

**APERÇU  
GÉNÉRAL DES  
FREINS À DISQUE  
HYDRAULIQUES**

# TABLE DES MATIÈRES

APERÇU GÉNÉRAL.....	3
LE LEVIER.....	3
LE CÂBLE/LA DURITE DE FREIN.....	4
L'ÉTRIER.....	4
SYSTÈMES OUVERT ET FERMÉ.....	5
FORCE DE FREINAGE.....	6
ÉCHAUFFEMENT ET PERTE DE PUISSANCE.....	9
ENTRETIEN.....	9

## APERÇU GÉNÉRAL

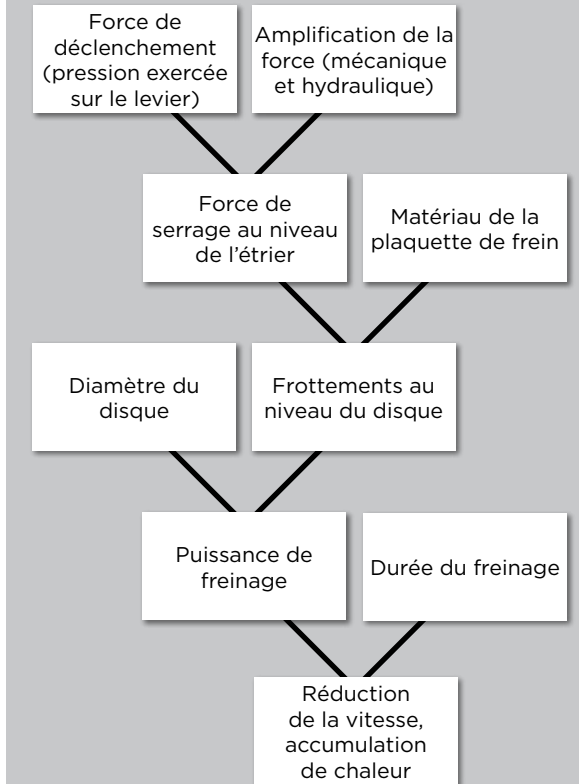
**Frein à disque** – Un frein à disque est composé d'un levier monté sur le cintre, d'un étrier monté sur le cadre ou sur la fourche et d'un disque monté sur le moyeu. Lorsqu'on exerce une pression sur le levier, une plaquette de frein (matériau de friction) vient serrer le disque, créant ainsi une force de frottement sur la zone de contact entre le disque et l'étrier. Cette force de frottement ralentit la roue en convertissant l'énergie cinétique de la roue en rotation en chaleur. En d'autres termes, *le ralentissement implique un échauffement*.

**Frein à disque hydraulique** – Un frein à disque hydraulique est composé d'un *piston maître* intégré au levier, d'une durite de frein hydraulique, d'au moins deux *pistons esclaves* sur l'étrier et d'un liquide hydraulique (liquide de frein DOT ou huile minérale).

Dans un système de freinage hydraulique, le freinage est réalisé en exerçant une pression sur le levier, ce qui a pour effet de pousser le piston maître dans le corps du levier et de contraindre le liquide à descendre dans la durite de frein. Le liquide parvient ensuite dans l'étrier et pousse les pistons esclaves. Les plaquettes de frein sont solidaires des pistons esclaves ; ainsi, lorsque le liquide pousse les pistons, les plaquettes de frein entrent en contact avec le disque. Une fois que les plaquettes sont en contact avec le disque, si le cycliste appuie davantage sur le levier, la pression dans le système augmente ; cela entraîne alors une plus grande force de serrage sur le disque.

Plusieurs facteurs entrent en jeu lors de l'utilisation d'un frein à disque hydraulique. Le dosage de la pression exercée sur le levier associé à l'amplification de la force au niveau du levier de frein puis dans le système hydraulique déterminent la force de serrage au niveau de l'étrier. Cette force de serrage associée au matériau de la plaquette de frein engendrent des frottements sur le disque. La force de ces frottements associée au diamètre du disque déterminent la puissance du freinage. La puissance du freinage ainsi que la durée de ce freinage permettent de connaître la rapidité avec laquelle la vitesse est réduite ainsi que la quantité de chaleur produite.

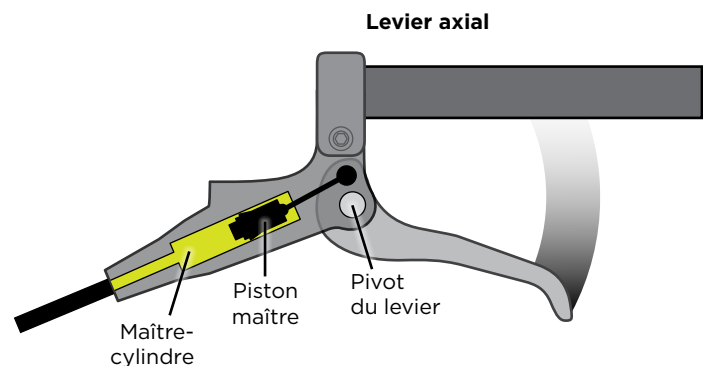
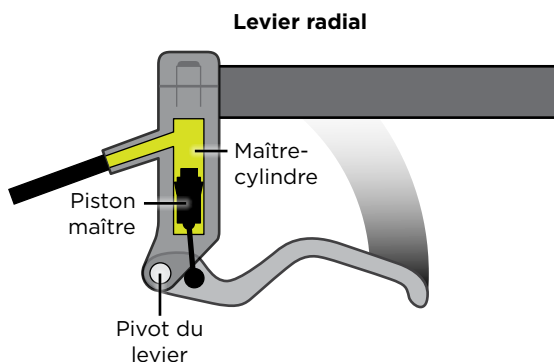
### Facteurs influant sur le frein à disque hydraulique



