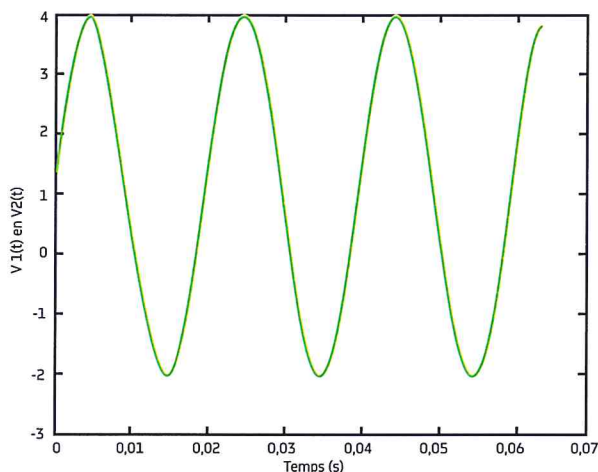


Fig. 8 Représentation de deux tensions sinusoïdales définies par les relations

ACTIVITÉ 3 À partir de des courbes $V_1(t)$ et $V_2(t)$ et de leurs expressions littérales :

1. Identifier sur le graphique les tracés de $V_1(t)$ et $V_2(t)$.
2. Déterminer l'amplitude du signal $V_1(t)$ et sa valeur crête à crête.
3. En déduire la valeur moyenne de la tension $V_2(t)$, en comparant $V_1(t)$ à $V_2(t)$.
4. Calculer la valeur efficace du signal $V_1(t)$.

2 Principe de mesure

A Position en mode alternatif AC (Alternative Current) et continu DC (Direct Current) des appareils de mesures et de visualisation AC-DC

La position DC permet de mesurer sur un voltmètre la valeur continue d'une tension, la position AC permet quant à elle de mesurer la valeur efficace. Il en est de même pour l'ampèremètre. L'oscilloscope permet de visualiser les formes d'ondes continues et transitoires. De même, le passage de la position DC à AC introduit un condensateur en série sur le signal à mesurer et supprime la composante continue.



Fig. 9 Position DC (bleu) et AC (rouge) d'un multimètre

B Mesure de la valeur efficace

Cette valeur est donnée en effectuant l'opération suivante :

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

Pour une tension sinusoïdale et pour un signal périodique quelconque, les appareils de mesure délivrent la valeur efficace vraie (true RMS) en effectuant l'opération $U_{\text{eff}} = \sqrt{U^2}$.

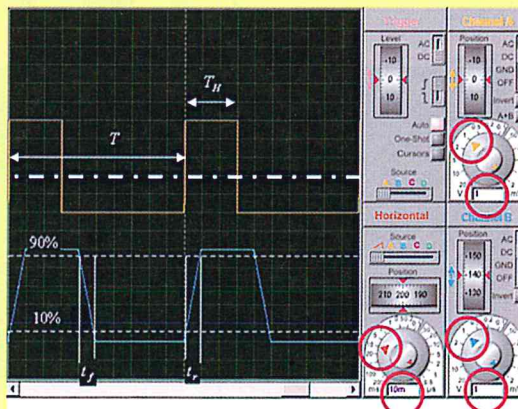
L'oscilloscope est un appareil de visualisation de tension le plus souvent doté d'indicateurs permettant de mesurer les paramètres électriques et temporels du signal observé. Il possède comme pour le voltmètre, sur chaque voie d'observation, une position DC et AC permettant la visualisation du signal en mode continu ou alternatif.

C Mesure des temps de montée et de descente

Ces mesures sont réalisées en mesurant la durée du temps de montée T_m ou T_r (rise time) et la durée du temps de descente T_d ou T_f (fall time) pris entre 10 % et 90 % du signal pleine échelle.

ACTIVITÉ 4 À partir des informations des calibres et du tracé des oscillogrammes de la figure ci-dessous : Compléter le tableau des caractéristiques des deux tensions sur les voies A et B.

