

# Le frein électrohydraulique

Le frein électrohydraulique correspond à une architecture dans laquelle :

- La commande du freinage est réalisée de manière purement électrique
- L'énergie d'actuation (produisant l'effort ou assurant le défreinage) est hydraulique

Il n'y a donc plus aucune conduite pneumatique, voire, sur la plupart des véhicules utilisant ce type de frein (les tramways essentiellement), plus aucune production d'air comprimé (certains tramways conservant une mini-production d'air comprimé pour le sablage, et le cas échéant pour la suspension secondaire pneumatique).

Le frein électrohydraulique a été développé dans les années 60/70 pour améliorer très notablement les performances des tramways, en associant les temps de réponse quasi-immédiats de la commande électrique à ceux extrêmement courts de l'hydraulique.

En effet, le fluide hydraulique étant incompressible (contrairement à l'air), la transmission de pression se fait de manière quasiment statique dans le circuit (le fluide ne se déplace pratiquement pas), ce qui fait que les temps de réponse sont réduits à quelques centaines de millisecondes. Pour les tramways, ce gain en rapidité de réponse s'est vite avéré vital pour permettre d'obtenir des réactions aussi promptes que les véhicules routiers.

La présente page décrit les grandes lignes de ce type d'architecture.

## **La commande du freinage de service**

### Commande de freinage du train

La commande du freinage de service est, dans la très grande majorité des cas, associée à la commande de traction : les deux utilisent le même manipulateur, qui dispose d'une plage traction lorsqu'il est poussé vers l'avant et d'une plage freinage lorsqu'il est tiré vers l'arrière.

Le manipulateur intègre des potentiomètres électriques qui délivrent une tension proportionnelle à la position du manipulateur dans chacune des plages, ainsi que des contacts indiquant s'il s'agit de la plage traction ou de la plage freinage.

La tension délivrée par les potentiomètres et l'état des contacts de position sont fournis à une électronique (l'émetteur de consigne), laquelle se charge de coder la consigne d'effort (traction ou freinage) sous forme d'une information :

- Soit de type analogique (PWM pour les cas les plus fréquents) : la distinction entre traction et freinage se fait soit en signant la valeur du signal PWM (+ pour la traction, - pour le freinage), soit en réservant une plage pour la traction et une plage pour le freinage (par exemple 52% à 95% = traction, 52% à 48% = neutre, 48% à 10% = freinage), soit en positionnant en parallèle des lignes de train logiques (alimentées à la tension batterie, et étant soit sous tension, soit coupées) indiquant s'il faut réaliser l'effort demandé en traction ou freinage.
- Soit sous forme numérique : un bus informatique se substitue aux lignes de train PWM et traction/freinage précitées, toutes les informations de traction, freinage et consigne d'effort étant alors transmises sous forme entièrement numérique par le biais de l'unité centrale informatique.

## Commande du freinage des bogies

Au niveau de chaque bogie moteur, une électronique de commande traction/freinage reçoit les ordres de traction et freinage (signaux analogiques ou/et informations numériques). Ces ordres sont décodés par cette électronique, et traduits en un effort à réaliser en traction ou freinage.

Les algorithmes internes décident alors, dans le cas du freinage, de commander en priorité le frein dynamique, puis en complément le frein mécanique. Ce complément de frein mécanique peut être déterminé localement pour le bogie lui-même (conjugaison locale), ou procéder d'une consigne calculée par une unité centrale de gestion (unité centrale du réseau informatique de bord, conjugaison globale). Si un complément de frein mécanique est nécessaire sur le bogie moteur concerné, l'ordre est transmis à une électronique dédiée à la commande du freinage mécanique.

Au niveau de chaque bogie porteur, une électronique de commande freinage reçoit également les ordres traction et freinage (signaux analogiques ou/et informations numériques). Ces signaux sont décodés par cette électronique, et traduits en un effort à réaliser (dans ce cas, aucune action n'intervient en phase de traction). En cas de conjugaison locale à chaque bogie, les algorithmes internes décident alors de réaliser ou non un effort de freinage, en fonction des lois de conjugaison définies ; en cas de conjugaison globale, la consigne de freinage à appliquer est reçue de l'unité centrale de gestion et appliquée telle quelle.

