

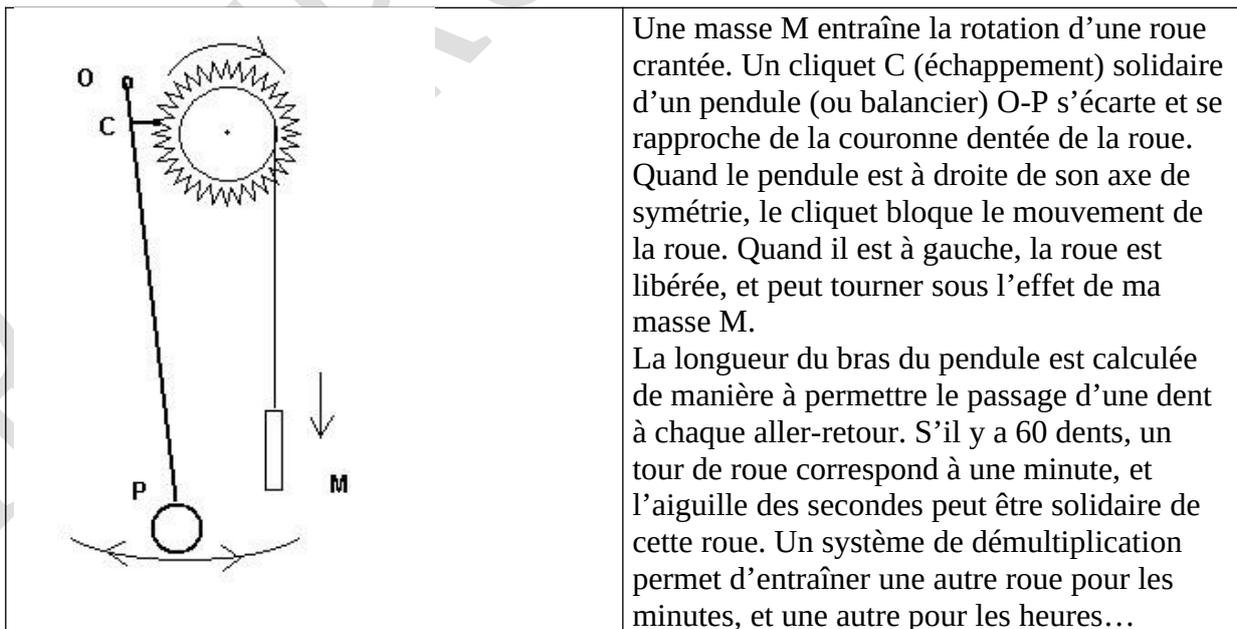
## Oscillateurs harmoniques II

### La « fréquence propre »

Nous avons vu divers types de mécanismes oscillants : le pendule, le système masse-ressort... On peut en imaginer une infinité. Ce qu'il faut retenir, c'est que chaque système oscille de lui-même, après l'impulsion initiale. La fréquence d'oscillation est propre au système, et dépend uniquement de ses caractéristiques : longueur du fil et accélération de la pesanteur dans le cas du pendule, raideur du ressort et masse dans le cas du système masse-ressort, et non de l'amplitude du mouvement.

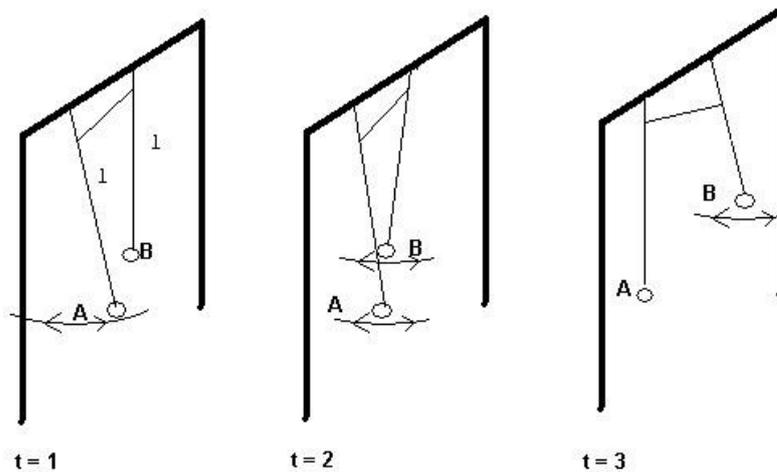
Dans la pratique, les mouvements sont progressivement amortis, à cause des forces de frottement. Mais un pendule qui se balance conservera sa fréquence. Ceci est d'ailleurs heureux, car cela a permis la conception d'horloges à pendule, les premiers dispositifs mécaniques destinés à mesurer le temps qui passe.

