

# Matériaux utilisés dans la conception de disques de freins

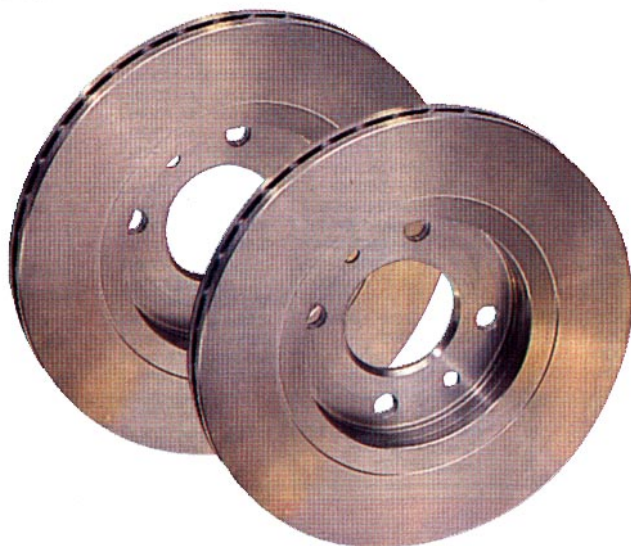
## Introduction

Un véhicule en mouvement possède une énergie cinétique, fonction de la masse et de la vitesse, soit  $E = 1/2 m v^2$ . Le rôle des freins est d'arrêter (ou de ralentir) le véhicule avec un maximum d'efficacité en transformant cette énergie cinétique en énergie calorifique, qui doit être évacuée rapidement pour assurer le bon fonctionnement du système de freinage.

Nous étudierons le frein de service ou frein principal. Il agit sur les quatre roues ; il est destiné à ralentir ou à arrêter le véhicule. Le temps et l'intensité d'utilisation peuvent être très variables (obstacle imprévu : freinage intense de courte durée ; descente de col : freinage léger de longue durée).

Différentes technologies permettent de réaliser cette action. De nos jours, les freins à tambour sont principalement utilisés sur les essieux arrière. Mais la tendance actuelle serait plus tôt le frein à disque.

## Principe de fonctionnement



Le frein à disque se caractérise par l'application des forces de serrage dans le sens axial, c'est-à-dire parallèle à l'axe de rotation. Il se compose de deux éléments principaux : un disque tournant solidaire de l'arbre d'une part, un étrier en forme de « U » d'autre part, porteur des garnitures de friction. Il est solidaire d'un élément fixe (pivot par exemple) et chevauche le disque sur un secteur limité afin de pincer celui-ci pendant la phase de freinage. La partie du disque en dehors de ce secteur est exposée à l'air libre et de ce

fait possède de bonnes caractéristiques de refroidissement pendant et après le freinage. S'il est nécessaire d'accroître ces conditions de refroidissement, on peut utiliser des disques ventilés. Ils sont essentiellement constitués par deux disques espacés et reliés entre eux de façon à ce qu'une ventilation forcée puisse être établie entre les disques.

Lorsque cela est nécessaire, un frein à disque peut comporter également la fonction frein de parking. Elle peut être obtenue :

- par actionnement mécanique du frein principal.
- par utilisation de plaquettes de friction indépendantes, mises en action par un ensemble de bras de levier formant pince sur le disque;
- par utilisation de petites mâchoires, installées à l'intérieur du bol du disque de friction, qui remplit la fonction tambour.

## Matériaux employés

Les matériaux les plus souvent utilisés pour la fabrication de disques sont des fontes graphiques ou des aciers inoxydables. Dans la compétition de haut niveau (Formule 1, sport prototype) ainsi que dans l'aéronautique, on utilise maintenant des freins en Carbone

### Matériaux conventionnels : fontes, aciers

L'acier et la fonte sont les matériaux utilisés le plus couramment de nos jours dans l'industrie automobile.

Les aciers sont des aciers inoxydables austénitiques tel que un X2 Cr Ni Mo 17-12 (ancienne désignation : Z2 CND 17-12 soit 0,02% de carbone, 17% de chrome et 12% de nickel ainsi que des traces de molybdène). Les propriétés mécaniques de ces aciers sont une grande ductilité ainsi qu'une grande résilience, en particulier à haute température.

