

Comportement informationnel des systèmes, comportement fréquentiel

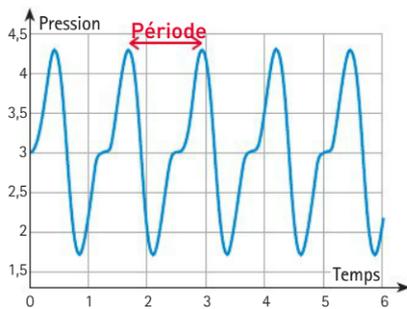
OBJECTIF

Classifier les systèmes du point de vue des fréquences composant les signaux qu'ils émettent.

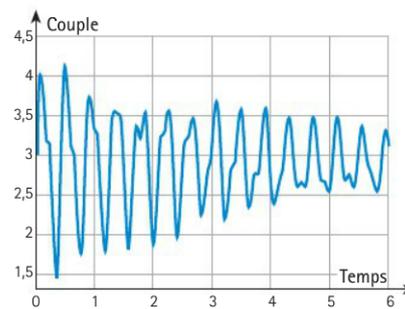
Voir fiches C 3.11 • C 3.13 • M 3.5

1 Qu'est-ce que le comportement fréquentiel d'un système ?

Lorsque certaines grandeurs caractéristiques d'un système évoluent périodiquement, on dit qu'elles sont **oscillatoires**. Il s'agit, soit d'un comportement intrinsèque du système, soit de la réponse à des sollicitations externes. Parfois, la périodicité est approximative, mais l'évolution se rapproche de celle d'un système oscillatoire.



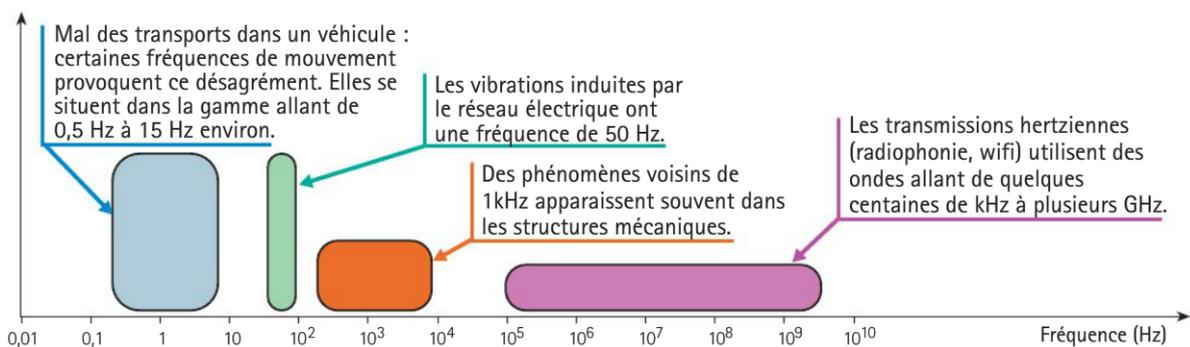
Document 1 Comportement intrinsèque : pression périodique en sortie d'une turbine (phénomène répétitif à amplitude constante)



Document 2 Réponse à une sollicitation externe : couple moteur quasi périodique lors du démarrage brusque d'un véhicule (l'amplitude n'est pas constante)

- La période **T** est un temps, elle se mesure en secondes.
- La fréquence $f = 1/T$ est l'inverse d'un temps, elle se mesure en hertz (Hz).
- Une fréquence élevée est la marque de variations rapides dans le signal.
- Une fréquence faible est la marque de variations lentes.

La caractérisation du comportement par les fréquences est très générale et très précise. Elle permet de décrire une vaste gamme de phénomènes. Les fréquences considérées vont de quelques dixièmes de hertz à plusieurs gigahertz (1 GHz = 10^9 Hz). Quelques exemples :



Document 3 Comportements fréquents typiques

Le **comportement fréquentiel** est caractérisé par l'ensemble des réponses du système à des signaux (externes ou internes) dont les fréquences recouvrent le domaine de fonctionnement.

