

# Brocheuses

par **Claude BELLAIS**  
Ancien chef de section Méthodes de Renault SA

<b>1. Machines pour le brochage intérieur .....</b>	<b>BM 7 170 – 2</b>
1.1 Machines horizontales .....	— 2
1.2 Machines verticales à traction .....	— 2
1.3 Machines verticales à poussée .....	— 3
<b>2. Machines pour le brochage extérieur .....</b>	<b>— 3</b>
2.1 Machines horizontales à broches fixes .....	— 3
2.2 Machines horizontales à broches mobiles .....	— 4
2.3 Machines verticales .....	— 4
<b>3. Classification .....</b>	<b>— 4</b>
<b>4. Structure générale .....</b>	<b>— 4</b>
<b>5. Principaux organes constitutifs .....</b>	<b>— 4</b>
5.1 Mécanisme de liaison broches-machine .....	— 4
5.2 Table de travail. Montage porte-pièces .....	— 5
5.3 Centrale hydraulique .....	— 6
5.4 Commande électromécanique .....	— 6
5.5 Arrosage. Évacuation des copeaux .....	— 7
5.6 Automatisation du poste de travail .....	— 7
5.6.1 Alimentation des pièces à brocher .....	— 7
5.6.2 Changement des broches .....	— 8
5.7 Protection. Cartérisation .....	— 8
5.8 Implantation .....	— 9
5.9 Commande de la machine .....	— 9
<b>6. Choix de la machine .....</b>	<b>— 9</b>

**U**ne brocheuse est une machine-outil procédant par enlèvement de métal, à un mouvement cinématique simple, qui opère soit par **traction**, soit par **poussée** de l'outil appelé **broche**. La brocheuse peut comporter un seul ou plusieurs postes de travail. Le poste lui-même peut être équipé d'une broche unique : cas général en brochage intérieur, ou de tout un ensemble de broches rapportées sur un même train ou dans un pot, pour le brochage extérieur.

À l'origine le premier matériel mis en œuvre pour effectuer une opération de brochage-mandrinage consistait en un simple outil, conduit à l'intérieur de la pièce à usiner sous l'effet répété de coups de marteau donnés par l'opérateur. Le procédé se limitait à la seule réalisation de rainures de clavetage.

En 1873, le terme de brochage [broaching], apparaît pour la première fois lors du dépôt d'un brevet par Anson et Stephenson concernant un projet de machine à brocher.

En 1898, la première brocheuse est construite aux États-Unis par JN Lapointe. Elle est de conception horizontale, avec un mécanisme de traction de la broche assuré par un système de vis et écrou.

En 1921, la société The Oilgear Co met sur le marché la première brocheuse à traction hydraulique. Cette étape va être décisive, elle marque en effet le début

d'un développement important des machines à brocher, d'abord aux États-Unis puis en Europe après la Seconde Guerre mondiale.

Les brocheuses sont regroupées au sein de deux grandes familles : l'une pour le brochage intérieur, l'autre pour le brochage extérieur. Dans chacune de ces catégories on trouve des machines horizontales et des machines verticales.

En ce qui concerne le procédé lui-même, le domaine d'application et la nature des opérations pouvant être réalisées, le lecteur intéressé pourra se reporter à l'article B 7 087 « Outils coupants. Brochage » du présent traité.

Nous tenons à remercier les Sociétés Varinelli et Aumat (représentées en France par Dismo) pour la documentation fournie.

## 1. Machines pour le brochage intérieur

### 1.1 Machines horizontales

De conception simple ces machines sont issues des premières constructions. Elles ne sont plus guère fabriquées sauf pour la mécanique générale ou pour des brochages très spéciaux comme pour des pièces de grandes longueurs. En général et comme le montre la figure 1, la machine est conçue autour d'un axe horizontal de travail. Le bâti principal dans sa partie inférieure, repose au sol, la partie supérieure formant cavité, reçoit le poste de travail avec un appui vertical pour la pièce à brocher. Puis vient l'ensemble de traction de la broche, avec la tête d'attelage reliée généralement à un vérin hydraulique. Ces machines ne sont pas dotées d'équipements particuliers et toutes les opérations, sauf le mouvement de traction sont souvent manuelles.



Figure 1 – Brocheuse horizontale d'intérieur (Document Varinelli)

### 1.2 Machines verticales à traction

Ce sont les plus répandues en brochage intérieur, et leur affectation va de la mécanique générale à la fabrication de grande série. Par définition l'axe de déplacement de la broche est vertical. La brocheuse (figure 2), comprend un bâti principal avec une table de travail porte-pièce située sur un plan horizontal. Si le mouvement est à commande hydraulique, comme c'est le cas dans la figure présentée, l'ensemble de traction comprenant l'attelage et le vérin est situé dans la partie inférieure sous la table de travail. L'alimentation en fluide hydraulique est fournie par une centrale qui d'origine était logée dans la partie basse du bâti, mais qui a ensuite été transférée à l'extérieur de la machine en unité autonome. La quasi-totalité des brocheuses pour intérieur sont à mouvement hydraulique, néanmoins certaines unités récentes peuvent être à mouvement mécanique, telles que vis à recirculation de rouleaux ou plus rarement à commande électromécanique par pignon-crémaillère. Les éléments principaux décrits précédemment constituent le modèle de base où l'ensemble des manipulations et commandes reste manuel. À partir de cette première description c'est tout un ensemble de machines qui sont conçues, allant d'unités semi-automatiques, à des réalisations entièrement automatisées. Le poste de travail peut rester unique, mais peut être aussi multiple acceptant des broches et pièces identiques voir différentes, à condition, dans ce dernier cas, de rester dans des caractéristiques assez proches, telles que longueurs et diamètres de broches, configuration de la pièce, matière à usiner, etc.