Les fontes sont des fontes à graphite sphéroïdale du type FGS 350-22 (norme AFNOR : NF A32 201) dont les caractéristiques sont une très grande ductilité et une grande résilience. Leur usinabilité est excellente ainsi que leur capacité d'amortissement des vibrations.

Caractéristiques :

Masse volumique ( $\text{g/cm}^3$ ) : 7,1 à 7,3

Conductibilité thermique ( $\text{W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ) : 35

Dilatation linéaire ( $10^6.\text{C}^{-1}$ ) : 11 à 12

R (MPa) : 350

Rp0,2 (MPa) : 220

A% : 22

HB : 150

Limite de fatigue (MPa) : 185 à 200

Module d'élasticité ( $*10^4$  MPa) : 17

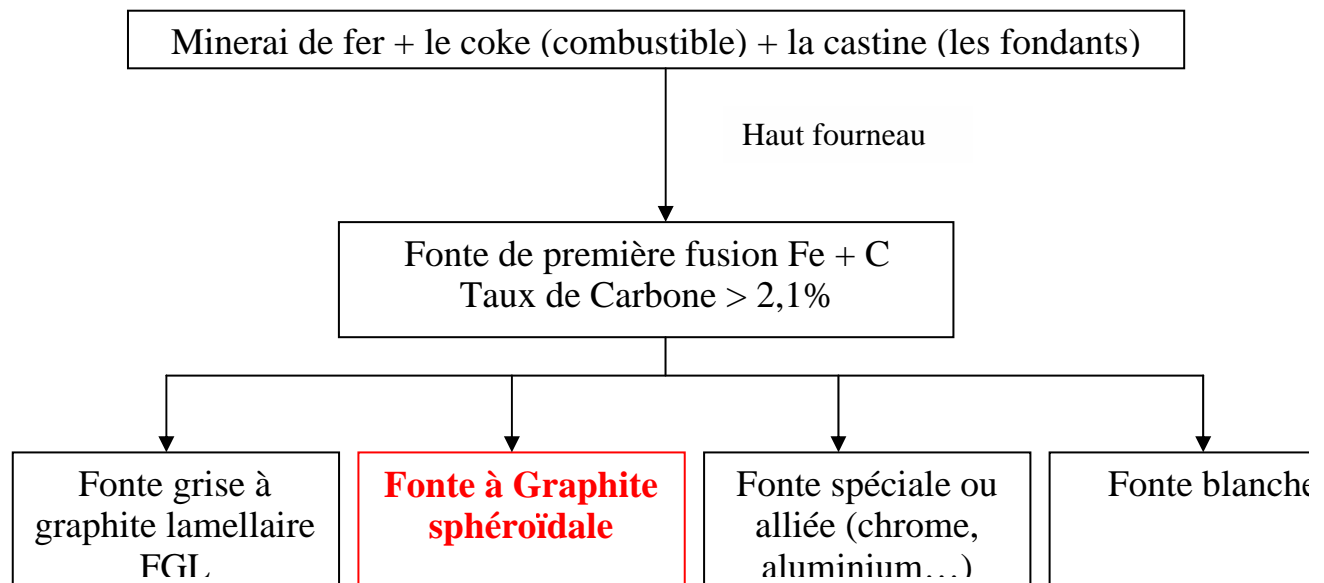
Températures d'utilisation ( $\text{°C}$ ) : de 0 à 600

Aptitude au moulage et à l'usinage : très bonne.

D'autres fontes plus élaborées sont aussi utilisées comme les fontes perlitiques, élément d'alliage Ni -Mo, Cr-Mo, Mo, Cr-Ni. Résistance mécanique 300 à 420 MPa, résistance à la compression de 800 à 1400 MPa, dureté HB 240-280 (caractéristiques

mécaniques meilleures qui conduisent à une diminution de l'épaisseur du disque).

