

→ J. Marsot, M. Jacqmin  
Département Ingénierie  
des équipements de travail,  
Centre de Lorraine, INRS,  
Vandœuvre-lès-Nancy

# Dispositifs embrayages-freins

## Analyse fonctionnelle et résultats d'essais

### CLUTCH-BRAKE SYSTEMS FUNCTIONAL ANALYSIS AND TEST RESULTS

This article presents the results of a study on friction clutch-brake systems, which are one of the most important elements for the safety of operators of mechanical presses. After a brief reminder of the different operating principles of these systems, the article goes on to describe the different causes of failures that can lead to dangerous situations, such as cycle repetition or continuous operation. Based on these results and on normative instructions applicable to this type of component, recommendations for their design and use then follow.

● mechanical press ● friction clutch-brake system ● operating safety ● design ● use

Cet article présente les résultats d'une étude sur les dispositifs embrayages-freins à friction, qui font partie des éléments les plus importants pour la sécurité des opérateurs de presses mécaniques.

Après un bref rappel des différents principes de fonctionnement de ces dispositifs, sont décrites les différentes causes de défaillances pouvant conduire à des situations dangereuses, telles que répétition du cycle ou mise en marche à la volée.

A partir de ces résultats et en s'appuyant sur des prescriptions normatives applicables à ce type de composant, suivent des recommandations pour leur conception et leur utilisation.

● presse mécanique ● embrayage-frein à friction ● sûreté de fonctionnement ● conception ● utilisation

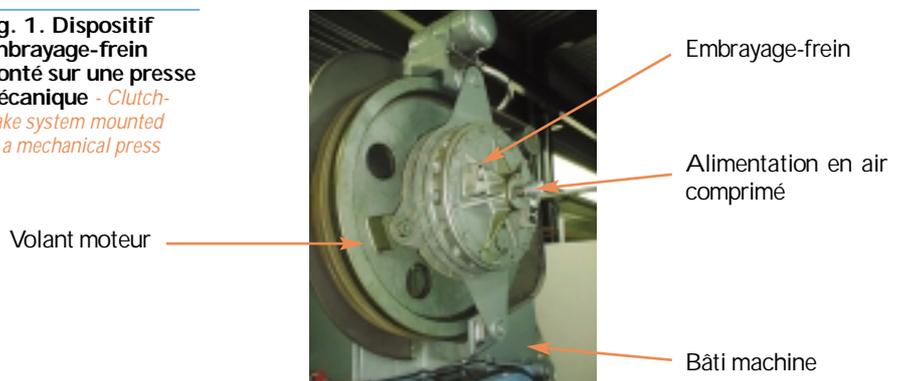
## 1. Principe de fonctionnement

Les dispositifs « embrayages-freins » (fig. 1) sont des actionneurs qui ont pour rôle de transmettre par friction<sup>(1)</sup> la mise en mouvement (fonction embrayage) ou l'arrêt d'un mécanisme (fonction frein).

Ils sont pour l'essentiel composés de trois parties :

- du (des) disque(s) d'embrayage solidaire(s) du mécanisme menant (volant moteur),
- du (des) disque(s) de freinage solidaire(s) du bâti machine,
- du (des) disque(s) de friction mobile(s) en translation et solidaire(s) en rotation du mécanisme mené (vilebrequin).

Fig. 1. Dispositif embrayage-frein monté sur une presse mécanique - Clutch-brake system mounted on a mechanical press



<sup>(1)</sup> Dans le langage technique, les dispositifs embrayages-freins sont toujours à friction. Les dispositifs qui mettent en œuvre d'autres principes tels que le magnétisme sont plutôt désignés par le terme de « coupleur ».

Une pression de commande, qui peut être soit pneumatique, soit hydraulique, provoque le déplacement des disques de friction mobiles (fig. 2). Les disques côté embrayage et les ressorts sont comprimés. Le couple d'embrayage s'établit.

Lorsque la pression de commande cesse, le piston est repoussé sous l'action des ressorts. Les disques côté frein sont comprimés et le couple de freinage s'établit (2).