Figure 2 – Brocheuse verticale d'intérieur à traction (Document Varinelli)

Dès qu'une fraction ou la totalité du cycle s'automatise, la partie supérieure de la brocheuse est dotée d'un chariot mobile équipé d'une tête de relevage (figure 2). Dans sa fonction principale la tête vient reprendre la broche après évacuation de la pièce brochée, pour la ramener en position supérieure avant le début d'un nouveau cycle. La tête a aussi une autre fonction : celle d'accompagner la broche lors du début de travail dans la pièce. Elle assure ainsi un meilleur guidage et réduit le cas échéant le fouettement (broches de faible diamètre et de grande longueur).

Si généralement la pièce est fixe et la broche mobile, il existe une variante de brocheuse avec le principe inverse : la broche immobilisée est maintenue à ses deux extrémités pendant l'opération de brochage et c'est la pièce posée sur une traverse, ou table mobile, qui se déplace verticalement. Ce principe a connu un certain développement dans l'automobile pour la grande production. Il permettait de réduire les masses en mouvement et d'augmenter les vitesses de déplacement (vitesse de coupe  $V_c$ ), dont la productivité. Mais ces machines moins rigides génèrent beaucoup de vibrations se répercutant sur la qualité du brochage et sur les conditions de travail au niveau des bruyances. Pour ces raisons, l'emploi de ces brocheuses est resté limité, néanmoins de nouvelles conceptions sont actuellement développées avec vis à recirculation de rouleaux remplaçant l'ancienne traction par vérins.

Les machines verticales d'intérieur peuvent brocher des trous de très faibles diamètres, jusqu'à des valeurs pouvant atteindre voir dépasser 250 mm. Dans ce cas limite, elles sont construites en conséquence, et dotées des puissances nécessaires.

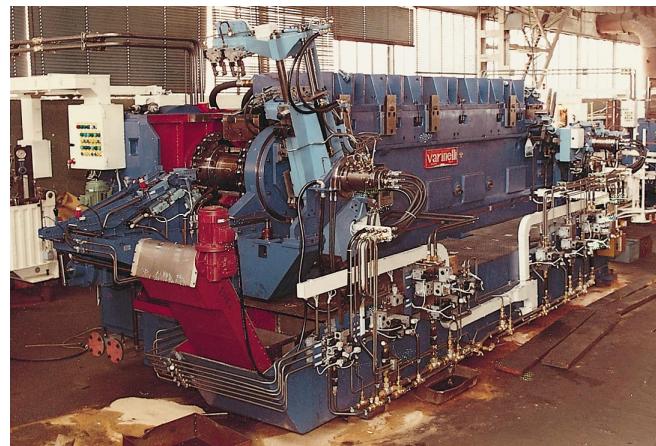
### 1.3 Machines verticales à poussée

Ces machines diffèrent du type précédent par le principe de déplacement de la broche, qui n'est plus tirée, mais poussée. À l'origine les premières machines utilisant ce principe, étaient de simples presses effectuant des opérations de calibrage ou de mandrinage.

Mais depuis quelques années, on voit apparaître des machines de conception nouvelle adaptées à ce type de travail. Les résultats obtenus sont très performants : qualité dimensionnelle, états de surface et productivité. Ces résultats sont dus à un meilleur guidage, et un alignement plus précis des broches. Ce procédé a néanmoins ses propres limites, quand le rapport du diamètre de la broche avec sa longueur est tel qu'il favorise la flexion (ou flambage), sous l'effet de l'effort de poussée (cf. article [B 7 087] Outils coupants. Brochage dans le présent traité). Quand ce rapport reste en deçà du seuil limite, le principe et la rigidité de l'ensemble autorisent un plus grand nombre de postes de travail dans le même cycle.

## 2. Machines pour le brochage extérieur

Ces machines ont connu un premier développement pendant la Seconde Guerre mondiale aux États-Unis. D'abord conçues pour des opérations simples, elles se sont ensuite étendues vers des opérations plus complexes pour des productions de moyennes et grandes séries. Aussi, a-t-on progressivement remplacé les opérations effectuées par fraisage par ces nouvelles techniques. Ce transfert de technologie a été facilité par les progrès obtenus sur les produits semi-ouvrés (Forges, Fonderies), amenant ceux-ci au plus près des formes et dimensions de finition.



**Figure 3 – Brocheuse horizontale d'extérieur à chaînes**  
(Document Varinelli)

### 2.1 Machines horizontales à broches fixes

Ce sont encore les plus utilisées en machines extérieures horizontales à commande électromécanique par chaînes. Elles sont de conception très massives (figure 3). Le mouvement est continu ; les montages porte-pièces sont régulièrement répartis en étant fixés sur les chaînes, celles-ci passant au travers d'un tunnel de brochage où sont regroupées les broches. Les pièces sont introduites à l'une des extrémités de la machine, puis sont évacuées à l'autre extrémité souvent par gravité, après être passées au travers du tunnel de brochage. Le retour des montages s'effectue dans la partie basse de la machine, pour se présenter de nouveau au poste de chargement, et ainsi de suite. Le bridage des pièces localisées dans les montages est obtenu par effet mécanique, sous l'action de coins actionnés par chocs donnés juste avant le passage en zone de brochage. Le débridage s'effectue par effet contraire à la sortie du tunnel. Tout au long de leur passage dans la partie supérieure de la machine, les montages tractés par les chaînes sont guidés dans des glissières. Pendant toutes ces opérations, un arrosage très abondant est nécessaire pour lubrifier broches et glissières, nettoyer les montages, enfin évacuer par gravité les copeaux d'usinage.