Obtention des fontes (schéma) :



La différence entre les aciers et les fontes se situe aussi au niveau du film de transfert qui se forme entre le disque et la plaquette de frein. Pour un acier, on a un dépôt à microstructure bien cristallisée et une composition chimique fonction des réactivités entre la matière de frottement et les oxydes de fer. Pour une fonte, le dépôt présente un caractère plus complexe avec l'existence de matériaux amorphes et de composition chimique plus complexe. D'où deux hypothèses :

- les températures de surface atteintes sur les aspérités de contact où se génère le dépôt sont très différentes du fait des caractéristiques thermiques différentes de l'acier et de la fonte (en particulier de l'effusivité)

- les actions mécaniques sont différentes à l'interface du fait de caractéristiques mécaniques différentes entre l'acier (ductile) et la fonte (fragile) entraînant des ruptures de nature différentes au niveau des aspérités de surface.

-

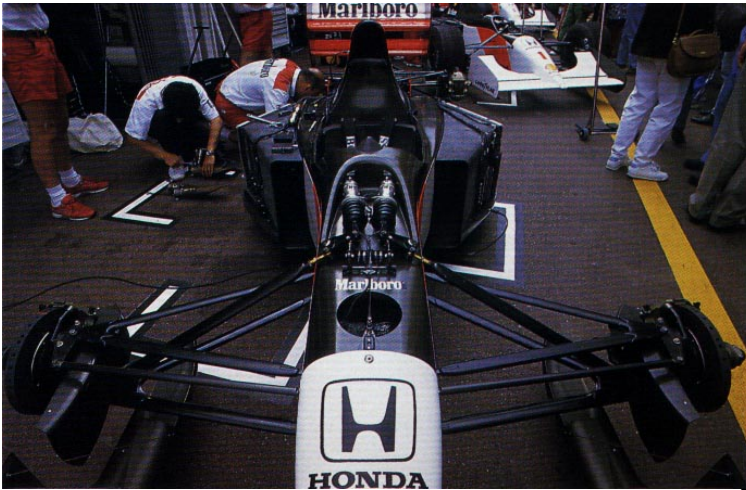
-

-

-

Carbone

Le matériau composite qu'est le carbone a été découvert en 1958, à la suite de la pyrolyse d'une fibre composite avec une matrice organique. Ce matériau,

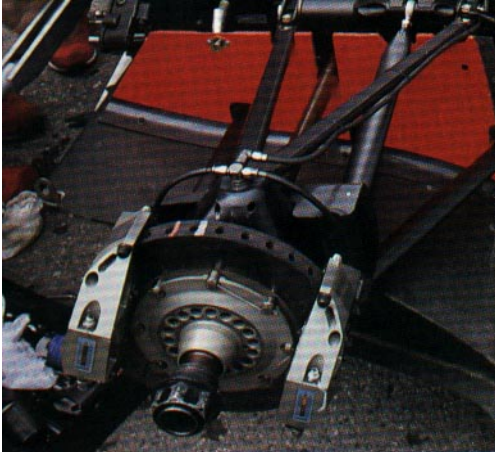


composé d'un renforcement de carbone et d'une matrice carbone, ont été développés dans un premier temps pour une application dans le domaine aéronautique.

Les disques en carbone sont dotés des propriétés suivantes :

Un coefficient de frottement exceptionnel quelle que soit la température.

- ◆ Ils possèdent une grande stabilité physico-chimique, même à des températures supérieures à 1000°C.
- ◆ Ils ne sont pas sensibles aux chocs thermiques (dilatation négligeable) ou à la fatigue mécanique.
- ◆ Ils sont invulnérables à l'oxydation jusqu'à 500°C. Une couche anti-oxydation permet une protection à plus haute température.
- ◆ Ils ont une capacité d'absorption thermique double de l'acier
- ◆ Ils ont des caractéristique mécaniques spécifiques (comparable, quelle que soit la température, à l'aluminium quand il est froid) qui augmentent avec la température jusqu'à 2000°C.