On s'intéresse à deux approches :

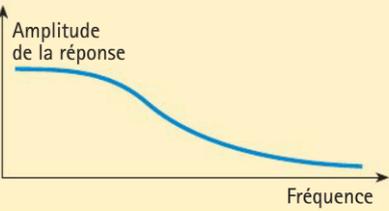
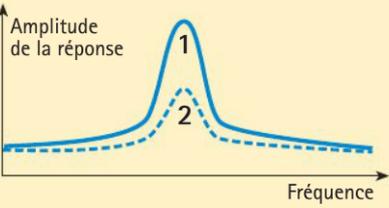
- étude de l' **amplitude** de la réponse du système en fonction de la fréquence.
- étude du contenu fréquentiel des signaux ou analyse harmonique.

2 Réponse en fréquence

La plupart des systèmes réagissent plus intensément à des signaux de fréquences données.

Pour décrire cette variabilité du comportement, on représente l'amplitude de la réponse (signal de sortie) en fonction de la fréquence du signal d'entrée : c'est la **réponse fréquentielle**. L'amplitude du signal d'entrée est gardée aussi constante que possible.

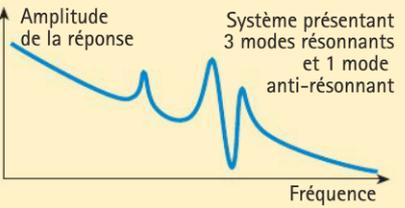
Il existe une grande variété de comportements, les plus importants sont décrits ci-dessous :

Système passe-bas	
	<p>Le système ne réagit qu'aux sollicitations lentes (fréquences faibles). Les fréquences élevées ne sont pas transmises.</p> <p><i>Exemple</i> : la température d'un sèche-mains ne varie pas considérablement lorsqu'on actionne la commande de manière périodique rapide.</p>
Système passe-bande	
	<p>Le système réagit mieux aux sollicitations dans une bande de fréquences donnée. On dit que le système est résonnant. Le système 1 résonne plus fort que le système 2. On dit aussi que le système 2 est plus « amorti ».</p> <p><i>Exemple</i> : une suspension de véhicule transmet plus intensément certaines fréquences que d'autres.</p>

Document 4 Réponses typiques de systèmes « passe-bas » et « passe-bande »

La **résonance** est la caractéristique d'un système ayant tendance à osciller lorsqu'on le sollicite à une fréquence particulière (fréquence de résonance). Un diapason ou une corde de piano, par exemple, résonnent parfaitement bien. Le diamètre d'une corde de piano et sa longueur tendue influent sur sa fréquence de résonance. Un système résonnant se comporte très différemment selon la gamme de fréquences dans laquelle on l'utilise.

L'amplitude du pic traduit la qualité de cette résonance, sa largeur (largeur de bande) rend compte de la gamme de fréquences concernée.

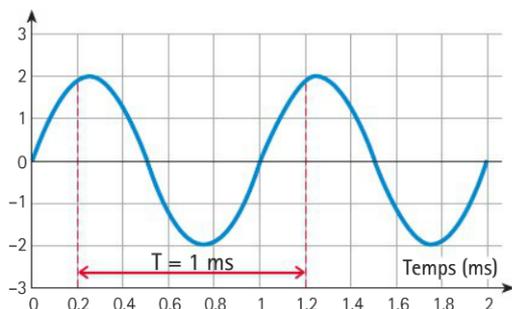
Système complexe	
	<p>Ce système présente plusieurs fréquences de résonance. Il réagira de manière intense à des sollicitations à ces fréquences. Ceci peut dans certains cas se révéler dangereux. Par ailleurs, le système représenté ici est globalement passe-bas, les fréquences élevées sont peu transmises.</p> <p><i>Exemple</i> : les vibrations d'un pont sont surtout sensibles à basse-fréquence, et plus intensément dans certaines zones de résonance.</p>

