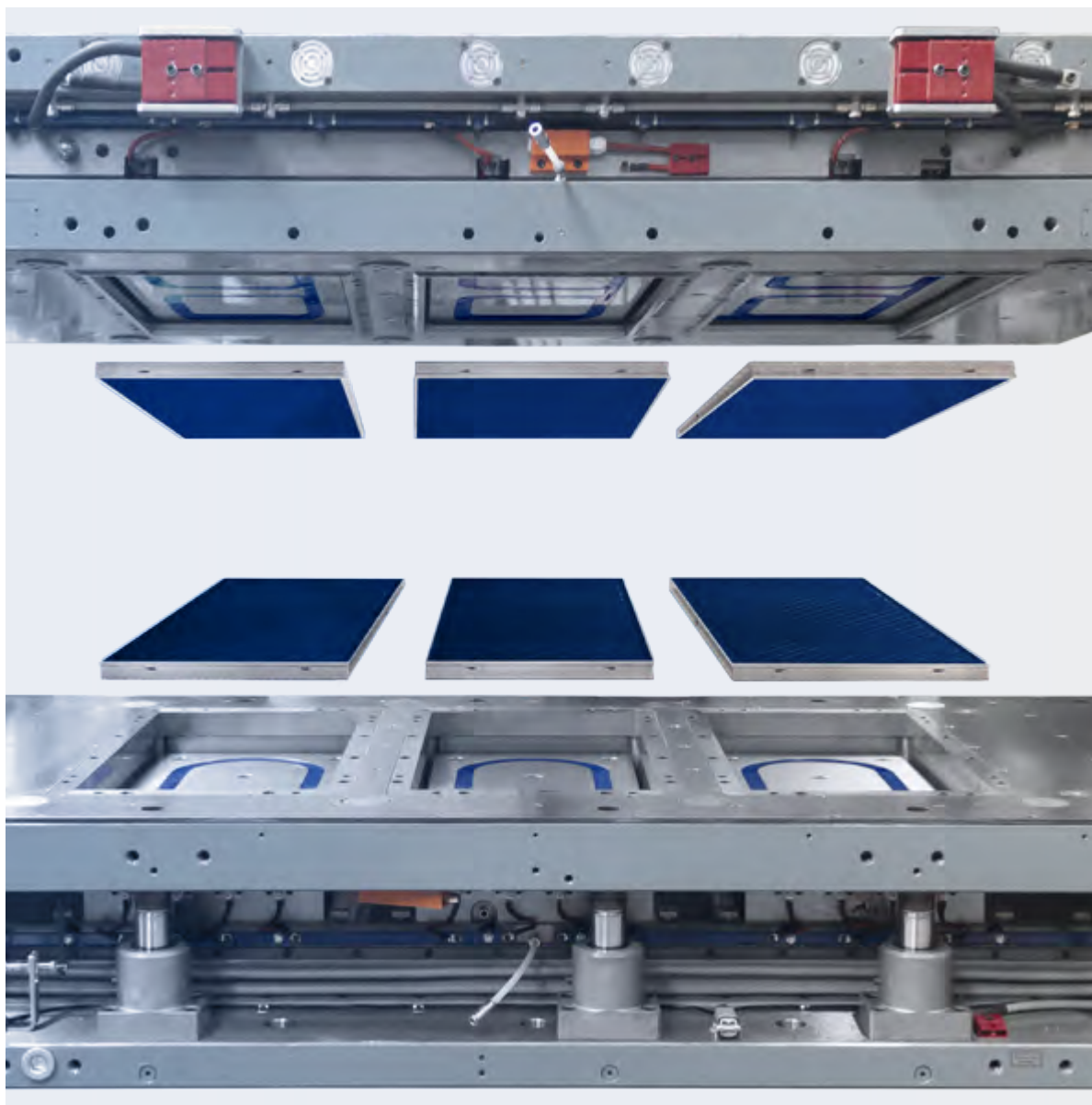


M O U L E S

POUR LE PRESSAGE DE CARREAUX DE CÉRAMIQUE



M O U L E S

POUR LE PRESSAGE DE CARREAUX DE CÉRAMIQUE

M O U L E S

POUR LE PRESSAGE DE CARREAUX DE CÉRAMIQUE

**Rafael Galindo Renau
José Antonio Pérez Maximino**

Copyright ©

Rafael Galindo Renau et José Antonio Pérez Maximino
Tous droits réservés

Publié par

Macer S. L.

Direction artistique

Vicente Sanjosé

Conception et mise en page

La Repera Creativa

Impression

La Repera Creativa

ISBN

978-84-09-49411-8

Dépôt légal

CS 220-2023

Une fois de plus, j'ai l'honneur d'avoir été invité à vous présenter un livre de José Antonio Pérez et du professeur Rafael Galindo consacré aux moules pour le pressage de carreaux de céramique. Comme les deux précédents, ce nouveau projet éditorial de MACER est axé sur un artefact technique qui s'avère primordial pour la compétitivité des industries de céramique. Mais contrairement aux deux précédents, Rafael Galindo a pu compter cette fois-ci sur la participation directe de José Antonio Pérez, actuellement directeur technique de MACER, l'entreprise éditrice du livre.

La première chose dont je souhaite vous faire part dans ce prologue concerne les compétences de l'auteur, largement reconnues au sein du pôle de la céramique de Castelló, qui valorise le rôle joué par le professeur Galindo dans la conception et la mise en œuvre de cycles de formation consacrés à la céramique, ainsi que sa volonté constante de participer à toute action de formation visant à améliorer les connaissances des techniciens et des travailleurs de ce secteur. Sa longue carrière universitaire et sa grande connaissance des matériaux, des équipements et des processus céramiques constituent une garantie pour la publication que je vous présente aujourd'hui. De façon rigoureuse et amène, il y fournit l'ensemble des connaissances nécessaires à tout technicien en céramique pour gérer le cycle de vie du moule.

Si les ouvrages précédents manifestaient déjà la rigueur scientifique et technique avec laquelle l'auteur expose toujours les contenus sélectionnés, tout comme sa capacité à mettre en lumière les vastes connaissances tacites accumulées dans le pôle de la céramique, ces compétences s'avèrent tout particulièrement pertinentes dans cette nouvelle édition. Mais à cet égard, il faut souligner ici l'apport fondamental du co-auteur du livre et le fort soutien de l'ensemble de la direction et du personnel technique de MACER, toujours prêts à partager leurs connaissances et leurs expériences. Une grande partie des innovations, des solutions conceptuelles et des idées que MACER a proposées au secteur dans les trente dernières années sont passées entre les mains de José A. Pérez, notamment au cours des nombreuses années où il a dirigé le département technique. Un poste à responsabilité, au sein d'une entreprise qui a guidé l'évolution technologique du pressage et des moules tout au long des cinq dernières décennies, tout en intégrant toujours les technologies de fabrication les plus avancées dans ses usines de production, ce qui garantit le caractère rigoureux du contenu de cet ouvrage.

Comme je l'ai déjà indiqué, vous trouverez dans ce livre toutes les informations et connaissances nécessaires pour parvenir à gérer la plupart des processus liés aux différentes étapes du cycle de vie du moule : conception, fabrication, distribution, utilisation et assistance. Une série de contenus articulés en sept chapitres, huit annexes et un document final où vous pourrez trouver des réponses aux nombreuses questions que l'on peut se poser concernant le moule.

Le contenu relatif à la conception des moules est présenté dans les chapitres 2, 3, 4 et 5, après un chapitre initial qui donne un bref aperçu de l'histoire du moule. Le chapitre 2 décrit un certain nombre d'aspects qui relient la conception du carreau à la conception/technologie de la cavité du moule, en établissant une série de règles qui concernent l'épaisseur, les reliefs et les formats et qui peuvent aider le concepteur ou la conceptrice à définir des produits (carreaux) qu'il est possible de fabriquer et de produire, en suivant les principes qui caractérisent les techniques de conception pour la fabrication et la production. Cette vision est complétée par le chapitre 7, qui analyse les types de défauts de qualité des produits dus à de mauvais choix dans la conception/le choix du moule. Le chapitre 3 décrit quant à lui les différents éléments qui forment un moule – indépendamment des types, qui sont présentés au chapitre 5 –, alors que la première section du chapitre 4 aborde les matériaux utilisés (aciers et caoutchoucs) et leurs caractéristiques fonctionnelles.

Quant aux contenus relatifs aux étapes centrales du cycle de vie (fabrication et transport), ils sont présentés dans la deuxième section du chapitre 5 et dans la dernière section du chapitre 6, tandis que ceux relatifs aux étapes finales (utilisation et assistance) sont décrits dans les sections restantes du chapitre 6 axées sur l'entretien, le changement et l'ajustement des moules.

En bref, vous trouverez dans cette publication une synthèse complète et bien structurée sur l'évolution et la réalité actuelle du moule, caractérisée par les grands formats et les presses à grande capacité. En outre, si vous souhaitez approfondir vos connaissances sur le processus céramique ou obtenir de plus amples informations concernant les variables de processus qui affectent le pressage et les caractéristiques techniques des presses installées dans les usines de céramique, vous pouvez consulter la dernière édition du livre précédent de Rafael Galindo intitulé *Presas, moldes y prensado en la fabricación de baldosas cerámicas* (Presses, moules et pressage dans la fabrication de carreaux de céramique).

Pour conclure cette présentation, il ne me reste qu'à vous inviter à vous plonger dans la lecture de ce livre et à regarder les images et les vidéos soigneusement sélectionnées par les auteurs et par MACER, facilement accessibles via les codes QR fournis, en espérant que cet itinéraire contribuera à compléter vos connaissances sur le monde de la céramique et, plus important encore, vous encouragera à penser et à créer de nouvelles connaissances.

Fernando Romero Subirón

Professeur au département d'ingénierie
des systèmes industriels et de conception
de l'Universitat Jaume I.

SOMMAIRE

1. Développement historique du moule	15
1.1. Les presses manuelles à levier et à broche et leurs moules	18
1.1.1. Les moules	20
1.2. Les presses à friction et leurs moules	21
1.2.1. L'évolution du moule à partir de la première reconversion industrielle	23
1.2.2. Les moules en fonte	23
1.3. Le développement du moule avec les presses hydrauliques	26
2. Planification et conception des moules	31
2.1. Spécifications des produits et étude de faisabilité	34
2.1.1. Épaisseur et reliefs	34
2.1.2. Format	36
2.1.3. Le profil latéral : les biseaux et le séparateur	37
2.2. Conception des reliefs	37
2.2.1. Le relief de dos	38
2.2.2. Le relief de presse	40
2.2.2.1. Réalisation du prototype	42
2.2.2.2. Numérisation du prototype	43
2.2.2.3. Réalisation des empreintes	45
a) Gravure à la fraiseuse	47
b) Gravure au laser	48
2.3. Contraintes techniques et de fabrication liées à la conception des moules	49
2.4. Les sorties	51
2.4.1. Calcul des dimensions des alvéoles	51
2.4.2. Calcul du nombre maximum de sorties	53
2.4.3. Facteurs déterminant le nombre de sorties	54
2.4.4. Exemple	55
2.4.5. Tableaux	57
3. Composants des moules	65
3.1. Plaque sauve-banc	70
3.2. Plaque d'éjection, plaques « crochets » et systèmes d'ancrage	71
3.3. Blocs	73
3.4. Soufflet	76
3.5. Matrice	77
3.6. Barrettes	78
3.6.1. Types de barrettes	80
3.6.1.1. Barrettes fixes	81
3.6.1.2. Barrettes symétriques réversibles	82
3.6.1.3. Barrettes amovibles	83
3.6.1.4. Barrettes amovibles rectifiées	84
3.6.1.5. Barrettes rectifiées – coupées au fil	85
3.6.1.6. Barrettes coupées au fil	85

3.6.1.7. Barrettes anti-usure	86
a) Barrettes anti-usure avec revêtements HVOF	86
b) Barrettes anti-usure avec revêtement en plaque de carbure de tungstène (WC)	87
3.7. Poinçons	89
3.7.1. Poinçons sans caoutchouc	91
3.7.1.1. Poinçons sans caoutchouc et trempés	91
3.7.1.2. Poinçons sans caoutchouc, trempés et polis	91
3.7.2. Poinçons avec caoutchouc	92
3.7.2.1. Poinçons isostatiques	92
a) Poinçons isostatiques à cavité unique	95
Poinçons de type MGPV41	96
Poinçons à rainure	96
Poinçons avec fixation par trous filetés	96
Poinçons à cavité unique avec plaque flottante (MACER type MGPVT)	97
Poinçons à cavité unique avec plaque fixe perforée	97
b) Poinçons isostatiques à cavités interconnectées	99
Poinçons mixtes	99
Poinçons isostatiques à grille (type MRPV de MACER)	99
c) Poinçons isostatiques interconnectés	102
3.8. Plaques supérieures	103
3.9. Porte-poinçons isostatique	104
3.10. Systèmes d'aimantation	105
3.11. Systèmes de chauffage	106
3.12. Circuit électrique et connecteurs rapides	108
4. Processus de fabrication	109
4.1. Matériaux utilisés dans la fabrication des moules	111
4.1.1. Aciers	111
4.1.1.1. Classification	111
a) Classification selon la composition chimique	111
b) Classification selon la qualité	112
c) Classification selon l'utilisation	113
4.1.1.2. Désignation des aciers	113
4.1.1.3. Propriétés mécaniques des aciers	116
a) Le diagramme « contrainte-déformation » des aciers	117
b) Caractérisation physique	118
4.1.1.4. Propriétés des aciers utilisés dans la fabrication des composants de moules	120
a) Acier 1.2080	121
b) Acier 1.1191	122
4.1.2. Caoutchouc pour poinçons	124
4.1.2.1. Caoutchouc en feuille	126
4.1.2.2. Caoutchoucs pour application sous forme liquide	126

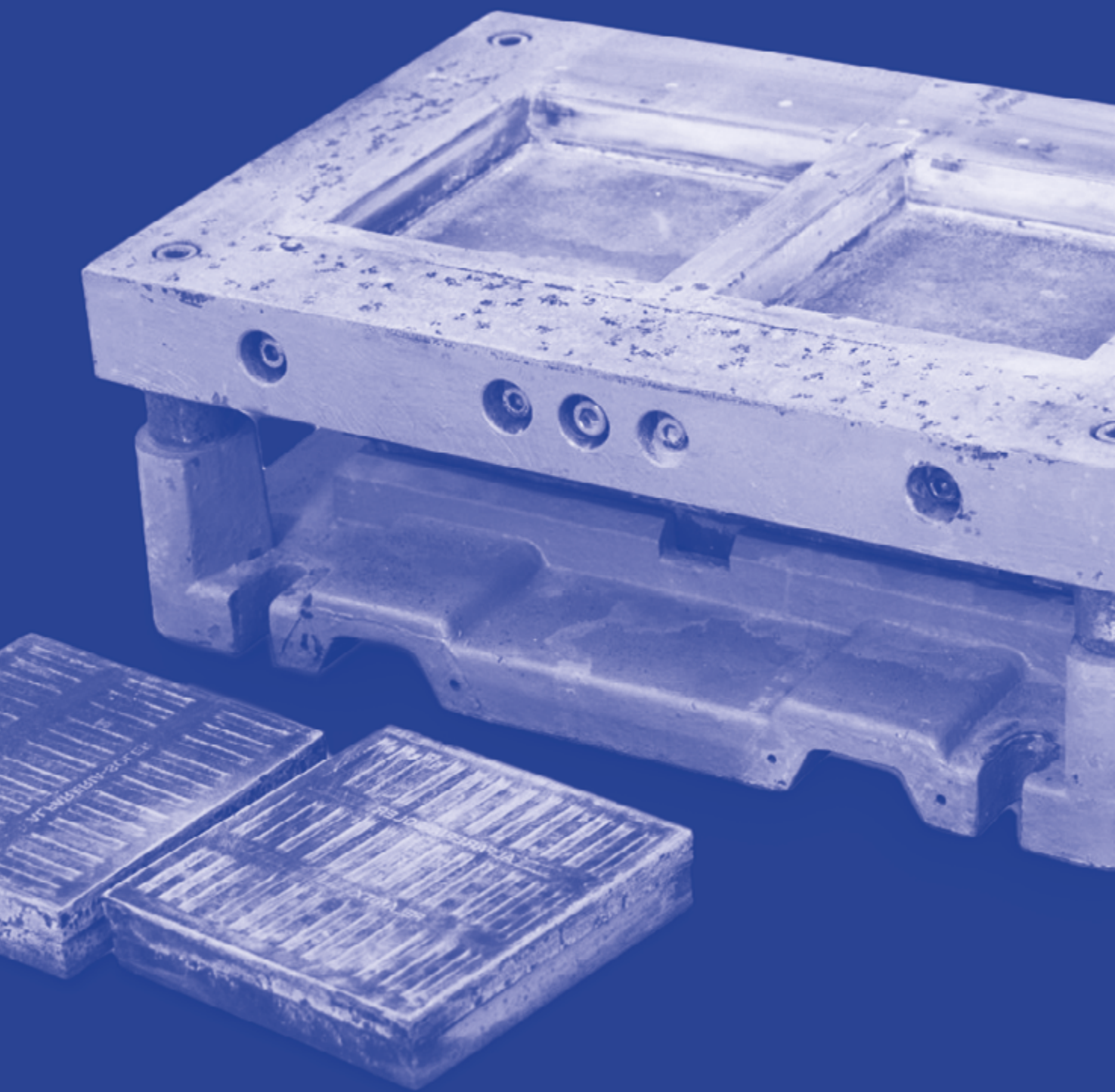
4.2. Processus de fabrication de la plaque sauve-banc et de la plaque d'éjection	126
4.3. Processus de fabrication des blocs	128
4.4. Processus de fabrication des cadres des soufflets	128
4.5. Processus de fabrication de la matrice	129
4.6. Processus de fabrication des barrettes	130
4.6.1. Processus de fabrication des barrettes fixes	130
4.6.2. Processus de fabrication des barrettes interchangeables rectifiées	131
4.6.3. Processus de fabrication des barrettes rectifiées - découpées au fil	133
4.6.4. Processus de fabrication des barrettes coupées au fil	134
4.6.5. Processus de fabrication des barrettes anti-usure	135
4.7. Processus de fabrication des poinçons	136
4.7.1. Processus de fabrication des poinçons trempés et polis	137
4.7.2. Processus de fabrication des poinçons avec du caoutchouc	138
4.7.2.1. Poinçons massifs avec du caoutchouc	138
4.7.2.2. Poinçons isostatiques	139
4.7.2.3. Préparation et application des caoutchoucs	140
a) Durcisseurs pour les caoutchoucs appliqués sous forme liquide	140
b) Pressage de durcissement	142
(c) Les butées ou « parallèles »	145
4.7.2.4. Variables de l'opération de pressage de durcissement	146
5. Types de moules et fonctionnement	149
5.1. Types de moules pour le pressage	151
5.2. Le cycle de pressage	152
5.2.1. Durée du cycle de pressage	153
5.3. Le moule pénétrant	154
5.3.1. Les étapes du cycle de pressage avec un moule pénétrant	155
5.3.2. Types d'extraction	158
5.3.3. Problèmes liés au moule pénétrant	159
5.3.4. Le moule pénétrant inversé	160
5.3.5. Le moule pénétrant à matrice interchangeable	160
5.4. Le moule à miroir	161
5.4.1. Les étapes du cycle de pressage avec un moule à miroir	162
5.4.2. Le moule à miroir inversé	163
5.5. Le moule double	163
5.5.1. Les étapes du cycle de pressage avec un moule double	164
5.5.2. Principales caractéristiques du moule double	167
5.5.3. Produits fabriqués	167
5.5.4. Réglage de l'épaisseur dans le moule double	168
5.5.5. Plaques de compensation hydraulique	168
5.5.5.1. Plaque porte-poinçons avec compensation hydraulique	168
5.5.5.2. Plaque supérieure avec compensation hydraulique	169

5.5.6. Le problème de la désaération	169
5.5.7. Les butées de la matrice et les éléments de centrage du moule double	170
5.6. Le moule à miroir pénétrant	170
5.6.1. Le cycle de pressage avec un moule à miroir pénétrant	172
5.6.2. Caractéristiques du moule à miroir pénétrant	175
5.6.3. Produits fabriqués	175
5.6.4. Désaération	175
5.7. Applications spécifiques des moules	175
5.7.1. Moule à changement rapide	175
5.7.2. Moules alimentés à 380-440 V	176
5.8. Critères de sélection du type de moule	177
6. Maintenance	181
6.1. Concepts généraux de maintenance	183
6.2. Procédures générales de maintenance et de conservation des moules	187
6.2.1. Stockage et conservation des moules et des composants	187
6.2.2. Procédures de nettoyage des moules	189
6.3. Processus de réparation ou de remplacement des composants	190
6.3.1. Remplacement des barrettes fixes	190
6.3.2. Remplacement des barrettes amovibles	191
6.3.2.1. Changement de barrettes amovibles sur la presse elle-même	191
6.3.2.2. Changement de barrettes amovibles hors de la presse	192
6.3.3. Extraction et installation des poinçons	193
6.4. Le processus de changement de moule	196
6.4.1. Le changement des moules pénétrants, à miroir et à miroir pénétrant	197
6.4.2. Le changement du moule double	198
6.4.2.1. Processus de démontage du moule installé dans la presse	198
6.4.2.2. Processus de montage du nouveau moule	198
6.5. Emballage et transport des moules	199
6.5.1. Transport local	199
6.5.2. Exportation	200
7. Défauts de pressage liés au moule	203
7.1. Méthodologie pour l'analyse des défauts de fabrication	205
7.2. Critères de classification des défauts Défauts de pressage	207
7.3. Défauts dus à une répartition inégale de la compacité	208
7.3.1. Défauts dus à l'absence de parallélisme entre les poinçons	209
7.3.2. Défauts dus à une répartition irrégulière des pressions causée par le moule	210
7.3.3. Courbures et gonflements	210
7.3.4. Ondulations	211
7.4. Défauts dus à une mauvaise extraction	211
7.4.1. Courbures d'extraction	211
7.4.2. Fissures issues de l'extraction	212

7.5. Défauts issues du moule	212
7.5.1. Ébarbures.	213
7.5.2. Repressés.	213
7.5.3. Collage de poinçons	214
7.5.4. Collage de terre	214
7.5.5. Éraflures et rayures dues à l'éjection.	215
7.5.6. Pointes fragiles. Coins cassés.	215
7.5.7. Épaisseurs et profils incorrects dans les carreaux pressés avec un moule double	216
7.5.8. Rasages et casse.	217
7.5.9. Ongles	217
7.5.10. Défauts dus au décentrage du moule	217
7.6. Fissures	218
7.6.1. Fissures causées par des chocs et dues à un compactage insuffisant	218
7.6.2. Fissures causées par un compactage hétérogène	219
7.6.3. Fissures causées par des hétérogénéités dans la poudre	220
7.6.4. Fissures causées par une fuite de poudre	221
7.7. Laminations	221
7.7.1. Influence du cycle de pressage	222
7.7.2. Influence du moule	223
7.8. Calibres	224
Annexes	225
Annexe I. Processus de fabrication de carreaux et de plaques de céramique	227
Annexe II. Techniques de façonnage des produits en céramique	228
Annexe III. Essais de dureté.	229
Annexe IV. Mesure de la compacité par absorption de RX. DENSEXPLORER	236
Annexe V. Traitement thermique des aciers	243
Annexe VI. Désignation numérique des aciers selon UNE-EN 10027:2001	244
Annexe VII. Équivalences internationales des aciers	246
Annexe VIII. Dureté Shore. Échelles	250
Questions fréquemment posées	253
Index des tableaux.	260
Index des liens.	262
Bibliographie	264

Développement historique du moule

Chapitre 1



Les carreaux de céramique sont fabriqués industriellement au moyen d'un processus en ligne moderne et hautement automatisé, en général par monocuisson. Celui-ci comprend les étapes de préparation de la pâte à partir des matières premières, de façonnage, de séchage, d'émaillage-décoration, de cuisson et souvent de traitements mécaniques sur les carreaux cuits (annexe I). Logiquement, toutes ces étapes influent considérablement sur les caractéristiques qualitatives du produit final, mais le façonnage est une étape cruciale au cours de laquelle le produit est mis en forme et doté de la microstructure nécessaire au bon déroulement des étapes ultérieures du processus de fabrication, ainsi qu'à l'obtention des propriétés requises pour le produit fini.