### Le principe de l'horloge à balancier



## Systemes oscillants couplés

Soit les pendules de même longueur  $l$ , reliés par un fil transversal. On obtient le dispositif représenté à la figure ci-dessous, de deux pendules ou systèmes oscillants couplés.



Donnons une impulsion au pendule A.

Il se met à osciller, mais au bout d'un certain temps, l'amplitude des oscillations du pendule A diminue, et le pendule B se met à osciller aussi. Il arrive un moment où les pendules oscillent avec la même amplitude.

Attendons encore un peu. Le pendule A est maintenant immobile, le mouvement d'oscillation est passé entièrement au pendule B. Si nous attendons encore, le pendule A se remet à osciller, tandis que l'amplitude des oscillations du pendule B diminue..

L'énergie d'un des sous-systèmes passe donc intégralement à l'autre sous système, à condition que leurs fréquences propres soient identiques. En effet, si on recommence cette expérience avec des pendules de longueurs (et donc de périodes) sensiblement différentes, cette transmission de mouvement n'a pas lieu.

Dans le cas traité ici, les deux sous-systèmes sont passifs, c'est à dire non entretenus. Un des sous-systèmes récupère l'énergie de l'autre, et vice-versa.

Si un des sous-systèmes est actif, c'est à dire que l'énergie qu'il perd en la transmettant à l'autre sous-système est compensée par un apport extérieur, on rencontre un autre phénomène : la résonance.

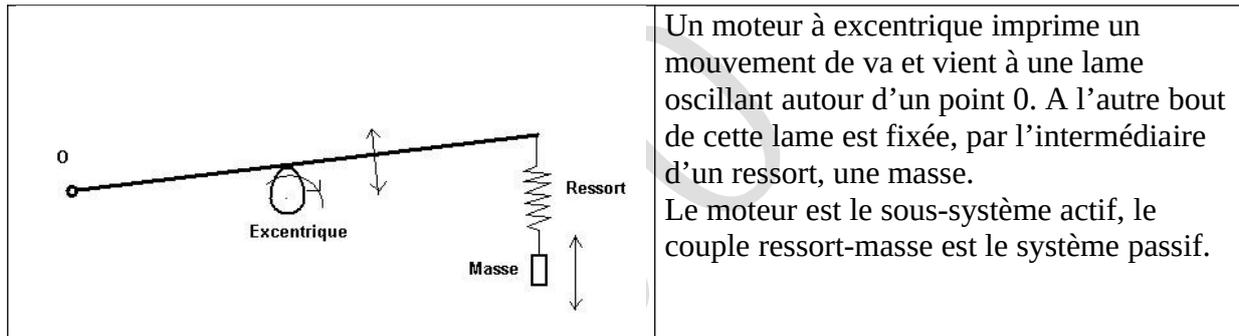
Ce phénomène fonctionne très bien également avec des pendules à ressort (montré en classe).

## La résonance

### Principe et expérience

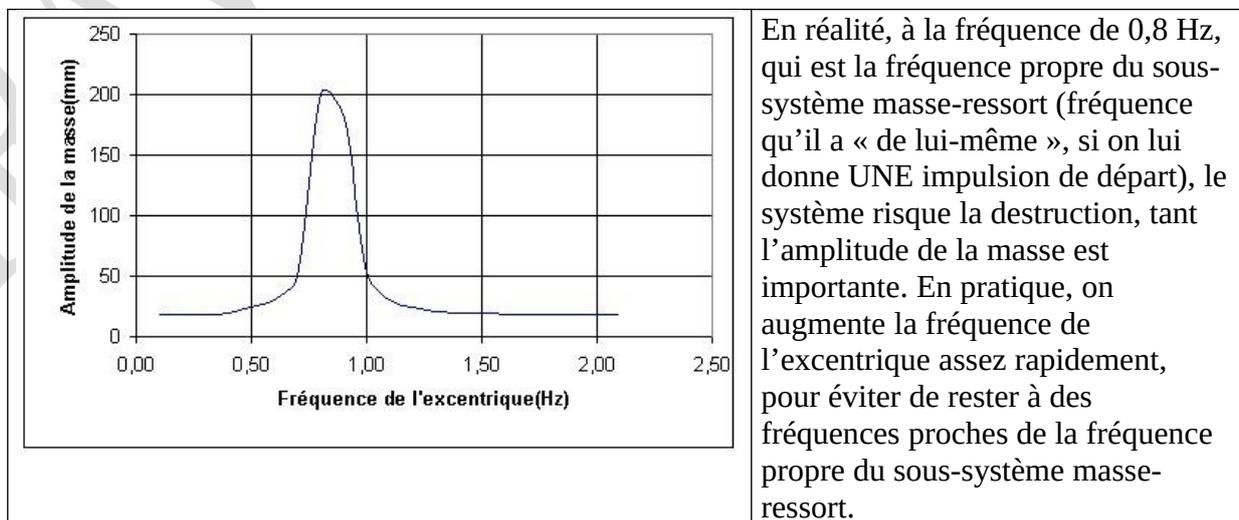
Le phénomène de résonance est lié au principe que nous venons de voir, mais un des sous-systèmes est actif.