Ces fonctions «frein» et «embrayage» peuvent être réalisées soit par deux appareils distincts (embrayage-frein séparé) soit par un seul (embrayage-frein combiné).

Par ailleurs, sans entrer dans le détail de leur conception, les dispositifs embrayages-freins peuvent être classés selon qu'ils sont :

- à commande pneumatique ou hydraulique,
- à frottement «sec» ou «humide» entre les disques de friction.

Les deux principales familles d'embrayages-freins rencontrées sur les presses mécaniques sont «pneumatique/sec» ou «hydraulique/humide». Il est en effet techniquement avantageux, pour les appareils à frottement «humide», d'utiliser le même fluide pour la lubrification et la commande.

Les différences de comportement, notamment en phase de freinage, entre ces deux familles d'embrayages-freins, ont été mises en évidence dans le cadre d'une étude expérimentale.

Les différentes causes de défaillances de ces dispositifs ont ensuite été analysées, afin de déterminer celles pouvant conduire à des situations dangereuses, telles que répétition du cycle ou mise en marche à la volée.

(2) Pour en savoir plus sur la technologie des dispositifs d'embrayages et de freins à friction, nous recommandons au lecteur de se reporter aux références bibliographiques [1 à 3].

(3) Cette sélection, effectuée au moment de la campagne d'essais, n'a aucun caractère exhaustif. Il s'agit de constituer un échantillon représentatif des dispositifs embrayages-freins alors commercialisés sur le marché français.

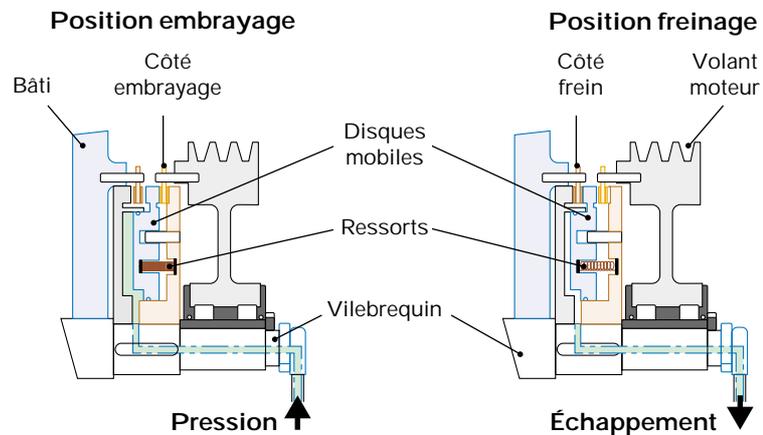


Fig. 2. Schémas de principe d'un embrayage-frein « combiné »

- Schematic diagrams of a "combined" clutch-brake system

## 2. Étude expérimentale

Des dispositifs embrayages-freins de type combinés et de différentes technologies ont été approvisionnés pour cette étude expérimentale (3). Ils ont tous été dimensionnés pour une presse de 400 kN ayant les caractéristiques suivantes :

- un angle de freinage de 15 degrés,
- une course de travail de 3 mm,
- une course du coulisseau de 50 mm,
- une vitesse de rotation du vilebrequin de 90 tr/min,
- une inertie totale des éléments mobiles de 1,60 kg.m<sup>2</sup>.

Afin de mettre en évidence les différences de comportement entre les différentes technologies d'embrayages-freins, les mesures suivantes ont été réalisées :

- le moment de rotation applicable au frein ou à l'embrayage sans que ceux-ci commencent à patiner (couple statique) ;
- le moment de rotation agissant sur les arbres pour accélérer ou freiner les masses en présence, à partir du glissement jusqu'à l'obtention de la vitesse nominale ou de l'arrêt complet (couple dynamique) ;
- le temps entre le début de chute de la vitesse jusqu'à l'arrêt complet (temps de freinage) ;
- l'angle parcouru entre le début de chute de la vitesse jusqu'à l'arrêt complet (angle de freinage).