Il est possible de façonner les produits céramiques au moyen de techniques variées généralement classées en trois grands groupes, en fonction de la teneur en humidité : semi-sec, à l'état plastique et en suspension (annexe II). Le choix de la technique appropriée pour l'opération de façonnage dépend d'un certain nombre de paramètres à prendre en compte, tels que la forme géométrique et la taille du carreau, la production (nombre de carreaux par unité de temps), la durée du processus, la technologie disponible, etc.

Le façonnage des carreaux de céramique s'effectue principalement au moyen de la technique de **pressage axial unidirectionnel semi-sec**, qui consiste à compacter une poudre humide (dont l'humidité est inférieure à 7 %, à quelques exceptions près), généralement granulée, contenue dans un moule rigide, en appliquant une pression au moyen des poinçons supérieurs de celui-ci (lien 1.1). Il s'agit d'une technique qui convient parfaitement au façonnage de produits ayant une faible épaisseur, une surface moyenne ou grande et une forme simple, tels que les carreaux de céramique. Cette technique a pour avantage une productivité élevée alliée à la facilité d'automatisation, et permet de fabriquer des carreaux dans une large gamme de formats, y compris des produits ayant une faible tolérance dimensionnelle. La faible humidité de la poudre, nécessaire à l'opération, facilite le séchage, réalisable en cycles courts et avec des valeurs de contraction nulles ou très faibles.



Ce code QR contient un lien vers une vidéo sur l'opération de pressage. Lien 1.1

Le pressage a par conséquent une double fonction : mettre en forme les carreaux de céramique conformément aux dimensions souhaitées, sans défauts ni pertes de qualité inacceptables, et configurer la microstructure adaptée aux exigences des étapes du processus de fabrication, de façon à obtenir les caractéristiques de qualité requises pour le produit fini.

Pendant la phase de pressage, la pression est appliquée au moyen de presses hydrauliques modernes de gros tonnage dans lesquelles on installe le **moule**, dont la description et l'étude font l'objet de cet ouvrage. Notre publication précédente^[49] propose un recueil détaillé des variables de processus qui affectent l'étape du pressage, et décrit les presses utilisées de nos jours, ainsi que leurs caractéristiques techniques.

Le moule remplit donc sa fonction lors de l'étape de pressage du processus de fabrication des carreaux de céramique en leur donnant forme. Sa fonction est donc très importante, car il a une influence directe sur l'aspect et sur d'importantes caractéristiques qualitatives du produit fini. Les éventuelles erreurs ou non-conformités qui surviennent à ce stade, résultant d'une mauvaise conception, d'un mauvais fonctionnement ou entretien du moule, auront des effets négatifs sur les opérations suivantes du processus de fabrication et la qualité du produit fini.

Les moules actuels (figures 1.1 et 1.2) sont le fruit du développement technologique du pressage. Leur évolution a donc été parallèle à l'évolution technologique du processus de fabrication des carreaux de céramique et, bien évidemment, est étroitement liée à celle des presses. Depuis les premières presses manuelles, le moule a connu de nombreux changements que nous décrirons dans ce chapitre, même s'il faut avant tout mettre l'accent sur ceux qui ont entraîné des modifications fonctionnelles et technologiques de grande envergure.

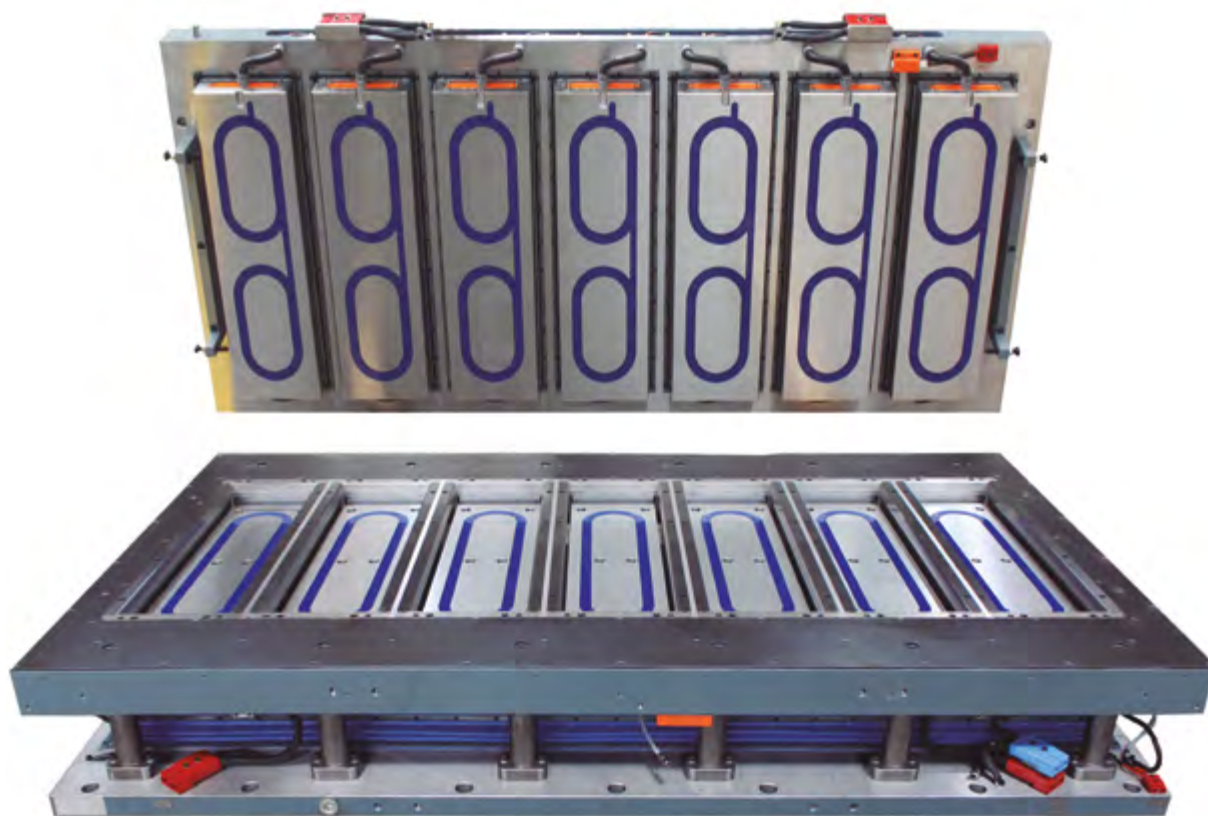


Figure 1.1. Moule pénétrant à sept sorties

1.1. LES PRESSES MANUELLES À LEVIER ET À BROCHE ET LEURS MOULES

Les premières presses manuelles utilisées dans la fabrication des carreaux étaient à levier et à broche, bien que d'autres telles que les presses excentriques ou à balancier soient également citées par Gomis Martí dans son livre *Evolució històrica del taulellet*^[51] (Évolution historique du carreau). La technique de façonnage initialement utilisée avec les **presses à levier et à broche** était celle du pressage humide, c'est-à-dire qu'une force de déformation était appliquée à une pâte plastique déposée dans le moule. L'utilisation de ces presses mécaniques, qui remplacèrent progressivement le façonnage manuel des carreaux par coulage de l'argile dans des moules en bois ou en plâtre, est connue depuis le XVIII^e siècle. L'une de ces presses est exposée au musée du carrelage Manolo Safont, à Onda (Castelló).

Dans notre secteur, l'utilisation de **presses mécaniques à broche** pour le façonnage par pressage humide est documentée depuis 1857 dans l'entreprise « La Valenciana » à Onda, qui produisait des carreaux au format carré de 20 cm environ, avec un relief de dos et la marque de fabrique, et depuis 1860 dans l'entreprise de Vicente Peris Vidal, également à Onda^[42]. Pickman (Chartreuse de Santa María de las Cuevas, à Séville) a commencé à fabriquer des carreaux en 1860, en automatisant certaines étapes du processus de fabrication, notamment le façonnage à la presse. Toutes ces entreprises produisaient des carreaux par pressage de la pâte à l'état plastique. Le pressage de la pâte plastique permettait d'obtenir des profils totalement droits et des reliefs de dos.

Quant au **pressage semi-sec**, il a été breveté en 1809 par Richard Potter, qui pressait de petits carreaux de porcelaine de 10x10 cm à l'aide d'une presse de type à broche actionnée par deux opérateurs et équipée d'un moule en fer ou en cuivre^[51]. Le brevet fut acheté par l'entreprise Minton qui souhaitait introduire le pressage dans son usine de carreaux. Par la suite, en 1834, M. P. Julien de Paris déposa un brevet sur ce système de pressage. En 1840, un nouveau brevet permettant d'obtenir des boutons en céramique à partir de poudre d'argile, déposé par Richard Prosser, fut à nouveau mis en œuvre par Minton qui l'adapta à la fabrication de carreaux de céramique. Au milieu du XIXe siècle, la société Minton possède déjà 60 presses mécaniques qui produisent des carreaux^{[51] [59]}. C'est en 1863 que le pressage semi-sec est utilisé pour la première fois pour la production de carreaux encaustiqués, d'après un brevet de Boulton et Worthington^[67]. Jusqu'alors, on effectuait le façonnage de ce type de carreaux dans des moules en plâtre avec des pâtes à l'état plastique, compactées par compression manuelle et remplies de barbotine de différentes couleurs dans les zones de bas-relief après l'extraction du moule.

Il n'existe pas de données probantes concernant les dates exactes de l'introduction du pressage semi-sec dans notre pays, bien qu'il semble probable que les premières presses utilisées étaient à broche^{[51] [67]} (lien 1.2), car elles étaient déjà présentes dans les entreprises de San Carlos, de J. B. White y Bonelli (Valence) et de Miguel Nolla (Meliana, Valence). À la fin du XIXe siècle, il est mis en place dans les entreprises de carrelage d'Onda^[42], bien qu'il ait coexisté avec le façonnage à l'état plastique jusqu'au début du XXe siècle^[41]. Deux types de presses à broche furent utilisés dans cette commune : **les presses à volant** et **les presses à balles**. Dans les deux presses, la pression était transmise à la poudre par l'intermédiaire d'une broche hélicoïdale munie d'un volant à quatre poignées ou d'un axe aux extrémités duquel étaient situés deux contrepoids sphériques actionnés manuellement. C'est justement en raison de ces contrepoids que ces dernières étaient appelées « presses à balles ». Les presses à volant étaient utilisées pour fabriquer des carreaux de 15x15, 20x20 et 14x28 cm et celles à balles pour les éléments complémentaires de petite taille¹. Une seule personne manipulait les presses à balles, tandis que deux opérateurs étaient nécessaires pour les presses à volant : l'un était chargé de remplir manuellement le moule et d'extraire le carreau, et l'autre tournait le volant pour transmettre la force de pression nécessaire, qui n'était logiquement ni uniforme ni très importante, ce qui limitait leur utilisation aux formats que nous avons indiqués. De façon périodique, on nettoyait le moule avec un mélange d'huile et de pétrole pour faciliter le démoulage. Il n'y avait pas le moindre contrôle sur l'opération, si ce n'est l'expérience et l'habileté de l'opérateur, qui cassait de temps en temps quelques carreaux avec ses mains pour en vérifier la compacité.



Ce code QR contient un lien vers des images de presses à broche. Lien 1.2

¹ Vicent Joan Estall i Polés^[43] rapporte que dans l'usine de Segarra, à Onda (de 1906 à 1939), « les presses manuelles n'avaient qu'une seule matrice : 20x20, 14x12, 15x15, 11x11, 10x10 et toutes sortes de pièces complémentaires ».

1.1.1. Les moules

Les carreaux obtenus par pressage semi-sec avec des presses à broche, fabriqués dans la seconde moitié du XIXe et les premières décennies du XXe siècle, étaient pour la plupart carrés, avec un format d'environ 20x20 cm. On fabriquait également des carreaux rectangulaires dans des formats plus petits, tels que des listels (4-6 cm x 13-16 cm), des petits carreaux décoratifs ou des mains courantes². Les moules de ces presses étaient très simples, à une seule sortie. Ils étaient constitués d'un cadre, appelé « matrice », et de deux poinçons. La matrice était constituée de deux éléments en fonte, en forme de L pour les formats rectangulaires ou de V pour les formats carrés, d'une hauteur de 9 cm, vissés et fixés rigidement au banc de la presse par quatre brides ou vérins. Ces pièces étaient communément appelées des « colliers ». Les poinçons étaient deux plaques en fer, généralement de moins bonne qualité, découpées, usinées manuellement et poncées. Tant que cela était possible, on compensait l'usure latérale des poinçons, appelés « plateaux », en repassant par martelage et ponçage des surfaces, et on compensait l'usure de la matrice par ponçage des surfaces d'assemblage des colliers, ce qui impliquait une réduction du périmètre de celle-ci. Un moule avec de telles caractéristiques permettait une production d'environ 5000 carreaux.

Même si, comme indiqué précédemment, ces moules étaient généralement à une seule sortie, il était également possible d'en faire à plusieurs sorties en séparant la matrice d'un moule de 15x15 cm ou de 20x20 cm avec des cloisons qu'on y vissait. Naturellement, il fallait par conséquent modifier les poinçons supérieurs et inférieurs, même si le mécanisme d'éjection restait identique.

Les carreaux produits ayant un bord droit, sans séparateur, le pressage était effectué avec la face noble vers le haut. Le poinçon inférieur était donc réservé au relief de dos (lien 1.3). L'objectif était d'éviter que les plaques repressées générées dans l'espace entre le poinçon supérieur et la matrice du moule ne tombent sur la partie lisse de celui-ci, ce qui aurait sans aucun doute entraîné des défauts ponctuels sur les carreaux. Une tige reliait le poinçon à un élévateur coulissant actionné par une pédale, ce qui permettait le mouvement de montée et de descente du poinçon inférieur.

Le relief de dos le plus courant pour les moules de presse à broche est celui des bandes parallèles. Il est dicté par la solution mécanique la plus simple pour l'obtenir, et probablement la seule, à savoir le brossage manuel des bandes sur un poinçon du moule. On peut déjà observer ce relief sur des carreaux catalogués des entreprises Peris, La Esperanza, La Primitiva et La Valenciana, datées de 1860 à 1880^[41].

On obtient un relief qui découle directement de la version en bandes par un brossage supplémentaire de bandes transversales, qui donne lieu à un relief en grille ou en boutons carrés. Au centre du poinçon, on incorporait l'estampille de l'entreprise, réalisée en laiton par gravure ou estampage, avant de la fixer en la clouant dans une feuillure prévue à cet effet dans le poinçon. Les ateliers qui fabriquaient les moules disposaient également de ce qu'ils appelaient « l'alphabet », c'est-à-dire un ensemble de négatifs de lettres en acier grâce auxquels ils composaient le nom du fabricant ou la légende de son choix, en remplacement de l'estampille beaucoup plus chère.

Certains moules étaient également légèrement chanfreinés à chacun des angles afin de les rendre plus compacts, ce qui permettait ainsi d'éviter les coins cassés, notamment lors de l'empilage.

² D'après le témoignage de Miguel Colera Durá publié par le musée du carrelage Manolo Safont à Onda^[31] : « La grande presse à volant permettait de presser des carreaux de 20x20, des *machambrados* (fiche à fiche) de 20x20, des carreaux de 14x28 appelés *collonots* et d'autres pièces de grande taille. La presse à petit volant permettait de presser des carreaux de 15x15, de 7½x15, de 14x14 appelés *alambrillas*, des carreaux biseautés de 10x20, de 7½x15, des listels de 10x20 et de 7½x15, des mains courantes de 10x20, 8x20, 6x20, 4x20 et 2x20, ainsi que d'autres pièces de petit format ».



Ce code QR contient un lien vers des images de reliefs de dos et d'estampilles de fabricants de carreaux pressés au moyen de presses manuelles à broche. Lien 1.3

Ces moules ne subirent aucune modification importante jusqu'à l'automatisation complète des équipements de pressage. On continua à les installer aussi bien sur les presses électriques à friction avec chargement et extraction manuels que sur les presses à broche manuelles.

1.2. LES PRESSES À FRICTION ET LEURS MOULES

L'arrivée de l'électricité au sein l'industrie de la céramique dans les années 1920 rendit possible l'introduction de machines et l'automatisation de certaines étapes et phases de la production. Les anciennes presses manuelles à broche furent progressivement remplacées par des **presses électriques à friction** (lien 1.4), dont la conception mécanique était similaire, à la seule différence que le volant était actionné par le frottement de deux disques reliés par un arbre dont le plan était perpendiculaire à celui du volant et qui étaient entraînés par un moteur électrique. Les deux disques se déplaçaient alternativement de droite à gauche grâce à une came actionnée au moyen d'un levier par l'opérateur, qui mettait successivement le disque de droite ou de gauche en contact avec le volant, et transmettait à ce dernier une rotation dans un sens ou l'autre, ce qui entraînait un mouvement de montée ou de descente d'une broche filetée à trois filets. Grâce à un autre levier actionné au pied, on manipulait le poinçon inférieur du moule qui servait à effectuer le remplissage, la désaération et l'éjection du carreau. Par rapport aux presses manuelles, ces presses constituaient un véritable progrès grâce à leur productivité élevée, permettant le façonnage d'environ 2500 carreaux de 15x15 cm en 8 heures, et ce avec un seul opérateur aux commandes^[51].

Pendant longtemps, les presses électriques et manuelles ont coexisté. Dès le premier recensement de l'industrie du carrelage dans la province de Castelló, réalisé par l'ingénieur industriel Casimiro Meliá en 1946, 38 entreprises de céramique furent comptabilisées. Celles-ci possédaient 64 presses mécaniques et 60 presses manuelles, alors appelées « timbres », pour une production totale du secteur de 155 760 m² par mois^{[51] [68]}.

Dans ces presses, la poudre à presser était alimentée manuellement par un opérateur situé à l'arrière de la presse. Il utilisait un outil semblable à une faucille en bois, et effectuait le nivellement à l'aide d'une baguette du même matériau. Ce système d'alimentation fut remplacé dans certaines presses par un petit chariot, toujours en bois, qui ressemblait assez aux chariots qui allaient être installés plus tard dans les presses automatiques et qui, avec des modifications importantes, sont parvenus jusqu'à nos jours. Comme pour les presses à broche, les moules devaient être périodiquement enduits d'un mélange de pétrole et d'huile pour éviter l'adhérence de la poudre et faciliter le démoulage.

Ces presses ont été automatisées progressivement. Le système d'extraction du carreau pressé a été synchronisé avec le système de levage de la broche, tous deux étant exécutés automatiquement. Par la suite le chariot a été ajouté à la presse, ses mouvements étant également synchronisés avec le levage de la broche et l'éjection de la pièce, ce qui a permis l'alimentation automatique du moule et la pose mécanique du carreau hors de la zone de pressage. Cela a sans aucun doute constitué un pas important vers l'automatisation complète du processus de fabrication et une amélioration évidente pour la sécurité des opérateurs. Cette ligne a donc donné naissance à une nouvelle génération de presses appelées « **presses automatiques à friction** » (lien 1.4). Ces presses présentaient des avantages indiscutables, notamment un entretien facile, une production élevée et un rapport « force de pressage/poids de la machine » élevé. Autrement dit, il s'agissait de machines relativement simples et légères, très

performantes et capables, à l'époque, de développer de grandes forces de pressage. Leur principale limite était toutefois leur incapacité à assurer une force de pressage uniforme et constante.

En 1962, on commence à fabriquer les premières presses automatiques à friction en Espagne, sous licence italienne. Il s'agit des presses PF 145, d'une force maximale de 145 tonnes, et PF 175, capable de développer 175 tonnes, toutes deux de la société FATMI. À la fin des années 1960, FATMI construit la PE 220 de 240 tonnes, qui permet d'installer des moules à quatre sorties de 15x15 cm ou à trois sorties de 20x20 cm, ce qui constitue l'introduction et la production en série de ce format. Au début des années 1970, la PE 500-V de 650 tonnes, la PE 501 et la PE 502, toutes deux d'une force maximale de 500 tonnes, sont déjà fabriquées en Italie³. C'est également à cette époque que WELKO commence à fabriquer les presses à friction Vulcano 175 de 400 tonnes, Ariete/s de 280 tonnes, puis Ariete 2000, de 500 tonnes. Toutes ces presses avaient une distance libre entre les colonnes compris entre 760 mm et 900 mm (lien 1.4). Les presses FATMI fonctionnaient avec un moule pénétrant, tandis que les presses WELKO fonctionnaient avec un moule à miroir^[51]. Malgré ces progrès remarquables, jusqu'au milieu des années 60, la plupart des presses utilisées dans le secteur de la céramique espagnole sont encore semi-automatiques, certaines opérations étant effectuées manuellement, bien qu'en Italie et, comme nous l'avons vu, également en Espagne, des presses entièrement automatiques sont déjà fabriquées et qu'en Allemagne, elles sont connues depuis les années 1930.

Avec les presses automatiques à friction, chaque cycle de pressage comprenait déjà le chargement du moule, le premier pressage, la désaération, le deuxième pressage et l'extraction. Dans certains cas, un troisième pressage était nécessaire.

Sur certaines presses à friction, SACMI a introduit un premier composant hydraulique. Il s'agissait de deux groupes cylindre-piston situés de part et d'autre de la broche, entre la traverse fixe et la traverse mobile, qui servaient à mieux répartir la force de pressage et donc à améliorer la compacité des carreaux obtenus. Ceux-ci fonctionnaient eux-mêmes grâce à un groupe hydraulique situé hors de la structure de la presse (voir la presse PE-220-V et la presse PE-500-V via le lien 1.4). Des composants hydrauliques ont également été incorporés dans le système de chargement et d'extraction, ainsi que dans le chariot. De son côté, Welko a déjà intégré sur ses presses Ariete des éléments hydrauliques pour le mouvement de la traverse mobile et l'extraction du carreau.



Ce code QR contient un lien vers des images et des informations techniques sur les presses à friction semi-automatiques et automatiques.
Lien 1.4

³ D'après des données de FATMI^[45], en mars 1969, l'entreprise avait installé 14 presses chez CEDOLESA (Manises), 12 chez ZIRCONIO (Vila-real), 4 chez ISIDORO SANSANO (Onda), 2 chez AZULONDA (Onda), 2 chez CERÁMICA HUERTA (Santa María de la Huerta), 7 chez FABRESA (Llucena), 4 chez AZULEJOS BECHÍ (Betxi) et 9 chez NUEVA MENORA (Talavera de la Reina). Elle avait en outre installé des usines complètes chez FARO (Ribesalbes), AZULEJERA ALCORENSE (Almassora), AZULEV (Onda), EUROCERÁMICA (Brihuega), IASSA (Séville), AVASA (Manises), AZULEJERA DEL SUR (pas de données), CICOSA (Onda), PERIS y CIA (Onda) et AZULEJOS SANCHIS (L'Alcora).