La correction des efforts en fonction de la charge peut être réalisée de deux manières :

- Soit par mesure de la charge au moyen de capteurs potentiométriques, installés entre la caisse et un bogie, et mesurant la déflexion de la caisse ; ces capteurs sont interfacés avec l'une des électroniques du véhicule ou avec le réseau informatique de bord, ce qui permet de calculer la charge globale et, dans le cas d'une conjugaison locale, de la retransmettre aux autres électroniques.
- Soit par un asservissement en décélération : les ordres de freinage reçus du manipulateur traction/freinage sont traduits sous forme d'une décélération, laquelle doit être obtenue quelle que soit la charge ; les équipements de commande (unité centrale de gestion ou électroniques de commande locales) augmentent alors les efforts de freinage jusqu'à obtenir la décélération requise, laquelle est calculée en permanence par dérivation de la valeur de la vitesse en fonction du temps.

La consigne d'effort est ensuite éventuellement corrigée par l'antienrayeur (adaptation à l'adhérence roue-rail disponible).

Chaque électronique de commande de freinage locale pilote ensuite un transducteur électrohydraulique, de manière à transformer la consigne d'effort en une pression hydraulique.

La pression pilote en sortie du transducteur est délivrée directement aux étriers de frein. Ceux-ci sont en général :

- A ressorts sur les bogies moteurs : l'effort de freinage est produit par des ressorts, et le niveau d'effort est ajusté en modulant une contre-pression hydraulique sur le piston
- Directs sur les bogies porteurs : la pression hydraulique génère directement l'effort, comme pour les étriers d'une automobile.

## ***La commande du freinage d'urgence***

### Commande de freinage du train

La commande du freinage d'urgence est totalement découplée de la commande du freinage de service, de manière à garantir des niveaux de sécurité et de disponibilité plus élevés. La commande est réalisée par le biais d'une boucle d'urgence qui parcourt toute la longueur du train, et est bouclée au niveau du dernier bogie, pour revenir en tête. En cas de circulation en unité multiple (UM), la boucle est :

- Soit automatiquement reconfigurée pour se reboucler au niveau du dernier bogie de la rame de queue.
- Soit formée par le couplage, via un dispositif spécifique (relayage), des deux boucles de chaque rame.

La boucle d'urgence est en permanence sous tension, alimentée soit directement depuis la batterie, soit par le biais d'une alimentation à potentiel flottant (permettant de diminuer fortement les risques de réalimentations intempestives de la boucle). Pour déclencher le freinage d'urgence, il suffit d'ouvrir l'un des contacts installés en série sur cette boucle pour que celle-ci soit au potentiel nul, indiquant la commande d'un freinage d'urgence.

Chacun des contacts installés sur la boucle est actionné par un équipement donné : position urgence du manipulateur traction/freinage ou équipement de sécurité (veille automatique, contrôle de vitesse, etc...).

### Commande du freinage des bogies

Des relais de freinage d'urgence sont connectés directement sur la boucle d'urgence. Lorsque celle-ci est sous tension, chaque relais d'urgence est maintenu excité, et n'a aucune action. Lorsque la boucle d'urgence est ouverte, chaque relais d'urgence est désexcité, et délivre une information logique donnant aux électroniques de commande une information de freinage d'urgence.

Dans le cas d'une conjugaison locale, cette information implique, pour chaque électronique, de commander un effort correspondant à l'effort de freinage d'urgence.

Dans le cas d'une conjugaison globale, l'information de freinage d'urgence est également fournie à l'unité centrale de gestion, qui force alors les consignes de freinage aux niveaux correspondant au freinage d'urgence. L'information de freinage d'urgence fournie localement aux électroniques de freinage n'est alors utilisée qu'à titre de redondance pour assurer un minimum d'effort (talon de freinage) dans le cas où la consigne d'effort reçue de l'unité centrale de gestion serait erronée.

