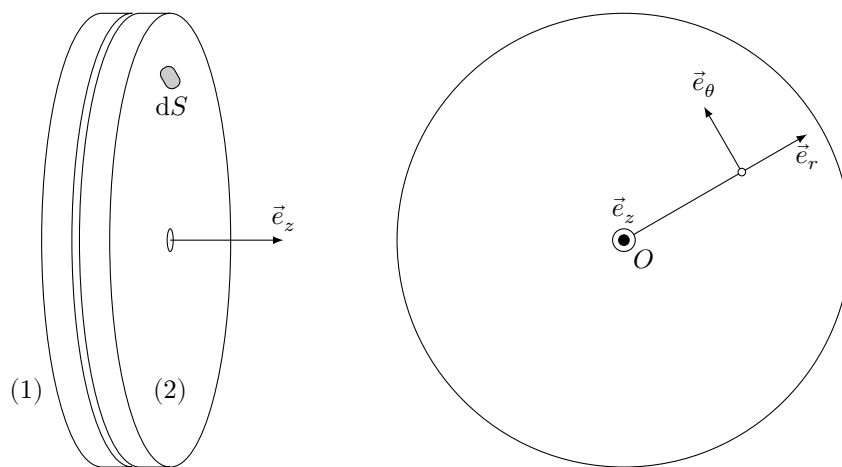


Embrayage à sec monodisque

Ce sujet est associé à un document décrivant le principe de fonctionnement d'un dispositif d'embrayage, par exemple automobile. On modélise cet embrayage par deux disques de même rayon R et de même moment d'inertie J par rapport à leur axe de rotation commun (Oz). Soit $\vec{F} = F\vec{e}_z$ la force de contact exercée par (1) sur (2) ; la force exercée par un élément de surface d'aire dS sur l'élément en vis à vis de (2) est, en coordonnées polaires d'axe (Oz),

$$d\vec{F} = \frac{F}{\pi R^2} dS \vec{e}_z + dF' \vec{e}_\theta.$$



1.
 - a. Rappeler les lois de Coulomb du frottement de glissement. On notera μ_d et μ_s les coefficients de frottement, dont on rappellera les définitions, unités et ordres de grandeur.
On suppose que le frottement des éléments de surface dS en contact des disques d'embrayage vérifie ces lois.
 - b. Quelle est l'expression de dF' si $\Omega_1 \neq \Omega_2$? On distinguera deux cas.
 - c. Que peut-on dire si $\Omega_1 = \Omega_2$?
2. On étudie une phase de démarrage, le dispositif étant embrayé à partir de $\Omega_1(t=0) = \omega_0$ et $\Omega_2(t=0) = 0$. Le moteur est accouplé au disque (1) et exerce sur celui-ci le couple moteur $\vec{\Gamma}_1 = \Gamma_1 \vec{e}_z$. La charge utile du dispositif (les roues du véhicule, etc.), de moment d'inertie J' , est accouplée au disque (2). On posera $J_2 = J + J'$. Cet ensemble mobile est soumis à un couple de frottement $\vec{\Gamma}_2 = -\Gamma_2 \vec{e}_z$; Γ_1 et Γ_2 sont supposés constants.
 - a. Calculer le moment $\vec{\Gamma}_{12}$ des efforts de contact exercés par (1) sur (2) pendant le patinage.
 - b. À quelle(s) condition(s) observe-t-on une accélération du véhicule se terminant sans patinage ? Quelle serait l'évolution ultérieure du système ?
 - c. Calculer l'énergie dissipée par les frottements pendant la phase de patinage. Que devient-elle ?
3. À partir d'un fonctionnement de régime permanent sans patinage, l'arbre moteur tournant à la vitesse angulaire ω_0 , on déclenche le freinage (sans débrayage) du véhicule. Dans ces conditions, le couple moteur exercé sur le disque (1) est remplacé par un couple de frein moteur $\vec{\Gamma}'_1 = -\Gamma'_1 \vec{e}_z$ et un couple de frottement proportionnel à sa vitesse de rotation s'exerce sur le disque (2), $\vec{\Gamma}_f = -K\Omega_2 \vec{e}_z$.
À quelle condition l'embrayage ne patinera-t-il pas ?