## LE LEVIER

La conception du levier de frein inclut en général le maître-cylindre dans l'une des deux configurations suivantes : *radiale ou axiale*.

Dans la configuration radiale, le maître-cylindre est situé perpendiculairement au cintre, alors que dans la configuration axiale, il est plutôt parallèle au cintre. La principale différence entre ces deux configurations tient à l'emplacement du pivot du levier, ce qui peut avoir un effet décisif sur l'ergonomie du levier.



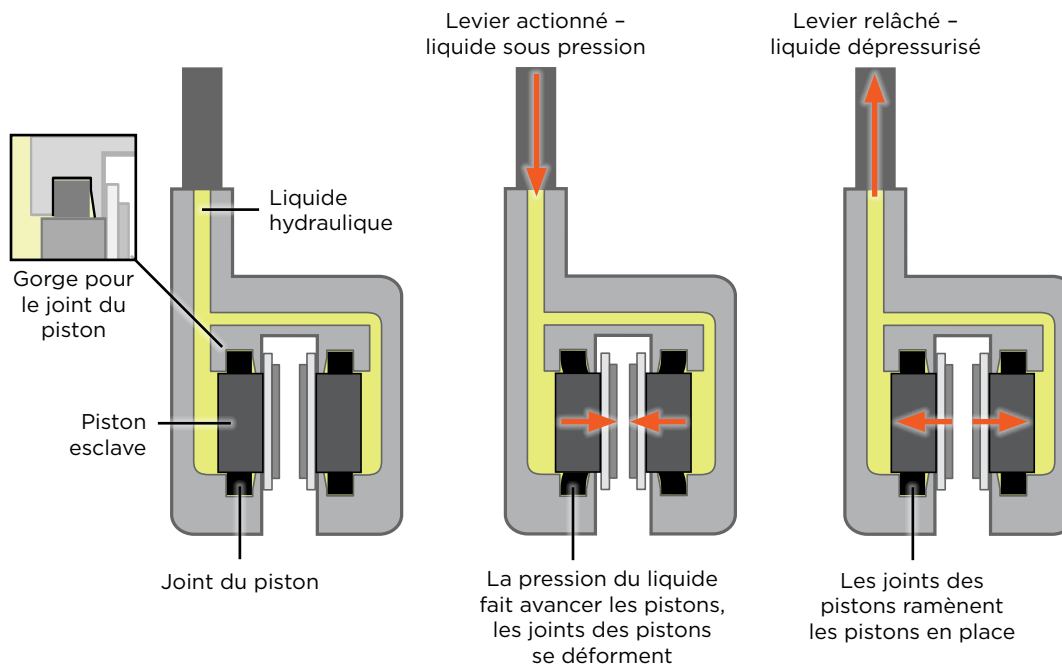
## LA DURITE DU FREIN

La durite du frein relie le levier à l'étrier. Elle aussi joue un rôle important dans la conception et le fonctionnement généraux du système de frein. Les durites de frein sont spécialement conçues pour résister à des pressions supérieures à 2000 psi sans dilatation ou allongement significatifs. Il se peut que le faible niveau de dilatation qui subsiste soit recherché par les concepteurs afin d'influer sur la sensibilité du levier à certains niveaux de pression spécifiques. Il est important de savoir que même si cela n'a pas d'impact sur la puissance de freinage globale, en revanche, cela joue un rôle dans le dosage de la puissance de freinage disponible.

## L'ÉTRIER

Les pistons esclaves de l'étrier de frein utilisent souvent des joints spéciaux qui se déforment ou avancent légèrement lorsque les pistons/plaquettes sont poussés vers le disque lors du freinage. Lorsqu'on relâche le levier de frein, les joints des pistons se détendent et éloignent les pistons/plaquettes du disque. Ce phénomène s'appelle le *recul des plaquettes*. Le recul constitue un facteur important pour déterminer la distance que les pistons doivent parcourir pour que les plaquettes entrent en contact avec le disque. Cette distance correspond à l'espace situé entre les plaquettes et le disque, ainsi qu'à la course du levier nécessaire pour que les plaquettes entrent en contact avec le disque, ce que l'on appelle *le temps de réponse*. Plus le recul des plaquettes est grand, plus l'espace entre les plaquettes et le disque ainsi que le temps de réponse sont grands.