Les broches particulièrement nombreuses sur ce type de machine, sont prépositionnées hors machine sur un sommier, lui-même fixé sur un demi-tunnel, qui sera ensuite mis en place sur la machine. Ce processus facilite la mise en place des broches par l'opérateur, et réduit les temps d'arrêt de la machine lors des changements d'outils.

Sur les brocheuses anciennes la mise en place des pièces dans les montages s'effectuait manuellement. Sachant que le mouvement de déplacement des montages est continu, cette tâche exigeait une grande habileté de l'opérateur. D'autre part, ces conditions de travail très particulières n'étaient pas sans risque pour le personnel. Aussi, grâce aux possibilités d'automatisation, on a pu sur les unités modernes, libérer l'opérateur d'une tâche pénible, et dangereuse.

La cadence de production pouvant être obtenue avec ce type de machines est élevée, mais les résultats qualitatifs restent moyens, compte tenu du manque de rigidité des montages pendant leur passage dans le tunnel de brochage. Ces machines sont surtout utilisées dans l'automobile pour des pièces particulières, comme les bielles, et les chapeaux de palier des moteurs. La tendance actuelle est de les remplacer par des machines verticales plus flexibles, faciles à automatiser, et autorisant l'emploi de broches avec des plaquettes en carbure.

## 2.2 Machines horizontales à broches mobiles

Elles sont apparues beaucoup plus récemment. La pièce est bridée sur un montage fixe, et les broches sont rapportées sur un coulisseau à déplacement horizontal largement dimensionné, avec des capacités pouvant atteindre jusqu'à 2,50 m de longueur de coupe. Le coulisseau est relié à un système de déplacement soit hydraulique par vérin, soit électromécanique par pignon (crémaillère, ou par vis à recirculation de rouleaux). La course totale du coulisseau peut être dans certains cas très importante. Le cas échéant les deux courses : aller-retour, du coulisseau sont utilisées pour effectuer chacune une opération. Ce type de machines, qui s'apparente plus à des unités spéciales de brochage, est souvent construit à la demande, surtout pour des pièces de volume important. Par leurs dimensions, ces brocheuses occupent une surface importante au sol, par contre elles présentent une très bonne accessibilité sur les différents postes où l'opérateur doit intervenir.

## 2.3 Machines verticales

Très utilisées pour réaliser les opérations de brochage extérieur, leur affectation englobe toute une gamme de pièces, de dimensions et de formes les plus diverses. Sur ces brocheuses (figure 4), l'axe de déplacement des broches est vertical et le sens du travail s'effectue du haut vers le bas. Les pièces sont localisées et maintenues dans un montage, lui-même solidaire d'une table de travail. Cette dernière est soit fixe soit mobile. Sur les tables fixes, il est nécessaire de retirer les pièces brochées avant la remontée du coulisseau porte-broche ; par contre, sur les tables mobiles le retrait des pièces peut s'effectuer pendant cette remontée. Pour renforcer la rigidité de l'ensemble pendant le brochage, les tables mobiles sont généralement bloquées lors de l'opération. Les broches sont soit fixées directement sur le porte-broches solidaire du coulisseau, soit préalablement assemblées sur un ou plusieurs panneaux, qui sont ensuite rapportés sur le coulisseau. La capacité de coupe sur les machines verticales peut atteindre des courses de ≈ 2,50 m. Le mouvement de déplacement est assuré par vérin hydraulique, ou par commande électromécanique. Cette dernière solution est souvent retenue sur les grosses unités car elle permet d'augmenter les vitesses de déplacement (vitesse de coupe  $V_c$  et vitesse de retour), avec des masses importantes à mouvoir. Dans ces conditions d'équipement, ces unités peuvent recevoir alors des broches en carbure permettant une meilleure qualité, et une plus grande productivité.

À partir de ce type de machines verticales, on trouve une catégorie de brocheuses adaptées à la technique du brochage en pot [*Pot broaching*]. Dans ce type particulier, le pot contenant les broches est fixe, et c'est la pièce qui est mobile (cf. article [B 7 087] du présent traité). Les procédés actuels de réalisation permettent de concevoir des pots de très grandes longueurs (jusqu'à ≈ 2 m), avec toutes les garanties de fiabilité : les pots étant en partie réalisés eux-mêmes par brochage interne dans la masse, et non plus constitués de tout un ensemble d'éléments rapportés.

## 3. Classification

À partir de la normalisation allemande DIN, il existe un classement et une codification générale des machines à brocher exploités par certains constructeurs et utilisateurs. La figure 5 en donne un extrait avec quelques exemples pratiques.