	Voie A	Voie B
V_{max} (V)		
V_{min} (V)		
V_{moy} (V)		
T (s)		
F (Hz)		
T_h (s)		
α (%)		
T_r (s)		
T_f (s)		



3 Les signaux numériques

Le signal numérique se caractérise par la représentation de grandeurs discrètes dans le temps. Son amplitude varie de manière discrète (nombre fini de valeurs). On distingue deux niveaux :

- ▶ niveau haut, H (High), NL1, '1' ;
- ▶ niveau bas, L (Low), NLO, '0'.

L'information ainsi définie peut être transmise sous forme parallèle via un groupement de fils (Bus), ou sous forme série (information en série sur un fil).

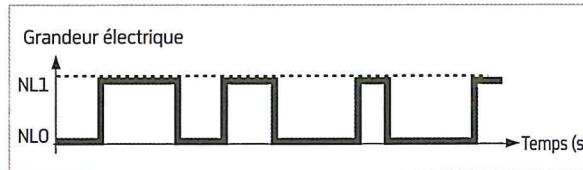


Fig. 10 Chronogramme d'un signal numérique

A Caractérisation de la dynamique

Les niveaux logiques générés par les composants électroniques possèdent en réalité des valeurs de tensions définies par les paramètres VOH, High Output Voltage ou « Tension de sortie à l'état haut » et VOL (Low Output Voltage) ou « Tension de sortie à l'état bas ».

On distingue les niveaux logiques dit TTL (0 V à 5 V) et Low power ou Low voltage TTL (0 V à 3,3 V).

B Transmission de l'information sous forme parallèle

Lorsque l'information est transmise simultanément à travers un groupement de conducteurs, elle est lors transmise en parallèle à travers un bus. Cette information est dite parallèle. Il existe principalement des bus 8 bits ou 16 bits. Les processeurs de signaux possèdent généralement un ou plusieurs ports ou lignes assurant cette configuration.

Le bus est un groupement de conducteurs véhiculant une information sur plusieurs lignes électriques. Ici le bus est constitué des données D0 à D15 soit 16 bits. On note alors le bus [D0...D15] ou D[0..15].

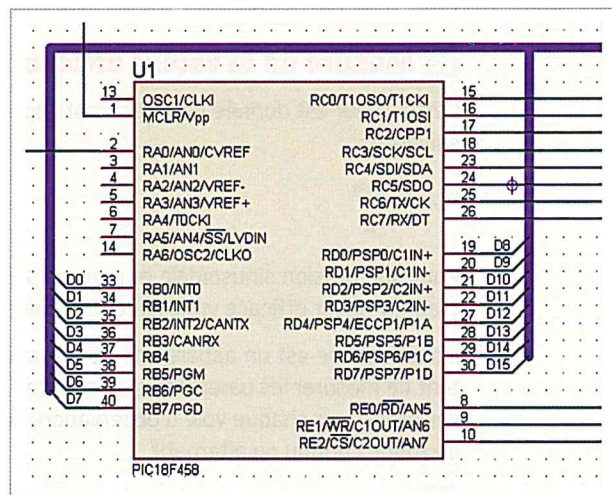


Fig. 11 Transmission de l'information sous forme parallèle au travers d'un bus de communication

C Transmission de l'information sous forme série

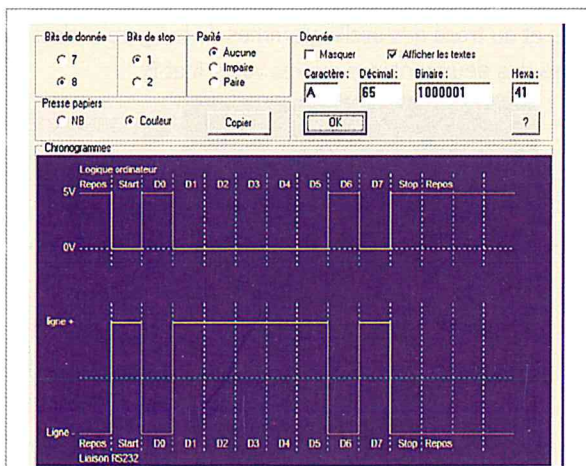


Fig. 12 Chronogrammes d'une transmission série asynchrone RS232

Il existe plusieurs moyens de transmettre l'information sous forme série. Plusieurs standards et protocoles sont disponibles.