Document 5 Système complexe multirésonnant

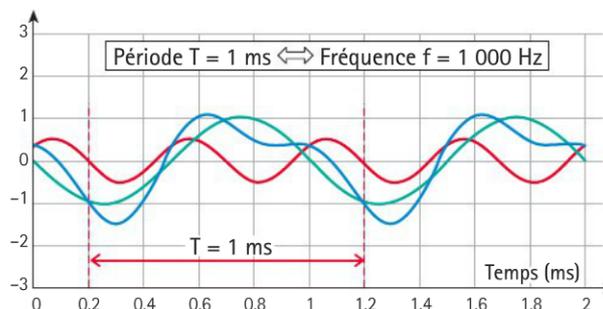
3 Le contenu fréquentiel des signaux : analyse harmonique

Lorsque les signaux caractéristiques des systèmes sont périodiques ou quasi périodiques, il est important de savoir comparer ces signaux à une base de signaux de référence afin de les caractériser.

La base naturelle choisie pour ce faire est composée des signaux à variation sinusoïdale, qu'on appelle signaux à fréquence pure. On comptabilise alors les différents signaux à fréquence pure qui composent le signal, appelés **harmoniques** : leur somme forme le signal complet.



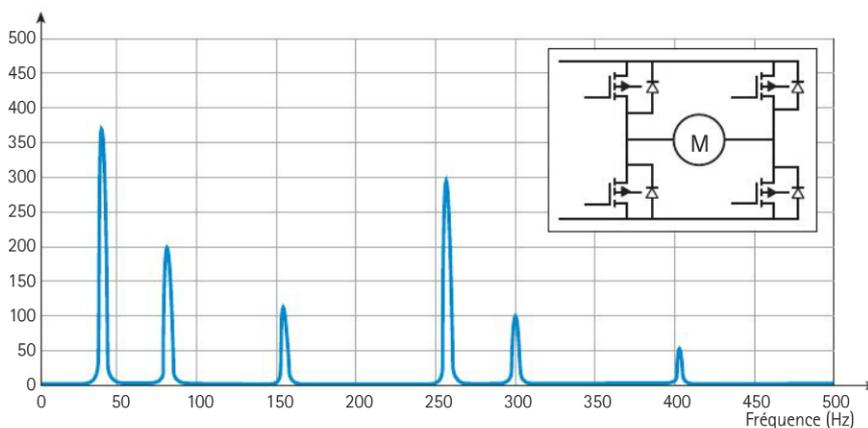
Document 6 Le signal est une sinusoïde pure de fréquence 1 kHz.



Document 7 Le signal contient les fréquences 1kHz et 2kHz.

Pour les signaux sonores, c'est le contenu harmonique qui permet de distinguer le son produit par deux instruments différents lorsqu'ils jouent la même note.

La représentation du contenu harmonique d'un signal est appelé **spectre**. On représente en fonction de la fréquence les amplitudes des différentes composantes. Sur le document 8, chaque pic représente un harmonique.



Document 8 Le spectre de l'intensité du courant dans une machine électrique associée à un variateur de vitesse électronique fait apparaître un contenu harmonique particulièrement riche.

Les systèmes sont classés en deux types :

- **systèmes linéaires** : ces systèmes modifient le contenu harmonique des signaux d'entrée par atténuation ou résonance à certaines fréquences, mais leur réponse ne contient pas de fréquences absentes du signal d'entrée.
- **systèmes non linéaires** : ces systèmes modifient le contenu harmonique des signaux d'entrée par atténuation ou résonance, mais, de plus, leur réponse contient des fréquences absentes de l'entrée. On parle alors de **distorsion harmonique**, phénomène qu'il faudra soigneusement analyser voire limiter à l'aide, par exemple, de **filtres** de fréquences. Un cas sérieux de distorsion harmonique est la présence d'un harmonique à 150 Hz (« 3^e harmonique ») dans les courants électriques, qui a pour conséquence de surcharger le conducteur neutre.