**Il sera accordé une grande importance aux qualités d'exposition.
Le candidat est invité, dès le début de son passage au tableau,
à présenter le sujet préparé de manière ordonnée et argumentée.**

Annexe

L'embrayage est un dispositif d'accouplement entre un arbre dit moteur et un autre dit récepteur. Du fait de sa transmission par adhérence, il permet une mise en charge progressive de l'accouplement ce qui évite les à-coups qui pourraient provoquer la rupture d'éléments de transmission ou l'arrêt du moteur dans le cas d'une transmission avec un moteur thermique.

L'embrayage est nécessaire sur les véhicules automobiles à moteurs thermiques qui doivent continuer à tourner même si le véhicule est à l'arrêt. Le désaccouplement facilite aussi le changement de rapport de vitesses. L'embrayage trouve donc sa place sur la chaîne de transmission, entre le moteur et la boîte de vitesses, où, de plus, le couple à transmettre est le moins élevé. Il est souvent fixé sur le volant moteur sur les voitures ou camions où le grand diamètre disponible permet d'utiliser un système monodisque ou bidisque. Il est plutôt en bout de vilebrequin sur les motos ou cyclos, en version multi-disque à bain d'huile (boîte manuelle) ou centrifuge à tambour (transmission automatique).

« Embrayage » désigne également la phase de fonctionnement où l'accouplement est établi ; il s'agit de l'opération inverse du « débrayage » pendant laquelle les arbres sont désolidarisés.

Les phases de fonctionnement d'un embrayage

On distingue trois phases de fonctionnement pour un dispositif d'embrayage.

- En position embrayée : l'embrayage transmet intégralement la puissance fournie (la voiture roule, le moteur est lié à la boîte de vitesses). C'est le plus souvent la position stable du dispositif (absence d'action de commande).
- En position débrayée : la transmission est interrompue. Roue libre, ou voiture arrêtée, le moteur peut continuer à tourner sans entraîner les roues. La situation est équivalente au point mort.
- Phase transitoire de glissement : en particulier pendant l'embrayage, la transmission de puissance est progressivement rétablie. Ce moment est appelé point de patinage. Pendant cette phase, l'arbre d'entrée et de sortie ne tournent pas à la même vitesse ; il y a alors glissement entre les disques, donc dissipation d'énergie, sous forme de chaleur. Cette phase est à limiter dans le temps, même si elle est inévitable et permet de solidariser graduellement le moteur et la boîte de vitesses. L'usure des disques a lieu pendant cette phase, souvent utilisée lors des démarrages en côte.

C'est la situation de glissement qui donne les conditions de dimensionnement de l'embrayage. Elle détermine le couple maximum transmissible. Au-delà, le glissement est systématique. La même configuration technologique est d'ailleurs adoptée sur les systèmes limiteurs de couple, qui vont donc patiner lorsque le couple sollicité devient trop important.

Classification

Les solutions technologiques retenues pour ce dispositif se distinguent suivant plusieurs critères.

- Selon la géométrie de la surface de friction :
 - disques, le contact étant effectif suivant une couronne par face de disque ;
 - tambour (dans le cas de certains embrayages centrifuges) ;
 - conique (abandonné aujourd'hui sauf quelques applications à faible puissance). Son intérêt réside dans le fait qu'il est autobloquant : l'assemblage conique reste coincé en l'absence d'effort presseur. Il faut agir pour débrayer.
- Selon le nombre de disques (quand il s'agit de disques) :
 - monodisque ;
 - bidisque à sec à commande unique ou à commande séparée (double) ;
 - multidisque humide ou à sec.

Les surfaces de contact peuvent :

- fonctionner à sec avec refroidissement par air ;
- être lubrifiées et refroidies par bain d'huile.

La commande peut être :

- mécanique ;
- hydraulique ;
- électrique asservie électroniquement ;
- centrifuge (dans ce cas la commande n'est pas directe mais induite par l'action sur l'accélérateur).

