

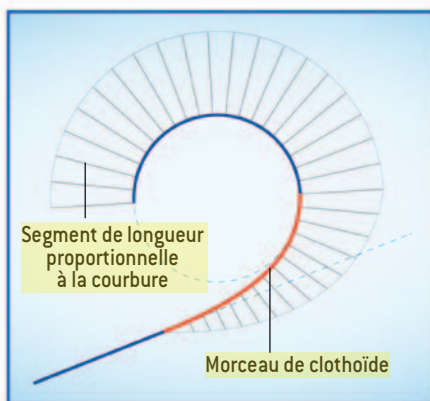
l'énergie élastique stockée se libère. Le calcul montre que cette libération peut provoquer un rebond : alors que la jonction entre les rails est continue et sans arête, la roue est susceptible de décoller ! Ce rebond n'existerait pas si l'on modélisait la roue par un point (une tentation de théoricien...). Quels que soient la nature et le lieu de la déformation (moyeu, amortisseur, etc.), le rebond est dû à la discontinuité de l'accélération et montre qu'il convient de s'intéresser aux variations temporelles de celle-ci.

## Une douce spirale

Chacun a pu ressentir une telle secousse, par exemple lorsque le conducteur d'un véhicule freine et ne relâche pas la pédale juste avant l'arrêt. Au cours de la phase de décélération, les passagers du véhicule subissent une force d'inertie orientée vers l'avant. La vitesse décroît progressivement, jusqu'à s'annuler à l'arrêt du véhicule. À cet instant, la décélération et la force d'inertie cessent brusquement et nous avons l'impression d'être projetés sur le dossier du siège. Pour éviter ce désagrément, il ne suffit pas de réduire l'accélération : dans ce cas précis, il faut qu'elle s'annule au même instant que la vitesse. C'est pourquoi le conducteur ajuste la pression qu'il exerce sur la pédale de frein juste avant l'arrêt.

Intéressons-nous maintenant au cas d'un véhicule roulant à vitesse constante (en module). Comment assurer une accélération qui soit continue tout au long du parcours ? En tout point, l'accélération est proportionnelle à la courbure de la trajectoire, c'est-à-dire à l'inverse du rayon de courbure (et dirigée vers le centre de courbure).

Avec une courbure constante, on garantit évidemment la continuité de l'accélération, mais les trajectoires sont alors soit des droites, soit des cercles. La solution la plus simple pour varier les trajectoires est de faire appel à des courbes dont la courbure (et, partant, l'accélération) augmente linéairement avec la distance parcourue. Une telle courbe, qui s'enroule peu à peu sur elle-même, n'est autre que la clothoïde, connue également sous les noms de spirale de Cornu, spirale d'Euler ou encore spirale de Fresnel.



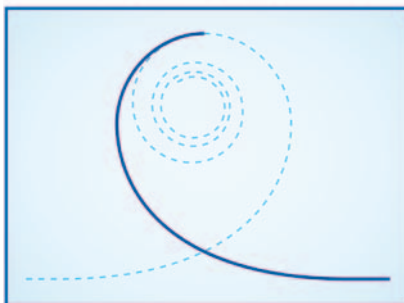
**2. EN CHAQUE POINT D'UNE CLOTHOÏDE**, ou spirale de Cornu, la courbure (l'inverse du rayon de courbure) est proportionnelle à la distance parcourue jusqu'à ce point. Elle permet de raccorder (partie rouge) un trajet rectiligne à un trajet circulaire (en bleu) de telle sorte que la courbure varie continûment. On y fait appel pour concevoir les bretelles d'autoroutes.

Les bretelles qui relient une route à une autre ont souvent la forme de clothoïde, notamment dans les échangeurs d'autoroute. Elle est en effet particulièrement adaptée pour joindre un segment droit à un segment en arc de cercle, puisque sa courbure peut varier continûment de zéro, à son début, jusqu'à la valeur du rayon de l'arc de cercle (voir la figure 2).

La combinaison clothoïde-arc de cercle-clothoïde permet même de relier deux segments droits. Par ailleurs, pour qu'un véhicule de vitesse constante suive une route en clothoïde, le conducteur doit tourner son volant à vitesse angulaire constante, une manœuvre plus aisée que d'autres. Enfin, la force centrifuge subie par les passagers augmente de façon continue et leur confort est donc maximal.

## Des loopings plus confortables

On retrouve la clothoïde dans les chemins de fer et notamment pour les trains rapides. Dans les virages où la vitesse est élevée, la voie présente un dévers, c'est-à-dire une inclinaison choisie de façon que la résultante du poids et de la force centrifuge soit perpendiculaire au plan de la voie. Les rails ne subissent alors pas de forces latérales de la part du train. Un calcul simple montre que le dévers



**3. LES LOOPINGS** des montagnes russes sont aujourd'hui souvent formés de deux morceaux symétriques de clothoïde (en trait plein sur le schéma : l'un des deux morceaux ; en pointillés : la clothoïde symétrique, plus complète). Cette forme de trajectoire permet non seulement d'éviter des secousses, mais aussi de diminuer l'accélération ressentie par les passagers dans la partie basse du looping, là où leur vitesse est la plus grande.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)