**Figure 4 – Brocheuse verticale d'extérieur à table rétractable**  
(Document Varinelli)

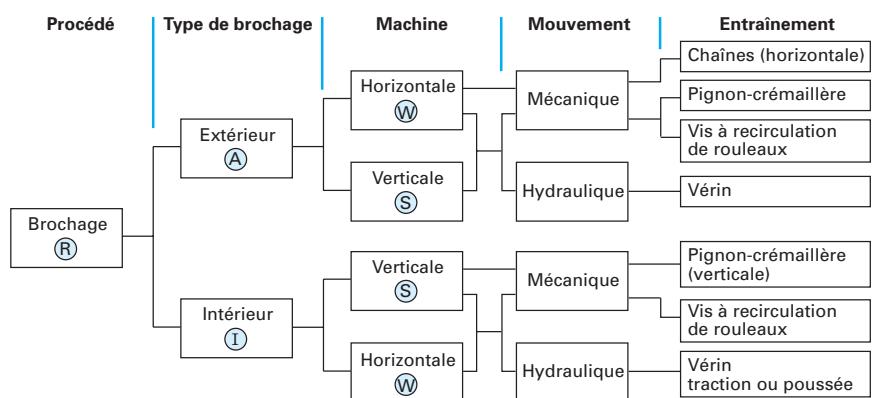
## 4. Structure générale

Comme pour toutes les machines outils procédant par enlèvement de matière, la structure est constituée d'éléments fixes et mobiles. Dans le cas présent, cette structure est fortement sollicitée par la particularité de l'usinage par brochage : travail interrompu favorisant à-coups et vibrations. Les brocheuses sont donc de conceptions massives, et dotées de puissances de travail très importantes. Le bâti principal est le plus souvent en fonte, obtenu de fonderie, et stabilisé dans le temps, avant d'être usiné, puis assemblé. Les différents caissons constituant le bâti, sont renforcés pour encaisser les contraintes sous charges. Les bâts exécutés en mécano-soudé sont peu utilisés, sauf pour de petites unités, ou des machines construites à peu d'exemplaires, et ne justifiant donc pas la création d'un modèle en fonderie. Pour les autres parties constitutives : tables, coulisseaux, montages, vérins..., on utilise fontes et aciers, avec aussi l'introduction de matériaux composites, comme pour la réalisation des glissières, par exemple.

## 5. Principaux organes constitutifs

### 5.1 Mécanisme de liaison broches-machine

Sur les brocheuses d'intérieur, la broche est reliée à la machine par un système d'attelage de traction ou de poussée souvent complété par un dispositif de relevage. Ces matériels sont eux-mêmes fixés aux mécanismes de déplacement par l'intermédiaire de traverses auto-guidées, garantissant à l'ensemble un déplacement dans l'axe de la pièce à brocher. Sur les brocheuses pour extérieur, les broches souvent nombreuses sont rapportées sur le coulisseau, qui agit comme un chariot à mouvement

**Classification****Désignations codifiées (suivant DIN)**

1 <sup>re</sup> lettre	2 <sup>e</sup> lettre	3 <sup>e</sup> lettre	4 <sup>e</sup> lettre	5 <sup>e</sup> lettre
R	A ou I, ou K pour cycle continu et M pour extérieur-intérieur combiné	S ou W	F : table fixe A : table rétractable K : table basculante T : table tournante H : table montante (broches fixes) E : à 1 vérin Z : à 2 vérins X : spéciale D : en poussée	D : duplex T : pot

et à la suite de la 4<sup>e</sup> ou 5<sup>e</sup> lettre, 3 chiffres :

- 1<sup>er</sup> chiffre : force de traction ou poussée exprimée en tonnes
- 2<sup>er</sup> chiffre : course maximale ou capacité de longueur de broche (K) en mm
- 3<sup>er</sup> chiffre : largeur du coulisseau (A) ou de la table (I), en mm

**Exemples d'application :**

- R.A.S.10.1250.400 : extérieur verticale de 10 t de force de traction, 1250 mm de course et 400 mm de largeur du coulisseau.
- R.K.W.16.2800.200 : extérieur horizontale en continu de 16 tonnes de force de traction, 2800 mm de capacité broches en tunnel, et 200 mm de largeur potentielle pouvant être brochée.
- R.A.S.F.T.16.1250.400 : extérieur verticale à table fixe équipée avec pot, etc.

**Figure 5 – Classification et désignations codifiées des machines à brocher**

linéaire. Le mouvement est commandé soit par vérin hydraulique, soit par un dispositif électromécanique (cf. § 5.4). Compte-tenu des masses à mouvoir et des efforts de coupe encaissés, le coulisseau en mouvement est guidé dans des glissières adaptées, et lubrifiées en conséquence. Le cas du brochage en pot est particulier : le seul mouvement est celui de la pièce poussée au travers du pot, sous l'effet d'un vérin hydraulique. Le guidage du vérin et de la pièce est assuré dans le pot lui-même.

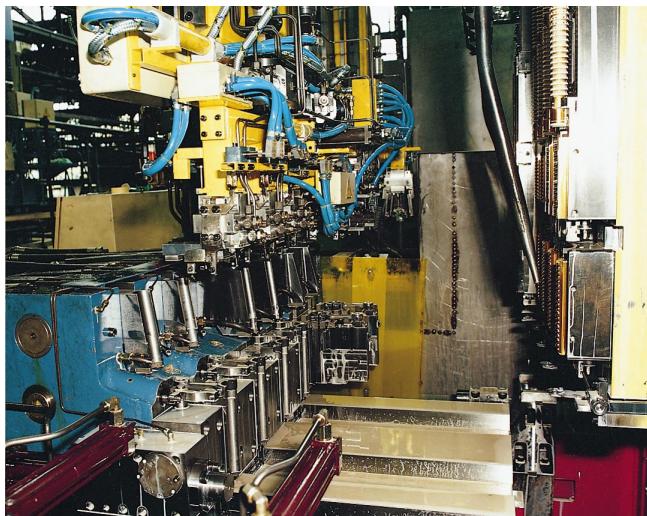
## 5.2 Table de travail. Montage porte-pièces

■ En **brochage intérieur**, la table de travail est solidaire du bâti (hors le cas particulier où la pièce est posée sur une traverse mobile, cf. § 1.2). Creuse en son centre, la table permet ainsi le passage des différentes formes et dimensions de broches, pour lesquelles elle est affectée. La pièce à brocher ne repose pas directement sur la table, mais sur un élément intermédiaire adapté à la forme et aux dimensions de la pièce, souvent appelé canon d'appui. Le plan de

référence de la table doit être parfaitement perpendiculaire aux axes pièce/déplacement de la broche.