Le dispositif expérimental suivant permet de mettre en évidence le phénomène de résonance



Augmentons progressivement la vitesse de rotation de l'excentrique, autrement dit la fréquence du système passif. L'amplitude des oscillations de la masse, égale au débattement de l'extrémité du levier, reste relativement constante, puis augmente très fort, pour ensuite diminuer à nouveau.

La forme du graphique de l'amplitude du mouvement de la masse en fonction de la fréquence de l'excentrique est illustrée ci-dessous (l'amplitude de débattement de l'extrémité du levier est comprise)



La fréquence propre d'un système est la fréquence de résonance.

Lorsqu'un système oscillant est excité par un système actif à sa fréquence de résonance, l'amplitude de ses oscillations tend vers l'infini.

Il y a résonance quand la fréquence du système actif est égale à la fréquence du système passif.

Le même phénomène peut être observé lorsque l'on marche en tenant en main un système oscillant : mètre de menuisier flexible tenu par son milieu, masse avec un ressort. Lorsque la fréquence de marche (nombre de pas par minute) est égale à la fréquence propre du système oscillant, celui-ci s'emballe. (montré en classe).

## Applications

Dans la vie de tous les jours, les exemples sont nombreux, depuis les plus simples aux plus spectaculaires

## La balançoire

On peut décomposer un système « enfant-balançoire » en deux systèmes distincts : un système passif (l'enfant sur sa balançoire, avec sa fréquence de balancement propre), et un système actif (l'enfant sur sa balançoire, mais donnant les bons mouvements au bon moment, mouvements dont la fréquence doit correspondre à la fréquence de balancement propre. On peut ainsi arriver à des amplitudes de mouvement très grandes...

## Pièces mécaniques mal fixées

Il arrive parfois que certains pièces de la voiture soient insuffisamment ou mal fixées (accessoires du moteur, habillage intérieur), avec pour conséquence qu'à certains régimes-moteur uniquement, elles entrent en vibration. Ceci se passe lorsque la fréquence de rotation du moteur est égale à la fréquence de vibration propre de la pièce incriminée.

## Le test de suspension lors du contrôle technique automobile

Dans le but d'augmenter le confort des occupants des véhicules terrestres, on relie la caisse aux roues par l'intermédiaire de ressorts. Ceci permet, en cas de rencontre avec une aspérité de la route, à la roue de suivre le profil de l'aspérité pendant que la caisse, par inertie, ne subit pratiquement aucun mouvement suite à cette aspérité.

Malheureusement, une roue et son ressort peuvent être considérée comme le système masse-ressort décrite dans ce cours. L'aspérité de la route passée, la roue continuera à osciller pendant un temps plus ou moins long. (série de figures suivantes), fonction des forces de frottement qui tendent à amortir l'oscillation.