La réalisation pratique de cette étude expérimentale a été menée avec la collaboration du Centre technique des indus-

tries mécaniques (CETIM) qui a mis au point deux bancs d'essais spécifiques. L'un pour les mesures de couple d'embrayage et de freinage (fig. 3). L'autre pour les mesures de temps et d'angle de freinage (fig. 4). Les principaux résultats sont résumés dans le tableau I.

On constate que pour des embrayages-freins de même technologie, leur taux de décélération est semblable (fig. 5). Les différences observées dépendent essentiellement du couple de freinage exercé. Plus le couple de freinage est important, plus le temps, donc l'angle de freinage, est réduit.

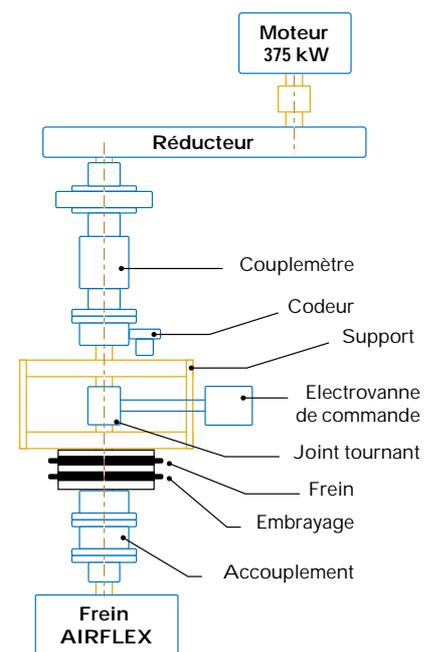


Fig. 3. Schéma de principe du banc d'essai pour les mesures de couples

- Schematic diagram of the torque measurement test rig

Par contre, pour deux dispositifs embrayages-freins de technologie différente, l'un à frottement « humide » et l'autre à frottement « sec », on constate que le premier présente un taux de décélération plus élevé que le second. En conséquence, le temps de freinage d'un dispositif à frottement humide est plus court qu'un dispositif à frottement sec et ce malgré des couples de freinage similaire.

Cette différence de comportement s'explique par le fait que, sur un dispositif de friction à frottement « humide », l'établissement du couple provient essentiellement de la résistance au cisaillement du film d'huile compris entre les disques [3]. Ce couple est pratiquement établi avant que les disques soient en contact.

Par ailleurs, les matériaux de friction utilisés sur les dispositifs à frottement humide sont plus performants que ceux utilisés sur les dispositifs à frottement sec (tableau II).

#### Remarque

Il n'est pas possible de comparer les caractéristiques d'embrayage entre les dispositifs pneumatique/sec et hydraulique/humide. Elles dépendent en effet de la pression d'alimentation et des caractéristiques de l'électrovanne de commande [4] qui sont nécessairement différentes pour les dispositifs hydraulique et pneumatique.

TABLEAU I

PRINCIPAUX RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX  
- MAIN EXPERIMENTAL RESULTS

Code embrayage-frein	A <sub>P</sub>	A <sub>H</sub>	C <sub>P</sub>	C <sub>H</sub>
Type de commande	Pneumatique	Hydraulique	Pneumatique	Hydraulique
Type de fonctionnement	Sec	Humide	Sec	Humide
Couple statique d'embrayage	4 740 N.m	7 560 N.m	5 400 N.m	4 930 N.m
Couple dynamique d'embrayage	4 720 N.m	9 780 N.m	5 540 N.m	5 200 N.m
Couple statique de freinage	3 730 N.m	5 632 N.m	2 310 N.m	3 650 N.m
Couple dynamique de freinage	3 500 N.m	4 790 N.m	3 100 N.m	3 000 N.m
Temps de freinage	20 ms	13 ms	26 ms	16 ms
Angle de freinage	6,81°	4,59°	8,56°	4,71°