■ Pour le **brochage extérieur**, la pièce est localisée et maintenue dans un montage rapporté sur la table de travail, celle-ci étant soit fixe et solidaire du bâti, soit mobile en étant rétractable, tournante ou basculante. La table rétractable (figure 4), effectue un mouvement de recul en fin de brochage, et s'efface ainsi pendant la remontée du coulisseau. La table tournante peut alimenter un seul ou plusieurs postes de travail pendant cette même remontée, facilitant ainsi, comme pour la table tournante, les opérations de mise en place et d'évacuation des pièces hors zone de brochage.

Les montages porte-pièces sont généralement de réalisation complexe, compte-tenu des formes de pièce à loger et, le cas échéant, des équipements annexes en semi ou tout automatique. Ils doivent également être très robustes, et très fiables dans le temps. En brochage extérieur, c'est souvent l'étude, et la mise au point des montages qui présentent l'une des principales difficultés rencontrées lors de la mise en exploitation. La figure 6 montre par exemple la réalisation d'un ensemble de montages disposés sur une table rétractable. La pièce usinée est une bielle de moteur automobile. L'alimentation, entièrement automatique dans cet exemple, appro-



**Figure 6 – Ensemble de montages pour brochage de bielles**  
(Document Varinelli)

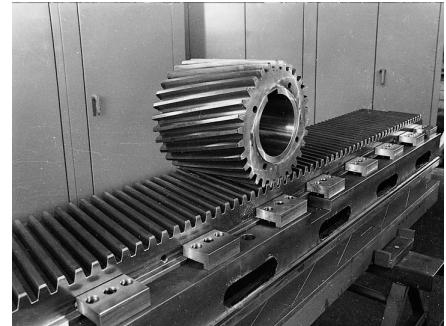
visionne deux pièces brutes au premier poste, deux corps et deux chapeaux (séparés au brochage du premier poste), par transfert vers les deux autres postes de brochage.



**Figure 7 – Centrale hydraulique** (Document Varinelli)

### 5.3 Centrale hydraulique

C'est le fournisseur des fluides nécessaires au fonctionnement des vérins principaux et aux asservissements. Ainsi, même pour des unités à mouvement électromécaniques, une centrale hydraulique peut être sollicitée pour la commande des mécanismes des montages, le bridage des tables, le transfert des pièces, etc. La centrale était primitivement logée dans le bâti de la machine ; pour cela elle était de dimensions et de capacité limitées, mais suffisantes pour son unique fonction : l'alimentation du vérin de traction. Avec l'apparition des nouvelles unités de brochage, les débits et puissances demandés ont nécessité la construction de centrales dont le volume peut atteindre plusieurs mètres cubes. L'intégration de celles-ci à l'intérieur des brocheuses n'étant alors plus possible, elles ont été implantées hors brocheuse. Ce transfert a eu également comme avantage de supprimer la diffusion calorifique à l'intérieur du bâti, et de réduire la transmission des vibrations inhérentes aux pompes et fluides sous pression. Enfin, cette nouvelle implantation facilite l'accès pour toutes interventions de maintenance. La centrale (figure 7) est constituée d'une cuve métallique renforcée recevant le fluide hydraulique et d'un ensemble de pompes ( principales et secondaires), mues chacune par un moteur individuel accouplé. Chaque circuit est alimenté par un système d'électrovanne géré par le serveur machine. Aujourd'hui, des progrès importants ont été apportés à la conception et réalisation des centrales : pompes et moteurs plus silencieux, accouplements souples, fixations flottantes, rupture de la rigidité des tuyauteries vers la brocheuse... Le maintien à température sensiblement constante du fluide hydraulique peut nécessiter le cas échéant, la mise en place d'un système de réfrigération. Inversement un réchauffement temporaire peut s'avérer nécessaire à la mise en service pour obtenir un fonctionnement optimal dès les premiers cycles. Des tentatives de remplacement des huiles utilisées comme fluide hydraulique par des produits synthétiques ont été faites, mais il ne semble pas que cela ait été suivi d'applications pratiques.



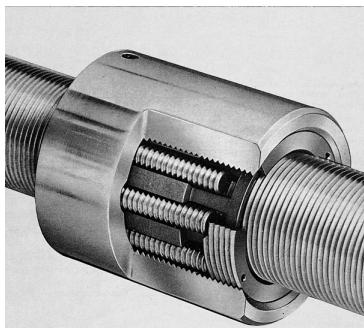
**Figure 8 – Commande électromécanique par pignon-crémaillère**  
(Document Varinelli)

### 5.4 Commande électromécanique

Dans ce type de liaison on recense trois principes différents à partir d'un moteur principal et d'un réducteur de vitesse, soit :

- transmission continue par chaînes et roues crantées (figure 3) ;
- pignon-crémaillère avec mouvement interrompu et réversible à chaque cycle (figure 8) ;
- vis à recirculation de rouleaux (figure 9).

Si le premier procédé est spécifique aux brocheuses décrites au paragraphe 2.1, les deux suivants sont de conception et d'emploi plus récents. Par rapport aux autres procédés, ils présentent certains avantages comme la diminution des vibrations entraînant un plus grand confort acoustique, une plus grande souplesse d'utilisation... La commande par pignon-crémaillère est plutôt retenue pour de



**Figure 9 – Vis à recirculation de rouleaux** (Catalogue Varinelli et SKF)

grosses unités de brochage extérieur demandant puissance et capacité importantes. C'est ainsi que le brochage avec des broches en carbure a pu être maîtrisé récemment en grande série sur des brocheuses verticales ayant une course de près de 3 m et nécessitant un effort de traction de 25 tonnes pour une vitesse de déplacement (vitesse de coupe  $V_c$ ) de 30 m/min, cela malgré des masses en mouvement très importantes. Le dernier principe par vis à recirculation de rouleaux est actuellement retenu pour des unités d'intérieur, de faible ou moyenne puissance.