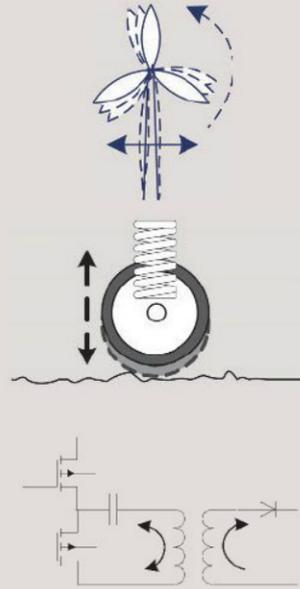
4 Le comportement fréquentiel dans le cahier des charges

Lors d'un projet de conception, le cahier des charges précise les limites que les grandeurs caractéristiques doivent respecter. Les amplitudes des signaux d'entrée et de sortie vis-à-vis des fréquences en font parfois partie.

EXEMPLE

Contraintes fréquentielles dans un cahier des charges

- On demandera au mât d'une turbine éolienne de ne pas subir de vibrations capables de fatiguer la structure, il ne devra pas présenter de résonance à la fréquence de rotation du rotor.
- Pour garantir une bonne tenue de route, la suspension d'un véhicule devra absorber les trépidations dues aux irrégularités du sol. On désire obtenir un comportement passe-bas permettant d'éliminer les fréquences supérieures à une valeur critique.
- Un convertisseur électronique pour véhicule hybride utilise les propriétés de résonance d'un circuit électrique (oscillations du courant). Comme il peut générer des perturbations électromagnétiques gênantes pour les matériels voisins, le cahier des charges mentionnera le niveau des divers harmoniques admis dans les signaux : c'est la « **compatibilité électromagnétique** », ou CEM.



Le comportement fréquentiel caractérise deux aspects complémentaires d'un système :

- sa capacité à répondre de manière favorable aux commandes et autres signaux d'entrées (aspect commande) ;
- les résonances et absorptions d'énergie ont des conséquences importantes sur le bilan énergétique du système (aspect énergétique).

5 Paramètres influant sur le comportement fréquentiel

D'une manière générale, le comportement fréquentiel d'un système est déterminé par :

- la répartition des masses et éléments élastiques dans une structure matérielle ;
- les éléments de stockage de l'énergie électromagnétique dans les systèmes électriques ;
- la présence d'éléments capables de dissiper de l'énergie, tels que :
 - freins, amortisseurs, absorbeurs de chocs ;
 - résistances électriques ou thermiques ;
- les commutateurs et éléments à fonctionnement discontinu, tels que diodes et soupapes, qui génèrent des fréquences absentes des signaux d'entrée (phénomène de distorsion harmonique).

Le concepteur exprime des contraintes dans le domaine fréquentiel. En dimensionnant les éléments précédents, il pourra obtenir un réglage satisfaisant. Ce réglage est toujours un compromis à rechercher, les contraintes étant plus fortes dans certaines plages de fréquence que dans d'autres.

À moi de le faire !

- 1) Quelles sont les fréquences des signaux sonores émis par un moteur à explosion :
 - au ralenti ?
 - à 2 500 tours/minute ?
- 2) Quelles fréquences de vibration peut-on s'attendre à rencontrer dans le mât d'une éolienne :
 - de grande taille (puissance 2 MW) ?
 - de petite taille (éolienne de recharge d'accumulateurs de bateau, 250 W) ?
- 3) Sachant que le signal du réseau électrique français a une période de 20 ms, déterminer sa fréquence.
- 4) Quelle est la fréquence de rotation d'un DVD dans son lecteur ?
Quels peuvent être les effets de cette rotation ?