TABLEAU II

CARACTÉRISTIQUES DES PRINCIPAUX MATÉRIEAUX DE FRICTION RENCONTRÉS [3]  
- CHARACTERISTICS OF THE MAIN FRICTION MATERIALS ENCOUNTERED

	Frottement « Humide »	Frottement « Sec »
Garniture de friction	Acier ou Bronze fritté	Garniture minérale
Contre-matériau	Acier	Acier ou Fonte
Pression de surface recommandée	1,2 à 2 MPa	0,2 à 0,5 MPa
T° de surface admissible en continu des matériaux de friction	300 à 500 °C (*)	300 °C
Indice calorifique	15 à 30 kJ/cm <sup>3</sup> .h	10 kJ/cm <sup>3</sup> .h
Usure (ordre de grandeur)	25.10 <sup>-6</sup> à 40.10 <sup>-6</sup> cm <sup>3</sup> /kJ	1.10 <sup>-6</sup> à 2.10 <sup>-6</sup> cm <sup>3</sup> /kJ
Refroidissement	Circulation d'huile	Air ambiant
Carter de protection	Oui (du fait de la circulation d'huile)	Non (pour faciliter le refroidissement)

(\*) Pour les dispositifs à frottement humide, la température limite de fonctionnement est celle de l'huile de lubrification, soit environ 150 °C.

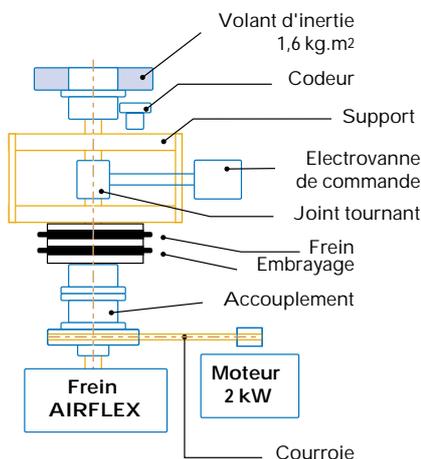


Fig. 4. Schéma de principe du banc d'essai pour les mesures de temps et d'angle de freinage - Schematic diagram of the braking time and angle measurement test rig

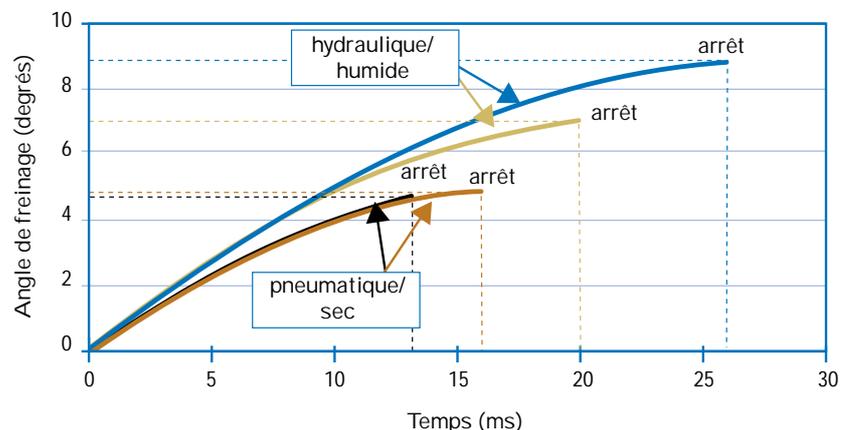


Fig. 5. Courbes de décélération des différents dispositifs embrayages-freins - Deceleration curves of different clutch-brake systems

### 3. Étude de sûreté de fonctionnement

Cette étude de sûreté de fonctionnement des dispositifs embrayages-freins avait pour objectif d'analyser ces derniers selon l'attribut « sécurité-innocuité » (4) en étudiant les événements redoutés pouvant conduire à des situations dangereuses pour les opérateurs, à savoir :

- embrayage intempestif,
- perte et/ou insuffisance du freinage.

Cette analyse de sûreté de fonctionnement a été réalisée selon la méthode des Arbres de Défaillance (AdD) [5]. Cette méthode, basée sur une démarche déductive, a pour but de rechercher l'ensemble des événements ou combinaisons d'événements élémentaires qui peuvent conduire à un événement redouté.