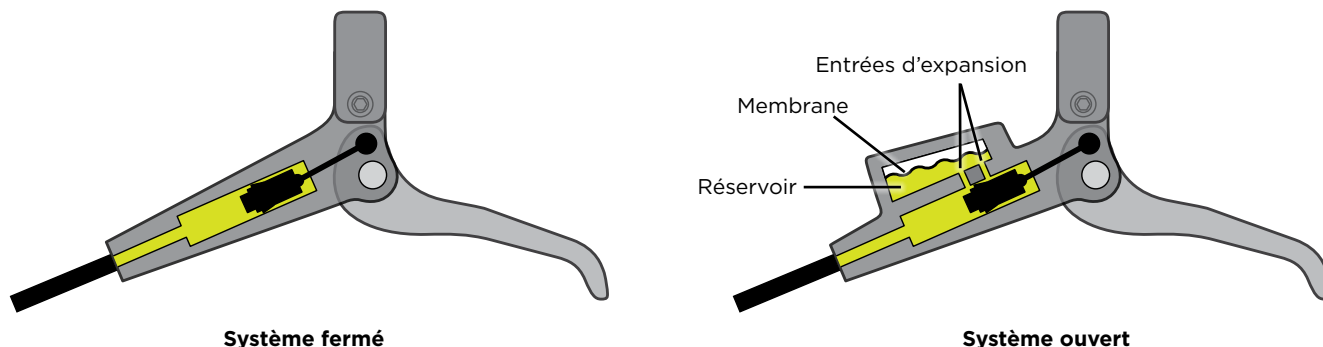
Les joints permettent également aux pistons d'avancer automatiquement en fonction du niveau d'usure des plaquettes et du disque. Au fur et à mesure que les plaquettes et le disque s'usent, l'espace situé entre ces composants augmente, ce qui a une répercussion sur la course des pistons et sur le temps de réponse. Sans cette fonction particulière des joints, l'usure de la plaquette et du disque obligerait à régler en permanence l'espace entre la plaquette et le disque afin de maintenir un temps de réponse constant. Mais dans la mesure où le recul permis par les joints du piston est limité, à partir d'un certain point, le piston glissera au-delà du joint. Cela signifie que, au fur et à mesure de l'usure des plaquettes et du disque, les pistons iront plus loin que les joints n'autorisent de recul. Donc, les pistons ne cessent de glisser au-delà des joints jusqu'à ce que les plaquettes entrent en contact avec le disque. Une fois qu'on relâche le levier de frein, les pistons/plaquettes reviennent à une nouvelle position au repos, plus proche du disque. Cela dispense de régler l'espace entre les plaquettes et le disque ou le temps de réponse au fur et à mesure de l'usure des composants.



## SYSTÈMES OUVERT ET FERMÉ

Certains systèmes de frein hydraulique pour VTT incluent un *système fermé* dans lequel le volume de liquide reste stable entre le piston maître et les pistons esclaves.

La plupart des systèmes de frein hydrauliques pour VTT incluent un *système ouvert* dans lequel un réservoir contient un volume supplémentaire de liquide et un faible volume d'air. Le liquide et l'air sont séparés par une membrane souple qui se dilate et se contracte lorsque le volume du liquide évolue.



### Différences entre les systèmes ouvert et fermé

Compensation de chaleur - lorsque les freins s'échauffent, le liquide se dilate. Dans un système fermé, cette dilatation crée de la pression qui fait avancer les plaquettes vers le disque, entraînant des frottements et modifiant la sensibilité du levier. Dans un système ouvert, le liquide en expansion peut migrer dans le réservoir dès qu'on relâche les freins. Cela permet au système de fonctionner de manière homogène dans une fourchette de températures très grande.

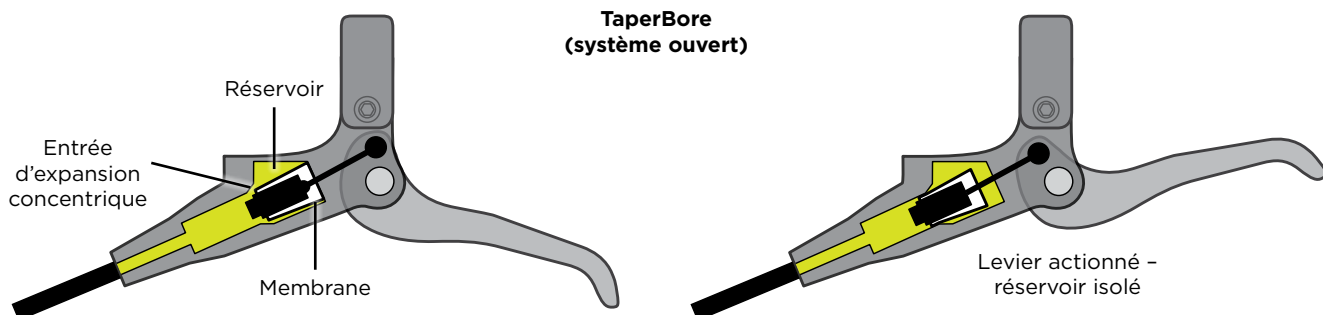
Compensation de l'usure des plaquettes/du disque - au fur et à mesure que les plaquettes et les disques s'usent, les pistons esclaves doivent avancer davantage pour pousser les plaquettes contre le disque. Dans un système fermé, une plus grande course du cylindre esclave implique une plus grande course du levier. C'est pourquoi, au fur et à mesure de l'usure des plaquettes, la course du levier s'allonge. Dans un système ouvert, le glissement des pistons/l'avancement des plaquettes compense l'espace entre les plaquettes et le disque. Le surplus de liquide dans le réservoir migre dans le système, garantissant ainsi que le volume de liquide entre le piston maître et les pistons esclaves est toujours optimal. Cela permet au système de fonctionner de manière homogène au fur et à mesure de l'usure des composants.