Chaque électronique commande alors l'ensemble des freins (dynamique et/ou mécanique) qu'elle a en charge, le frein mécanique étant commandé par le biais du transducteur électrohydraulique.

La correction de charge reste active dans ce mode de freinage, de même que l'antienrayeur.

Les relais de freinage d'urgence commandent également l'application des patins de frein électromagnétique sur rail si ceux-ci équipent le véhicule. Ceux-ci sont en général maintenus appliqués jusqu'à l'arrêt (ou presque) du véhicule.

## ***La commande du freinage de sécurité***

### Commande de freinage du train

La commande du freinage de sécurité, lorsqu'elle existe, est totalement découplée de la commande du freinage de service et de celle du freinage d'urgence, de manière à garantir un niveau de sécurité maximum. La commande est réalisée par le biais d'une boucle de sécurité, distincte de la boucle d'urgence, qui parcourt toute la longueur du train et est bouclée au niveau du dernier bogie pour revenir en tête. En cas de circulation en unité multiple (UM), la boucle est :

- Soit automatiquement reconfigurée pour se reboucler au niveau du dernier bogie de la rame de queue.
- Soit formée par le couplage, via un dispositif spécifique (relayage), des deux boucles de chaque rame.

La boucle de sécurité est en permanence sous tension, alimentée soit directement depuis la batterie, soit par le biais d'une alimentation à potentiel flottant (permettant de diminuer fortement les risques de réalimentations intempestives de la boucle). Pour déclencher le freinage de sécurité, il suffit d'ouvrir l'un des contacts installés en série sur cette boucle pour que celle-ci soit au potentiel nul, indiquant la commande d'un freinage de sécurité.

En général, la boucle de sécurité ne peut être coupée que par le coup-de-poing. Par ailleurs, l'actionnement du coup-de-poing coupe également la boucle d'urgence, de manière à garantir qu'au moins l'une des deux boucles sera coupée.

### Commande du freinage des bogies

Des relais de freinage de sécurité sont connectés directement sur la boucle de sécurité. Lorsque celle-ci est sous tension, chaque relais de sécurité est maintenu excité, et n'a aucune action. Lorsque la boucle de sécurité est ouverte, chaque relais de sécurité est désexcité, et :

- Au niveau de chaque bogie moteur, entraîne la vidange complète des étriers (retour du fluide vers la bête de la centrale hydraulique), donc l'application d'un effort maximal des étriers à ressorts ; cette vidange est provoquée soit par coupure (directe ou indirecte) de l'alimentation électrique du transducteur électrohydraulique pilotant la pression dans les étriers, soit par coupure de l'alimentation électrique d'une électrovalve de freinage de sécurité.
- Au niveau de chaque bogie porteur, coupe l'alimentation électrique d'une électrovalve de freinage de sécurité, laquelle vient alimenter les étriers directs à une pression hydraulique issue directement de l'accumulateur via un limiteur de pression pré-régulé.

En parallèle, chaque relais de sécurité délivre une information logique donnant ordre aux électroniques de commander un effort correspondant à l'effort de freinage de sécurité (redondance).

Le frein dynamique est inhibé dans cette phase, généralement par ouverture du disjoncteur principal (ce qui par ailleurs garantit une coupure certaine de la traction).

La correction de charge est inactive dans ce mode de freinage, de même que l'antienrayeur.

La boucle d'urgence étant également coupée, les relais de freinage d'urgence commandent par ailleurs l'application des patins de frein électromagnétique (pour les véhicules équipés). Ceux-ci sont en général maintenus appliqués jusqu'à l'arrêt (ou presque) du véhicule. A noter que la coupure de la boucle d'urgence permet de garantir au moins le freinage d'urgence sur chaque bogie en cas de défaillance d'un relais de sécurité, sachant que le freinage d'urgence procure un effort équivalent ou plus élevé que le freinage de sécurité.

### ***Synoptique général d'un frein électrohydraulique***

La très grande majorité des applications de ce type de système de freinage étant les tramways, nous vous proposons ici le synoptique général pour ce type de véhicule.