1.2.1. L'évolution du moule à partir de la première reconversion industrielle

Le premier changement important dans la conception du moule de pressage est apparu avec l'automatisation de la plupart des étapes du processus, parallèlement à la **première reconversion industrielle** qui a eu lieu dans le secteur au cours de la seconde moitié des années 1960⁴. Il s'agit peut-être de la transformation la plus profonde du moule pour carreaux, puisqu'elle concernait sa conception même et introduisait une plus grande complexité mécanique et fonctionnelle. On passait ainsi de l'ancien moule des presses à broche et électriques, constitué d'une matrice et de poinçons, aux moules à miroir et pénétrants, plus complexes, dont les presses à friction alors modernes étaient équipées et dont la structure est restée pratiquement inchangée jusqu'à une date relativement récente.

Le facteur qui a déterminé cette profonde transformation est sans aucun doute l'automatisation de l'extraction du carreau pressé, que l'on effectuait jusqu'alors manuellement au moyen d'un mécanisme à pédale qui actionnait le poinçon inférieur. L'introduction d'extracteurs à ressorts avec pistons hydrauliques pour la première et la deuxième chute de plateaux a rendu nécessaire l'adaptation du moule, tout en permettant par ailleurs la fabrication de moules à plusieurs sorties, ce qui, allié à la grande vitesse de cycle que ces presses étaient capables de développer et à la réduction du nombre d'opérateurs nécessaires à leur fonctionnement, a entraîné une augmentation considérable de la productivité de l'usine.

Ce changement important dans la structure du moule devait nécessairement et logiquement s'accompagner d'une transformation de son processus de fabrication et de rectification, jusqu'alors réalisé dans de petits ateliers mécaniques ayant diversifié leurs activités de service vers l'industrie et les activités agricoles. La fabrication des nouveaux moules a fait émerger des ateliers spécialisés qui avaient besoin d'investissements économiques plus importants et d'un personnel plus qualifié car, parallèlement à la complexité du moule, ces entreprises développaient des fonctions naissantes de service technique à la clientèle.

Les presses à friction fonctionnaient aussi bien avec des moules pénétrants qu'avec des moules à miroir. La structure de ces moules est semblable et les principales différences résident dans le fait que, sur ces derniers, le poinçon supérieur a une surface plus grande que l'alvéole et que la matrice est mobile, de sorte que son mouvement vers le bas, guidé par des pistons hydrauliques, permet d'appliquer la force de déformation à la poudre. Toutefois, la conception mécanique de ces moules et leurs processus de fabrication ont également évolué en fonction de la technologie de pressage et de celle des ateliers mécaniques disponibles à l'époque.

1.2.2. Les moules en fonte

Les premiers moules utilisés dans ces presses étaient les « **moules en fonte** ». Ils étaient constitués d'une base, du porte-poinçons, des plaques « crochets », de la matrice qui accueillait les barrettes et des poinçons supérieurs et inférieurs. Certains de ces composants, notamment la matrice, les poinçons et les barrettes, avaient des formes géométriques relativement simples et la seule difficulté de la fabrication était d'atteindre la précision requise avec la technologie disponible à l'époque. Cependant, l'ensemble constitué de la base avec les piliers et le porte-poinçons étant de forme plus complexe et donc difficile à usiner avec les moyens de l'époque, il fallait les former en une seule pièce par fusion. Après avoir défini le format et le nombre de sorties et dessiné le plan du futur moule, un menuisier fabriquait l'éjecteur et la base en bois. C'était la matrice du moule en fonte qui était ensuite réalisée dans le sable et où l'on

⁴ Entreprise à la fin des années 1960 et au début des années 1970, la première reconversion industrielle du secteur de la céramique en Espagne est caractérisée par de profondes transformations technologiques qui ont modernisé les processus de fabrication des carreaux de céramique des décennies précédentes. Les principales étapes technologiques ont été l'introduction du four-tunnel à wagons et des fours à canal, qui ont remplacé les anciens fours arabes, les presses à friction automatiques, les séchoirs-tunnels, les installations mécanisées de broyage de l'argile, la sélection automatique du biscuit, les lignes d'émaillage et l'introduction de la sérigraphie dans la décoration des carreaux^[59].

versait la fonte. Les moules de ce type, également appelés « **moules en fonte noire** »⁵ en raison de leur couleur noirâtre, ne comportaient pas le soufflet actuel. La protection de la plaque d'éjection contre la poussière était assurée par un profil de l'éjecteur ou du porte-poinçons en forme de larmier.

Comme certaines des premières presses étaient déjà en mesure de développer des forces de pressage de 220 tonnes⁶, il était possible de fabriquer des moules à 4 sorties de 15x15 cm ou à 3 sorties de 20x20 cm. Dans l'ensemble, on fabriquait à cette époque des moules pour les formats 10x20 cm, 15x20 cm et surtout 15x15 cm. Occasionnellement, on fabriquait aussi des moules par fusion, pour les formats 15x22,5 cm, 15x25 cm et 20x20 cm.

Les **poinçons inférieurs** étaient fabriqués à partir de plaques d'acier usinées sur lesquelles on appliquait un revêtement latéral de soudure spéciale pour les surfaces soumises à une forte usure. On perçait et usinait les trous de fixation, puis on réalisait une rectification par dégrossissage latéral et superficiel à l'aide d'une rectifieuse à meule verticale et enfin une rectification manuelle, où l'on ajustait les dimensions nominales avec une précision de +/- 0,01 mm. Ensuite, on vidait l'intérieur par rectification manuelle de la surface du poinçon pour lui donner une profondeur de biseau de 0,7 mm, une dimension qui restait constante, quel que soit le format du poinçon. On utilisait une rectifieuse à surface plane pour travailler l'intérieur et une tête à haut régime équipée d'une meule de 30 mm pour réaliser la finition des angles et des biseaux. Pour les angles, on utilisait une meuleuse droite manuelle avec de petits diamètres de meule afin d'obtenir des mesures plus précises, également avec des vitesses de rotation élevées. Pour finir, les surfaces étaient poncées et polies de façon à éliminer les traces de la rectifieuse et de la meuleuse droite.

Les poinçons supérieurs étaient fabriqués suivant un processus similaire. Les dimensions du poinçon devaient permettre un jeu de 0,2 à 0,3 mm par rapport aux barrettes de la matrice, afin de faciliter la désaération et le mouvement des poinçons. Une échancrure de 0,07 mm de profondeur était réalisée dans les bords à l'aide d'une rectifieuse, afin d'améliorer le compactage des angles.

Les **reliefs de presse** (lien 1.5.) impliquaient une augmentation considérable de la complexité du processus de fabrication des moules, car ils devaient être gravés en négatif sur les poinçons. En fait, ce problème se posait déjà pour le relief de dos, qui se limitait à quelques dessins faciles à usiner et ne nécessitant pas la production d'empreintes.

En revanche, pour graver les reliefs de presse de la face noble sur les moules à poinçons en acier, il fallait fabriquer au préalable une empreinte, c'est-à-dire le positif du relief que l'on souhaitait obtenir, afin de pouvoir fabriquer à partir de là les poinçons en acier avec le négatif du dessin. Dans les premiers moules avec relief, les empreintes étaient modelées manuellement en graphite, à partir d'un dessin sur papier. La première étape consistait à dégrossir par fraisage, puis à définir les contours à l'aide d'une gouge. Une fois le relief terminé, les surfaces étaient patiemment poncées à la main. Cependant, le processus d'érosion usait tellement les empreintes en graphite que celles-ci ne permettaient d'obtenir que deux ou trois poinçons.

Ce procédé, que l'on peut presque considérer comme semi-artisanal, ne pouvait pas garantir totalement la constance des dimensions des reliefs sur chaque poinçon.

⁵ Les premiers moules de ce type, fabriqués par MACER dans les années 1970 pour les anciennes presses à friction FATMI PF-145, PF-175 et PF-220, ont été coulés dans l'entreprise Fundiciones Mijares de Vila-real.

⁶ Nous faisons référence à la presse PF 220 fabriquée en Espagne par FATMI à partir de 1969.

Les empreintes en graphite ont été remplacées par des versions en cuivre, beaucoup plus résistantes et dures, qui permettaient d'obtenir davantage de poinçons. Ces empreintes ne pouvant être modelées à la main, il fallait usiner les reliefs.

Le graphite possède deux caractéristiques importantes nécessaires à ce processus de fabrication : il est facile à modeler et, surtout, il est conducteur d'électricité. Il s'agit là d'une propriété indispensable dans ce processus, car l'étape suivante consistait à transférer le relief sur le poinçon (du positif au négatif) au moyen de l'érosion par arc.



Ce code QR contient un lien vers des images de reliefs de presse et leur processus d'élaboration pour les presses à friction semi-automatiques et automatiques. Lien 1.5

Sur les poinçons inférieurs, on réalisait le **relief de dos** des carreaux et la marque du fabricant. Ces reliefs se limitaient à quelques dessins dont l'usinage n'était pas excessivement compliqué, tels que des boutons et des nervures obtenues par fraisage ou rectification (lien 1.6). Leur élaboration constituait cependant un aspect très problématique du processus de fabrication du moule. En effet, la conception et l'exécution du relief de dos jouaient un rôle important dans l'empilage des carreaux dans le wagon, que ce soit pour le séchage ou pour la première cuisson ou *escaldat*, comme on l'appelait à l'époque. Étant donné qu'après le pressage, les carreaux étaient empilés dans des wagons, les moindres différences dans les mesures des reliefs rendaient les piles instables et pouvaient même entraîner leur effondrement. En plus de constituer un problème important, les conséquences pouvaient être graves s'il avait lieu à l'intérieur du four. Les mesures du relief de dos déterminaient également la section de passage de l'air entre les carreaux, permettant à la fois l'entrée de l'oxygène nécessaire à l'achèvement des réactions d'oxydation, ainsi que le dégazage correct de la pâte. Cependant, au niveau des points de contact entre le bouton ou la face de dos et la face lisse du carreau, des défauts de « marquage » pouvaient apparaître, probablement dus à une cuisson incomplète de la pâte à cet endroit. Cela a entraîné un changement dans la manière d'empiler, désormais face contre face, ce qui n'empêchait pas la régularité de l'épaisseur du relief, à l'intérieur d'un même poinçon et entre poinçons d'un même moule, de continuer à jouer un rôle décisif pour un bon empilage des carreaux.



Ce code QR contient un lien vers des images de reliefs de dos sur des moules pour presses à friction semi-automatiques et automatiques. Lien 1.6

Il existait trois procédés pour graver les reliefs de dos sur le poinçon supérieur des moules en fonte : la rectification, le fraisage à l'aide d'une fraise dentée et le fraisage à l'aide d'une fraise à axe vertical, qui permettait d'obtenir les reliefs du bouton et de l'empreinte.

La matrice des moules en fonte était fabriquée à partir de plaques d'acier laminé sur lesquelles le fournisseur avait réalisé par oxycoupage des alvéoles légèrement plus petites que la dimension nominale, c'est-à-dire avec une surépaisseur, afin de procéder, dans l'atelier de fabrication du moule, à l'usinage pour l'enlèvement de copeaux à l'intérieur et à l'extérieur, au perçage des trous de fixation et à l'usinage ultérieur pour arriver aux dimensions nominales.

Dans les premiers moules, afin de simplifier la construction, la matrice était réalisée dans une seule alvéole et les différentes sorties étaient obtenues en les séparant ultérieurement au moyen de cloisons sur lesquelles les barrettes étaient vissées. Cela entraînait des problèmes majeurs d'ajustement des barrettes. C'est pourquoi on préférait fabriquer les matrices avec plusieurs alvéoles réalisées par oxycoupage.

La conception des **barrettes** de moules pénétrants en fonte est restée exactement la même jusqu'à leur remplacement partiel par des barrettes interchangeables, mais pas leur processus de fabrication, qui a suivi les procédures générales de travail des ateliers de fabrication de moules dans les années 1970. Les barrettes étaient fabriquées à partir de barres d'acier laminé coupées aux dimensions requises à l'aide d'une scie. Les coupes étaient usinées par brossage et fraisage par enlèvement de copeaux au cours du processus de dégrossissage suivant, puis on réalisait le perçage des trous de fixation et la trempe. Après la trempe, effectuée dans des ateliers spécialisés, les barrettes étaient renvoyées à l'atelier pour être rectifiées aux dimensions nominales. On leur donnait alors les rayons et la conicité requis, puis on passait en revue les filets, indispensables après la trempe, et on les ajustait minutieusement dans les alvéoles de la matrice.

Ces moules étaient déjà équipés de 2 **résistances** par sortie pour les chauffer et les poinçons étaient vissés à la plaque porte-poinçons. Un souffleur en continu pouvait également être installé pour éviter l'accumulation d'argile dans les parties internes du moule.

D'autre part, chaque moule avait sa propre **plaque supérieure** qui était vissée à la traverse mobile. Cela complexifiait le processus de fabrication des moules, les opérations de remplacement des éléments et le processus de changement des moules.

1.3. LE DÉVELOPPEMENT DU MOULE AVEC LES PRESSES HYDRAULIQUES

Les presses hydrauliques (lien 1.7) sont des machines qui effectuent l'action de pressage en transformant la pression hydraulique en force de déformation. La pression nécessaire est fournie par un petit groupe hydraulique constitué principalement d'un moteur, d'une pompe, de filtres, d'un refroidisseur et d'éléments de réglage et de contrôle, et la force nécessaire au pressage est obtenue au moyen d'un piston à double effet.



Ce code QR contient un lien vers des images de presses hydrauliques et de leur évolution au fil du temps. Lien 1.7

Ces presses ont complètement remplacé les presses à friction lors de la deuxième reconversion industrielle, qui a commencé à la fin des années 70 et a impliqué, du point de vue technologique, la prédominance des processus de production de carreaux, que ce soit en pâte rouge ou, plus tard, en pâte blanche, par monocuisson dans des fours monocouche et avec préparation de la pâte par voie humide et séchage de la suspension obtenue par atomisation. Outre ces progrès technologiques importants, il convient de souligner la reprise du sous-secteur de la « troisième cuisson » et le développement d'une importante industrie auxiliaire comprenant les fabricants de pâtes atomisées, de frites, d'émaux, de pigments et de machines. En 1980, l'arrivée du gaz naturel dans la Communauté valencienne, par le biais du gazoduc Tarragone-Valence, a donné un nouvel élan à cette importante transformation technologique^[59], au sein d'un secteur principalement concentré dans la région délimitée par Castelló, Vila-real, Onda et L'Alcora.

Ce profond changement technologique a impliqué une augmentation considérable de la capacité de production et de la productivité des entreprises. Selon A. Brusa et A. Bresciani^[28], la productivité, exprimée en m²/opérateur, a augmenté de 53 % en moyenne par rapport à une usine standard avant la reconversion.

Dans les grands formats, l'homogénéité de la charge est plus difficile que dans les petits formats. En outre, les produits à faible porosité après cuisson qui commençaient à être fabriqués, comme les carreaux de sol en grès, ont une absorption d'eau inférieure à 5 % et un retrait linéaire après cuisson relativement élevé, avec des valeurs comprises entre 5 et 7 %, de sorte que les problèmes dimensionnels découlant de leur fabrication s'aggravaient. Ainsi, le façonnage de nouveaux produits, compte tenu des exigences de qualité croissantes du marché, s'avérait irréalisable avec les presses automatiques à friction, qui ont été progressivement remplacées par des presses hydrauliques fabriquées en Italie⁷.

La production de produits de plus en plus diversifiés et de formats très variés, tels que les revêtements muraux en céramique monoporeuse, les carreaux de sol en grès à pâte blanche et rouge et, à partir de 1988, le grès cérame, qu'il soit non émaillé, communément appelé « technique », ou émaillé, a également entraîné une plus grande flexibilité dans la planification de la production, avec des changements fréquents de modèles et la fabrication de lots de plus en plus courts. Parallèlement, les exigences de qualité du marché se traduisaient, et se traduisent encore, par des facteurs importants parmi lesquels le maintien de la constance dimensionnelle des carreaux, ce qui exigeait la régularité du processus de façonnage, en particulier en ce qui concerne le chargement et la répartition des pressions sur la surface à presser.

La plupart des premières presses hydrauliques installées pour la fabrication de carreaux de céramique développaient généralement des forces de pression assez modérées. Certaines d'entre elles étaient le fruit de modifications apportées à d'anciennes presses à friction où l'ensemble du système de pressage mécanique était remplacé par un système de piston-traverse mobile et circuit de pression, parfois dépourvu de multiplicateur, tout en conservant la structure et l'essentiel des systèmes d'alimentation et de chargement⁸.

⁷ S'il est bien connu que les premières presses hydrauliques installées dans le secteur au début des années 1970 étaient de fabrication italienne (SACMI a fabriqué sa première presse hydraulique, la PH 330, en 1967^[81], il ne faut pas oublier qu'entre 1965 et 1966, il y a eu une expérience pionnière dans la fabrication de presses hydrauliques pour carreaux dans l'atelier de Vicente Varella March, à Onda. Il était le petit-fils de Vicente Varella Bastán et le fils de Vicente Varella Ibáñez, qui fabriquaient déjà des presses à broche depuis les années 1920. Cette entreprise, en collaboration avec une imprimerie valencienne, a produit quelques unités de la presse MANCI, connue dans le secteur sous le nom de « Marilín », probablement en référence à la petite chienne de Herta Franckel popularisée par la télévision espagnole alors naissante. Il semble que certaines « Marilín » aient été installées dans des entreprises d'Onda, parmi lesquelles l'usine de Fernando Moliner Navarro « El Clot », Cerámica Ondense, Azulesma et El Barco. Le principal problème de ces presses était leur faible production. Leurs cycles de pressage étaient très longs, ce qui les rendait peu compétitives, et c'est ce qui explique la brièveté de leur présence dans le secteur.

⁸ Parmi les premières presses hydrauliques installées en Espagne figuraient les MH 300, adaptées par l'entreprise Consorcio Valenciano de Ingenieros à partir de presses à friction, en mesure de développer une force de pressage de 300 tonnes. Les premières presses de fabrication italienne introduites dans le secteur développaient des forces comprises entre 600 et 800 tonnes, même s'il y avait des presses d'un tonnage inférieur, notamment la PH 330-B de SACMI, avec une force de pressage maximale de 330 tonnes et une portée de 900 mm entre les colonnes. SITI, qui n'avait pas fabriqué de presses à friction jusqu'alors, puisqu'elle était spécialisée dans la fabrication de fours, est entrée sur le marché des presses au milieu des années 1970 avec la TAURUS et la SUPERTAURUS, dont les premières unités ont été installées dans les entreprises Alcalagres de Madrid, Gres de Valls et Gres de Nules. Ces presses développaient une force de pressage de 800 et 1000 tonnes, assez élevée pour l'époque, et pouvaient atteindre jusqu'à 12 cycles par minute. Ces modèles SITI pouvaient atteindre des rendements élevés parce qu'ils incorporent, compte tenu de leur tonnage élevé, des moules avec deux rangées de sorties.

La modernisation de la technologie utilisée dans le système de production s'est vue accompagnée d'une diversification notable de la gamme de produits fabriqués, avec une augmentation significative de la production de carreaux de sol dans des formats de plus en plus grands. Ainsi, alors qu'en 1980, la production espagnole de carreaux de céramique ne représentait que 10,4 % de la production totale de carreaux, à peine quatre ans plus tard, ce chiffre atteignait 48,7 %, et la production totale passait de 105 à 145 millions de m²^[34], parallèlement à l'augmentation des exigences des marchés concernant la qualité du produit fini.

La deuxième reconversion industrielle a entraîné un changement radical dans le processus de production des carreaux de céramique, qui n'a toutefois guère touché le **moule**. Les presses à friction ont été remplacées par des presses hydrauliques qui ont toutefois gardé le même type de moule, bien que l'orientation du marché vers les grands formats ait débouché sur la fabrication de presses ayant une distance libre entre colonnes de plus en plus grande, capables de développer des forces de pression plus importantes. On a par conséquent augmenté le nombre de sorties des moules et le format des alvéoles.

À cette époque, le moule connaît un certain nombre de **transformations importantes**, qui se sont poursuivies et développées dans les années 1990. Les principales ont été tout d'abord le remplacement, en 1980, de la fixation à vis des poinçons inférieurs par la fixation magnétique, complétée en 1985 par la fixation magnétique des poinçons supérieurs, puis en 1999 par l'introduction des plaques électro-permanentes. Ensuite, l'introduction des poinçons en caoutchouc. Le système a été peaufiné dans les années 1990 avec l'introduction et le développement des poinçons supérieurs⁹ isostatiques^{[75] [76]}.

Le deuxième grand changement dans l'évolution du moule a eu lieu alors que la deuxième reconversion industrielle du secteur était déjà pleinement consolidée, à la fin des années 1980, avec l'introduction **de nouveaux systèmes de chargement et d'extraction** (lien 1.8) par les fabricants de presse. Les pistons hydrauliques d'extraction et les chandelles y ont été remplacés par de nouveaux systèmes où le mécanisme d'éjection et le moule font partie d'un même équipement. Ces changements étaient dus à la nécessité d'atteindre une grande homogénéité dans la charge du moule, découlant du retrait important après la cuisson de certains produits, notamment le grès cérame, tout particulièrement dans les grands formats. Les systèmes SMU de la marque SACMI et SYNCRO de SITI B&T ont ainsi été introduits sur le marché, et plutôt bien accueillis par le secteur. Par la suite, SACMI a perfectionné son équipement d'extraction en développant le système SPE et SITI B&T a apporté des améliorations majeures sur le sien avec le système E-SYNCHRO. Le moule a alors subi quelques modifications et a été intégré à ces équipements comme élément à part entière. Actuellement, ces systèmes coexistent avec les systèmes traditionnels d'extraction à piston et à chandelles.



Ce code QR contient un lien vers des images de systèmes d'extraction sur des presses hydrauliques. Lien 1.8

⁹ Logiquement, dans les moules à miroir et double miroir, les poinçons isostatiques sont les poinçons inférieurs.

L'introduction du grès cérame à la fin des années 1980¹⁰ a constitué le véritable catalyseur du développement de la technologie de pressage, ce qui a entraîné de nouveaux développements concernant le moule.

Les carreaux en grès cérame ont une compacité élevée, sont pratiquement exempts de porosité ouverte et ont une très faible porosité fermée¹¹. Ils peuvent être émaillés ou non et sont fabriqués à partir de pâtes blanches¹² ou sont colorés par l'ajout de pigments dans la masse. Dans leur composition, il y a principalement des argiles kaoliniques, du quartz, des feldspaths et du talc. Les principales caractéristiques techniques exigées au produit sont la blancheur, un développement élevé de la couleur, de hautes performances mécaniques et une grande résistance au gel et aux taches. Ces propriétés dépendent principalement des phases vitreuses et cristallines formées après la cuisson et de la microstructure du carreau cuit, en particulier une faible porosité fermée et une porosité ouverte inexistante, ou presque.

Les premiers produits en grès cérame commercialisés étaient des carreaux au format moyen, qui ont rapidement évolué vers les grands formats, non émaillés, colorés et souvent polis. La variété limitée des modèles proposés au début des années 1990, principalement unicolores et granits ou « poivre et sel »¹³, polis ou non polis, a été enrichie par des décorations avec des couleurs solubles et des décorations sous presse, grâce à la combinaison de différents systèmes de chargement de la poudre. Enfin, l'introduction du grès cérame émaillé dans les années 1990 a permis de dépasser définitivement le répertoire décoratif limité du grès cérame jusqu'alors, en élargissant considérablement la gamme des modèles proposés.