L'extension de cette technologie à toute forme de freinage en conditions extrêmes (freinage intensif ou répétitif) est rendu possible et ce par la fabrication d'unité complète (disques + plaquettes) en carbone dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

Un niveau de performance constant qu'il fasse chaud ou froid aussi bien à grande vitesse qu'à faible vitesse.

Une sécurité assurée lors de freinages répétitifs ou à très haute vitesse.

Des économies de poids non négligeable par rapport aux disques traditionnels.

## Procédés d'obtention

Le terme d'acier inoxydable austénitique provient de la présence d'austénite obtenue lors de la recuisson du matériau. L'austénite est une solution de carbone dans le fer  $\gamma$ , elle peut dissoudre jusqu'à 1,7%. C'est le constituant intermédiaire de

durcissement par trempe, après chauffage et avant refroidissement.

On obtient tous les types de disques par moulage au sable. Les disques ainsi obtenus sont usinés en tournage, on réalise un surfaçage pour un bon confort d'utilisation et un état de surface (rugosité) conforme au cahier des charges.

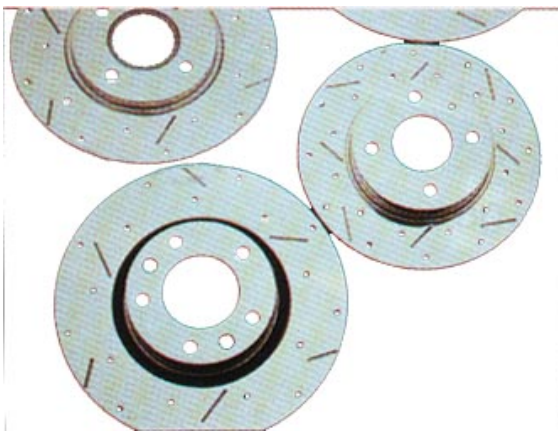
## Conditions d'utilisation

De façon à fonctionner avec le meilleur rendement et durer le plus longtemps possible, les températures des disques doivent être correctes et équilibrées.

En général, les disques d'un véhicule devraient tous fonctionner à des températures identiques.

La température maximale du disque doit être accordée avec la qualité des plaquettes utilisées. Les faces du disque ne doivent pas dépasser les températures maximales recommandées pour chaque type de plaquette. Avec une qualité CM 83 la température du disque doit être entre 400 et 600°.

Selon la température atteinte, les disques doivent être refroidis ou non.



Afin de favoriser le refroidissement du disque on usine le disque. Outre les disques ventilés classiques présents sur les modèles de tourisme, les disques de compétition haute performances sont percés afin d'améliorer leur refroidissement et d'augmenter la vitesse de mise en température des plaquettes. Ils sont également rainurés de façon spécifique pour un nettoyage constant des plaquettes et un grip immédiat par temps de pluie (voir photo)

Prenons un exemple pour modéliser l'élévation de température d'un disque de frein avant d'une voiture de masse 1000 kg allant à 180 km/h (sur circuit) soit 50 m/s.

L'énergie cinétique acquise par un véhicule est donnée sous la forme :

$$E = 1/2.m.v^2.$$

Cela fait donc une énergie de 1250 kJ à dissiper sous forme de chaleur.

En partant du principe que l'essieu avant dissipe 60 % de l'énergie du véhicule, un disque dissipera donc 30 % de l'énergie.

Cela nous donne une énergie de 375 kJ à dissiper sous forme de chaleur pour

une roue avant.

Prenons un disque standard de 3,5 kg. Son élévation de température est donnée par la formule :

$$\Delta T = \frac{Q}{mC_p}$$

Soit, une élévation de température de 233 °C

## **Conclusion**

Au cours de ces dernières années nous avons pu constater une forte évolution de la technologie automobile et notamment au niveau des systèmes de freinage. Le frein à tambour qui présentait des défauts au niveau du refroidissement est maintenant progressivement abandonné pour faire place aux freins à disques dont la complexité et l'augmentation des performances ne cesse d'augmenter. Les freins carbone, pour le moment exclusivement utilisés en compétition, feront sans doute son apparition dans quelques temps sur nos voitures de tous les jours.