La liaison RS232 est une liaison série asynchrone (pas de transmission de l'horloge) de type Full Duplex (transmission simultanée de l'information dans les deux sens). Les données sont transmises le plus souvent au travers d'un mot de 8 bits avec des bits de paquetage permettant de formater une trame.

Cette liaison met en œuvre des circuits intégrés d'adaptation de ligne afin de transformer des tensions de type TTL (au niveau circuit intégré) en des tensions plus élevées sur le câble de transmission.

La liaison série asynchrone RS232 permet de transmettre les informations numériques sous forme série. Les niveaux des bits '0' et '1' sont adaptés en tension afin d'être transmis sur la liaison filaire.

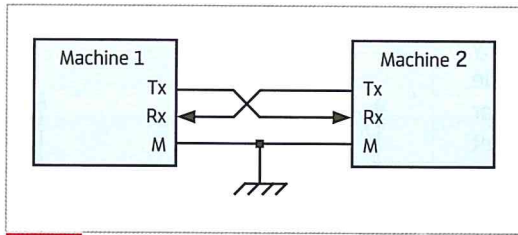


Fig. 13 Interconnexion RS232 simplifiée

ACTIVITÉ 5

Soit une transmission d'une trame constituée d'un 8 bits de données, d'un bit de start, un bit de stop et pas de parité.

1. Déterminer le nombre de bits effectifs transmis pendant une seconde, si le débit généré est de 9 600 bits/s.
2. Déterminer le temps que prendra un fichier binaire de 4 kilo-octets.
3. Indiquer la perte de temps due à l'empaquetage du bit de start et du bit de stop.

D Étude cas : la liaison RS485

Ce type de liaison permet de véhiculer l'information sous forme série et de manière asynchrone entre un ou plusieurs émetteurs et plusieurs récepteurs. Ce mode de fonctionnement est dit nodal car le bus est composé de plusieurs nœuds. La particularité de ce type de bus est qu'il est chargé par des éléments résistifs (R_t), contrairement à la liaison RS232.

Les niveaux logiques générés avant l'adaptation en tension par les circuits d'interfaces sont des tensions de type TTL (0 V, 5 V ou 0 V, 3,3 V).

Les niveaux logiques sont alors convertis sur la ligne en tensions différentielles représentatives de valeurs numériques.

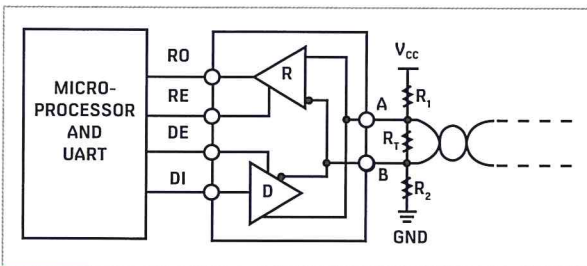


Fig. 14a Adaptation des niveaux logiques sur le bus de transmission

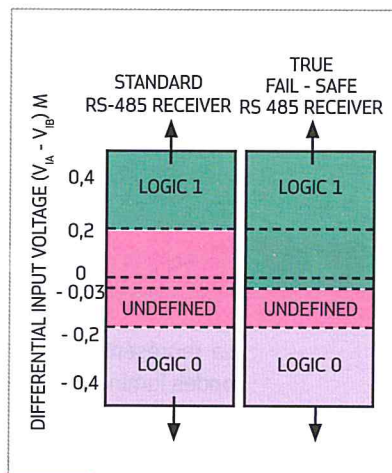


Fig. 14b Correspondance état logique et niveau de tension sur le bus de transmission

INFORMATIONS

E Autre représentation de l'information numérique

La représentation de l'information binaire peut s'effectuer de différentes manières lors de sa transmission.

Les différentes modulations ASK (Amplitude Shift Keying) PSK (Phase Shift Keying) ou FSK sont les principaux modes de transcription des niveaux binaires.

Chaque bit '0' et '1' à l'entrée est codé par une fréquence différente en sortie.

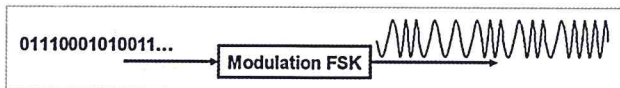


Fig. 15 Modulation FSK

Calcul de la valeur moyenne

La modulation FSK, ou Frequency Shift Keying, permet de coder le niveau logique haut et bas par deux fréquences. Ceci permet de transmettre ensuite ces deux fréquences par voie filaire ou radio. Le décodage à la réception effectue l'opération inverse et associe un niveau logique à une des deux fréquences.