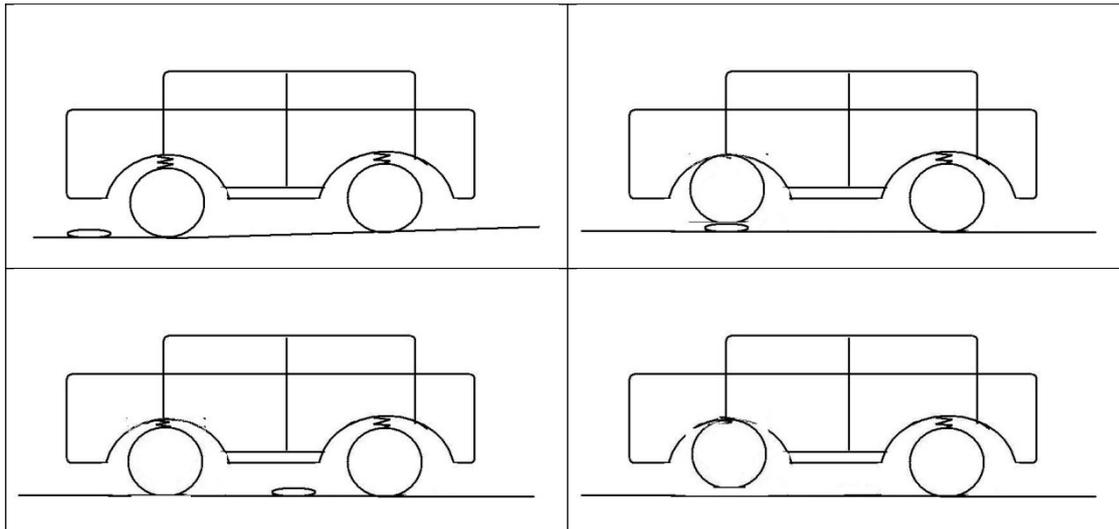


Image 1 : La voiture s'approche d'une aspérité de la route.

Image 2 : La roue remonte en passant sur l'aspérité.

Mais : **Un mouvement d'oscillation ayant été communiqué à la roue,**

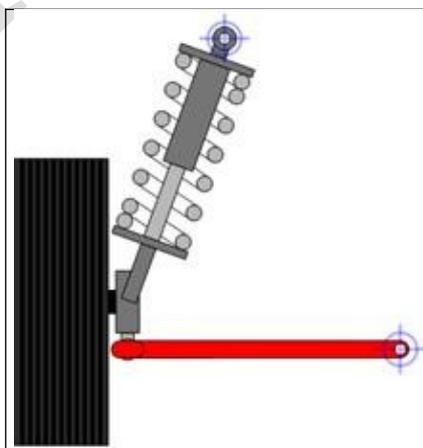
Image 3 : La roue retombe au sol

Image 4 : Puis monte à nouveau,

Et ainsi de suite...

On voit que lors des oscillations, quand la roue est au point haut (image 4), elle perd le contact avec la route, avec tous les problèmes de sécurité que cela entraîne : distance de freinage augmentée, perte d'adhérence dans les virages...

Pour éviter ce phénomène, on augmente par des dispositifs spécialisés les forces de frottement. Un tel dispositif est un amortisseur. Attention, il ne faut pas confondre l'amortisseur avec le ressort. Le ressort sert à désolidariser la caisse des mouvements des roues sur les irrégularités de la route, l'amortisseur sert à limiter les oscillations de la roue. Les amortisseurs modernes sont constitués de pistons percés d'ouvertures calibrées, qui se déplacent dans un cylindre rempli de liquide hydraulique. A cause des forces de cisaillement importantes auxquelles sont soumis les liquides hydrauliques qui doivent passer sous haute pression par des petits orifices, ceux-ci vieillissent et perdent leurs propriétés, et l'amortisseur finit par ne plus remplir son rôle correctement.



La suspension est donc constituée de ressorts ET d'amortisseurs ; pour des questions d'encombrement, l'amortisseur est souvent monté à l'intérieur du ressort, sur un même axe, comme sur le schéma ci-contre

Le test de suspension, qui a lieu lors du contrôle technique des véhicules, vérifie en premier lieu le bon état des amortisseurs, c'est à dire leur **capacité à amortir les oscillations** du système « ressort-roue ».

Pour ce faire, on utilise le phénomène de résonance.

Le système « ressort-roue » a une fréquence de vibration qui lui est propre, et qui dépend de la raideur du ressort et de la masse de la roue. Dans la configuration de test, c'est le système passif.