Parallèlement, de nouveaux systèmes de décoration sous presse ont été mis au point puis développés, gagnant ainsi en complexité et en richesse décorative. Bien entendu, ces nouveaux systèmes ont rendu indispensable une modification du chariot. Alors que sa fonction était l'approvisionnement en poudre, il est devenu un équipement assumant des fonctions de chargement et de décoration de plus en plus complexes. La fabrication de carreaux de grès cérame, avec divers charges et décorations sous presse, rendait nécessaire le façonnage de la face lisse des carreaux par le poinçon supérieur. Autrement dit, les carreaux devaient être pressés avec la « face noble » tournée vers le haut, contrairement à la façon dont ils l'étaient dans le moule pénétrant. Cela a permis dans un premier temps de récupérer les moules à miroir, qui étaient devenus obsolètes. Avec les moules de ce type, il n'est toutefois pas possible de fabriquer des carreaux avec des séparateurs. C'est pourquoi un moule beaucoup plus complexe sur le plan technologique et fonctionnel a finalement été mis au point : le moule à façonnage supérieur ou moule double¹⁴⁷, qui consiste essentiellement en une combinaison d'un moule pénétrant et d'un moule à miroir, équipé de deux matrices, l'une fixe et l'autre mobile, qui permettent le façonnage dans la partie

¹⁰ Le grès cérame tel que nous le connaissons aujourd'hui a commencé à être fabriqué dans certaines entreprises du pôle de la céramique de Sassuolo, en Italie, à la fin des années 1970. En Espagne, Pamesa a présenté le premier grès cérame espagnol à l'occasion du CERSAIE 1988, sous le nom commercial de « Compacto », et en a commencé la production la même année. L'entreprise Porcelanatto lui a emboîté le pas en 1989. L'année suivante, à l'occasion du Cevisama 1990, seules ces entreprises, parmi les espagnoles, proposaient du grès cérame. Dans les années 1990, la production de grès cérame non émaillé a progressivement augmenté et, à partir du milieu de la décennie, c'est le grès cérame émaillé qui commence à être produit, offrant ainsi de nombreuses possibilités décoratives supplémentaires.

¹¹ Selon la norme ISO pour la classification des carreaux de céramique, l'absorption d'eau de ces produits doit être inférieure à 0,5 %.

¹² Certaines entreprises fabriquent des carreaux à faible porosité à partir d'argiles à forte teneur en minéraux ferreux. Sans préjudice de leur qualité, qui ne doit pas être forcément inférieure à celle des produits obtenus à partir de pâtes sans fer, il semble logique, d'un point de vue exclusivement technique, de préserver le sens originel de grès cérame, c'est-à-dire qui a la « qualité de la porcelaine », pour les produits obtenus à partir de pâtes blanches, qu'elles soient colorées ou non.

¹³ La fabrication des anciens granits et des « poivre et sel » peut être considérée comme la première décoration sous presse dans le secteur après la reconversion industrielle. Il faut cependant préciser que la décoration dans l'opération de façonnage était déjà connue auparavant ; rappelons à cet égard les types de carreaux de ciment.

supérieure du moule, chargée également de l'extraction des carreaux (voir le chapitre 5).

Les grands formats ont évolué vers la production actuelle de carreaux en grès cérame d'une épaisseur allant de 3 à 30 mm^{[26] [27] [52]} et de grandes longueurs.

Certains des formats de carreaux actuellement fabriqués sont de 60x120 cm (figure 1.2), 90x90 cm ou 120x120 cm en pressage traditionnel avec moule et jusqu'à 360x160 cm en compactage de lits de poudre déposés sur une bande^[52]. Cela a été rendu possible par le développement extraordinaire des presses, des moules et des nouvelles technologies telles que le double compactage, le pressage de poudre déposée sur une bande ou le compactage par laminage continu. Il faut bien sûr ajouter à cela un contrôle strict de l'ensemble des paramètres affectant le processus de fabrication.

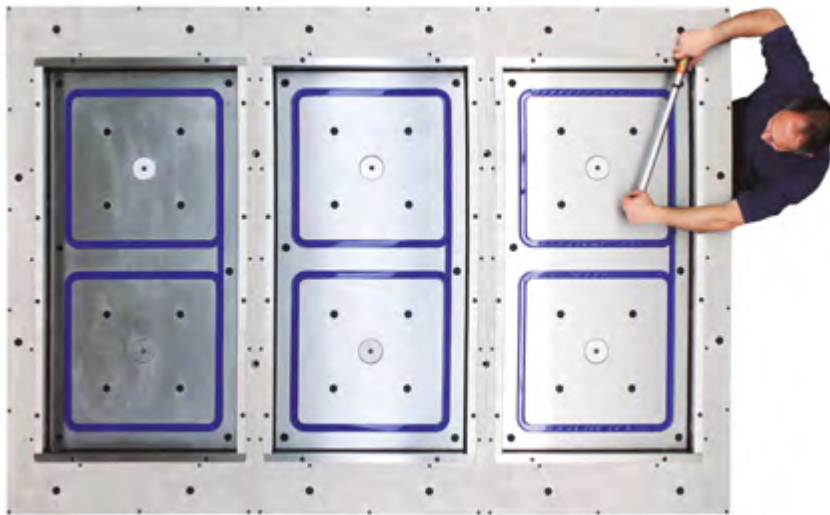


Figure 1.2. Moule à trois sorties 60x120 cm

D'autre part, le processus de fabrication des moules a également évolué de façon considérable, notamment avec le recours aux traitements mécaniques gérés par commande numérique (CNC), avec de nouveaux traitements de surface des matériaux, avec la diffusion de programmes de mesure et de numérisation des surfaces et avec l'utilisation de matériaux nouveaux ou améliorés (voir chapitre 4).

Enfin, le marché des carreaux de céramique a évolué ces dernières années vers des formats de plus en plus grands et, pour certains produits, vers la réduction des épaisseurs, ce qui a rendu nécessaire une nouvelle conception de l'opération de pressage. Cela a débouché sur des progrès technologiques importants dans le façonnage des grands carreaux et des plaques de céramique. Le premier pas dans cette direction a été l'apparition sur le marché de presses de plus en plus grandes, qui alliaient une force de pressage élevée avec une grande portée libre, comme les presses de grand tonnage EVO et STAR de SITI B&T et les IMOLA de SACMI, qui atteignent actuellement des forces de pressage allant jusqu'à 16 000 tonnes. Cela a entraîné une augmentation considérable de la complexité des moules utilisés et, par conséquent, de leur processus de fabrication. Par ailleurs, au début des années 2000, des progrès ont été réalisés dans la nouvelle conception de l'opération de façonnage grâce à l'apparition de la technologie LAMINA de SYSTEM et du double pressage avec pré-compactage par laminage de SACMI, qui a ensuite évolué vers la technologie de compactage par laminage CONTINUA+. Parallèlement, les systèmes de presse à lits de poudre déposés sur bande LAMGEA de SYSTEM et SUPERA de SITI B&T ont été mis au point. Toutes ces technologies intègrent des stations de décoration directement dans la ligne et des équipements de coupe en cru, aussi bien transversale que longitudinale, qui permettent d'obtenir une large gamme de sous-formats à partir des plaques d'origine.

Planification et conception des moules

Chapitre 2



Parmi les projets de nouveaux produits céramiques en cours de développement dans le sous-secteur de la fabrication des carreaux de céramique, nombreux sont ceux qui impliquent le moule dans leur conception, que ce soit du point de vue de leurs caractéristiques dimensionnelles, esthétiques ou techniques.

Le processus de création d'un nouveau produit commence généralement par la proposition de nouvelles solutions techniques et esthétiques pour la fabrication de carreaux de céramique. Ce processus comprend l'analyse et l'interprétation des informations sur les besoins et les attentes du marché, la consultation de sources d'informations diverses (sectorielles, salons, revues spécialisées, etc.), la conception du nouveau produit, l'identification de ses contraintes techniques, esthétiques, formelles et économiques et la préparation des esquisses et des données nécessaires à la réalisation du projet.



Figure 2.1. Prototype

Ces étapes aboutissent à la mise au point du prototype, qui doit être contrôlé et accepté par la direction et par les services de conception et commerciaux, mais également par les services techniques des entreprises de fabrication de carreaux et des fabricants de moules, qui doivent apporter les rectifications nécessaires pour garantir la fabrication du produit en respectant les conditions de qualité requises. Il faut par conséquent assurer une communication fluide entre les services techniques des deux entreprises. La figure 2.2 présente un schéma du flux d'informations nécessaires au processus de conception du moule^[29].

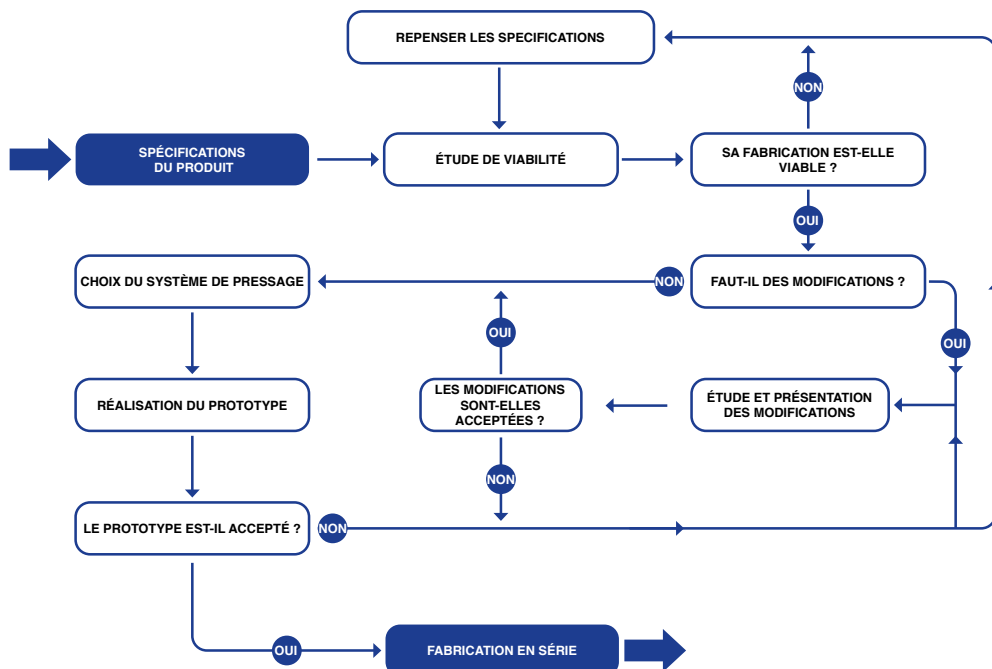


Figure 2.2. Diagramme du flux d'informations entre les services techniques et les entreprises pour un nouveau projet de fabrication

2.1. SPÉCIFICATIONS DES PRODUITS ET ÉTUDE DE FAISABILITÉ

Le processus de conception du moule doit tenir compte aussi bien des caractéristiques du produit que de celles de l'opération de pressage. Les caractéristiques du produit sont le type de pâte (et donc son comportement dans le processus de fabrication), les propriétés du produit fini, le format, le profil, le relief, les décorations à réaliser lors de l'opération de pressage et les caractéristiques dimensionnelles de la pièce. Il faut également prendre en compte le type de presse à utiliser, la portée libre pour l'installation du moule, la distance entre la plaque-base et la traverse mobile, la possibilité de décorer le produit dans les alvéoles de la presse, le type de chariot et ses caractéristiques dimensionnelles, ainsi que les systèmes de transport des carreaux à utiliser dans le processus de fabrication (courroies, culbuteur, rouleaux, etc.).

D'autre part, il peut y avoir des exigences découlant de contraintes spécifiques à la production du fabricant de carreaux lui-même, notamment la nécessité de fabriquer des moules d'un même produit pour deux types de presses différents, avec des portées libres ou des forces de pressage différentes.

L'étude de faisabilité comprend à la fois les contraintes économiques et techniques du nouveau produit. En résumé, il s'agit de répondre aux questions suivantes : est-il possible de façonner, de décorer, d'extraire les carreaux de l'alvéole, de les transporter et de les stocker sans pertes inacceptables des caractéristiques de qualité requises, dans des conditions économiques qui rendent l'opération viable. Le moule permet-il un pressage en mesure d'obtenir une microstructure uniforme qui confère aux carreaux les propriétés souhaitées pendant le processus de fabrication et après la cuisson.

2.1.1. Épaisseur et reliefs

Il est important que l'épaisseur moyenne du carreau ne présente pas une grande variabilité. Autrement dit, il convient d'éviter les changements importants d'épaisseur causés par une conception agressive de la face de dos ou, plus fréquemment, par une conception du relief non compensée qui entraîne des variations brusques de la compacité. Sur la base de considérations purement pratiques, certains techniciens conseillent que les carreaux à relief aient au moins 20 % de la surface avec la même hauteur, répartie sur les zones plates^[29]. Ces zones de même hauteur doivent être celles de la partie la plus haute (la moins profonde).

La tendance est également à la fabrication de carreaux et de dalles plus fines, ce qui présente des avantages importants^[37], tels que la réduction des coûts des matières premières, de l'énergie, du stockage et du transport.

Lorsqu'il est question de « relief » dans la conception des carreaux de céramique, il faut mettre l'accent sur la face visible, pour laquelle des caractéristiques de qualité esthétique et technique sont requises, mais sans oublier que la conception de la face arrière du carreau est également très importante, car elle doit servir à compenser les différences d'épaisseur dues au relief réalisé sur la face noble et, entre autres, à minimiser les différences de compacité qui peuvent en résulter.



Figure 2.3. Sections de carreaux de différentes épaisseurs

Ainsi, le relief des carreaux doit être soigneusement conçu pour éviter que des différences de niveau très prononcées n'affectent le démoulage. D'autre part, les reliefs très abrupts peuvent être à l'origine de concentrations de contraintes au niveau des angles formés par les jonctions des plans du relief, provoquant ainsi des fissures, en particulier dans les carreaux façonnés avec des pâtes à forte expansion après le pressage.

Pour éviter cela et compenser les différences de compacité que le relief peut produire, il est désormais courant de concevoir certains produits avec un relief de dos compensé. On reproduit ainsi le relief à l'arrière des carreaux, en maintenant leur épaisseur à peu près constante (figure 2.4), tout en proposant une conception de la face de dos qui garantit une base d'appui stable et des points d'appui suffisants pour faciliter leur déplacement au moyen des bandes transporteuses au cours du processus de fabrication. En outre, le relief de dos doit également permettre le transport par rouleaux (paniers, box et four) sans balancements ni chocs, ce qui doit être pris en compte dans sa conception.



Figure 2.4. Reliefs très profonds avec une face de dos compensées

D'autre part, grâce aux progrès technologiques importants dans la fabrication des carreaux de céramique depuis les années 2000, notamment la généralisation de la décoration numérique à jet d'encre, où il n'y a pas de contact physique avec les carreaux lors de l'opération de décoration, ou la décoration des carreaux au cours de l'opération de pressage elle-même, qui peut être réalisée soit directement dans le chariot de la presse, soit dans des stations de décoration situées avant ou après l'équipement de façonnage, il y a une plus grande liberté dans la conception des reliefs (figures 2.4, 2.5 et 2.6.).

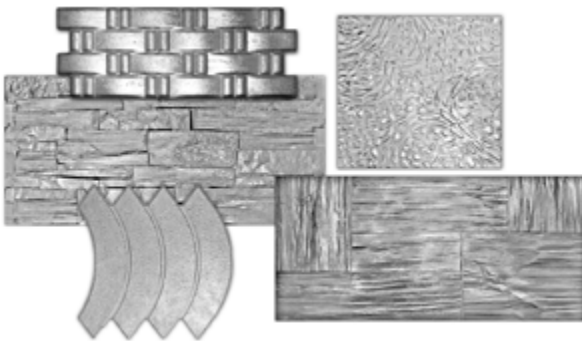


Figure 2.5. Modèles à relief prononcé

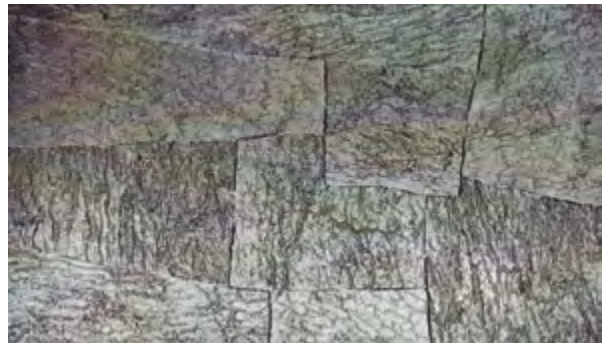


Figure 2.6. Modèles en relief

La section 2.2 décrit le processus suivi dans la conception des reliefs pour les poinçons des moules, des besoins du client ou de l'idée d'origine à la construction des empreintes nécessaires à la fabrication des poinçons (voir chapitre 4).

2.1.2. Format

Le processus de conception peut souvent commencer à partir d'un format prédéfini. Le choix du format repose généralement sur des critères commerciaux, bien que dans certains cas il soit défini pendant la phase de conception du moule à proprement parler.



Figure 2.7. Format avec points d'accumulation de contraintes

La plupart des formats de carreaux de céramique sont carrés ou rectangulaires et peu épais. Ces formes géométriques simples ne posent pas de problèmes d'accumulation de contraintes en des points singuliers susceptibles de provoquer des fissures au cours du processus de fabrication. Cependant, dans certains formats comme celui de la figure 2.7, ou les formats dits « fiche à fiche » (figure 2.8), qui présentent des angles sur leur périmètre, ceux-ci peuvent agir comme des points de concentration de contraintes. Si la définition du format appartient au processus de conception, le problème peut être minimisé en arrondissant légèrement les angles.



Figure 2.8. Empreinte pour pièce en profil « fiche à fiche »

2.1.3. Le profil latéral : les biseaux et le séparateur

De nombreux carreaux sont conçus avec un profil latéral (figure 2.9) constitué du séparateur, du biseau inférieur (figure 2.10) et du biseau de la face noble ou biseau supérieur. Ces trois éléments sont de nature technique. Autrement dit, il existe des contraintes techniques liées au processus de fabrication qui rendent cette conception recommandable.

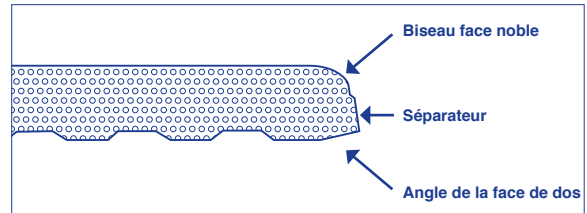


Figure 2.9. Profil latéral d'un carreau

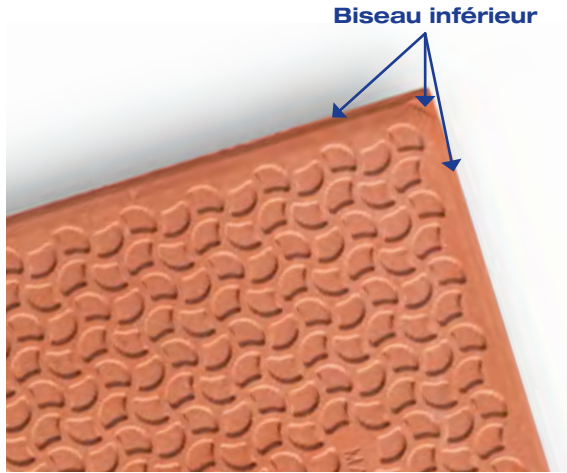


Figure 2.10. Biseau inférieur d'un carreau non rectifié

Le **séparateur** a pour objectif d'empêcher le contact entre les bords émaillés des carreaux bruts en cas de choc occasionnel entre eux au cours du processus de fabrication. Ce séparateur est nécessaire et conditionne l'extraction des carreaux, ce qui oblige à placer leur face noble dans le poinçon inférieur des moules pénétrants, ou à les façonner dans la matrice supérieure des moules doubles. Son rôle technique n'est pas aussi important après la cuisson, de sorte que certains types de carreaux sont rectifiés et le séparateur est supprimé, ce qui permet d'améliorer considérablement l'aspect esthétique du produit une fois posé. Comme nous le verrons au chapitre 3, les barrettes sont les éléments du moule qui façonnent le séparateur.

Les **biseaux supérieur et inférieur** sont destinés à renforcer la résistance mécanique des bords du carreau, afin d'éviter les coins cassés dus aux chocs lors du processus de fabrication. Le biseau inférieur protège le carreau des petits chocs lors des changements de courroie sur les lignes de convoyage ou lorsqu'il accède au convoyeur à rouleaux ou aux plateaux des « boxes ».

Le biseau supérieur ou biseau de la face émaillée peut être à l'origine de problèmes majeurs lors du processus d'émaillage. Si le carreau est conçu sans biseau supérieur, l'émail peut former un rebord au cours de son application à la cloche ou filière à pression. Ce problème peut être minimisé en agissant sur la formulation de l'émail, en réduisant, dans la mesure du possible, la tension superficielle de la suspension. Une autre solution concerne la conception du biseau, car le rebord est plus petit si l'on adoucit le profil du biseau.

2.2. CONCEPTION DES RELIEFS

Il convient de noter que lorsqu'en matière de conception des moules, on fait référence à des reliefs, il s'agit à la fois du « relief de presse » qui se trouve sur la face noble du carreau et du « relief de dos », communément appelé « face de dos ». Selon le type de moule, ces reliefs peuvent être sur le poinçon supérieur ou inférieur et leur processus de fabrication est exactement le même.

Les reliefs sur la face noble du carreau et les reliefs de dos font partie de la conception du produit et conditionnent la fabrication des poinçons supérieurs et inférieurs. Avant d'obtenir les poinçons avec le négatif du relief voulu, il y a un long chemin qui va de l'idée de départ ou des spécifications du fabricant de carreaux à la fabrication des poinçons, que nous aborderons au chapitre 4.

2.2.1. Le relief de dos

Le **relief de dos** est un nom général pour le relief situé sur la face inférieure des carreaux. Ce relief est généralement appelé « **face de dos** », bien que dans ce texte, nous avons préféré cette désignation générique, car nous considérons la « face de dos » comme un type spécifique de relief de dos^[48].



Figure 2.11. Conception de l'exposition

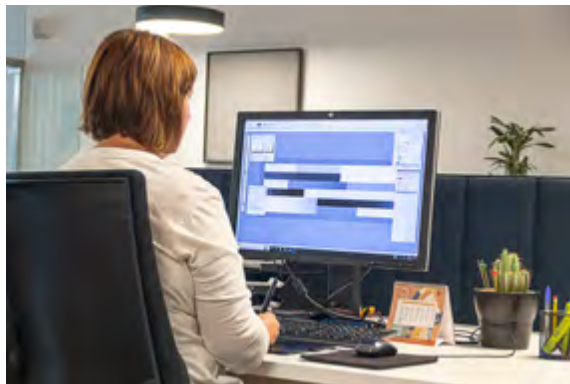


Figure 2.12. Service de conception

L'objectif de ce relief était au départ de créer une surface suffisante pour faciliter l'adhérence du mortier de ciment appliqué en couche épaisse. L'utilisation de pâtes adhésives, de colles à base de ciment et de résines pour la pose en couche mince s'étant généralisée, aussi bien pour les revêtements de sols que de murs, la fonction de surface d'adhérence du relief de dos a perdu progressivement son importance. Cependant, sa conception est toujours d'une grande importance car elle a une influence directe sur la distribution de la compacité dans le carreau. En effet, une mauvaise conception peut créer une compacité hétérogène qui entraîne des défauts tels que des taches visibles sur la face noble, des trous, etc. (voir chapitre 7). D'autre part, la conception du relief de dos peut compenser les variations d'épaisseur, et donc de compacité, dues aux reliefs de face nobles très prononcés, comme nous l'avons vu plus haut. Certains types de reliefs de dos, en particulier ceux qui sont très prononcés, peuvent également avoir un impact sur la résistance mécanique du carreau^[35].