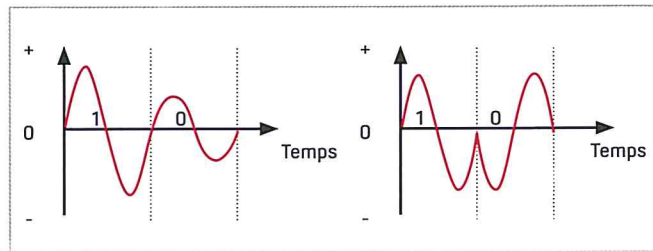
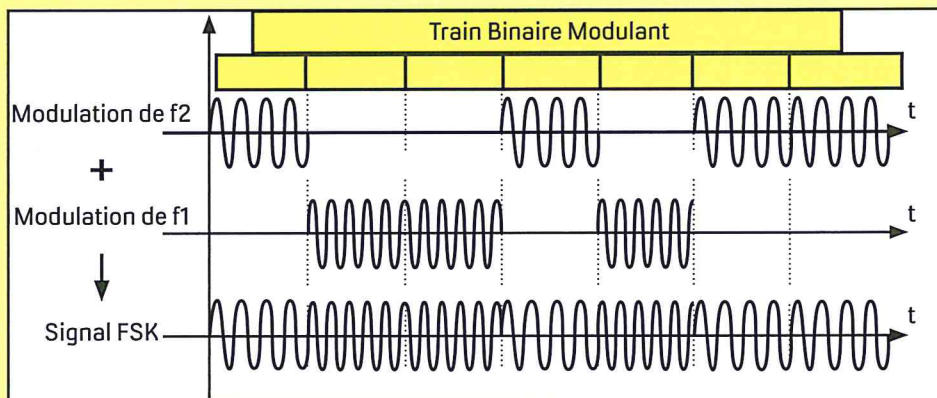


Fig. 16 Modulation ASK, PSK, FSK

ACTIVITÉ 6 On décide d'attribuer le niveau logique '1' à la fréquence la plus élevée et '0' à la plus basse sur les signaux de la figure 20.

Compléter dans le tableau les cases jaunes ci-dessous afin de déterminer le mot binaire modulant traduisant le chronogramme du signal FSK.



4 Caractérisation des ondes lumineuses

La représentation de l'information peut aussi être de nature électromagnétique. C'est le cas des ondes lumineuses. De manière très analogue aux signaux électriques, l'onde lumineuse possède une période λ exprimée en mètre et une fréquence qui dépend du milieu de transmission.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ avec } \nu : \text{fréquence de l'onde.}$$

c : célérité de la lumière en $m/s \approx 3.10^8 m/s$

Le paramètre δ est la différence de marche, ou décalage spatial. Le paramètre λ désigne quant à lui la longueur d'onde et s'exprime en mètre.

Les opérations d'addition et soustraction portent les noms respectifs d'interférences constructives et destructives.

Lorsque les ondes ont parcouru un trajet identique, alors l'intensité obtenue est maximale, les deux ondes sont en phase et leurs amplitudes s'additionnent, on parle d'interférence constructive.

Dans le cas où la différence de marche est égale à une demi-longueur d'onde, les ondes sont alors en opposition de phase et l'intensité résultante est nulle, c'est une interférence destructive.

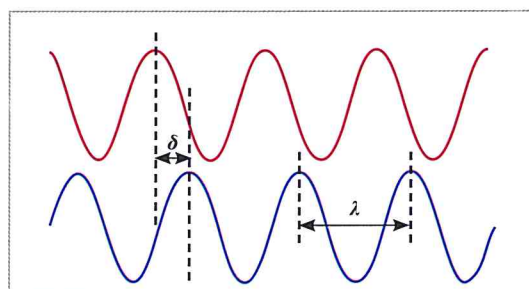


Fig. 17 Périodicité et déphasage de signaux lumineux

L'addition des ondes donne une résultante de couleur blanche (Fig. 18) alors que la soustraction donne une lumière noire (Fig. 19).