### Gestion du liquide dans un système ouvert

Lors du freinage, la migration du liquide dans le réservoir doit être bloquée afin que la membrane souple n'ait pas d'effet sur la sensibilité du freinage et n'exerce pas la fonction de joint lorsque la pression est élevée. Il existe deux méthodes de gestion de la circulation du liquide entre le réservoir et le reste du système :

des entrées d'expansion - les entrées d'expansion traditionnelles sont de petits trous situés dans le maître-cylindre, juste devant le piston (lorsque le frein n'est pas actionné). Lorsque le levier est actionné, le piston maître avance au-delà de ces trous et bouche donc l'accès entre le réservoir et le reste du système.

TaperBore - la TaperBore Technology™ d'Avid® comprend un piston maître à membrane™ intégrée à l'intérieur d'un maître-cylindre dont le diamètre est étagé. Lorsque le frein n'est pas actionné, le piston se trouve dans la zone du maître-cylindre dont le diamètre est légèrement plus grand que le piston. L'espace entre le piston et la paroi du maître-cylindre permet au liquide de passer dans la zone située derrière le joint du piston, autour de l'ensemble piston/membrane. Cela forme en effet un réservoir. Lorsque le frein est actionné, le piston est poussé dans la zone du maître-cylindre dont le diamètre est plus petit, faisant ainsi office de joint autour du piston et empêchant le liquide de passer entre le réservoir et le reste du système.



## FORCE DE FREINAGE

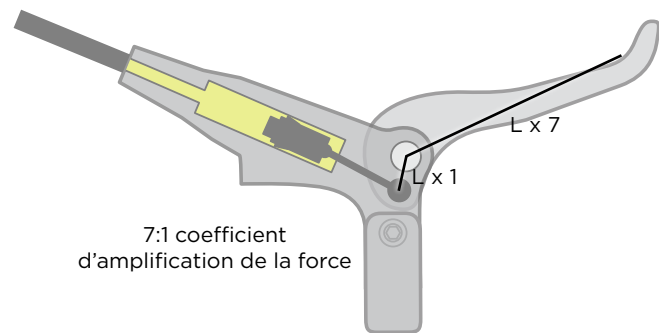
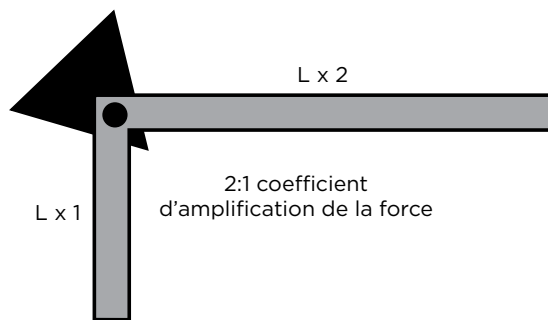
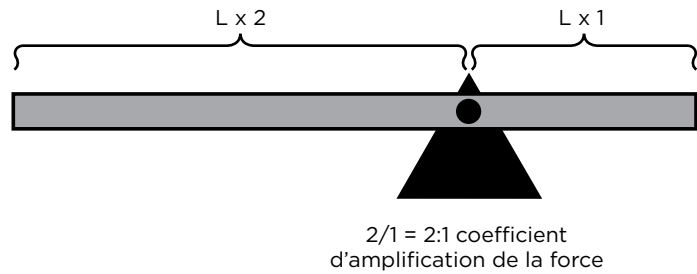
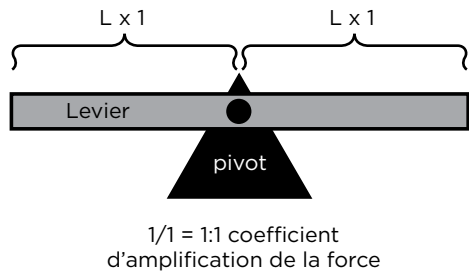
La puissance de freinage totale dépend de trois différentes caractéristiques du système de freinage :

- Amplification de la force/avantage mécanique
- Matériau de friction de la plaquette
- Taille du disque

### Amplification de la force et modulation

L'amplification de la force, ou avantage mécanique, démultiplie l'effort initial porté sur le levier, tout au long du système et jusqu'aux plaquettes et au disque. Cette amplification aura aussi un effet sur la longueur de la course du levier nécessaire afin de faire avancer les plaquettes d'une distance donnée. L'amplification totale de la force dans le système dépend de la conception du levier, du piston maître et des pistons esclaves.