La plupart des motifs de reliefs de dos des carreaux actuels se sont généralisés après l'introduction massive du processus de fabrication de carreaux de céramique par monocuisson dans des fours à rouleaux monocouche à la fin des années 1970 et au début des années 1980. Ces reliefs ont remplacé les traditionnels boutons et nervures libres, caractéristiques des presses à friction, car ceux-ci présentaient un relief très prononcé qui était à l'origine d'importantes différences de compactage, de transparences ou de marques de reliefs sur la face noble des carreaux, ce qui provoquait leur balancement à l'intérieur du four monocouche, et donc des frottements et des déformations des pièces. Dans un premier temps, avec le pressage par presses à friction et même après la seconde reconversion industrielle des années 1980, la conception des reliefs de dos était donc déterminée par l'opération de cuisson, et non par le pressage. Toutefois, la popularisation des reliefs de presse très accentués, que ce soit dans le pressage traditionnel ou dans la décoration sous presse, a eu pour conséquence la nécessité de compenser la compacité dans l'ensemble du carreau pour éviter le défaut connu sous le nom de « marquage des nervures », dû à des conceptions inadaptées du relief de dos et à d'autres défauts liés à une distribution hétérogène de la compacité. Dans de nombreux cas, cela a conditionné la conception du relief de dos. Aujourd'hui, d'autres facteurs, souvent esthétiques, viennent conditionner la conception du relief de dos, qui est même devenu un élément de l'image de marque de l'entreprise.

Le choix de la forme du relief du dos, bien qu'il ne soit généralement pas considéré comme faisant

partie du design du carreau, conditionne les aspects techniques du processus^[36]. Sa conception est également devenue un domaine potentiel d'optimisation. Dans ce sens, des reliefs de dos allégés ont été testés afin de permettre une réduction substantielle de la masse du carreau, ce qui entraîne des économies de matières premières et d'énergie^[36] et une réduction des coûts de transport, même si, comme indiqué, la conception doit envisager et minimiser les variations de compacité qu'elle peut entraîner.

Les reliefs de dos de carreaux de sol les plus utilisés dans les premières années de la reconversion industrielle étaient ceux à **surface nervurée** (figure 2.13). L'unité structurale de ce relief est constituée de petites nervures allongées de 1 cm de long, 1 à 2 mm de large et seulement 0,5 à 1 mm de haut, qui forment une texture apparemment homogène car elles sont groupées en lignes et en colonnes.

Le groupe des **reliefs réticulés** englobe de nombreux reliefs de dos des produits fabriqués actuellement. Les reliefs réticulés sont ceux formés par la répétition ordonnée d'un ou plusieurs modules. La répétition des hexagones, qu'ils soient réguliers ou irréguliers, crée la réticule appelée « **nid d'abeille** ». Ce type de relief, généralement d'une hauteur très faible inférieure à 1 mm, a été fréquemment utilisé dans de nombreux carreaux de sol en grès et en grès cérame. Parmi eux, le relief « **réticulé en diagonale** », comme le montre la figure 2.14, cherche un contact uniforme avec les rouleaux du four pendant le processus de cuisson, de sorte que, combiné à un engobe de protection approprié, il minimise leur encrassement. Les carreaux sont également produits avec des reliefs de dos obtenus par la répétition de figures irrégulières, ou « **réticules mixtes** » (figure 2.15).

Afin de compenser la compacité dans l'ensemble du volume du carreau et les différences éventuelles dues aux reliefs sur la face noble, notamment les reliefs très prononcés, les « **reliefs texturés** » se sont également répandus (figure 2.16). Ils offrent un large éventail de possibilités et permettent de combiner des reliefs profonds avec des nervures compensées, comme le montre la figure 2.4. D'autre part, de nombreux fabricants choisissent de concevoir leurs propres reliefs de dos afin d'avoir des textures exclusives, qui font partie de l'image de marque de l'entreprise et qu'ils adaptent à chaque type de produit fabriqué en fonction de l'épaisseur, des reliefs de presse ou de la composition de la pâte (figure 2.17).

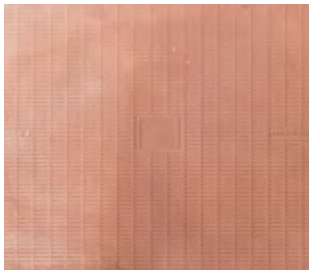


Figure 2.13. Relief du dos en surface nervurée

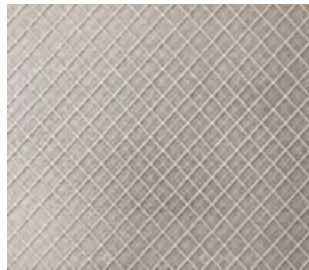


Figure 2.14. Relief de dos réticulé



Figure 2.15. Relief de dos mixte



Figure 2.16. Relief de dos texturé



Figure 2.17. Le relief de dos peut également être propre à une marque

2.2.2. Le relief de presse

Les reliefs de presse ont toujours représenté une valeur ajoutée importante pour les carreaux de céramique. On constate qu'ils sont utilisés depuis pratiquement la généralisation du pressage semi-sec avec des presses à friction. Cependant, la fabrication de moules pour ce type de produits était assez complexe, car les reliefs devaient être gravés en négatif sur les poinçons en acier. Au préalable, il fallait donc fabriquer une empreinte avec le positif. Dans les premiers moules avec relief, les empreintes étaient modelées manuellement en graphite, à partir d'un dessin sur papier. La première étape consistait à dégrossir par fraisage, puis à définir les contours à l'aide d'une gouge. Une fois le relief terminé, les surfaces étaient patiemment poncées à la main. Le graphite est conducteur d'électricité, ce qui permettait de transférer le relief sur le poinçon par érosion à l'arc.

Cependant, le processus d'érosion usait tellement les empreintes en graphite que celles-ci ne permettaient d'obtenir que deux ou trois poinçons. Les empreintes en graphite ont été remplacées par des versions en cuivre, beaucoup plus résistantes et dures, qui permettaient d'obtenir davantage de poinçons. Ces empreintes ne pouvant être modelées à la main, il fallait usiner les reliefs.

Les reliefs de presse se sont aujourd'hui généralisés. Les carreaux de sol et de mur sont fabriqués avec des imitations en relief de matériaux naturels tels que le bois, le ciment, la pierre, le sable, l'ardoise, le granit, etc. Il s'agit de combinaisons de reliefs géométriques qui créent des effets optiques sur les murs, de microreliefs qui non seulement accompagnent le bois ou la pierre naturelle, mais ont également ouvert des possibilités pour la reproduction de tissus, de motifs textiles et de textures matérielles plus abruptes, ou les combinaisons de reliefs qui forment des murs avec des variations volumétriques intéressantes (figures 2.18 et 2.19).



Figure 2.18. Espace avec des carreaux en relief



Figure 2.19. Espaces avec des carreaux en relief

Pour réaliser les moules nécessaires, on fabrique des poinçons lisses et on grave le relief sur le caoutchouc du poinçon pendant le processus de durcissement, à l'aide d'empreinte en aluminium ou en bakélite. Dans le cas de reliefs très prononcés, ce processus est plus complexe. On usine le relief sur la surface du poinçon avant de le recouvrir d'un caoutchouc d'une épaisseur constante.

La conception et la fabrication des empreintes constituent aujourd'hui une opération supplémentaire dans le cadre d'un processus hautement automatisé comprenant la réalisation et la numérisation du prototype et la gravure des empreintes au moyen d'une fraiseuse à commande numérique ou d'un graveur laser.

2.2.2.1. Réalisation du prototype

L'idée de départ d'une nouvelle conception peut venir de l'initiative du fabricant de moules lui-même, par l'intermédiaire de son service de conception. Dans ce cas, le prototype qui en résulte est une option qui vient s'ajouter à celles du catalogue de l'entreprise mis à disposition des clients. Elle peut également partir d'une demande expresse de leur part, c'est-à-dire de clients fabricants de carreaux, formulée avec différents degrés de précision. Cela peut-être des idées simples, des images ou des échantillons réels de textures déjà existantes dans des matériaux naturels ou dans d'autres matériaux synthétiques, etc. Enfin, cette idée initiale de conception peut également être issue d'une collaboration entre les deux parties.

Certains projets peuvent également partir d'idées ou d'images transformées en reliefs et en textures par le moulage manuel d'une première esquisse avec de l'argile, du plâtre ou de la pâte à modeler (figures 2.20 et 2.21), lorsque l'objectif est d'avoir un résultat artisanal avec la marque du travail manuel. L'esquisse est réalisée selon les techniques et procédures de modelage traditionnelles utilisées dans la céramique d'art et peut faire l'objet de petites retouches pour la rendre viable dans un façonnage par pressage semi-sec¹⁴.



Figure 2.20. Réalisation d'esquisses manuelles



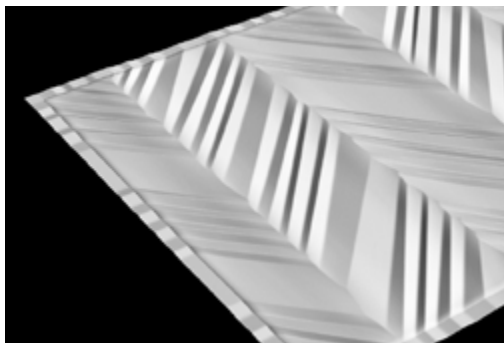
Figure 2.21. Esquisse d'un relief réalisée à la main

Dans tous les cas, le concepteur peut partir d'un objet physique, dont il souhaite reproduire la texture dans un processus industriel, ou d'images et d'idées qu'il souhaite transformer en esquisse physique, avant sa numérisation.

En l'absence d'un objet physique à reproduire, la première étape consiste à réaliser une image 3D (figure 2.22) avec une sortie 16 bits. En effet, comme nous le verrons, le fait de travailler en niveaux de gris permet d'obtenir une meilleure définition, ce qui est particulièrement important lorsque l'on souhaite un relief prononcé.



Figure 2.22. Image 3D d'une esquisse



¹⁴ Il convient d'éviter les reliefs très prononcés (supérieurs à 8,5 mm), les points d'accumulation de contraintes ou les profils de relief fermés, qui sont incompatibles avec le pressage semi-sec.

2.2.2.2. Numérisation du prototype

Une fois l'esquisse réalisée et approuvée, l'élaboration du prototype nécessite son traitement numérique. La numérisation du prototype consiste à obtenir une carte des coordonnées correspondant à chaque pixel, appelée « nuage de points ». On peut obtenir cette carte à l'aide d'un palpeur numérique ou d'un numériseur laser (figure 2.23). Ce nuage de points est converti en un relief en « niveaux de gris » de 16 bits (figure 2.24)¹⁵ à l'aide d'un logiciel informatique.



Figure 2.23. Numériseur laser

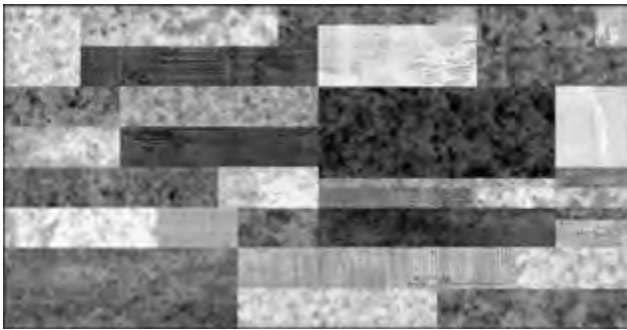


Figure 2.24. Représentation du relief d'un carreau en niveaux de gris

Le numériseur laser est équipé d'une tête de lecture qui reproduit le relief lu en niveaux de gris. Une échelle de gris de 16 bits contient des milliers de nuances de gris, ce qui permet de caractériser le relief à la perfection. En effet, chaque nuance de gris, mesurée quantitativement et caractérisée par des coordonnées de couleur, est associée à un niveau. Le niveau 0, ou hauteur maximale, est le blanc. Les zones les plus claires indiquent les plus hautes élévations du relief, et les zones les plus sombres les plus profondes. Ce fichier permet de définir un programme d'usinage compréhensible par la fraiseuse, afin de réaliser un prototype en plâtre, qui sera utilisé pour une première révision du prototype (figure 2.25 et lien 2.1). Ce programme était, il y a encore quelques années, introduit dans le service de conception à partir des données générées par le lecteur. Aujourd'hui en revanche, les machines à

¹⁵ Auparavant, le travail était réalisé en 8 bits. La différence entre une image 8 bits et une image 16 bits est la quantité d'informations qu'elles peuvent contenir. Avec 8 bits, l'image peut stocker 256 nuances de gris, tandis qu'avec 16 bits, elle peut en stocker 65 536.



Figure 2.25. Fraiseuse à commande numérique pour prototypes en plâtre

graver modernes travaillent à partir du fichier de niveaux de gris lui-même. Il suffit donc de l'introduire dans le programme de la machine avec quelques données, telles que l'outil à utiliser et les références de profondeur, pour transformer les tons de niveaux de gris en hauteurs. Naturellement, cela facilite le travail du service de conception en transférant aux machines le travail de conversion des images en langage qu'elles comprennent, sachant qu'il était auparavant effectué par les concepteurs.

À partir de la carte en niveaux de gris, il est également possible de construire un prototype en caoutchouc, appelé « Teflon », qui peut être monté sur les poinçons d'une presse industrielle pour réaliser une brève série de tests.



Ce code QR contient un lien vers une vidéo où vous pouvez voir le fonctionnement d'une fraiseuse à commande numérique pour prototypes en plâtre. Lien 2.1.

La figure 2.26 montre quelques prototypes de carreaux en relief réalisés en plâtre.



Figure 2.26. Prototypes obtenus en plâtre

2.2.2.3. Réalisation des empreintes

Les empreintes obtenues sont les positifs des poinçons (figure 2.27). En d'autres termes, ce sont les « moules » qui permettront d'obtenir la surface des poinçons et leur relief.

Le négatif du relief qui sera transféré sur le carreau est aussi bien sur le poinçon supérieur que sur le poinçon inférieur. La face de dos, le logo du fabricant et les références pour l'identification du plateau et du moule sont gravés sur le poinçon supérieur des moules pénétrants¹⁶, sur le poinçon inférieur du moule double et généralement sur le poinçon inférieur du moule à miroir pénétrant¹⁷. Sur l'autre poinçon, les reliefs et les textures propres au design du produit, connus sous le nom de « reliefs de presse », ou une texture complètement lisse, selon les préférences.

Après examen du prototype en plâtre, la carte des niveaux de gris peut être retouchée à volonté si nécessaire à l'aide d'un logiciel de traitement d'images, et une empreinte est réalisée avec le positif du relief que l'on souhaite fabriquer usiné sur l'une de ses faces. Pour réaliser cet usinage, l'opérateur programme les instructions de travail (vitesse d'avancement, profondeur de passe, pas, etc.) de la **fraiseuse** droite à tête en carbure de tungstène ou du **graveur laser**.



Figure 2.27. Relief de dos sur l'empreinte en aluminium (à droite) et le poinçon correspondant (à gauche)

Les empreintes nécessaires à la fabrication des poinçons (voir chapitre 4) peuvent être en **fer**, en **aluminium** ou en **bakélite** (figure 2.28). Le tableau 2.1 présente quelques caractéristiques générales de ces types d'empreintes pour poinçons. Comme le montre le tableau, les empreintes en fer sont utilisées exclusivement pour la production de poinçons lisses et biseautés issus de la rectification, destinés à la face noble des carreaux. En règle générale, les poinçons en aluminium sont utilisés lorsqu'il s'agit de réaliser des poinçons avec des reliefs très prononcés (supérieurs à 1,0 mm), même si la fraiseuse est plus lente que le graveur laser et que l'aluminium est un matériau plus cher que la bakélite. Les plaques d'aluminium nécessaires sont fournies sur mesure, bien que l'épaisseur puisse varier en fonction des reliefs à graver. La bakélite est fournie en plaques allant jusqu'à 300x200 cm, qui

¹⁶ Cette affirmation doit être nuancée car, bien que sur la plupart des moules pénétrants, le relief de dos soit gravé sur le poinçon supérieur (pressé avec la face noble vers le bas), il convient de noter que ce n'est pas toujours le cas. Certains fabricants utilisent des moules pénétrants avec cette position inversée (voir la section 5.3.4 du chapitre 5 concernant le moule pénétrant inversé).

¹⁷ Le pressage habituel avec le moule à miroir pénétrant se fait avec la face noble vers le haut, bien que cela puisse être inversé.

peuvent être gravées entièrement dans le graveur laser pour obtenir plusieurs poinçons, et coupées après la gravure. La bakélite et l'aluminium permettent tous deux le durcissement du caoutchouc, car on peut les chauffer facilement, bien que l'aluminium conduise beaucoup mieux la chaleur que la bakélite.



Figure 2.28. Différents types d'empreintes

La bakélite (figure 2.29) est un polymère formé par réaction à chaud et sous pression entre le formaldéhyde et le phénol. Elle est considérée comme le premier plastique synthétique jamais produit¹⁸. Son utilisation s'est rapidement généralisée grâce à ses excellentes propriétés d'isolant électrique, à sa grande résistance à la chaleur sans déformation, à sa stabilité chimique, à sa résistance mécanique et à sa facilité d'usinage. Il s'agit d'un plastique thermodurcissable, c'est-à-dire qu'une fois qu'il a été refroidi au cours du processus de fabrication, il ne peut plus être déformé par la chaleur.

La bakélite est livrée en plaques de 10 mm d'épaisseur qui sont gravées sans traitement préalable sur le graveur laser.



Figure 2.29. Plaques de bakélite pour la préparation des empreintes

¹⁸ Elle a été brevetée par le chimiste d'origine belge Leo Baekeland en 1909.

Type d'empreinte	Poinçons fabriqués	Type de gravure
Empreintes en fer	Lisses	Sans gravure
Empreintes en aluminium	Face noble avec des reliefs prononcés. Relief du dos (nervures) prononcé ou relief de compensation sur la face de dos.	Fraiseuse
Empreintes en bakélite	Face noble avec des reliefs peu prononcés ou face de dos.	Graveur laser

Tableau 2.1. Types d'empreintes pour la préparation des poinçons

a) Gravure à la fraiseuse

La **fraiseuse** utilisée pour la gravure d'empreintes en aluminium (figure 2.30 et lien 2.2) enchaîne les opérations automatiquement, de manière à optimiser les performances du processus. Quant à l'opérateur, il doit s'occuper uniquement de la mise à zéro de l'appareil, c'est-à-dire de la saisie des coordonnées de référence, et de la vérification ultérieure du produit au moyen du contrôle dimensionnel établi. Les déplacements latéraux par passage de la tête se situent entre 1 et 1,5 dixième de millimètre pour atteindre une résolution qui permet de presser les carreaux en respectant les conditions de qualité requises.

La fraiseuse doit être programmée pour réaliser l'empreinte avec une seule tête car son remplacement n'est pas possible une fois l'opération commencée. En effet, en raison de l'échauffement intense de la tête pendant le travail, il est très difficile d'en contrôler la dilatation. Si la tête est remplacée avant la fin du fraisage complet de l'empreinte, il est très difficile de trouver un point de départ sans perdre la continuité de la conception.



Figure 2.30. Usinage du relief avec une fraiseuse sur une empreinte en aluminium



Ce code QR contient un lien vers une vidéo où vous pouvez voir un graveur réaliser un relief sur une empreinte en aluminium. Lien 2.2

L'empreinte en aluminium est fixée à une empreinte en fer lisse, appelée empreinte de mesure, celle-ci étant elle-même fixée par aimantation à la base de la fraiseuse. Pour la vulcanisation ultérieure (voir chapitre 4), l'ensemble sera monté dans la presse et l'empreinte en fer chauffera l'empreinte en aluminium.

b) Gravure au laser

On peut également obtenir l'empreinte (figure 2.31) par **gravure au laser** (voir lien 2.3) sur une empreinte en bakélite, à l'aide de graveurs tels que ceux de la figure 2.32, équipés de buses laser au CO_2 (figure 2.33).



Figure 2.31. Empreinte en bakélite de relief de dos gravée au laser



Ce code QR contient un lien vers une vidéo où vous pouvez voir un graveur laser réaliser un relief sur une empreinte en bakélite. Lien 2.3



Figure 2.32. Équipements de gravure au laser



Figure 2.33. Buse d'un graveur laser (photo avec l'aimable autorisation de CIELLE)

2.3. CONTRAINTES TECHNIQUES ET DE FABRICATION LIÉES À LA CONCEPTION DES MOULES

La conception d'un moule est soumise à un certain nombre de contraintes techniques et de fabrication qui déterminent entre autres les dimensions et les matériaux de tous ses composants.

Bien entendu, le principal élément de conception à prendre en compte est la **presse** sur laquelle il doit être installé et dont il convient d'accorder une attention particulière aux caractéristiques suivantes :

- force de pressage maximale ;
- portée libre ;
- système d'extraction installé ;
- dimensions de la grille du chariot ;
- dimensions de la traverse mobile et de la plaque-base.

On peut classer les presses utilisées dans la fabrication des carreaux de céramique en fonction de **la force maximale** qu'elles sont capables de développer. Ce paramètre important détermine la surface maximale de pressage en fonction du type de produit à fabriquer. Il a par conséquent un impact direct sur le **format** et le **nombre de sorties**. Il existe aujourd'hui une grande variété de presses traditionnelles allant de petits tonnages (moins de 1000 tonnes de force maximale), adaptées aux petits formats et aux pièces spéciales, à des presses capables de développer des forces allant jusqu'à 16 000 tonnes¹⁹, adaptées à la fabrication de grands formats.

La **portée libre** ou « distance entre colonnes »²⁰ d'une presse est la distance utile pour l'installation du moule. C'est en effet la principale grandeur qui conditionne, au même titre que la force que la presse peut développer, le nombre de sorties qu'il sera possible d'installer dans le moule et donc sa productivité. Plus la force maximale que la presse peut développer est élevée, plus la portée libre des presses doit être grande.

Toutes les presses sont équipées d'un **système hydraulique** d'extraction dont le rôle est d'effectuer une première chute de plateaux pour remplir les alvéoles et une seconde pour placer le moule en position de pressage avec la plaque sauve-banc reposant sur la structure de la presse²¹, puis d'extraire les pièces pressées au moyen d'un mouvement de montée des plateaux. L'équipement chargé de

¹⁹ Actuellement, d'autres lignes de façonnage qui se distinguent du pressage traditionnel nécessitant les moules décrits dans ce texte sont développées. C'est le cas de la technologie SUPERA de SITI B&T, qui intègre un équipement de compactage alimenté par une bande d'une largeur allant jusqu'à 160 cm, sur laquelle la poudre est déposée au moyen de doseurs. Le façonnage est effectué par une presse discontinue capable de développer une force allant jusqu'à 48 000 tonnes. Cette presse est équipée d'une unité de moulage qui, dans la pratique, fait office de moule. Elle est dotée d'un système de plaques mobiles de retenue de la poudre, actionnées par des pistons hydrauliques qui la délimitent, rendant ainsi inutile la coupe longitudinale de la plaque. La désaération de la grande quantité de poudre compactée est effectuée à travers une membrane semi-poreuse.

²⁰ Bien que le terme « distance entre colonnes » soit encore parfois utilisé pour indiquer l'espace disponible pour l'installation du moule ou « distance libre », ce concept est désormais obsolète. En effet, de nombreuses presses ont remplacé la structure à colonnes par des structures de type « anneau fermé » qui permettent une meilleure absorption des contraintes survenant pendant le pressage ou qui sont fabriquées avec une structure en plaques.