## 5.5 Arrosage. Évacuation des copeaux

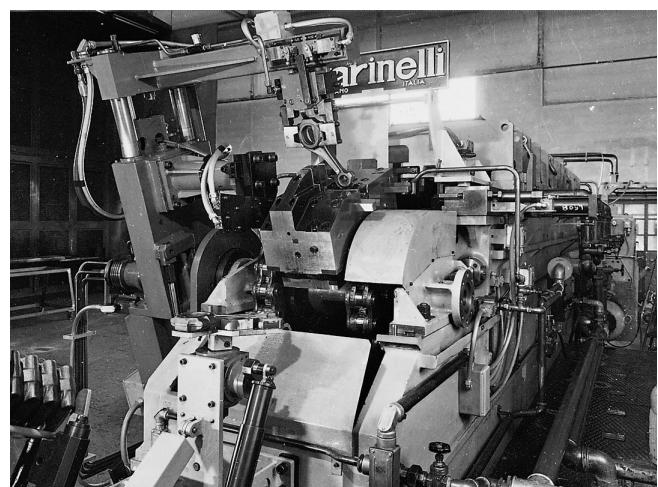
Cette fonction est très importante sur une brocheuse, elle doit par conséquent être prise en compte dès les premières études de conception de la machine. Le liquide d'arrosage dans sa fonction première doit être abondant sur les broches et les pièces en cours de brochage, mais aussi son rôle est d'évacuer les copeaux, nettoyer l'ensemble du poste de travail avec ses équipements, et sur certaines machines comme les brocheuses horizontales à chaînes, auto-lubrifier les glissières de guidage. Le choix du liquide, son débit, sa répartition aux différents postes tiennent compte de tous ces éléments, en accord avec les propres spécifications concernant l'environnement. Le débit toujours important nécessite des pompes puissantes, et une architecture machine permettant au liquide chargé de copeaux de pouvoir s'évacuer par gravité, vers les parties inférieures de l'installation. Sur les brocheuses anciennes le fond du bâti servait de bac de réception. De capacité souvent réduite, ce dernier s'obstruait rapidement avec l'apport des copeaux. Sur les machines modernes, le liquide chargé est repris dans la partie basse, et est dirigé vers l'extérieur dans un bac (figure 10). Celui-ci est souvent doté d'un dispositif séparateur comme une chaîne racleuse mécanique, ou magnétique, complété éventuellement de cartouches filtrantes, ou d'une centrifugeuse. Le copeau de brochage qui est de forme compacte, et de dimensions réduites, facilite ces différentes opérations de collectage, et de séparation.

## 5.6 Automatisation du poste de travail

Comme pour les autres moyens de production, les brocheuses peuvent-être partiellement, ou totalement automatisées, jusqu'à être intégrées dans des lignes transfert d'usinage, pour ne laisser aux opérateurs que les tâches de surveillance, de réglages, et de maintenance.



**Figure 10 – Bac d'arrosage avec dispositif de séparation**  
(Document Varinelli)



**Figure 11 – Bras manipulateur pour alimentation sur brocheuse à chaînes**  
(Document Varinelli)

### 5.6.1 Alimentation des pièces à brocher

Cette opération de mise en place et d'évacuation des pièces sur le poste de travail, a pu être prise en charge par toute une gamme de mécanismes, allant du simple manipulateur, au robot intégral. La mise en place progressive de cette assistance, a permis de réduire considérablement la pénibilité de certains postes, mais aussi de réduire les risques d'accident, tout en obtenant souvent des gains de productivité. Les premiers dispositifs mis en service étaient de conception relativement simple, par exemple des systèmes à tiroir sur brocheuse d'intérieur pour des pièces de forme simple comme des anneaux. Ces premiers dispositifs ont été depuis complétés et sont désormais aptes à être intégrés en lignes d'usinage, avec des liaisons inter-machines, des stations de contrôle, des tours de stockage (quoique la gestion actuelle en flux dits tendus limite ce genre de magasin). En brochage extérieur la conception et la réalisation des automatismes d'alimentation sont plus complexes par la forme des pièces, et les difficultés de fixation de celles-ci dans les montages. Les figures suivantes illustrent quelques exemples : la figure 11, montre la mise en place d'une bielle brute dans un montage de brocheuse à chaînes. Dans ce cas, le bras manipulateur pivote pendant la phase d'introduction pour accompagner le montage dans sa course continue. La figure 12 est une représentation schématique d'une ligne transfert de brochage.