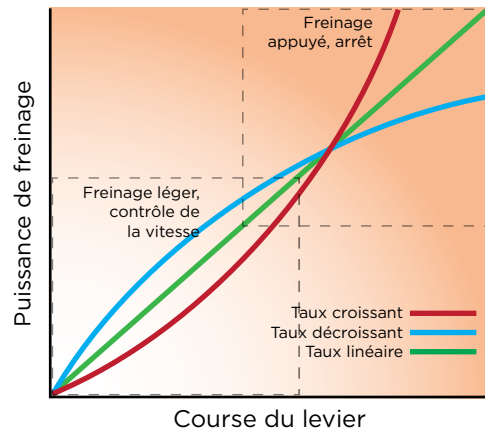
Sur le levier de frein, l'emplacement du pivot du levier, en relation avec la force qui y est exercée et le poussoir (le mécanisme qui contrôle le piston maître) est un facteur décisif afin de déterminer le niveau de l'amplification de la force. Cette relation peut s'exprimer sous forme d'un coefficient dans lequel la longueur du levier d'un côté du pivot est divisée par la longueur du levier de l'autre côté du pivot.



Les leviers de frein sont conçus avec un pivot situé près du poussoir. Ceci permet une plus grande amplification de la force, puisque le mouvement du côté du levier sur lequel la force est exercée entraîne un mouvement moindre du côté du poussoir, mais démultiplie également la force exercée dans une proportion égale au coefficient d'amplification de la force afin d'entraîner une force finale plus importante sur le piston maître.

De plus, suivant la façon dont le poussoir bouge sous l'impulsion du pivot du levier, l'amplification de la force peut varier au cours du freinage. On appelle « modulation » cette variation de l'amplification de la force. Il existe trois sortes de modulation :

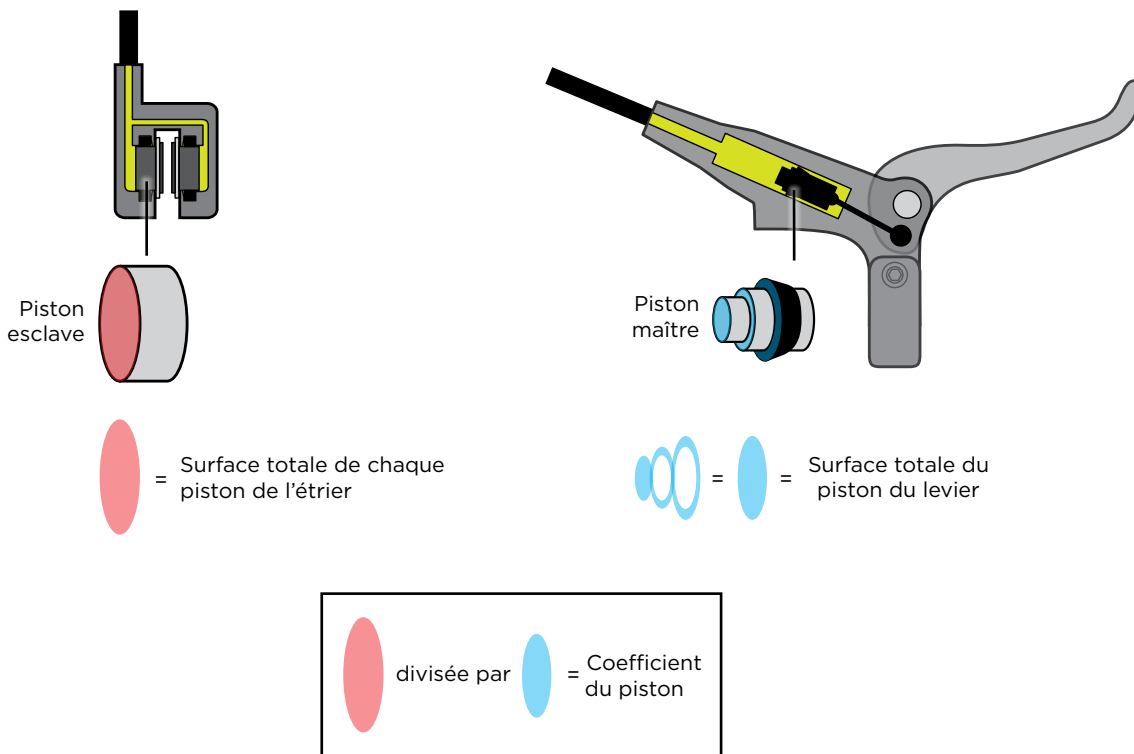
- à taux croissant – l'amplification de la force augmente tout au long de la course du levier
- à taux décroissant – l'amplification de la force diminue tout au long de la course du levier
- à taux linéaire – l'amplification de la force reste homogène tout au long de la course du levier



La Deep Stroke Modulation™ d'Avid® est un taux croissant spécialement étudié. Il engendre une force de freinage moindre lorsque les plaquettes entrent en contact avec le disque (afin de prévenir un blocage des roues intempestif ainsi que le risque de perte de contrôle) puis une puissance en croissance exponentielle lorsque la pression exercée sur le levier augmente. On obtient alors des puissances de freinage très variées pour un meilleur contrôle, quelles que soient les conditions du freinage.