#### 3.1. Embrayage intempestif

Du fait de la conception des dispositifs embrayages-freins à freinage par ressorts, seuls deux cas de figure sont envisageables pour qu'un couple d'embrayage soit transmis au vilebrequin :

##### Déplacement des garnitures mobiles

Ce type de dysfonctionnement implique nécessairement qu'une pression de commande, supérieure à celle des ressorts, soit appliquée sur le piston support des garnitures mobiles. L'étude expérimentale a montré que cette pression devait être, pour les dispositifs testés, supérieur à :

- 2,5 bars pour les dispositifs pneumatiques, soit 45 % de leur pression nominale (5,5 bars),
- 17 bars pour les dispositifs hydrauliques, soit 28 % de leur pression nominale (60 bars).

Ce type de défaillance n'est pas directement imputable à l'embrayage-frein lui-même, mais à son circuit de commande.

(4) Sécurité-innocuité : Aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître des événements critiques ou catastrophiques (pouvant affecter les personnels et les équipements) [6].

(5) ÉPICEA : Études de prévention par l'informatisation des comptes rendus d'enquêtes des accidents du travail.

TABLEAU III

COUPLE DE FREINAGE DYNAMIQUE AVEC 50 % DES RESSORTS EN ACTION  
- DYNAMIC BRAKING TORQUE WITH 50 % OF THE SPRINGS IN ACTION

Code Embrayage-Freins	Couple de freinage dynamique
A <sub>P</sub>	1 670 N.m
A <sub>H</sub>	2 640 N.m
C <sub>P</sub>	1 260 N.m
C <sub>H</sub>	1 560 N.m



##### Interposition entre les disques d'embrayage d'un corps étranger (morceau de garniture, copeau, etc.)

Dans ce cas, le couple de friction généré par cet élément doit être supérieur au couple de freinage statique. Cet élément doit donc présenter une grande surface d'appui.

Ce cas de figure n'est pas envisageable du fait du faible entrefer entre les garnitures de friction. Cet entrefer peut varier, selon la taille de l'embrayage-frein et l'usure des garnitures, de quelques dixièmes de millimètres à un peu plus d'un centimètre.

#### 3.2. Freinage insuffisant

L'application de la méthode des arbres de défaillances a fait apparaître que les événements ou combinaisons d'événements élémentaires à l'origine d'un freinage insuffisant, voire d'une absence de freinage sont :

- le non-déplacement des garnitures mobiles,
  - la diminution du couple de freinage,
  - la rupture de la liaison entre le bâti et l'embrayage-frein,
  - la rupture de la liaison entre l'arbre de vilebrequin et l'embrayage-frein,
  - la rupture des disques de freinage.

##### Non-déplacement des garnitures mobiles

Les principales causes de non-déplacement du piston support des garnitures mobiles sont les suivantes :

- La défaillance de plusieurs ressorts de pression, ce qui entraînerait soit une force de rappel insuffisante, soit un phénomène d'arc-boutement du guidage en translation des garnitures mobiles.

Des essais de fonctionnement ont été réalisés en enlevant, de façon dissymétrique, la moitié des ressorts de compression. Ces essais ont permis de vérifier que

les couples de freinage ainsi obtenus sont bien inférieurs de 50 % environ au couple de freinage nominal (tableau III). Aucun phénomène d'arc-boutement n'a été constaté lors de ces essais.

- Le blocage mécanique par interposition d'un corps étranger ou d'un élément de garniture entre les disques de friction côté frein.

Pour les mêmes raisons que celles citées précédemment, l'interposition d'un corps étranger entre les disques de friction côté frein est à exclure.

Par contre, pour les dispositifs munis de garnitures rapportées, il est possible qu'un morceau soit arraché de son support et vienne s'interposer entre les disques de friction (fig. 6). Ce type de défaillance, dont l'origine peut être une usure ou une température de surface des garnitures trop importante, est mentionné à plusieurs reprises dans la base de données ÉPICEA de l'INRS (5) comme une cause possible d'accidents graves survenus sur des presses mécaniques.