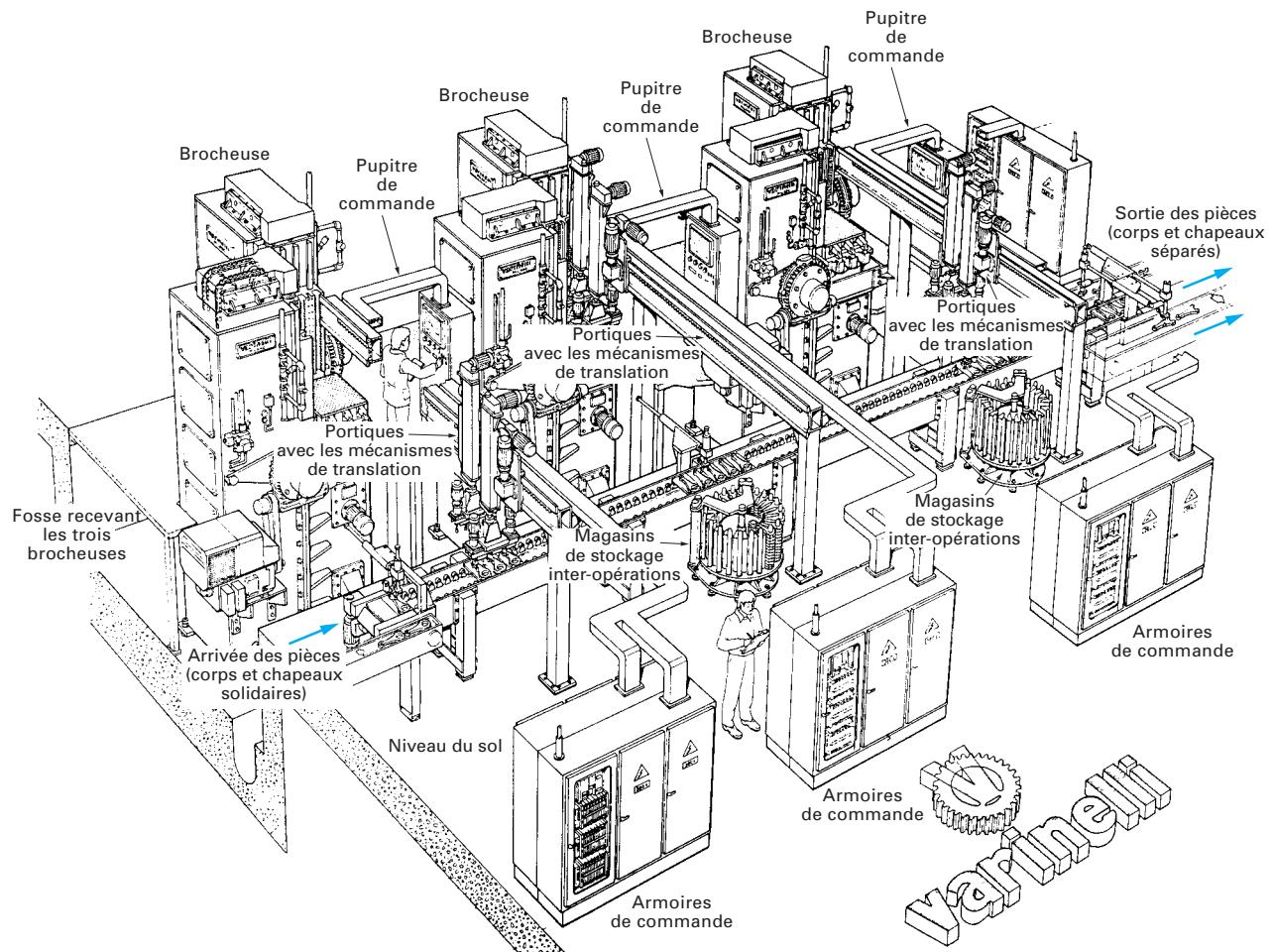


Figure 12 – Ligne transfert de brochage (Document Varinelli)

### 5.6.2 Changement des broches

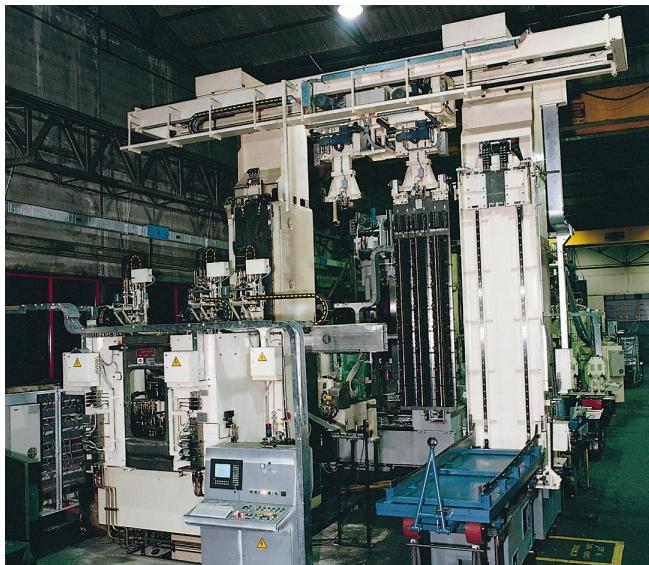
La mise en place et le retrait des broches sur la machine sont des opérations souvent laborieuses voire dangereuses pour les opérateurs. En effet, les broches peuvent présenter des dimensions et des poids importants ; elles comportent également un grand nombre d'arêtes acérées. À tout cela s'ajoutent un manque d'accessibilité dans un environnement baigné par le liquide de coupe rendant glissant le moindre appui et toutes les parties préhensibles. Ces opérations ne sont pas non plus sans risque pour les broches, où le moindre choc peut entraîner la destruction des arêtes coupantes.

Les concepteurs ont donc depuis quelques années, pris en compte une assistance partielle ou totale au changement des broches sur les grosses unités. Les dispositifs proposés vont de la simple servante à l'automatisation complète du poste, comme le montre la figure 13. Dans cette réalisation le train de broches à monter est amené sur un chariot horizontal, avant d'être saisi par un élévateur qui va le suspendre en position verticale, puis le transférer au poste de brochage suivi de la mise en place par fixations mécaniques automatiques. Au préalable l'autre élévateur a déposé le train usagé, puis va le ramener sur le chariot horizontal pour être évacué. Le coût d'une telle installation représente un investissement impor-

tant qui ne peut se justifier que par une motivation de sécurité complète et de confort pour le personnel, ainsi que des temps d'arrêt minimisés pour des unités intégrées, par exemple : 7 min au lieu de 20 min sur une unité récente de brochage de vilebrequins.