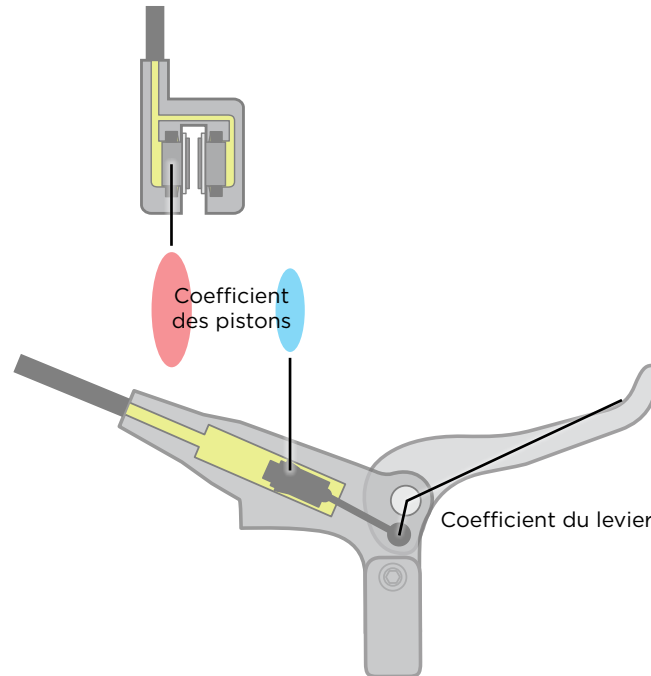
Le dernier facteur entrant en compte pour déterminer l'amplification totale de la force dans le système est le *coefficient des pistons*. À l'instar du contrôle de l'amplification de la force exercée par le levier de frein, le coefficient entre la surface du piston maître et celle de chaque piston esclave détermine l'importance du mouvement du piston maître nécessaire afin d'imprimer un mouvement donné au piston esclave. Dans les systèmes de freinage hydrauliques, la surface du piston maître est inférieure à celle du piston esclave. Des pistons esclaves plus grands nécessitent plus de liquide à leur opposer, ce qui nécessite un plus grand mouvement de la part du piston maître de taille inférieure et, par conséquent, un plus grand mouvement du levier.

Là encore, à l'instar du levier de frein, la force exercée sur le piston maître multipliée par le coefficient des pistons nous donne la force totale exercée sur les pistons esclaves.



En raison du fait qu'il existe deux pistons esclaves, on pourrait penser que la surface combinée des deux pistons esclaves va jouer un rôle dans le coefficient des pistons en doublant la force de serrage exercée sur le disque. Ce serait vrai si la surface combinée des deux pistons bougeait dans la même direction (comme c'est le cas de chaque côté d'un étrier à quatre pistons). Toutefois, si les deux pistons esclaves bougent dans des directions opposées, la force de serrage totale n'est en fait égale qu'à la force produite par un seul des pistons. Par exemple, si l'un des pistons esclaves était bloqué et que l'autre piston esclave engendrait à lui tout seul la force de serrage, la force ainsi produite ne serait pas différente de celle obtenue dans le cas où les deux pistons fonctionnent ensemble.

En contrôlant la conception des pistons pour l'amplification de la force ainsi que celle du levier pour l'amplification de la force et la modulation, on peut obtenir une grande variété de sensibilités, de puissances et de maîtrises lors du freinage. Pour une variété encore plus grande, d'autres facteurs de contrôle peuvent venir s'ajouter, comme la conception des plaquettes et du disque.



Coefficient des pistons multiplié par coefficient du levier =  
amplification totale de la force dans le système

## Plaquettes de frein et frottements

Les plaquettes de frein fonctionnent selon deux principes : *le frottement adhérent* et *le frottement abrasif*.

Le frottement adhérent commence par le dépôt d'une fine couche du matériau de la plaquette sur le disque au cours d'une procédure initiale de brunissage ou de *rodage*. Une fois que cette couche s'est déposée, le contact des freins crée des liens moléculaires entre les plaquettes et la couche de dépôt sur le disque qui s'établissent et se brisent immédiatement, engendrant du frottement. Un rodage adapté est absolument nécessaire pour obtenir une bonne performance de freinage car une couche inégale de matériau issu de la plaquette sur le disque peut entraîner un bruit excessif et un freinage irrégulier. Au début, on peut ne pas s'en rendre compte, mais au fur et à mesure que la couche se dépose de manière irrégulière, ce genre de problème peut survenir après plusieurs sorties. Le frottement adhérent est le facteur essentiel du frottement général lors du freinage et le matériau de la plaquette est le composant essentiel pour engendrer du frottement adhérent. C'est pourquoi les plaquettes s'usent bien plus vite que les disques.