- Le blocage mécanique par grippage des disques de friction côté « embrayage ». Ce cas de figure n'est envisageable que sur les disques à frottement humide en cas de dépassement de la température limite de fonctionnement (défaillance de la lubrification et/ou de pression de surface trop importante).



Fig. 6. Exemple de garniture endommagée - Example of damaged lining

## Diminution du couple de freinage

Le couple de freinage est directement proportionnel à la pression d'appui générée par les ressorts de compression à la surface et au coefficient de frottement des disques de friction [9]. De ce fait, les principales causes de diminution du couple de freinage sont :

- la diminution de l'effort de compression généré par les ressorts, du fait de leur vieillissement et/ou de l'usure des garnitures (augmentation de la course) ;
- la rupture d'un ou plusieurs ressorts ;
- la diminution du coefficient de frottement entre les disques de friction du fait de l'élévation de leur température de surface (fig. 7) ;
- la détérioration de l'état de surface des disques de friction.

Toutes ces causes entraînent une diminution progressive du couple de freinage. Elles peuvent donc être détectées, avant de provoquer une situation dangereuse, par le dispositif de surveillance permanent des performances de freinage qui équilibre les presses mécaniques [7, 8].

La perte brutale du couple de freinage est cependant possible en cas de désolidarisation des garnitures de friction, qu'elles soient rivetées ou collées.

Dans le cas des garnitures rivetées, cette désolidarisation peut se produire par cisaillement des têtes de rivet suite à une utilisation hors des limites d'usure tolérées des garnitures.

Dans le cas des garnitures collées, la résistance au cisaillement de l'assemblage se dégrade lorsque la température du joint de colle dépasse une température limite (350 °C pour les colles phénoliques) [9]. Bien que cette température limite soit proche de celle admissible en régime permanent des garnitures de friction (environ 300 °C), la dégradation du joint de colle sera précédée d'une diminution progressive du coefficient de frottement. Il est en effet admis que du fait du pouvoir isolant des garnitures, la presque totalité de la chaleur dégagée passe au travers du contre-matériau [2].

### Remarque

Le moyen de fixation des garnitures le plus utilisé est le collage. Il permet, par rapport au rivetage, d'accroître la surface de frottement d'environ 10 % (surface occupée par les têtes de rivets), et d'utiliser au maximum l'épaisseur de garniture.

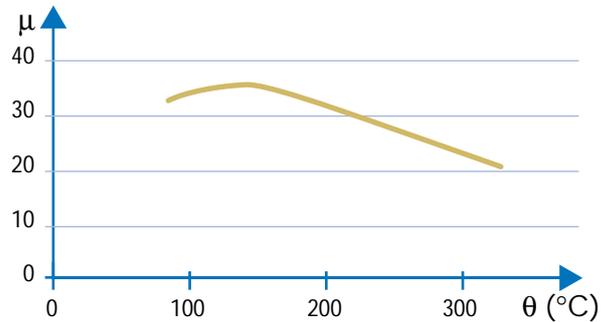


Fig. 7. Exemple de variation du coefficient de frottement en fonction de la température de surface des garnitures [3] - *Example of variation of friction coefficient as a function of surface temperature of the linings*

## Rupture des disques de freinage, des liaisons embrayage-frein/bâti et embrayage-frein/vilebrequin

La liaison entre le bâti et l'embrayage-frein est assurée en de multiples points (de 2 à 12 sur les dispositifs étudiés). La liaison entre le vilebrequin et l'embrayage est généralement assurée par un double clavetage.

En conséquence, même en cas de défaillance d'une clavette, ou d'un point de fixation, le couple de freinage peut toujours être transmis au vilebrequin. Par ailleurs, la

principale sollicitation de ces assemblages étant le « matage », leur défaillance est précédée d'une déformation progressive des éléments de fixation (figs. 8 et 9). Cette déformation peut être détectée, soit au cours d'une opération de maintenance préventive, soit en fonctionnement du fait du battement qui apparaît à chaque manœuvre d'embrayage et de freinage.