### 5.7 Protection. Cartérisation

Une brocheuse, comme toute machine-outil, présente toujours un certain risque pour l'opérateur, surtout lorsqu'elle est dotée d'automatismes. Elle est également une source de nuisances telles que les projections du liquide de coupe et les vibrations, génératrices de niveaux sonores pouvant dépasser les seuils tolérés. Pour assurer une protection efficace, il faut intervenir dès la conception en agissant sur les sources elles-mêmes, sinon recourir à une cartérisation. Cette dernière protection peut être partielle ou totale, suivant qu'il s'agit de moyens manuels, semi ou entièrement automatisés (figure 14). Pour la protection acoustique, on utilise des matériaux absorbant le bruit, dans la propre réalisation des carters. Pour compléter ces mesures antibruit, le port d'un casque peut s'avérer nécessaire. Ces actions, pour être efficaces, doivent être complétées



**Figure 13 – Dispositif complet de changement automatique de broches** (Document Varinelli)



**Figure 14 – Cartérisation d'une brocheuse verticale** (Document Varinelli)

par un ensemble de verrous de sécurité tant sur les carters, qu'au pupitre de commandes. Le personnel intervenant doit être formé à la conduite du poste, avec une remise à niveau périodique si nécessaire.

## 5.8 Implantation

La mise en place d'une brocheuse s'effectue en respectant d'abord les spécifications du constructeur : qualité du sol, points d'appui... Mais elle tient compte également de particularités comme les vibrations générées, les débits et projections du liquide de coupe, l'évacuation des copeaux, l'approvisionnement et le stockage des pièces, l'accès et l'aménagement du poste de travail... En mécanique générale, ou en petite production de série, les brocheuses sont souvent regroupées dans un secteur d'atelier. En grande série la tendance actuelle est de les intégrer dans les lignes suivant une disposition respectant la gamme opératoire, avec comme variante, des cellules flexibles de brochage : FMC (*Flexible Manufacturing Cell*). Pour toutes les brocheuses horizontales et verticales de petit gabarit, l'implantation s'effectue sensiblement au niveau du sol. Par contre, dès qu'on se trouve en présence de brocheuses verticales plus importantes, 2 solutions sont retenues : installation au niveau du sol avec plate-forme d'accès au poste de travail, ou, et c'est le cas le plus fréquent pour les grosses unités, la mise en fosse mettant le poste de travail au niveau du sol (voir figure 12). La brocheuse repose sur un radier bétonné, par l'intermédiaire de sabots d'appui. Ceux-ci peuvent avoir le cas échéant une fonction antivibratoire. La fixation au sol n'est pas toujours nécessaire, compte-tenu du poids de ces machines. Des précautions sont à prendre lors de la réalisation des fosses, comme l'étanchéité, afin d'éviter toute infiltration des fluides dans le sous-sol. La construction d'un puisard de récupération, avec pompe de reprise, peut venir compléter l'installation.

## 5.9 Commande de la machine

Le brochage ne nécessite qu'un mouvement cinématique très simple, aussi sur les matériels de base à commande manuelle, le pupitre ne comporte que peu de fonctions comme, par exemple, mise en service et arrêt général, descente et remontée de la broche, l'arrosage, avec la présence de témoins lumineux de fonctionnement ou pas. Par contre, dès lors que la machine se dote d'asservissements et d'automatismes intégrés, le pupitre de commande comprend tout un ensemble de fonctions validées par témoins lumineux, dont la disposition logique rend impossible, ou tout du moins limite les fausses manœuvres. Ainsi l'opérateur maîtrise l'ensemble de fonctionnement, tout en assurant sa propre sécurité et celle de tout intervenant. Désormais, toutes les fonctions sont gérées par des automates programmables. Le poste de commande peut également recevoir un écran de visualisation comprenant entre autre, tous les enregistrements des fonctions sollicitées et une aide à la gestion du poste de brochage comme par exemple, les fréquences de contrôle et de changement de broches. Le poste de commande agit rarement sur les vitesses de déplacement (vitesse de coupe et vitesse de retour du coulissoir), celles-ci étant prédéterminées d'origine. Par contre, cette possibilité de réglage peut s'effectuer sur certaines brocheuses à commande électromécanique.

## 6. Choix de la machine

L'acquisition, puis la mise en service d'un poste de brochage représentent toujours un lourd investissement. Par ailleurs, l'option

retenue devra être la bonne, car en grande série c'est souvent un moyen unique affecté à l'opération, excluant toute possibilité de pouvoir recourir à un autre moyen de dépannage en cas d'arrêt prolongé. Dans une structure industrielle comportant une fonction « Méthodes », c'est ce service qui a en charge le choix, l'acquisition et la mise en exploitation. Interface privilégié avec le constructeur machine, il va coordonner les exigences du bureau d'études du produit, son fabricant, et tous les services annexes intéressés, pour constituer un cahier des charges, en y incluant les données économiques, productives, délais, mise aux normes générales des différents matériels retenus (standardisation, sécurité, législation...).

Ainsi, le choix d'une brocheuse s'opère-t-il de moins en moins à partir d'une référence catalogue, mais plutôt en s'appuyant sur une banque de données, alimentée en permanence par les résultats pratiques, les informations collectées auprès des constructeurs ou lors des expositions, et des échanges inter-professionnels. Enfin, si les constructeurs machines sont de plus en plus intégrés en amont du projet (souvent dès les premières études du produit), ils le sont également en aval, avec une assurance fiabilité dans le temps, qui peut les engager bien au-delà de la première mise à disposition auprès de l'utilisateur.