L'amplitude de l'onde lumineuse s'exprime en V/m.

L'intensité de l'onde lumineuse s'exprime en W/m².

On peut écrire : l'intensité de l'onde lumineuse I est proportionnelle au carré de l'éclairement : $I \propto E^2$.

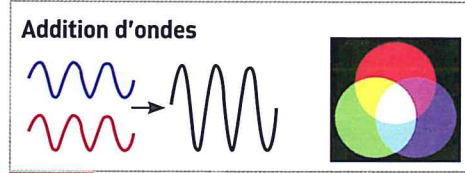


Fig. 18 Interférence constructive

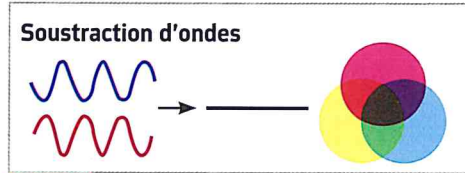


Fig. 19 Interférence destructive

5 Caractérisation des signaux naturels et mécaniques

A Les ondes naturelles

Les formes d'ondes des signaux naturels électriques ou sismiques sont souvent de type transitoire (Fig. 20a).

La représentation spectrale (Fig. 20b) montre que ces signaux sont principalement constitués de fréquences basses inférieures à 10 kHz avec une décroissance exponentielle.

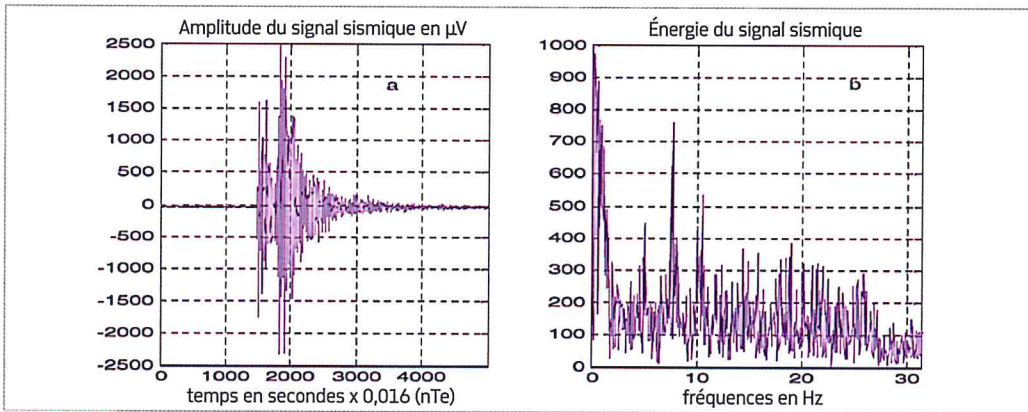


Fig. 20a-b Représentation temporelle et fréquentielle de signaux sismiques

B Les ondes mécaniques

Les ondes mécaniques apparaissent au travers de signaux oscillants.

Lorsque les frottements sont nuls, le système mécanique (pendule, système solide-ressort) définit la période propre T_0 .

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

T_0 : période propre en seconde
 l : longueur du pendule en mètre
 g : intensité de la pesanteur en m.s⁻²