Le frottement abrasif est engendré par l'usure de la surface des plaquettes de frein, du disque ou des deux. Ce n'est qu'un facteur secondaire dans le frottement général mais c'est le premier facteur contribuant à l'usure du disque.

Le matériau de la plaquette est spécialement conçu pour entrer en interaction avec le matériau du disque et il procure une force de frottement déterminée pour une force de serrage sur le disque donnée. Ce phénomène s'appelle le *coefficient de frottement* et des matériaux de plaquette différents peuvent avoir des coefficients de frottement différents. Avid utilise des plaquettes en matière organique ou en métal fritté. Les plaquettes en matière organique sont conçues à partir de différents composants organiques et métalliques liés ensemble par une résine organique. Les plaquettes en métal fritté sont composées de matériaux métalliques liés sous l'effet d'une température et d'une pression élevées. Ces deux types de composants des plaquettes possèdent des caractéristiques différentes en termes de puissance, d'usure et de performances en conditions humides ou sèches et poussiéreuses. Lorsque vous passez de plaquettes en matière organique à des plaquettes en métal fritté, ou l'inverse, il est important de monter un nouveau disque afin qu'une nouvelle couche de matériau se dépose.

L'usure des plaquettes et du disque est la conséquence normale de l'utilisation des freins sur une certaine période. Toutefois, la contamination des plaquettes ou du disque peut accélérer le processus d'usure et engendrer un bruit ou des vibrations inhabituels.

## Disques

Le diamètre du disque est le dernier facteur influant sur la puissance du freinage. Les disques de grand diamètre fournissent une plus grande amplification de la force au système de freinage pour ralentir la rotation de la roue en permettant à la force de freinage de s'exercer loin du moyeu. Donc, plus le disque est grand, plus le freinage est puissant. Les disques de grand diamètre améliorent également la gestion de la chaleur en augmentant la surface et la masse thermique (la capacité à absorber la chaleur) du système de freinage dans son ensemble. Les disques de grand diamètre sont forcément plus lourds que ceux de plus petite taille ; donc les cyclistes peuvent souhaiter monter des disques plus petits pour alléger leur vélo. Toutefois, on peut se retrouver avec un système de freinage insuffisamment puissant pour les cyclistes les plus lourds ou les plus engagés. Ces cyclistes peuvent compenser la perte de puissance engendrée par un disque plus petit en appuyant plus fort sur le levier. Mais le système peut alors surchauffer, ce qui peut entraîner une puissance de freinage insatisfaisante. En général, un disque de taille idéale est un élément essentiel de sécurité dans le réglage des freins. La taille du disque doit être adaptée au cycliste et aux conditions dans lesquelles il effectue ses sorties.



## ÉCHAUFFEMENT ET PERTE DE PUISSANCE

La puissance de freinage peut décroître en cas d'utilisation prolongée du frein. Ce phénomène s'appelle *la perte de puissance*. Il existe deux types de perte de puissance liés aux freins hydrauliques, *la perte par frottement* et *la perte par ébullition*.

Dans la perte de puissance par frottement, le coefficient de frottement peut évoluer en fonction de la température au point de contact entre la plaquette et le disque mais aussi en fonction du type de matériau de la plaquette. Des températures élevées de freinage peuvent entraîner une baisse importante du coefficient de frottement. Cela se traduit au guidon par une réduction de la puissance de freinage : le cycliste appuie plus fort sur le levier mais ne sent pas d'augmentation de la puissance de freinage.

La perte de puissance par ébullition vient du fait que le liquide de frein bout dans l'étrier de frein et dans la durite. L'ébullition se définit par une baisse de la pression du liquide (qui intervient lorsqu'un liquide est échauffé) qui permet à de microscopiques poches de gaz en suspension dans le liquide (ou bulles) d'augmenter de volume et de créer des bulles plus grosses. Les liquides soumis à une pression élevée ont un point d'ébullition plus haut que les liquides soumis à une moindre pression. Cela signifie que le liquide peut, de fait, atteindre des températures au-delà de son point d'ébullition habituel lors de freinages très appuyés (pression élevée). Mais, dès que l'on relâche le levier, la pression chute immédiatement. Comme la température du liquide dépasse encore son point d'ébullition habituel, cette perte soudaine de pression entraîne l'ébullition instantanée du liquide ce qui donne naissance à de grosses bulles dans le système de frein. Une fois que les grosses bulles sont présentes dans le système, une pression exercée sur le levier de frein comprime les bulles, en plus de déplacer du liquide, ce qui peut amener le levier à toucher le cintre avant qu'une pression suffisante du liquide pour faire bouger correctement les pistons esclaves ne soit obtenue. Cela se traduit par une perte de puissance du freinage.