Par contre, la rupture du vilebrequin ou l'éclatement des disques de freinage peut effectivement conduire, de façon soudaine, à une absence totale de freinage (figs. 10 et 11).



Fig. 8. Exemple de rupture d'un « bras » de fixation d'une liaison en deux points - *Example of rupture of a fixing "arm" of a point-to-point link*



Fig. 9. Exemple de matage d'une clavette d'embrayage-frein - *Example of caulking of a clutch-brake system key*



Fig. 10. Exemple de rupture de vilebrequin - *Example of crankshaft rupture*



Fig. 11. Exemple de rupture d'un disque d'embrayage - *Example of clutch disk rupture*

## 4. Discussion et conclusions

L'étude de sûreté de fonctionnement réalisée montre que du fait de la conception des dispositifs « embrayages-freins » qui équipent les presses mécaniques, seul l'événement redouté « absence de freinage » est à prendre en compte si l'on ne considère que les défaillances propres à ces dispositifs. Ils doivent en effet être conçus de façon à ce que le freinage ne soit pas assuré par la pression d'un fluide, mais par celle de plusieurs ressorts de compression [7].

L'aptitude d'un embrayage-frein à assurer une fonction de sécurité, telle que la fonction d'arrêt, est essentiellement dépendante de son dimensionnement correct par rapport à une application donnée. Pour cela, il est nécessaire de prendre en compte non seulement les aspects mécaniques (couples à transmettre et à freiner) mais également l'aspect thermique. En effet, un embrayage-frein est avant tout un transformateur d'énergie mécanique en chaleur [2, 3]. Il doit donc être capable, notamment en cas de manœuvres répétées sur une longue période, d'évacuer les calories produites. Cette évacuation de chaleur se fait par ventilation pour les dispositifs à frottement sec et par circulation d'huile pour ceux à frottement humide.

En conséquence, les capacités calorifiques, par manœuvre et par heure, des dispositifs embrayages-freins sont, au même titre que les couples d'embrayage et de freinage, des critères essentiels pour leur dimensionnement correct. Les échanges que nous avons eus avec des fabricants d'embrayages-freins et de presses mécaniques nous ont permis de vérifier que ces deux aspects mécaniques et thermiques sont bien pris en compte lors du dimensionnement de ces appareils.

Toutefois, un embrayage-frein initialement bien dimensionné pour une application donnée peut être soumis à des solli-

citations mécaniques et/ou thermiques trop importantes du fait d'inévitables modifications des paramètres de production (augmentation de la cadence, de l'effort d'emboutissage, de la course de travail, etc.). Afin d'éviter qu'un fonctionnement prolongé dans ces conditions soit à l'origine de situations dangereuses, différentes mesures de prévention sont déjà mises en œuvre, telles que :

- la réalisation de façon redondante de certaines fonctions mécaniques de l'embrayage-frein (ressorts et points de fixation multiples, double clavetage),
- la nécessité d'équiper les presses mécaniques d'un dispositif de surveillance permanent des performances de freinage,
- l'obligation de contrôle périodique des presses mécaniques (article R. 233-11 du Code du travail) au cours duquel l'usure et l'état des disques de friction, l'état (jeu, déformation, fissures...) des points de fixation, etc. peuvent être vérifiés.

Il est important de rappeler qu'en ce qui concerne les opérations de maintenance, il est fortement recommandé qu'elles soient confiées à des techniciens d'entretien spécialisés et que des pièces de rechanges originales soient utilisées. Ces deux conditions sont en effet nécessaires pour conserver un niveau de confiance satisfaisant dans l'aptitude de ces dispositifs à assurer leur fonction.