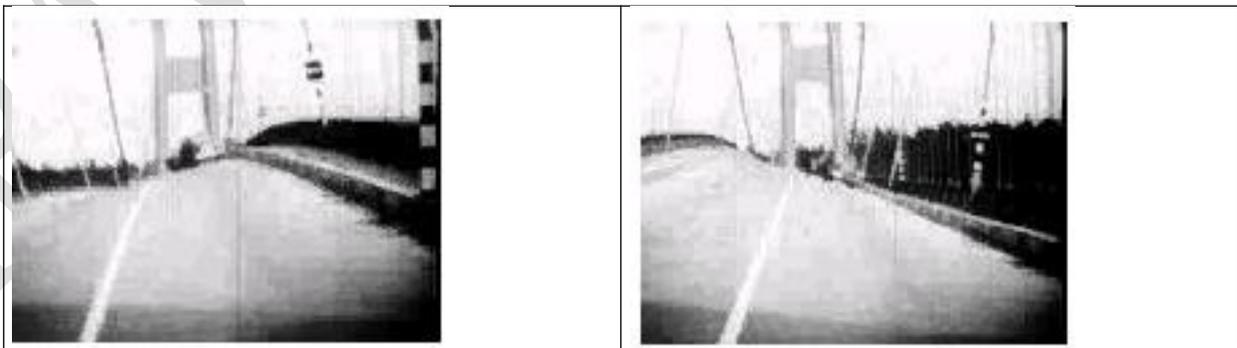
La voiture est placée sur une plaque qui oscille verticalement, à une fréquence que l'on peut régler.

On commence par une fréquence élevée, et on la diminue petit à petit.

Tant que la fréquence de vibration de la plaque du testeur n'est pas proche de la fréquence de résonance du système « ressort-roue », il ne se passe rien. La roue suit les mouvements de la plaque. Mais lorsque la fréquence propre, ou de résonance du système « ressort-roue » est atteinte, la roue se met à osciller avec des grandes amplitudes SI L'AMORTISSEUR NE REMPLIT PAS CORRECTEMENT SON RÔLE, qui est d'amortir ces oscillations. Un système de mesure de pression permet de mesurer le contact de la roue avec la plaque. Si l'amortisseur est défectueux, il y a par moment des pertes de contact, au point haut des oscillations.

### Le pont de Tacoma (USA)

Ce pont, détruit lors d'une tempête quelques mois après son inauguration, a plus souffert de la fréquence des rafales de vent que de leur intensité. La fréquence des rafales a coïncidé à un moment donné avec la fréquence de vibration propre du pont, ce qui a entraîné sa destruction

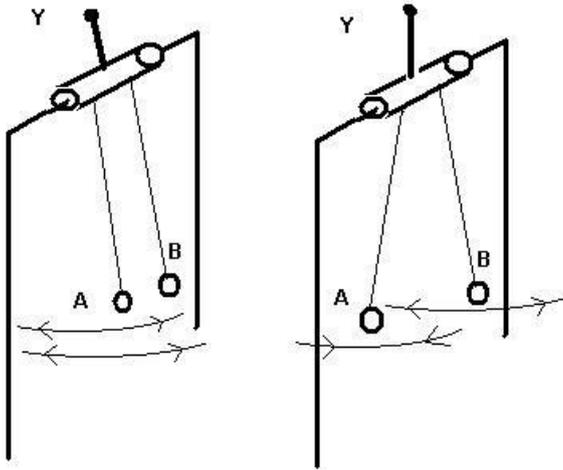


### Les marées dans les criques

La masse d'eau a une période (inverse de la fréquence) de résonance égale à la période de révolution apparente de la lune...

## Les battements

Le phénomène de battement, qui sera vu plus en détail dans la section consacrée aux ondes, survient lorsque deux systèmes oscillants couplés ont une fréquence propre presque identique. Soit deux pendules A et B couplés reliés entre eux au moyen d'un manchon qui peut tourner librement autour de la barre de potence horizontale. Les longueurs de fil des deux pendules ne sont pas exactement les mêmes.



Donnons une impulsion initiale simultanée de même intensité et de même sens aux deux pendules (figure de gauche). Ils se mettent à osciller de concert, entraînant le manchon dans leur mouvement. Petit à petit, les oscillations vont subir un déphasage, qui va à un moment donné entraîner un mouvement en opposition de phase. A ce moment, le manchon est immobile, les deux pendules oscillent en sens contraire.(figure de droite) Petit à petit, ils reviennent en phase, et le manchon se remet à osciller.

On peut montrer que l'amplitude de l'oscillation du manchon est de forme cosinusoïde, et de période beaucoup plus longue que les mouvements individuels des pendules. Ce phénomène est connu notamment en acoustique. Il y a une similitude entre ce système de deux pendules de fréquence proche et la superposition d'ondes de fréquence voisines.