Architecture

Un embrayage comporte plusieurs pièces (**figure 1**) :

- le volant moteur 2, solidaire de l'arbre moteur 1, peut porter l'ensemble et constituer une des faces de friction du disque ;
- le disque d'embrayage 3 est solidarisé en rotation à l'arbre d'entrée (primaire) de la boîte de vitesses 6 par des cannelures ;
- le plateau de pression 4 assure l'adhérence du disque d'embrayage sur le volant moteur en position embrayée ;
- les ressorts 5 (à diaphragme dans notre cas) appuient sur le plateau de pression et peuvent être comprimés par la butée d'embrayage 7.

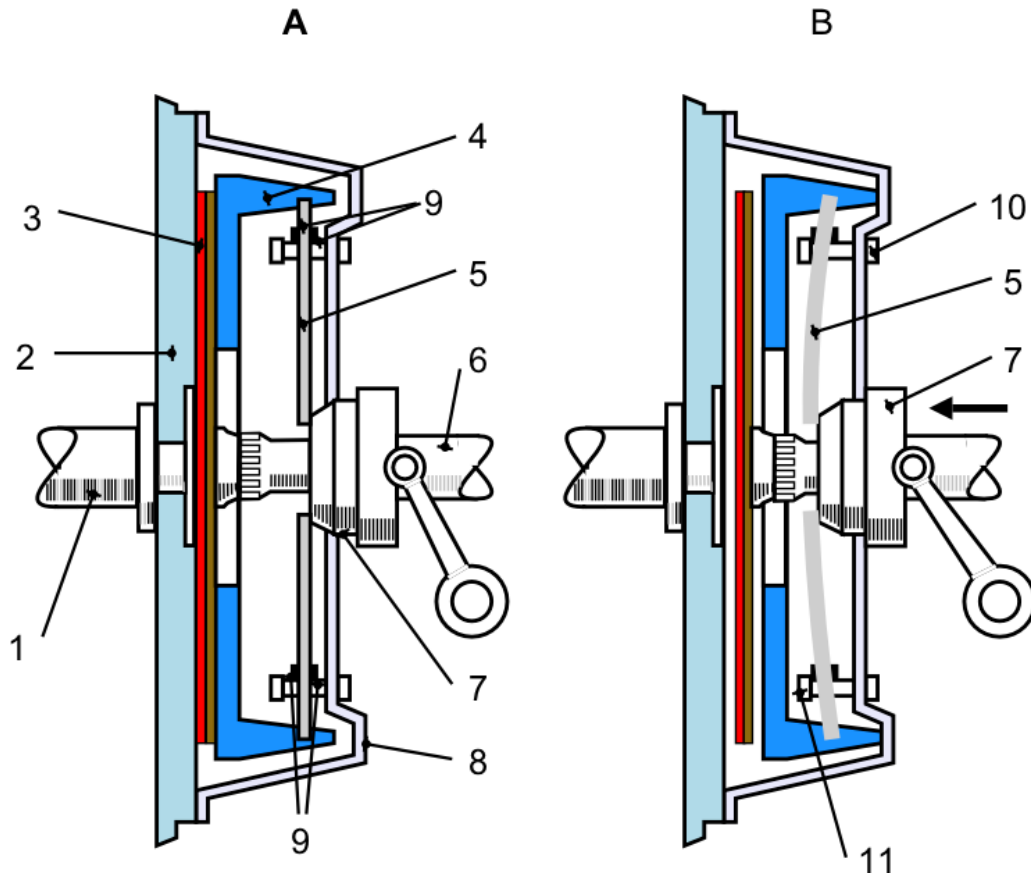


Figure 1 A : position accouplé ou embrayé — B : position désaccouplé ou débrayé

Lorsque la commande (hydraulique ou à câble) de débrayage est actionnée :

- la butée exerce une force sur les ressorts ou le ressort à diaphragme,
- le plateau de pression s'écarte pour libérer la pression sur le disque de friction. Le mouvement est de moins en moins transmis, rendant indépendante la boîte de vitesses du moteur. Cela permet de rester à l'arrêt sans caler le moteur ou de changer de vitesse.

La manœuvre inverse consiste à relâcher progressivement la commande de débrayage, pour rétablir la liaison moteur-boîte de vitesses. Cette manœuvre s'appelle « faire patiner l'embrayage ».