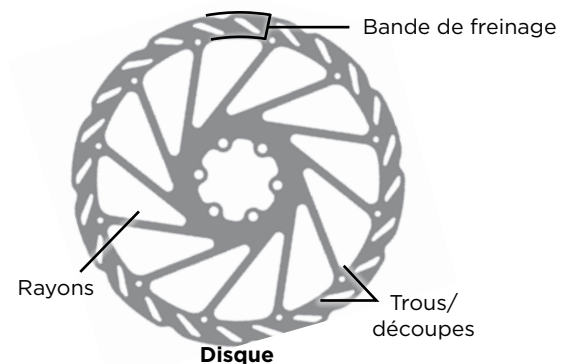
Les systèmes de frein sont conçus et testés afin de fonctionner à des températures extrêmes. Toutefois, chaque système a ses limites. Dans la mesure où les matériaux des plaquettes donnent en général des signes de perte de puissance par frottement avant que n'intervienne la perte de puissance par ébullition, on peut interpréter une diminution de la puissance de freinage issue de la perte par frottement comme un indice évident du fait que le système approche de sa chaleur limite ; il convient alors de le laisser refroidir avant qu'une dangereuse diminution de la puissance de freinage pour cause d'ébullition du liquide de frein ne survienne. Un système de frein qui aurait subi une perte de puissance par ébullition doit être complètement purgé avant toute autre sortie. L'ébullition du liquide de frein entraîne une dégradation de la composition du liquide et peut avoir pour conséquence que son point d'ébullition soit plus vite atteint à l'avenir.

### Gestion de la chaleur

La plupart des systèmes de frein sont conçus pour gérer la chaleur en la contenant au niveau des plaquettes et du disque. Ces deux composants ont un accès plus direct aux flux d'air et peuvent supporter des températures plus élevées que les autres composants du système (comme le liquide de frein). On obtient ce résultat en utilisant des matériaux pour les pistons qui ne sont pas conducteurs de chaleur afin de limiter les transferts de chaleur depuis le point de contact entre la plaquette et le disque vers l'étrier.

Dans la mesure où la plus grande partie de la chaleur reste concentrée au niveau du disque, les disques sont conçus pour absorber et dissiper la chaleur de manière efficace. La masse thermique globale du disque détermine la quantité de chaleur qu'il peut absorber. Les disques les plus lourds, grâce à leur masse thermique plus élevée, peuvent absorber davantage de chaleur que des disques plus légers et plus petits. Puisque la plupart des actions de freinage sont plutôt brèves, un disque plus lourd fonctionne à une température moyenne plus basse parce qu'il s'échauffe moins vite. De plus, on a recours à des trous et des découpes sur le disque afin d'augmenter sa surface totale pour améliorer la dissipation de la chaleur dans l'air par convection ainsi que pour éliminer les débris et la poussière issus des plaquettes lors du freinage.

La solidité et la stabilité des rayons du disque et de la bande de freinage doivent aussi être pris en compte lors de la conception des disques en ce qui concerne leur capacité à gérer la chaleur. Des changements importants de température vont avoir des conséquences sur le matériau qui compose les disques et ceux-ci peuvent passer de températures basses à des températures extrêmement élevées plusieurs fois au cours d'une même descente.



## ENTRETIEN

### Mélanger les pièces

Les freins à disque hydrauliques modernes pour VTT sont des systèmes de très hautes performances conçus et testés comme un tout afin de garantir un fonctionnement homogène et sûr dans des conditions d'utilisation extrêmement variées. L'utilisation de composants étrangers au système, de rechange ou personnalisés peut compromettre l'utilisation du système en toute sécurité ainsi que ses performances. Il est essentiel d'utiliser une visserie, des disques, des plaquettes, des étriers, des durites, du liquide de frein, des leviers et des leviers à un doigt qui ont été conçus pour fonctionner avec leur système de frein d'origine.

## AVIS

Les systèmes de frein hydrauliques sont équipés de nombreux joints qui ne sont compatibles qu'avec le liquide hydraulique utilisé dans ce système. Mélanger même une toute petite quantité de liquide d'un autre genre peut endommager ces joints, ce qui aura des conséquences durables et irréversibles sur la performance et le fonctionnement des freins. **N'utilisez aucun autre liquide que celui préconisé pour votre système.**

### Maintenance

Il convient de prendre les mesures appropriées afin de garantir l'intégrité du système de freinage ainsi que la sécurité du cycliste. La purge des freins est une opération qui permet l'évacuation de l'ancien liquide et du gaz accumulé dans le système hors de l'étrier, de la durite et du levier. Il faut procéder à une purge complète du système de frein tous les 6 mois afin de garantir les performances du système de freinage. Le couple auquel toutes les vis sont serrées doit être vérifié régulièrement. Il faut aussi vérifier que les plaquettes de frein ainsi que les disques sont exempts de toute trace d'usure ou de contamination avant chaque sortie et les remplacer si nécessaire.

[www.sram.com](http://www.sram.com)