Néanmoins, ces mesures ne permettent pas d'éviter une perte brusque du couple de freinage par interposition d'un élément de garniture de friction entre les disques de frein, par rupture du(des) disque(s) de freinage ou, pour les dispositifs « combinés » hydraulique/humide, par grippage des disques de friction côté embrayage. Ces défaillances étant essentiellement dues au dépassement de la température maximale admissible en régime permanent des surfaces de friction, il est proposé de surveiller cette température en continu.

Cette mesure devrait permettre d'alerter l'utilisateur d'un fonctionnement de l'em-

brayage-frein, au delà de ses capacités nominales et ce, bien avant l'apparition des premiers signes mécaniques (augmentation de l'angle de freinage, dégradation des garnitures, déformation des liaisons mécaniques, etc.).

Cette mesure est déjà appliquée sur les dispositifs « hydrauliques/humides » du fait du contrôle de température de l'huile de lubrification. Elle pourrait être généralisée aux dispositifs « pneumatique/sec » en contrôlant par exemple la température des garnitures fixes de freinage et/ou d'embrayage.

Une autre mesure pour prévenir ce type de défaillance est, comme le propose un fabricant d'embrayages-freins, de doubler le système de freinage : deux jeux de disques et deux systèmes de commande indépendants de telle sorte que la défaillance éventuelle d'un frein, qui sera détectée par le dispositif de surveillance permanent des performances de freinage, n'affecte pas le fonctionnement de l'autre.

Enfin, si du fait des exigences de productivité toujours croissantes, les embrayages-freins classiques « pneumatique/sec » étaient remplacés par des appareils « hydraulique/humide », ces derniers présenteraient également des avantages du point de vue de la sûreté de fonctionnement :

- angle de freinage plus faible à couple de freinage équivalent,
- échauffement limité, plus régulier et contrôlé du fait de la circulation d'huile entre les disques de friction,
- montage sous carter étanche, ce qui supprime le risque d'introduction d'un corps étranger entre les disques d'une part, et la pollution de l'air ambiant par des fibres et/ou des particules de garniture d'autre part,
- moins d'interventions de maintenance du fait d'une usure plus faible,
- fonctionnement plus silencieux sans insonorisation spécifique (85 dB(A) contre 105 dB(A)) (données constructeurs).

## BIBLIOGRAPHIE

[1] CARRE J.J. - Technologie du freinage - Organes de friction : garnitures et contre-matériaux. *Techniques de l'Ingénieur*, 1999, B 5571, 10 p.

[2] CARRE J.J. - Théorie du freinage. *Techniques de l'Ingénieur*, 1999, B 5570, 20 p.

[3] LINDAS R. - Embrayages - Étude théorique et constitution générale. *Techniques de l'Ingénieur*, 1987, B 5850, 23 p.

[4] MARSOT J., LANNIER J.L. - Electrovanne double-corps - Analyse fonctionnelle et résultats d'essais. *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 2000, 179, ND 2129, pp. 66-72.

[5] LIMNIOS N. - Arbres de défaillances - Paris, Hermès, coll. *Traité des nouvelles technologies*, 1991.

[6] LAPRIE J.C. - Guide de la sécurité de fonctionnement - Toulouse, Cepadues, 1996, 369 p.

[7] EN 692 - Presses mécaniques - sécurité. Bruxelles, CEN, juin 1996, 80 p.

[8] MOUGEOT B. - Presses à embrayage par friction - Dispositif de surveillance permanent des performances de freinage. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1981, pp. 459-466.

[9] SCHINDEL-BIDINELLI E.H. - Pratique du collage industriel - Paris, Lavoisier, coll. *Technique et documentation*, 1992, 246 p. ■

**INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ - 30, rue Olivier-Noyer, 75680 Paris cedex 14**

Tiré à part de *Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail*, 1<sup>er</sup> trimestre 2002, n° 186 - ND 2167 - 1200 ex.  
N° CPPAP 804/AD/PC/DC du 14-03-85. Directeur de la publication : J.-L. MARIÉ. ISSN 0007-9952 - ISBN 2-7389-1064-5

**Imprimerie de Montligeon - 61400 La Chapelle Montligeon**