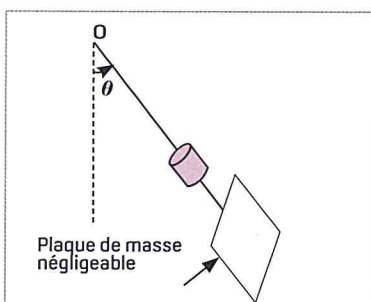


Fig. 21 Pendule soumis au frottement

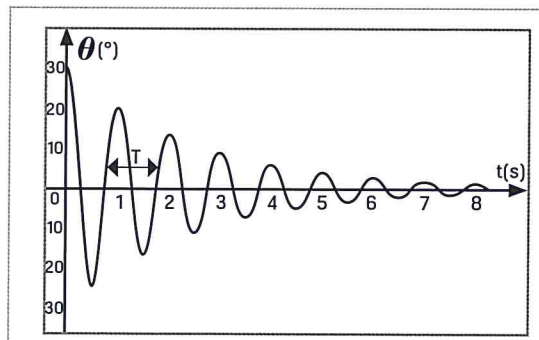


Fig. 22 Oscillation amortie

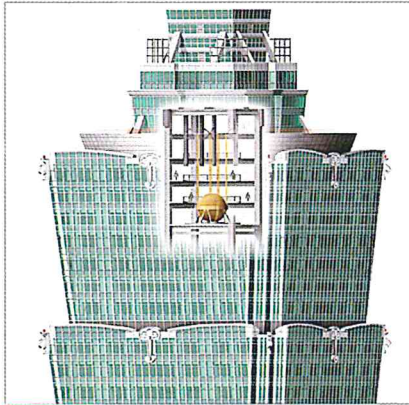


Fig. 23a Tuned Mass Damper, système d'absorption des vibrations harmoniques

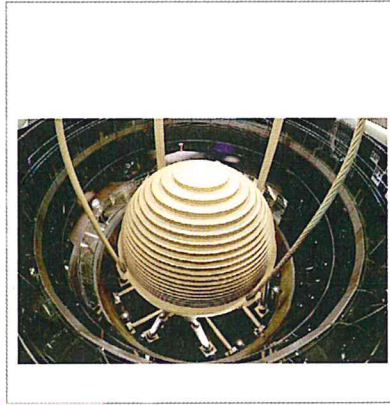


Fig. 23b Modélisation mécanique

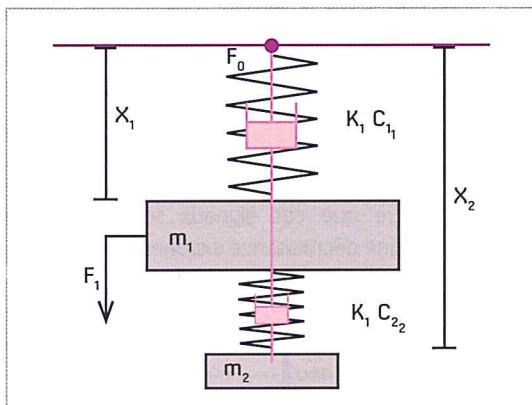


Fig. 24 Modélisation mécanique

Dans le cas d'un pendule pesant (système mécanique oscillant soumis à des frottements), le signal observé décroît de manière exponentielle (Fig. 24). On définit alors la pseudo-période T' par l'écart temporel entre deux passages successifs de la position d'équilibre.

L'absorbeur de vibration harmonique est un système monté sur des structures subissant des vibrations. Il permet de réduire l'amplitude des vibrations mécaniques, et ainsi d'éviter des destructions et des fissures dans les structures de génie civil.

Ce système est aussi mis en œuvre dans les amortisseurs de véhicules pour améliorer le confort et les performances.

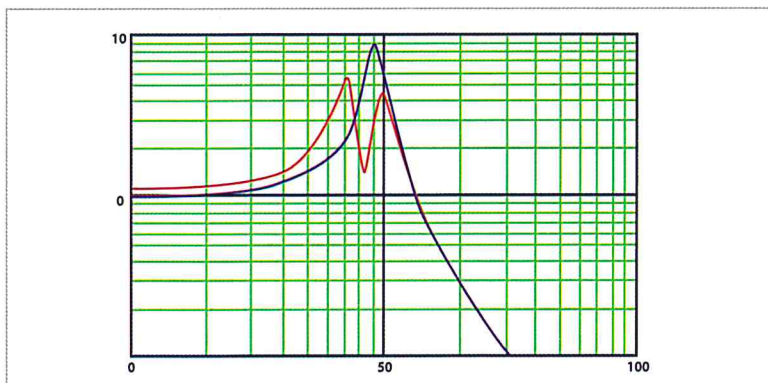
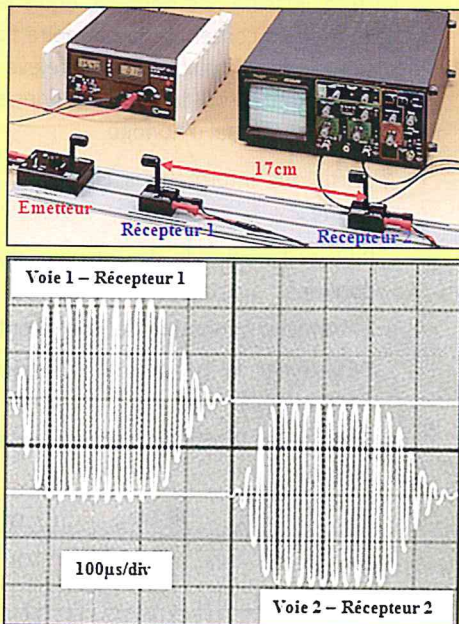