²¹ Dans les procédés de décoration à double charge, les poinçons inférieurs doivent effectuer trois mouvements descendants ou « chutes » ; le premier pour recevoir la charge de poudre de base, le deuxième pour la charge de décoration (quelques mm à peine) et le troisième pour faire reposer la plaque d'éjection du moule sur la plaque sauve-banc et ainsi réaliser le pressage.

ces mouvements est appelé équipement de façonnage et d'extraction, ou plus communément « **équipement d'extraction** ». L'équipement d'extraction traditionnel est celui à pistons et chandelles, encore présent sur de nombreuses presses en service dans le secteur, bien que chaque fabricant équipe ses presses avec ses propres équipements brevetés. Par exemple, les presses SITI B&T sont équipées de systèmes d'extraction Syncro® et E-Syncro®, tandis que SACMI équipe les siennes de systèmes SPE®. Vous trouverez ici^[49] une description détaillée de ces équipements. À chaque système d'extraction correspondent également différents types de pistons, ceux-ci étant à leur tour situés dans différentes positions et, bien entendu, différents systèmes d'ancrage. Par conséquent, la conception de la plaque sauve-banc et de la plaque d'éjection sera conditionnée par le type de système d'extraction installé dans la presse.

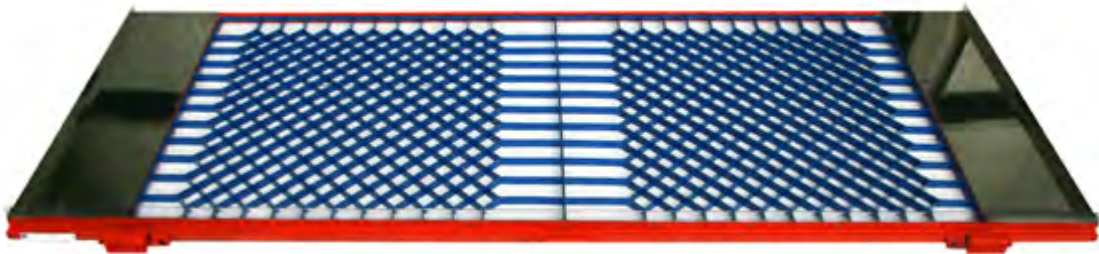


Figure 2.34. Grille flottante alvéolaire fabriquée par MACER

Les presses sont équipées d'un **chariot** dont le rôle est de collecter et de doser la poudre à partir de la trémie d'alimentation de la presse et de remplir les alvéoles du moule rapidement et de façon homogène. Les dimensions de la grille du chariot (figures 2.34 et 2.35) doivent permettre de remplir correctement les alvéoles, de sorte que la largeur utile de chargement du chariot doit être légèrement supérieure à l'espace occupé par les alvéoles et leurs cloisons de séparation. En fonction des produits et des cycles de pressage, il est recommandé que la largeur utile de chargement dépasse 5 à 15 mm de chaque côté de l'espace des alvéoles du moule. Cela détermine également les dimensions de la plaque d'éjection.

La conception du moule est conditionnée par d'autres facteurs comme la taille de la traverse mobile et de la plaque-base, ainsi que la disposition des vis de fixation sur ces deux éléments.

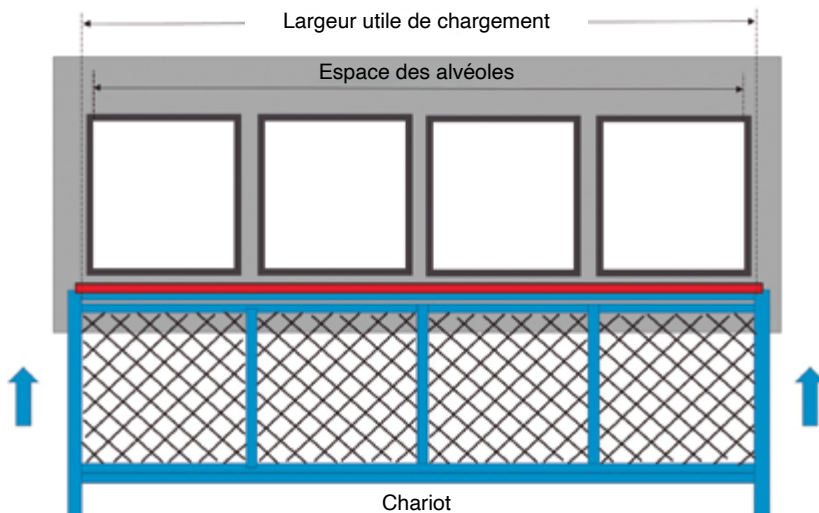


Figure 2.35. Grille flottante alvéolaire fabriquée par MACER

2.4. LES SORTIES

Le nombre de sorties d'un moule est son nombre d'alvéoles, c'est-à-dire le nombre de pièces obtenues à chaque cycle de pressage. Il dépend donc du format, de la force maximale que la presse peut développer et de la distance libre ou distance entre les colonnes, c'est-à-dire de la taille maximale que le moule peut avoir.

Les alvéoles peuvent être disposées en une ou plusieurs rangées. L'augmentation considérable des formats des carreaux au cours des dernières années a entraîné une augmentation de la force maximale que les presses sont en mesure de développer, raison pour laquelle les fabricants concentrent leurs efforts afin d'obtenir des structures permettant des distances libres élevées pour l'installation du moule.

2.4.1. Calcul des dimensions des alvéoles

Afin de définir correctement les dimensions des alvéoles et, par la suite, le nombre de sorties d'un moule, il est nécessaire de prendre en compte ses conditions d'utilisation. Outre les dimensions nominales des carreaux à obtenir, il faut également connaître le type de produit et certaines de ses caractéristiques technologiques, telles que son expansion après pressage ou son retrait après cuisson, et bien entendu les caractéristiques techniques de la presse et du système d'alimentation utilisé.

Pour illustrer la manière d'effectuer ces calculs, nous allons supposer dans cette section le cas le plus général de la fabrication de carreaux, avec des formats carrés ou rectangulaires.

Les dimensions réelles des alvéoles dépendent des dimensions nominales (L_{F1} et L_{F2}) que l'on souhaite obtenir après le processus de fabrication. Il convient de tenir compte du fait que les carreaux subissent une expansion après pressage (**EP**) qui se situe généralement autour de 0,5 %, bien qu'il puisse y avoir des valeurs plus élevées, et un retrait après cuisson (**CL**) qui est faible dans les revêtements mais important dans les produits en grès (tableau 2.2). Cette section ne prend pas en compte les variations dimensionnelles que les carreaux peuvent subir lors de l'opération de séchage, étant donné que le taux d'humidité de pressage est inférieur à la limite de retrait des pâtes industrielles utilisées.

Produit	Pression de pressage (kg/cm ²)	ρ_a (g/cc)	T° cuisson (°C)	EP (%)	CL (%)
Grès cérame – 1 standard	400	1,998	1180	0,49	6,62
Grès cérame – 2 blanc	400	1,948	1200	0,59	7,32
Grès cérame – 3 blanc	400	1,980	1200	0,55	6,68
Grès cérame – 3 coloré	400	2,026	1190	0,49	6,32
Revêtement blanc	250	1,975	1140	0,45	0,17
Grès rouge	250	2,071	1135	0,41	5,33

Remarque : ρ_a = densité apparente sèche

Tableau 2.2. Expansion après pressage et retrait linéaire dans les conditions de travail de certaines pâtes industrielles

Par conséquent, si l'on souhaite que les dimensions des carreaux après cuisson soient celles de leur format nominal, il faut les presser avec des dimensions différentes de façon à compenser les changements dimensionnels qui en résultent.

L'expansion subie par les carreaux après leur extraction de l'alvéole est appelée « expansion après pressage » (**EP**) et s'exprime comme suit :

$$EP = \frac{L_0 - L_A}{L_A} \cdot 100 \quad (\text{équation 1})$$

où :

- EP : Expansion après pressage (%)
- L_0 : Longueur du carreau cru après extraction de l'alvéole (cm)
- L_A : Longueur du carreau à l'intérieur de l'alvéole (cm)

Le retrait que subissent les produits céramiques après la cuisson est appelé « contraction linéaire » (CL) et s'exprime comme suit :

$$CL = \frac{L_0 - L_F}{L_0} \cdot 100 \quad (\text{équation 2})$$

où :

- CL : Contraction linéaire (%)
- L_0 : Longueur du carreau cru après extraction de l'alvéole (cm)
- L_F : Longueur du carreau cuit (cm)

La figure 2.36 montre le schéma des variations dimensionnelles qu'un carreau subit tout au long du processus de fabrication.

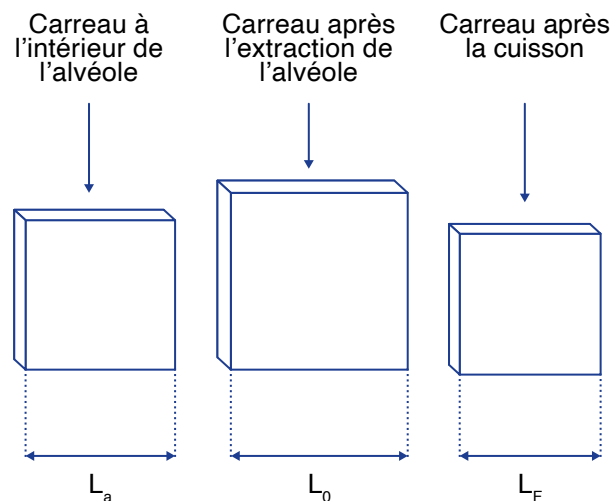


Figure 2.36. Variations dimensionnelles (pas à l'échelle) d'un carreau au cours du processus de fabrication

En combinant les équations 1 et 2, on obtient le rapport de la longueur de l'alvéole (L_A) avec la longueur du carreau après cuisson, ou format nominal (L_F) :

$$L_A = \frac{L_F}{\left(1 - \frac{CL}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{EP}{100}\right)} \quad (\text{équation 3})$$

2.4.2. Calcul du nombre maximum de sorties

Une fois les dimensions des alvéoles définies, il s'agit de définir le nombre de sorties du moule. Cela dépend des dimensions de l'alvéole, déjà calculées, du type de produit à fabriquer, de la force maximale que la presse peut développer, de la distance entre ses colonnes et des caractéristiques dimensionnelles du chariot utilisé.

Pour atteindre la pression capable de donner à la pièce la microstructure nécessaire, la presse doit développer une certaine force de pression (**F**) en fonction de la surface (**S**) à presser. Cette surface est égale à celle d'une alvéole (**S_A**) multipliée par le nombre de sorties (**N**).

La surface d'une alvéole est de :

$$S_A = L_{A1} \cdot L_{A2} \quad (\text{équation 4})$$

et

$$F = P \cdot S = P \cdot S_A \cdot N \quad (\text{équation 5})$$

Il est important que la presse fonctionne généralement à moins de 80 % de sa puissance²². Par conséquent, si $F_{\max}$ est la force maximale (en tonnes) qu'elle peut développer, la force de travail (F) sera égale à $0,8 F_{\max}$. La force maximale dépend du type de presse utilisé.

Ainsi, le **nombre maximum de sorties** théoriques qu'un moule peut avoir est :

$$N = \frac{0,8 F_{\max}}{P \cdot S_A} \cdot 100\% \quad (\text{équation 6})$$

Où **P** est exprimé en kg/cm², **F_{max}** en t et **S_A** en cm².

²² Conseillée par certains fabricants de presses, cette donnée est parfois contradictoire avec la pratique des fabricants de carreaux qui peuvent choisir une force de pressage maximale plus ou moins élevée. En effet, certains fabricants peuvent parfois utiliser un rapport de 85 %, voire plus, pour le calcul du nombre maximal de sorties.

2.4.3. Facteurs déterminant le nombre de sorties

Après avoir calculé le nombre de sorties théoriques pouvant être pressées dans les conditions données, il faut vérifier qu'il est effectivement possible de construire un moule avec ce nombre de sorties, et que celui-ci peut être installé et fonctionner dans la presse. En raison d'un certain nombre de **facteurs déterminants**, le nombre de sorties peut être inférieur au maximum possible. Ces facteurs sont les suivants :

- portée libre de la presse ;
- largeur utile du chariot ;
- dimensions de la traverse ;
- profondeur du banc de la presse ;
- distance entre les alvéoles ;
- largeur de la bouche du séchoir ;
- largeur du compensateur (le cas échéant).

La première caractéristique qui conditionne la distance utile pour l'installation du moule est, logiquement, la portée libre de la presse. La portée libre est l'espace de la structure de la presse où le piston, la traverse mobile et le moule sont installés. Il s'agit donc de la principale grandeur qui détermine, avec la force que la presse peut développer, le nombre de sorties qui peuvent être installées dans le moule et, par conséquent, sa productivité. Plus la force maximale que la presse peut développer est élevée, plus la portée libre des presses doit être grande.

Comme indiqué précédemment, il faut considérer que, pour garantir le chargement correct des alvéoles, en particulier celles situées aux extrémités du moule, **la largeur utile de chargement du chariot** doit être légèrement supérieure à l'espace occupé par les alvéoles et leurs cloisons de séparation définies à la figure 2.35. Ces longueurs utiles sont donc réduites par la largeur utile du chariot installé dans la presse, ce qui limite l'espace utile du moule où les alvéoles peuvent être placées. D'une manière générale, et à titre indicatif, on peut considérer cette réduction de la longueur utile comme étant de l'ordre de 180 mm pour les presses de plus grand tonnage et de 150 mm pour les presses de plus petit tonnage, soit une réduction de 7 % et 9 % respectivement.

Presse	Portée libre entre les colonnes (mm)	Largeur maximale de chargement du moule (mm)
PH-1000	1550	1405
PH-1500	1600	1455
PH-1890	1750	1595
PH-2090	1750	1595
PH-2590	1750	1595
PH-2890	1750	1595
PH-3020	2250	2085
PH-3590	1750	1595
PH-3800	2450	2275
PH-4600	1750	1595
PH-4800	2250	2085
PH-4900	2450	2275
PH-6200	2450	2275

Tableau 2.3. Dimensions utiles pour l'installation du moule dans les presses SACMI

Le tableau 2.3 indique les valeurs de portée libre entre les colonnes et la distance utile pour le montage du moule, compte tenu de la largeur du chariot, pour certaines presses SACMI.

Bien que cela soit rare, les **dimensions de la traverse mobile** peuvent également constituer un facteur limitant le nombre de sorties. La traverse mobile est reliée au piston et supporte la plaque porte-poinçons sur laquelle sont fixés les poinçons supérieurs du moule. Elle doit donc avoir des dimensions suffisantes pour être installée, bien qu'exceptionnellement, dans les moules pénétrants, il soit possible d'installer des plaques porte-poinçons ne dépassant pas 75 mm par côté. Toutefois, cela n'est pas conseillé dans le moule double, ni dans le moule à miroir pénétrant.

Il convient de toujours vérifier que **la profondeur du banc de la presse** est suffisante pour accueillir le type de moule conçu, en particulier pour les grands formats ou lorsque les alvéoles sont disposées sur deux ou plusieurs rangées.

L'**espacement minimal entre les alvéoles** pour assurer une résistance mécanique suffisante à une matrice en acier DIN CK45 de 100 mm d'épaisseur avec des barrettes traditionnelles est de 40 mm à 50 mm, barrettes comprises. Qu'il s'agisse de barrettes traditionnelles ou amovibles, dans les petits formats, il y a des cas exceptionnels où l'on peut même en trouver de 30 mm, mais toujours combinées avec des cloisons de 50-55 mm afin de gagner de l'espace sans perdre complètement la résistance de la matrice.

D'autres facteurs externes peuvent conditionner la quantité maximale de sorties, voire la faisabilité de la production d'un format en particulier, comme les **dimensions des compensateurs et du séchoir**. Leur définition concernant le processus de conception de l'usine et non celui du moule, nous nous contenterons d'indiquer leur existence.

2.4.4. Exemple

Supposons que l'on dispose d'une presse capable de développer 4900 tonnes de force maximale, avec laquelle nous voulons presser des carreaux de grès cérame blanc – 2 (tableau 2.2) d'un format nominal de 45x45 cm, et que nous voulions calculer le nombre de sorties du moule.

Calcul des dimensions de l'alvéole

La pâte que nous allons presser a une expansion après pressage de 0,59 %, dans les conditions habituelles de travail, que nous définissons comme 400 kg/cm² de pression spécifique et 6,3 % d'humidité à l'état sec. Après une cuisson à 1200 °C, elle subit une contraction linéaire de 7,32 %. Par conséquent, la longueur de l'alvéole pour obtenir des carreaux cuits à cette température avec $L_f = 45$ cm doit être :

$$L_A = \frac{45}{\left(1 - \frac{7,32}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,59}{100}\right)} = 48,27 \text{ cm.}$$

Calcul du nombre de sorties

La force de pressage maximale de cette presse étant de 4900 tonnes, la force de travail recommandée (80 %) sera :

$$F = 0,8 \cdot 4900 = 3920 \text{ t}$$

Sur la base de ces données, le nombre de sorties pouvant être installées dans le moule sera :

$$N = \frac{3920}{400 \cdot (48,27)^2} \cdot 1000 = 4,2 \rightarrow \mathbf{4 \text{ salidas}}$$

Théoriquement, cette presse est capable de presser du grès cérame à 400 kg/cm² avec un moule à 4 sorties. Toutefois, le calcul n'est pas encore terminé, car il faut encore analyser les conditions d'installation d'un moule de ces caractéristiques dans la presse. Autrement dit, il faut encore évaluer si la distance libre de la presse pour l'installation du moule et les dimensions du chariot installé peuvent conditionner l'installation de ce moule, comme indiqué ci-dessus.

Une presse de 4900 tonnes comme celles qui sont en service dans le secteur a une portée libre de 2450 mm. La portée libre n'est toutefois pas la caractéristique dimensionnelle qui détermine la largeur du moule, mais c'est plutôt la largeur utile de chargement du chariot, qui est évidemment légèrement inférieure. Logiquement, les caractéristiques dimensionnelles du chariot dépendent de celles de la presse. Le chariot installé dans ce type de presse a une largeur effective de chargement de 2275 mm (tableau 2.3). Il s'agit donc de la nouvelle dimension qui conditionne le nombre de sorties du moule.

En première approximation, on peut considérer que la largeur minimale aux extrémités du moule ne doit pas être inférieure à 85 mm et que la distance entre les alvéoles doit être supérieure ou égale à 60 mm²³, barrettes comprises (figure 2.37). Avec ces données, la largeur minimale du moule (A_m) avec 4 sorties pour 45x45 cm est de :

$$A_m = 4 \times 482,7 + 3 \times 60 + 2 \times 85 = 2280,8 \text{ mm}$$

Il y a par conséquent suffisamment d'espace pour les 4 sorties.

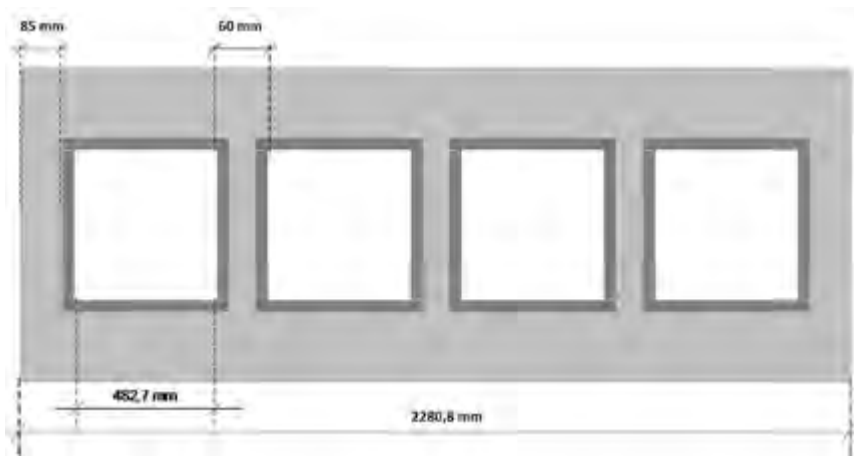


Figure 2.37. Schéma de la matrice d'un moule à 4 sorties pour grès cérame avec les dimensions minimales des cloisons et de la matrice

²³ Ces dimensions minimales ne doivent pas être considérées comme une valeur absolue et standard des moules. Elles dépendent de chaque format et, dans une moindre mesure, du type de produit.

À ce stade, après avoir vérifié qu'il est possible de fabriquer un moule à 4 sorties de 45x45 cm pour cette presse, nous devons tenir compte du fait que son fabricant nous donne une information qui conditionne la conception du moule. Il s'agit de la largeur de chargement maximale, qui dépend du chariot installé (figure 2.35). Cette donnée est indiquée dans le tableau 2.3 et est de 2275 mm, ce qui est compatible avec la matrice prévue, qui peut être plus grande en augmentant la largeur latérale de la matrice.

Pour concevoir la grille d'alimentation, il faut tenir compte de l'espace occupé par les alvéoles et les cloisons de séparation, plus 15 mm de chaque côté pour assurer un bon chargement des alvéoles.

La longueur totale d'un moule (plaque sauve-banc) installé dans ce type de presse est de 2410 mm.

2.4.5. Tableaux

Les tableaux 2.4 à 2.16 indiquent, pour différents formats et produits, le nombre maximum de sorties qu'il est possible de produire sur certaines presses en service dans le secteur, en considérant un fonctionnement quotidien à 80 % de leur force maximale. Il convient de noter que les calculs concernent uniquement le **nombre maximum théorique** de sorties qui peuvent être pressées dans les conditions données²⁴. Ainsi, le nombre de sorties effectivement installées peut être inférieur. De fait, il l'est même souvent, car il dépend aussi, comme indiqué ci-dessus, des dimensions du chariot et d'autres facteurs déterminants. Dans les cases où le nombre de sorties n'est pas indiqué, on considère qu'il n'est pas courant d'utiliser la presse en question pour fabriquer ce format. Il convient également de noter que lorsqu'il est nécessaire de placer les sorties sur deux rangées, le nombre de sorties doit être pair, de sorte que les tableaux indiqueront entre parenthèses le nombre maximum de sorties selon cette considération et il faudra vérifier qu'il est possible de les installer sur le banc de la presse.

CARREAU DE SOL EN GRÈS EP = 0,4 % CL = 6,0 % (1135 °C) P = 250 kg/cm ²				PH 1000	PH 1500	PH 1890	PH 2090	PH 2590	PH 2890	PH 3020	PH 3590
				Fmax (t)							
				Portée libre (mm)							
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties							
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)								
15	22,5	15,94	23,90	8							
15	30	15,94	31,87	6	9 (8)						
20	20	21,25	21,25	7 (6)	10	12					
20	25	21,25	26,56	5	8	10					
20	30	21,25	31,87	4	7 (6)	8	9 (8)	11 (10)	12		
25	25	26,56	26,56	4	6	8	9 (8)	11 (10)	12		
30	30	31,87	31,87	3	4	5	6	7 (6)	8	9 (8)	
33,3	33,3	35,38	35,38	2	3	4	5	6	7 (6)	7 (6)	8
30	40	31,87	42,50	2	3	4	4	5	6	7 (6)	8
30	50	31,87	53,12	1	2	3	3	4	5	5	6
30	60	31,87	63,75	1	2	2	3	3	4	4	5
40	40	42,50	42,50	1	2	3	3	4	4	5	6
40	60	42,50	63,75	1	1	2	2	2	3	3	4
50	50	53,12	53,12	1	1	2	2	2	3	3	3
60	60	63,75	63,75	0	1	1	1	1	2	2	2
60	90	63,75	95,62	0	0	0	1	1	1	1	1

Tableau 2.4. Presses PH série 2000 de SACMI (carreau en grès)

²⁴ Les données relatives à l'expansion après pressage et à la contraction linéaire sont indicatives.

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm²				PH 1000	PH 1500	PH 1890	PH 2090	PH 2590	PH 2890	PH 3020	PH 3590	
				Fmax (t)	1000	1500	1800	2000	2500	2750	3000	3500
				Portée libre (mm)	1550	1600	1750	1750	1750	1750	2250	1750
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties								
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)									
10	20	10,74	21,49	8	12							
15	22,5	16,12	24,18	5	7 (6)	9 (8)	10					
15	30	16,12	32,23	3	5	6	7 (6)	9 (8)				
20	20	21,49	21,49	4	6	7 (6) (6)	8	10				
20	25	21,49	26,86	3	5	6	6	8	9 (8)			
20	30	21,49	32,23	2	4	5	5	7 (6)	7 (6)	8		
25	25	26,86	26,86	2	4	4	5	6	7 (6)	8		
30	30	32,23	32,23	1	2	3	3	4	5	5	6	
33,3	33,3	35,78	35,78	1	2	2	3	4	4	4	5	
30	40	32,23	42,98	1	2	2	2	3	3	4	5	
30	50	32,23	53,72	1	1	2	2	2	3	3	4	
30	60	32,23	64,47	0	1	1	1	2	2	2	3	
40	40	42,98	42,98	1	1	1	2	2	2	3	3	
40	60	42,98	64,47	0	1	1	1	1	1	2	2	
50	50	53,72	53,72	0	1	1	1	1	1	2	2	
60	60	64,47	64,47	0	0	0	0	1	1	1	1	
60	90	64,47	96,70	0	0	0	0	0	0	0	1	

Tableau 2.5. Presses PH série 2000 de SACMI (grès cérame)

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm²				PH 3800	PH 4600	PH 4800	PH 4900	PH 6200	PH 7200	
				Fmax (t)	3800	4600	4800	4900	6200	7200
				Portée libre (mm)	2450	1750	2250	2450	2450	1750
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties						
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)							
33,3	33,3	35,78	35,78	5	7 (6)	7 (6)	7 (6)	9 (8)		
30	40	32,23	42,98	5	6	6	7 (6)	8		
30	50	32,23	53,72	4	5	5	5	7 (6)	8	
30	60	32,23	64,47	3	4	4	4	5	6	
40	40	42,98	42,98	4	4	5	5	6	7 (6)	
40	60	42,98	64,47	2	3	3	3	4	5	
50	50	53,72	53,72	2	3	3	3	4	4	
60	60	64,47	64,47	1	2	2	2	2	3	
60	90	64,47	96,70	1	1	1	1	1	2	
60	120	64,47	128,93	0	1	1	1	1	1	

Tableau 2.6. Presses PH de la série POWER de SACMI (grès cérame)

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm²				PH 3800	PH 5000L	PH 5000XL	PH 5000XXL	PH 6500	PH 7500	PH 10000	
				Fmax (t)	3800	4600	4800	4900	6200	7500	10000
				Portée libre (mm)	2450	1750	2450	2450	2450	2450	2450
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties							
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)								
30	60	32,23	64,47	3	4	4	4	6	7 (6)	9 (8)	
45	45	48,35	48,35	3	4	4	4	5 (4)	6	8	
40	60	42,98	64,47	2	3	3	3	4	5 (4)	7 (6)	
60	60	64,47	64,47	1	2	2	2	3	3	4	
60	90	64,47	96,70	1	1	1	1	2	2	3	
60	120	64,47	128,93	0	1	1	1	1	1	2	

Tableau 2.7. Presses PH de la série IMOLA de SACMI. (grès cérame)

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm²				2500 / 1750	2800 / 1750	3000 / 2250	3500 / 1750	4600 / 1750	4600 / 2250	4800 / 2450	
				Fmax (t)	2500	2800	3000	3500	4600	4600	4800
				Portée libre (mm)	1750	1750	2250	1750	1750	2250	2450
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties							
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)								
33,3	33,3	35,78	35,78	3	4	4	5	7 (6)	7 (6)	7 (6)	
30	40	32,23	42,98	3	4	4	5	6	6	6	
30	50	32,23	53,72	2	3	3	4	5	5	5	
30	60	32,23	64,47	2	2	2	3	4	4	4	
40	40	42,98	42,98	2	3	3	3	4	4	5	
40	60	42,98	64,47	1	2	2	2	3	3	3	
50	50	53,72	53,72	1	1	2	2	3	3	3	
60	60	64,47	64,47	1	1	1	1	2	2	2	
60	90	64,47	96,70	0	0	0	1	1	1	1	
60	120	64,47	128,93	0	0	0	0	1	1	1	

Tableau 2.8. Presses de la série CLOCK de BARBIERI TAROZZI (grès cérame)

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm ²				EVO 2808/2180	EVO 3208/2150	EVO 3608/2400	EVO 4208/2400	EVO 4608/2280	EVO 5008/2450	EVO 6208/2450	EVO 7208/2400
				Fmax (t)	2800	3200	3600	4200	4600	5000	7200
				Portée libre (mm)	2180	2150	2400	2400	2280	2450	2400
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties							
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)								
33,3	33,3	35,78	35,78	4	4	5	6	7 (6)	7 (6)		
30	40	32,23	42,98	4	4	5	6	6	7 (6)	8	
30	50	32,23	53,72	3	3	4	4	5	5	7 (6)	8
30	60	32,23	64,47	2	3	3	4	4	4	5	6
40	40	42,98	42,98	3	3	3	4	4	5	6	7 (6)
40	60	42,98	64,47	2	2	2	3	3	3	4	5
50	50	53,72	53,72	1	2	2	2	3	3	4	4
60	60	64,47	64,47	1	1	1	2	2	2	2	3
60	90	64,47	96,70	0	1	1	1	1	1	1	2
60	120	64,47	128,93	0	0	0	1	1	1	1	1

Tableau 2.9. Presses de la série EVO de SITI B&T (grès cérame)

REVÊTEMENT POREUX EP = 0,4 % CL = 0,8 % (1140 °C) P = 250 kg/cm²				Magnum 801	Magnum 1201	Magnum 1501	Magnum 1701	Magnum 1705XL	Magnum 2101	Magnum 2501	Magnum 2501XL	
				Fmax (t)	800	1200	1500	1700	1700	2100	2500	2500
				Portée libre (mm)	1150	1450	1450	1450	1750	1560	1260	1750
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties								
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)									
15	30	15,06	30,12	5	8	10						
20	20	20,08	20,08	6	9	11 (10)						
20	25	20,08	25,10	5	7 (6)	9 (8)						
20	30	20,08	30,12	4	6	7 (6)	8	8				
25	25	25,10	25,10	4	6	7 (6)	8	8				
30	30	30,12	30,12	2	4	5	5	5	7 (6)	8	8	
33,3	33,3	33,43	33,43	2	3	4	4	4	6	7 (6)	7 (6)	
30	40	30,12	40,16	2	3	3	4	4	5	6	6	
30	50	30,12	50,20	1	2	3	3	3	4	5	5	
30	60	30,12	60,24	1	2	2	2	2	3	4	4	
40	40	40,16	40,16	1	2	2	3	3	4	4	4	

Tableau 2.10. Presses de la série Magnum de SITI B&T (revêtement poreux)

CARREAU DE SOL EN GRÈS EP = 0,4 % CL = 6,0 % (1135 °C) P = 250 kg/cm²				Magnum 801	Magnum 1201	Magnum 1501	Magnum 1701	Magnum 2101	Magnum 2501	
				Fmax (t)	800	1200	1500	1700	2100	2500
				Portée libre (mm)	1150	1450	1450	1450	1560	1560
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties						
L (cm)	I (cm)	L _r (cm)	I _r (cm)							
15	22,5	15,89	23,84	6	10					
15	30	15,89	31,79	5	7 (6)	9	10			
20	20	21,19	21,19	5	8	10	12			
20	25	21,19	26,49	4	6	8	9 (8)			
20	30	21,19	31,79	3	5	7 (6)	8	9 (8)		
25	25	26,49	26,49	3	5	6	7 (6)	9 (8)		
30	30	31,79	31,79	2	3	4	5	6	7 (6)	
33,3	33,3	35,28	35,28	2	3	3	4	5	6	
30	40	31,79	42,38	1	2	3	4	4	5	
30	50	31,79	52,98	1	2	2	3	3	4	
30	60	31,79	63,58	1	1	2	2	3	3	
40	40	42,38	42,38	1	2	2	3	3	4	
40	60	42,38	63,58	0	1	1	2	2	2	
50	50	52,98	52,98	0	1	1	1	2	2	
60	60	63,58	63,58	0	0	1	1	1	1	
60	90	63,58	95,36	0	0	0	0	1	1	

Tableau 2.11. Presses de la série Magnum de SITI B&T (carreaux de sol en grès)

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm²				WK 1500	WK 2000	WK 2500	WK 2800	WK 3500	WK 4200	WK 5000	WK 5500	WK 7500	
				Fmax (t)	1500	2000	2500	2800	3500	4200	5000	5500	7500
				Portée libre (mm)	1600	1750	1750	1750	1750	1750		1750	
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties									
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)										
33,3	33,3	35,78	35,78	2	3	3	4	5	6	7 (6)	8	11 (10)	
30	40	32,23	42,98	2	2	3	4	5	6	7 (6)	7 (6)	10	
30	50	32,23	53,72	1	2	2	3	4	4	5	6	8	
30	60	32,23	64,47	1	1	2	2	3	4	4	5	7 (6)	
40	40	42,98	42,98	1	2	2	3	3	4	5	5	8	
40	60	42,98	64,47	1	1	1	2	2	3	3	3	5	
50	50	53,72	53,72	1	1	1	1	2	2	3	3	5	
60	60	64,47	64,47	0	0	1	1	1	2	2	2	3	
60	90	64,47	96,70	0	0	0	0	1	1	1	1	2	
60	120	64,47	128,93	0	0	0	0	0	1	1	1	1	

Tableau 2.12. Presses de la série WK de WELKO (grès cérame)

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm²				WK2 3500	WK2 4600	WK2 6200	WK2 12000	
				Fmax (t)	3500	4600	6200	12000
				Portée libre (mm)	2250	2250	2500	1770 x 2800
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties				
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)					
33,3	33,3	35,78	35,78	5	7 (6)	9 (8)		
30	40	32,23	42,98	5	6	8		
30	50	32,23	53,72	4	5	7 (6)		
30	60	32,23	64,47	3	4	5		
40	40	42,98	42,98	3	4	6		
40	60	42,98	64,47	2	3	4	8	
50	50	53,72	53,72	2	3	4	8	
60	60	64,47	64,47	1	2	2	5	
60	90	64,47	96,70	1	1	1	3	
60	120	64,47	128,93	0	1	1	2	

Tableau 2.13. Presses de la série WK2 de WELKO (grès cérame)

REVÊTEMENT POREUX EP = 0,4 % CL = 0,8 % (1200 °C) P = 250 kg/cm²				VIS 400	VIS 401	VIS 801	VIS 1000	VIS 1200	VIS 1500	VIS 2000	
				Fmax (t)	350	400	800	1000	1200	1500	2000
				Portée libre (mm)	720	920	1120	1450	1600	1600	1600
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties							
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)								
10	20	10,04	20,08	5	6	12					
15	22,5	15,06	22,59	3	3	7 (6)	9	11 (10)			
15	30	15,06	30,12	2	2	5	7 (6)	8	10		
20	20	20,08	20,08	2	3	6	7 (6)	9	11 (10)		
20	25	20,08	25,10	2	2	5	6	7 (6)	9 (8)	12	
20	30	20,08	30,12	1	2	4	5	6	7 (6)	10	
25	25	25,10	25,10	1	2	4	5	6	7 (6)	10	
30	30	30,12	30,12	1	1	2	3	4	5	7 (6)	
33,3	33,3	33,43	33,43	1	1	2	2	3	4	5	
30	40	30,12	40,16	0	1	2	2	3	3	5	
30	50	30,12	50,20	0	0	1	2	2	3	4	
30	60	30,12	60,24	0	0	1	1	2	2	3	
40	40	40,16	40,16	0	0	1	1	2	2	3	

Tableau 2.14. Presses de la série VIS de NASSETTI (revêtement poreux)

CARREAU DE SOL EN GRÈS EP = 0,4 % CL = 6,0 % (1200 °C) P = 250 kg/cm²				VIS 400	VIS 401	VIS 801	VIS 1000	VIS 1200	VIS 1500	VIS 2000	
				Fmax (t)	350	400	800	1000	1200	1500	2000
				Portée libre (mm)	720	920	1120	1450	1600	1600	1600
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties							
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)								
10	20	10,60	21,19	4	5	11					
15	22,5	15,89	23,84	2	3	6	8	10	12		
15	30	15,89	31,79	2	2	5	6	7 (6)	9 (8)	12	
20	20	21,19	21,19	2	2	5	7 (6)	8	10		
20	25	21,19	26,49	1	2	4	5	6	8	11 (10)	
20	30	21,19	31,79	1	1	3	4	5	7 (6)	9 (8)	
25	25	26,49	26,49	1	1	3	4	5	6	9	
30	30	31,79	31,79	1	1	2	3	3	4	6	
33,3	33,3	35,28	35,28	0	1	2	2	3	3	5	
30	40	31,79	42,38	0	0	1	2	2	3	4	
30	50	31,79	52,98	0	0	1	1	2	2	3	
30	60	31,79	63,58	0	0	1	1	1	2	3	
40	40	42,38	42,38	0	0	1	1	2	2	3	

Tableau 2.15. Presses de la série VIS de NASSETTI (carreaux de sol en grès)

GRÈS CÉRAMÉ EP = 0,4 % CL = 7,3 % (1200 °C) P = 400 kg/cm²				VIS 1500	VIS 2000	VIS 2500	VIS 3200	VIS 5000	
				Fmax (t)	1500	2000	2500	3200	5000
				Portée libre (mm)	1600	1600	1600	1600	1750
Format nominal		Dimensions alvéoles		Nombre maximum de sorties					
L (cm)	I (cm)	L _R (cm)	I _R (cm)						
33,3	33,3	35,78	35,78	2	3	3	4	7 (6)	
30	40	32,23	42,98	2	2	3	4	7 (6)	
30	50	32,23	53,72	1	2	2	3	5	
30	60	32,23	64,47	1	1	2	3	4	
40	40	42,98	42,98	1	2	2	3	5	
40	60	42,98	64,47	1	1	1	2	3	
50	50	53,72	53,72	1	1	1	2	3	
60	60	64,47	64,47	0	0	1	1	2	
60	90	64,47	96,70	0	0	0	1	1	
60	120	64,47	128,93	0	0	0	0	1	

Tableau 2.16. Presses de la série VIS de NASSETTI (grès cérame)

Composants des moules

Chapitre 3



Tous les types de moules que nous décrirons au chapitre 5 ont des composants communs dont la fonction est similaire, indépendamment de la conception mécanique, de la structure et du fonctionnement du moule. Ce chapitre décrit chacun de ces composants, leurs principales caractéristiques et leur structure, en donnant les indications nécessaires pour en comprendre le fonctionnement dans chaque type. Pour ce faire, il est utile de partir de différents types de moules où l'ensemble de ces composants sont représentés le plus schématiquement possible et où l'on peut apprécier leur aspect réel dans chaque type de moule (figures 3.1 et 3.2). Nous aborderons les processus de fabrication de ces composants et les propriétés physiques des matériaux avec lesquels ils sont fabriqués dans le chapitre suivant.

Le tableau 3.1 présente les principaux composants d'un moule que l'on peut voir sur les figures 3.1 et 3.2, une brève description de leur fonction et les matériaux utilisés pour leur fabrication.

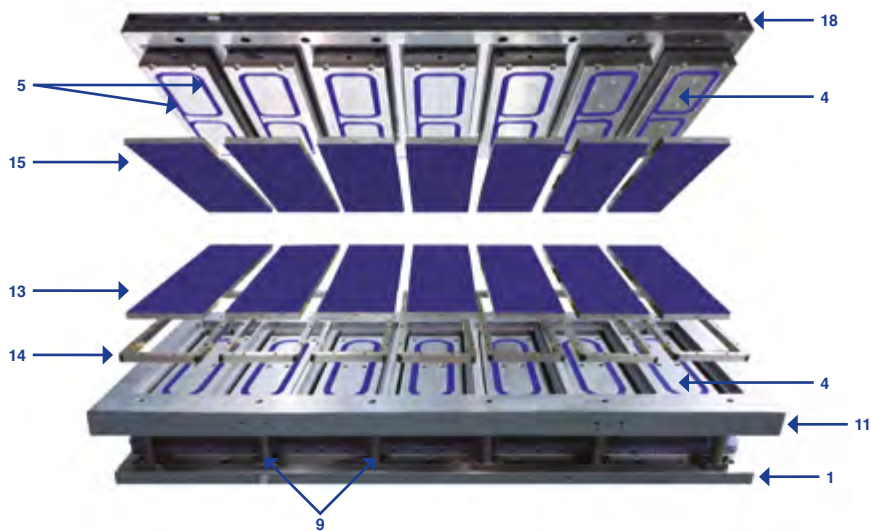


Figure 3.1. Composants du moule (dans un moule pénétrant)

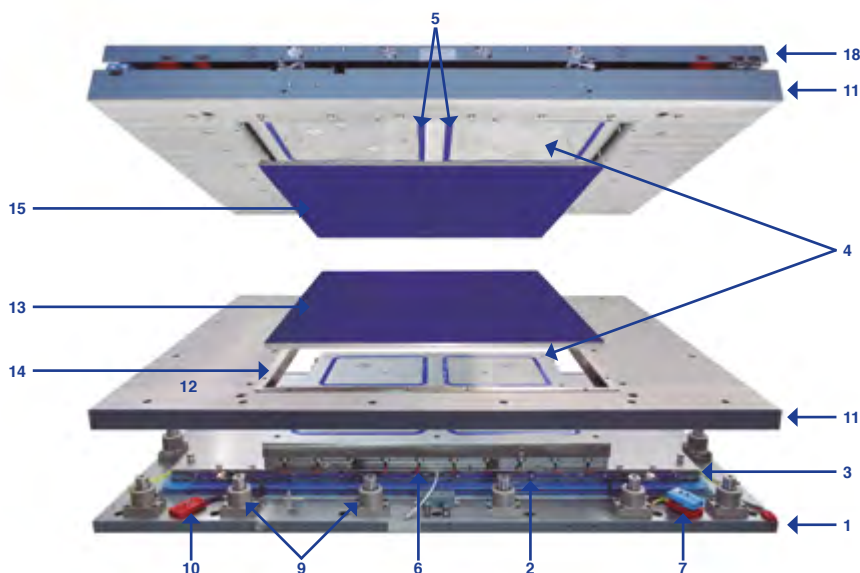


Figure 3.2. Composants du moule (dans un moule double)

COMPOSANT	N° (FIGURES 3.1 ET 3.2)	FONCTION	MATÉRIAU
Plaque sauve-banc	1	C'est la base du moule qui est vissée sur le banc de la presse. C'est là que reposent les piliers de fixation de la matrice dans les moules pénétrants et les pistons pour le mouvement de la matrice dans les moules doubles et les moules à miroir. Elle résiste à la pression de pressage.	Acier DIN CK45 ²⁵
Soufflet	2	Protection en matériau synthétique à plis qui est fixée entre la plaque sauve-banc et la plaque d'éjection. Elle empêche la poussière de se déposer entre les deux. Dans certains moules anciens ou certains moules pour briques, le soufflet peut être en cuir.	Cuir (soufflets anciens). Élastomères.
Plaque d'éjection	3	Il s'agit de la plaque porte-poinçons, c'est-à-dire la plaque à laquelle sont fixés les blocs et les poinçons, formant ainsi l'ensemble éjecteur du moule.	Acier DIN CK45
Blocs	4	Il s'agit de blocs d'acier fixés à la plaque d'éjection et auxquels les poinçons inférieurs sont assemblés magnétiquement. Cet assemblage peut être mécanique pour les petits formats.	Acier DIN CK45 ou aciers plus résistants, en fonction de leur taille ²⁶
Bobines magnétiques	5	Elles sont placées dans des rainures prévues sur les blocs et dans la plaque porte-poinçons supérieure. Elles ont pour fonction de les magnétiser pour fixer les poinçons.	
Résistances des blocs	6	Il s'agit de résistances tubulaires utilisées pour chauffer les poinçons afin d'éviter le collage des moules et d'ajuster, si nécessaire, le jeu entre les poinçons et les barrettes.	
Connecteurs rapides	7 - 10	En fonction du nombre de transformateurs de la presse, une ou deux boîtes de raccordement sont utilisées pour le chauffage et l'aimantation du moule.	
Système de chauffage standard	8	Ensemble de résistances reposant sur des platines en acier, dont les puissances et la conception varient en fonction des caractéristiques de la matrice à chauffer et de la presse.	
Pieds fixes	9	Ils maintiennent la matrice du moule pénétrant fixe et nivelée. Ils reposent sur la plaque sauve-banc.	
Pistons de fixation et de déplacement de la matrice inférieure (moule double et moule à miroir)	9'	Il s'agit des pistons qui guident la matrice inférieure du moule double et du moule à miroir lors de l'opération de pressage.	
Matrice	11	C'est la plaque où les alvéoles sont situées, délimitées par les barrettes. Le moule pénétrant n'a qu'une seule matrice fixe. Les moules à miroir et semi-miroir ont une seule matrice mobile et le moule double en a deux : la matrice inférieure, qui est mobile, et la matrice supérieure, qui est fixe.	Selon les types. Acier DIN CK45

²⁵ Acier au carbone pour les produits dont la résistance est comprise entre 65 et 75 kg/mm². À l'état trempé et revenu, il convient à une trempe superficielle équivalente à l'acier F1140 norme UNE 36011-12^[60].

²⁶ Dans les petits formats, on utilise des aciers trempés et revenus.

COMPOSANT	N° (FIGURES 3.1 ET 3.2)	FONCTION	MATÉRIAU
Plaque d'usure	12	Il s'agit d'une plaque en acier inoxydable qui est vissée sur la matrice. Sa fonction est de supporter l'usure causée par le chariot lorsqu'il glisse sur la matrice, protégeant ainsi cette dernière.	Acier inoxydable
Poinçons inférieurs	13	Ils forment la face des reliefs de dos (« nervures ») dans les moules doubles et les moules à miroir et la face noble dans le moule pénétrant (*).	Selon les types : • acier DIN CK45 avec revêtement en caoutchouc ; • acier DIN 1.2080²⁷ trempé.
Barrettes	14	Composants installés à l'intérieur des alvéoles de la matrice et délimitant le périmètre de la cavité. Ils donnent la forme définitive et le profil latéral de la pièce pressée. Ils résistent aux contraintes latérales générées lors de l'opération de pressage et à l'usure causée par les matériaux abrasifs de la pâte pressée.	Selon les types : • acier DIN 1.2080 trempé ; • acier DIN 1.2080 avec projection de HVOF WC - Co ; • acier DIN 1.2080 avec platines en carbure de tungstène.
Poinçons supérieurs	15	Ils transmettent la pression à la poudre contenue dans l'alvéole. Dans les moules pénétrants (*) : - ils forment la face inférieure des carreaux. Ils impriment la marque du fabricant et le numéro de la plaque ; - avec compensation hydraulique. Dans les moules à miroir et les moules doubles : - ils forment la face noble des carreaux ; - sans compensation hydraulique.	Selon les types : • acier DIN CK45 avec revêtement en caoutchouc (avec ou sans compensation hydraulique) ; • acier DIN 1.2080 trempé.
Thermosonde	16	Permet de contrôler la température des poinçons inférieurs.	
Souffleurs	17	Situés entre les blocs. Ils émettent des impulsions d'air à chaque pression pour éviter l'accumulation de poussière.	
Plaques « crochets » ou colliers chandelles	-	Les plaques « crochets » sont des plaques en acier trempé qui, dans les moules dotés de systèmes d'extraction à pistons et chandelles, sont placées dans des logements à la base de chaque bloc et servent à fixer les chandelles. Les colliers sont les systèmes d'ancrage du moule au système d'extraction SPE.	• Acier DIN 1.2080 trempé. • Autres.
Plaque supérieure magnétique	18	Plaque vissée à la traverse mobile de la presse et à laquelle les poinçons supérieurs sont magnétiquement fixés.	Acier DIN CK45

(*) Ces configurations décrites pour les poinçons supérieurs et inférieurs sont habituelles pour la grande majorité de ces moules. Cependant, elles peuvent varier de façon exceptionnelle et il est possible d'adapter certains moules pénétrants pour former des carreaux avec la face noble vers le haut, ce qui inverse la configuration des poinçons.