Fig. 25 Réduction de l'amplitude des oscillations mécanique d'une structure équipée d'un absorbeur de vibrations harmoniques

La réponse du système excité par un échelon de force, montre que le système équipé d'un absorbeur de vibrations harmoniques (en rouge) réduit significativement l'amplitude des variations des oscillations.

ACTIVITÉ 7

Un émetteur ultrason génère des salves d'ondes acoustiques dans l'air. Face à l'émetteur, deux récepteurs sont placés distant de 17 cm l'un de l'autre. On visualise les signaux à l'aide d'un oscilloscope.



Dispositif expérimental : mesure de la vitesse des ultrasons dans l'air

La base de temps de l'oscilloscope est réglée à 100 μs/div.

Oscillogramme des ondes reçues par les récepteurs 1 et 2

1. En considérant 10 périodes du signal reçu, déterminer la fréquence du signal reçu.
2. En déduire la compatibilité de la fréquence émise et celles des ultrasons.
3. Déterminer le retard τ du récepteur 2 par rapport au récepteur 1.
4. Déterminer la valeur de la vitesse V du son dans l'air et la longueur du signal acoustique émis.
5. En considérant une distance de séparation entre récepteurs de 10 cm, déterminer le décalage temporel en nombre de division.

SYNTHÈSE

Un signal analogique peut être caractérisé temporellement par :

- ▷ sa période $T = \frac{1}{f}$ (en seconde, s);
- ▷ le rapport cyclique $\alpha = \frac{T_H}{T}$ (en %);
- ▷ le déphasage φ (en radian, rad, ou degrés);
- ▷ temps de montée (s) t_m ou t_r ;
- ▷ temps de descente (s) t_d ou t_f ;
- ▷ la fréquence $F = \frac{1}{T}$ (en Hertz, Hz).

L'amplitude d'un signal est un paramètre caractérisant la dynamique du signal. Par exemple en électricité, la tension peut être définie par :

- ▷ son amplitude ;
- ▷ sa valeur moyenne ;
- ▷ sa tension efficace ;
- ▷ sa valeur crête-crête ou pic-pic.

On montre par des opérations mathématiques qu'un signal peut être la composition (addition) de plusieurs sinusoïdes de fréquences et d'amplitudes différentes. Cette opération est appelée décomposition en série de Fourier.

Pour une tension quelconque, la tension efficace est déterminée par l'expression :

$$U_{eff} = \sqrt{U^2}$$

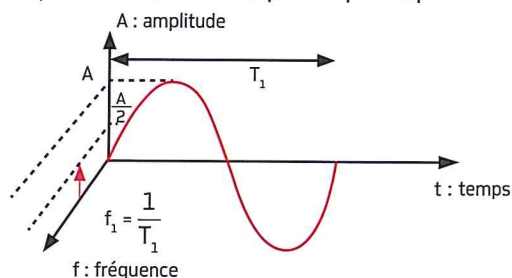
Pour une tension sinusoïdale, on peut écrire la tension efficace :

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Mesure : un multimètre (voltmètre ou ampèremètre) en position DC mesure la composante continue ; en position AC, il mesure la composante efficace.

L'oscilloscope est un appareil de visualisation de tension le plus souvent doté d'indicateurs performants permettant de mesurer les paramètres électriques et temporels du signal observé. Il possède comme pour le multimètre, sur chaque voie d'observation, une position DC et AC permettant la visualisation du signal en mode continu ou alternatif. Le passage de la position DC à AC supprime l'observation de la composante continue.

Représentation bi-univoque temps-fréquence :



À une période correspond une seule fréquence. Il n'y a pas d'impédance temps-fréquence.