Tableau 3.1. Composants des moules et matériaux

²⁷ Acier allié à haute teneur en chrome présentant une résistance élevée à l'usure et à l'abrasion et une grande stabilité dimensionnelle après la trempe. Il convient à la fabrication d'outils de travail à froid présentant une résistance élevée à l'usure et à l'abrasion.

3.1. PLAQUE SAUVE-BANC

La plaque sauve-banc (figure 3.3) est la base du moule qui est vissée sur le banc de la presse. C'est sur elle que reposent les piliers de fixation de la matrice dans les moules pénétrants, ou les pistons de fixation et de déplacement dans le moule double, le moule à miroir et le moule à miroir pénétrant.

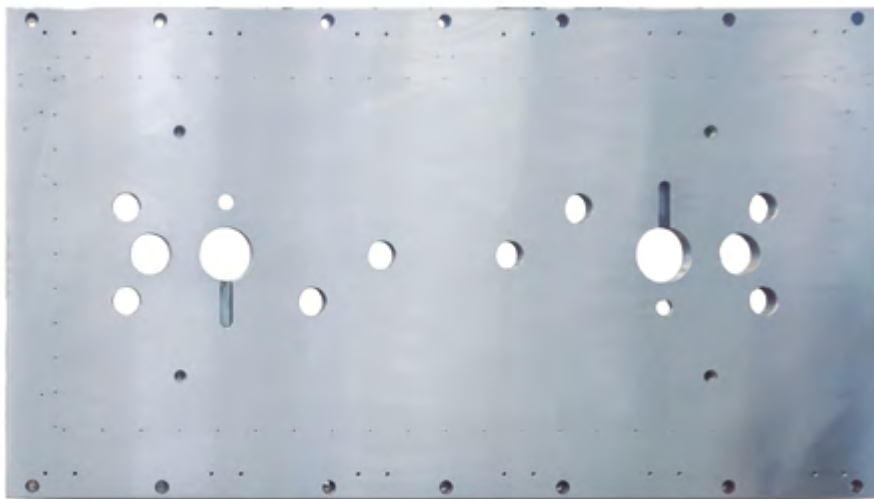


Figure 3.3. Plaque sauve-banc

Lors du premier et du deuxième pressage, la plaque d'éjection repose sur la plaque sauve-banc. À l'origine, cette plaque était équipée de canaux de désaération pour l'évacuation de la lame d'air située entre la plaque sauve-banc et la plaque d'éjection, ce qui permettait à cette dernière de se poser rapidement sur la première lors de l'opération de pressage. Actuellement, ces canaux ne sont plus usinés sur la plaque sauve-banc mais sur la plaque d'éjection.

Le tableau 3.2 indique les dimensions des plaques sauve-banc utilisées dans certaines presses par rapport à leur portée libre.

Presse.	Fabricant	Portée libre (mm)	Dimensions de la plaque sauve-banc (mm)		
			Longueur	Largeur	Hauteur
PH 1400	SACMI	1550	1350	700	48
PH 1500	SACMI	1600	1500	900	55
PH 2590	SACMI	1750	1710	860	55
V-3000	NASSETTI	1600	1590	950	48
Magnum 2805	SITI B&T	1750	1710	860	55
Alpha 800	LAEIS BUCHER	1300	1230	600	48
PH 6500	SACMI	2450	2430	1700	55
EVO 7608	SITI B&T	2450	2430	1500	65
WK2 4800	WELKO	2250	2100	960	55
PH 5000 XXL	SACMI	2450	2430	1300	55
EVO 7208	SITI B&T	2400	2350	1450	65
PH 8200	SACMI	2450	2430	1700	55
PH 10000	SACMI	2450	2430	1700	55

Tableau 3.2. Dimensions de quelques plaques sauve-banc

3.2. PLAQUE D'ÉJECTION, PLAQUES « CROCHETS » ET SYSTÈMES D'ANCRAGE

La plaque d'éjection est la plaque sur laquelle sont fixés les blocs et les poinçons, formant ainsi l'ensemble d'éjection du moule. C'est également la base de fixation des pistons extracteurs du système de façonnage et d'extraction qui déplacent l'ensemble comprenant la plaque d'éjection, les blocs et les poinçons inférieurs. Si nécessaire, il est possible d'y usiner des canaux de désaération afin d'évacuer l'air emprisonné entre la plaque sauve-banc et la plaque d'éjection.

La taille de la plaque d'éjection est conditionnée par la taille de la plaque sauve-banc. Afin d'en déterminer la taille exacte pour chaque moule, il convient de tenir compte, au stade de la conception, de certaines caractéristiques structurales du moule et du système d'extraction de la presse qui le conditionnent, telles que le type de soufflet installé et son système d'ancrage ou la position des pieds ou des pistons de la matrice.



Figure 3.4. Plaques d'éjection et « crochet » (vue arrière)

Dans les presses équipées d'extracteurs à piston et à chandelles, la plaque d'éjection (figure 3.4.) est reliée à celles-ci par l'intermédiaire des plaques « crochet » (figures 3.4. et 3.5.), auxquelles sont fixés mécaniquement les blocs (figure 3.4.).



Figure 3.5. Plaques « crochets »

L'ancrage de la plaque d'éjection aux systèmes d'extraction dépend du système dont la presse est équipée et varie en fonction des fabricants. Par exemple, dans les presses SACMI (système SPE, figure 3.6), cela se fait au moyen de colliers (figure 3.7), c'est-à-dire de mâchoires qui se ferment et reposent sur un ensemble de rondelles exerçant une pression pour leur permettre de s'ouvrir et de se fermer. Les moules à changement rapide (CRS) sont dotés d'une came et les rondelles se trouvent au niveau des vis, ce qui permet de démonter le moule sans avoir à exercer de pression sur la plaque. Les presses SITI B&T (système SYNCRO® et E-SYNCHRO®, figure 3.8) utilisent des roulements à rotules (figure 3.9), qui présentent une cavité hémisphérique ou des coupelles sur lesquelles reposent les pistons

qui suivent le mouvement descendant du piston central. Les systèmes d'extraction des presses SITI B&T sont constitués d'un piston central qui déplace la plaque porte-poinçons vers le bas, et de quatre cylindres hydrauliques positionnés aux coins de la plaque d'éjection, qui effectuent le mouvement vers le haut. Ces cylindres sont emboîtés au moyen des roulements à rotules décrits ci-dessus.

Les presses WELKO sont ancrées au moyen du système de plaques « crochets » décrit ci-dessus.



Figure 3.6. Détail du système de façonnage et d'extraction SPE 2+2® de SACMI (photo avec l'aimable autorisation de SACMI)



Figure 3.7. Colliers d'ancrage pour le système de façonnage et d'extraction SPE de SACMI

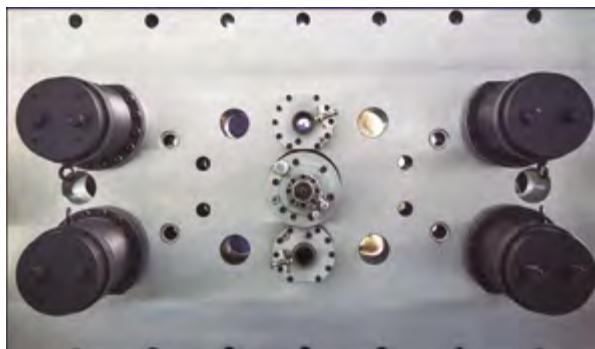


Figure 3.8. Système de façonnage et d'extraction SYNCRO® (photo avec l'aimable autorisation de SITI B&T)



Figure 3.9. Ancrage pour piston central et roulement à rotules pour le système de façonnage et d'extraction SYNCRO®

3.3. BLOCS

Les blocs (figures 3.10 et 3.11) sont des éléments en acier assemblés à la plaque d'éjection qui maintiennent les poinçons inférieurs et, en tant que tels, ils font partie du système d'éjection du moule. Des rainures y sont réalisées à l'intérieur pour y placer la bobine²⁸. Les bobines positionnées dans les blocs peuvent être des électro-aimants ou des aimants permanents.



Figure 3.10. Blocs avec bobine magnétique

L'épaisseur, ou la hauteur, du bloc est la dernière chose à déterminer en phase de conception du moule. En effet, elle dépend de différents paramètres qui ont généralement des valeurs préétablies, comme l'épaisseur de la plaque sauve-banc et de la plaque d'éjection, l'épaisseur du poinçon inférieur, l'utilisation éventuelle d'inserts et la valeur de la hauteur de charge de poudre. Alliées à la course de la traverse mobile de la presse, ces dimensions déterminent l'épaisseur du bloc.

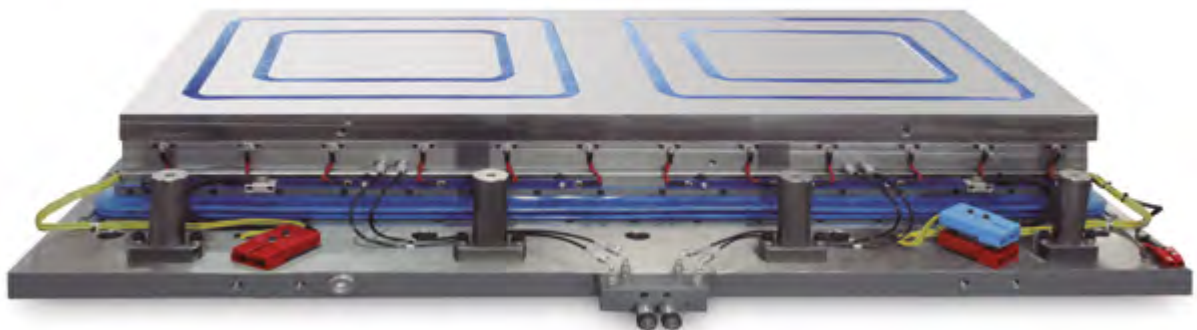


Figure 3.11. Bloc pour moule de 60x120 cm avec bobine magnétique et pistons du système d'extraction à pistons

²⁸ À l'origine, les poinçons inférieurs étaient fixés aux blocs au moyen de vis, mais après la deuxième reconversion industrielle du secteur, des améliorations ont été apportées aux moules, parmi lesquelles la fixation magnétique des poinçons. Toutefois, pour les petits formats, où il n'est pas possible de placer une bobine magnétique à l'intérieur des blocs, ceux-ci sont toujours fixés mécaniquement.

Les dimensions du bloc doivent être légèrement inférieures à celles de la surface du poinçon inférieur, au moins 4 à 5 mm de moins par côté, afin d'éviter l'accumulation de poussière entre les parois du bloc et les barrettes, et d'en faciliter l'ancrage à la plaque d'éjection au moyen de vis. La saillie du poinçon inférieur par rapport au bloc, c'est-à-dire la différence de surface entre les deux, dépend du format. En effet, dans les grands formats l'écart peut être plus important. Elle dépend également de certaines variables de pressage telles que la pression, la composition de la pâte, etc. Dans certains produits, une différence excessive entre les deux peut provoquer un marquage du bloc, visible sur la pièce finie, voire la déformation du poinçon inférieur. Pour éviter cela, lorsque la différence est excessive, le périmètre du bloc peut être complété par un manchon, c'est-à-dire un insert métallique qui l'entoure, assemblé et vissé à la plaque d'éjection ou à un insert du bloc lui-même, augmentant ainsi les dimensions de sa surface et réduisant, par conséquent, la saillie du poinçon inférieur (figure 3.12).

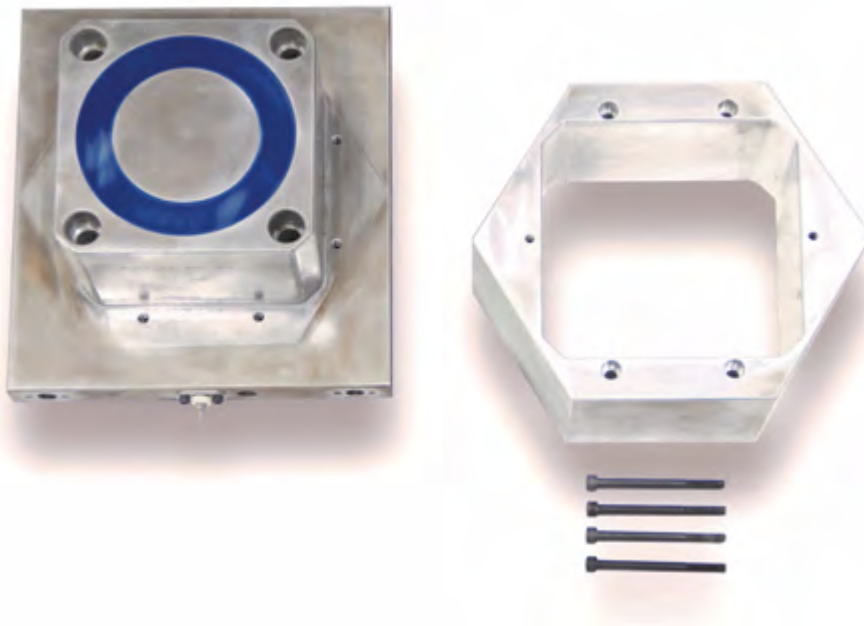


Figure 3.12. Bloc et insert de raccord, ou manchon du bloc pour réduire la saillie du poinçon inférieur

Pour faciliter le remplacement des poinçons de grands formats (figure 3.11), certains blocs sont équipés de pistons ancrés qui permettent de soulever le poinçon (figures 3.11 et 3.13) à une hauteur supérieure au niveau de la matrice afin de pouvoir les déplacer hors du moule au moyen de guides coulissants. En fonction du type de moule et des poinçons, le même système coulissant peut être utilisé pour les poinçons supérieurs et inférieurs.

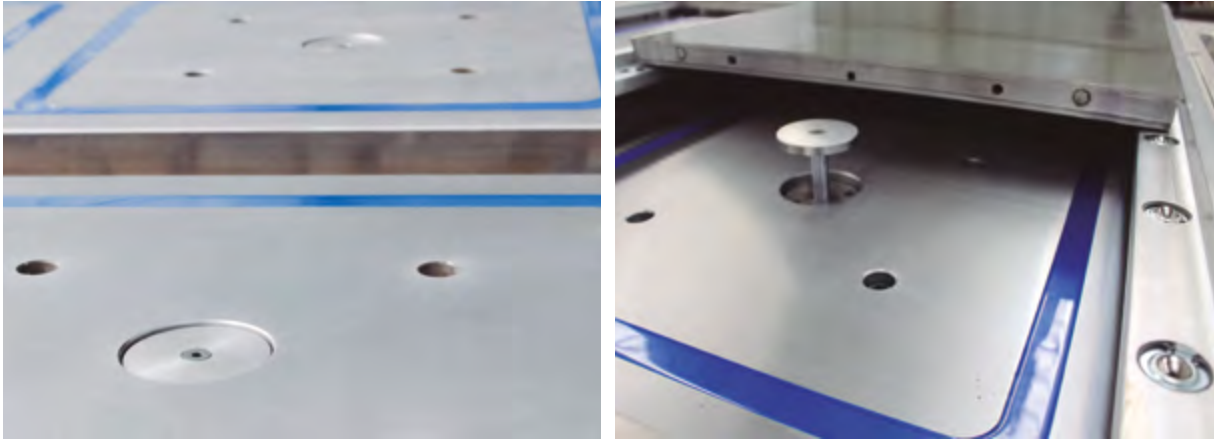


Figure 3.13. Système d'extraction des poinçons

L'un des espaces du moule où la poussière s'accumule le plus est celui qui se trouve entre les blocs. Cet espace étant difficile d'accès, l'opération de nettoyage est complexe. Une accumulation excessive de poussière peut entraîner la détérioration du moule, voire la rupture des cloisons de la matrice. Pour éviter cela, MACER a incorporé un circuit interne de la plaque d'éjection pour nettoyer la poussière qui s'accumule entre les blocs. Ce système fonctionne au moyen d'impulsions d'air à chaque pressage, qui déplacent la poudre susceptible de se déposer pendant le cycle de pressage et évitent ainsi les grandes accumulations. La figure 3.14 montre les buses utilisées ; la figure 3.15 montre leur disposition dans un moule entre les blocs ; la figure 3.16 montre leur disposition sur les côtés de la plaque sauve-banc. La poussière est aspirée par le système d'aspiration interne du moule.



Figure 3.14. Souffleur pour le nettoyage du moule



Figure 3.15. Disposition des souffleurs entre les blocs



Figure 3.16. Disposition des souffleurs sur le périmètre de la plaque sauve-banc

3.4. SOUFFLET

Le soufflet (figure 3.17) est une protection en matériau élastomère²⁹ à plis. Installé entre la plaque sauve-banc et la plaque d'éjection, il est destiné à empêcher l'accumulation de poussière entre les deux plaques. Si la poussière pénètre dans l'espace entre ces plaques, elle peut entraîner une perte de parallélisme entre elles et une légère inclinaison des poinçons inférieurs, ce qui augmente l'usure, les défauts de trapèze et de cale des pièces pressées. Les ruptures de soufflet dans les systèmes d'extraction intégrés peuvent également entraîner la détérioration de leurs composants hydrauliques.

Le soufflet doit être accompagné d'un système de désaération efficace capable de décompresser rapidement la zone située entre la plaque d'éjection et la plaque sauve-banc lorsque la première amorce le mouvement de descente des plateaux, faute de quoi cela réduirait considérablement la durée de vie du soufflet. Pour éviter que le soufflet ne soit endommagé par l'air entraîné par la plaque d'éjection dans son mouvement de descente, MACER installe dans ses moules un cadre périmétrique intérieur (figure 3.17) pour son montage. Le soufflet est fixé par des platines à la plaque d'éjection (figure 3.18) et à la plaque sauve-banc par l'intermédiaire du cadre cité, fabriqué en alliage d'aluminium au magnésium 5083, qui est lui-même vissé à cette plaque. La désaération est assurée par des trous situés dans la plaque sauve-banc et reliés à des canaux d'extraction d'air dans la plaque d'éjection³⁰.

Ces soufflets ont deux plis surmontés d'une couverture plate, ou inclinée d'environ 10 °, qui empêche l'accumulation de saletés, et deux sections d'extrémité pour la fixation au cadre en aluminium vissé à la plaque sauve-banc et à la plaque d'éjection. Ils sont constitués de quatre sections droites et de quatre sections courbes assemblées par liaison chimique ou par soudage du matériau lui-même avec un moule, à une température de 170 °C.

La couleur naturelle de l'élastomère est jaune blanchâtre, mais les formules utilisées contiennent des colorants pour donner aux soufflets les couleurs dans lesquelles ils sont commercialisés.

Étant donné qu'ils sont fabriqués en matière synthétique, la composition et l'épaisseur des sections ou des parties des soufflets peuvent varier en fonction des exigences spécifiques.



Figure 3.17. Soufflet en élastomère avec cadre de protection



Figure 3.18. Montage du soufflet en silicone

²⁹ À l'origine, les soufflets pour moules étaient fabriqués exclusivement à partir d'une seule pièce de cuir, avec quelques éléments complémentaires, tels que des tiges de raidissement situées en correspondance des zones de pliage sur la face interne du matériau en cuir, qui permettaient une bonne résistance au pliage sans rupture. Ce type de soufflet a été remplacé par le soufflet en silicone utilisé actuellement. Les soufflets en élastomère, d'une dureté de 55/60 Shore, offrent une meilleure capacité d'étirement, une meilleure protection dans les zones critiques, une facilité de montage et un coût nettement inférieur à celui des soufflets en cuir, ce qui explique pourquoi ils les ont progressivement remplacés.

³⁰ Bien qu'il s'agisse de la solution idéale pour obtenir une bonne désaération et prolonger la durée de vie du soufflet – c'est d'ailleurs la solution adoptée par MACER –, tous les fabricants n'optent pas pour cette solution. Il est donc possible de trouver sur le marché des moules dépourvus de ces canaux de désaération.

3.5. MATRICE

La matrice (figures 3.19 et 3.20) est la plaque sur laquelle se trouvent les alvéoles du moule. Dans les moules pénétrants, la matrice est fixe et assemblée à la plaque sauve-banc au moyen de pilastres vissés fixes. Dans les moules à miroir et à miroir pénétrant, la matrice est mobile grâce à un ensemble de pistons ancrés dans la plaque sauve-banc. Le moule double comporte deux matrices : l'une fixe, assemblée à la plaque supérieure, éventuellement équipée de pousseurs ou de butées, l'autre également dotée d'un mouvement de montée et de descente guidé par pistons.

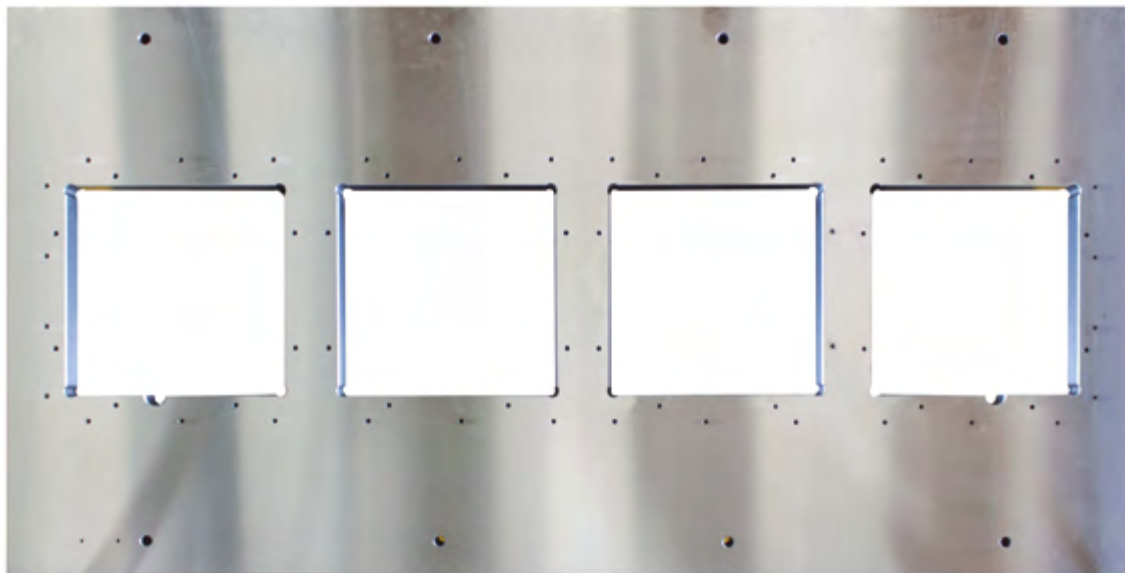


Figure 3.19. Matrice (sans barrettes)

Le tableau 3.3 présente les dimensions les plus courantes de la plaque sauve-banc, de la plaque d'éjection et de la matrice.

Presse	Fabricant	Portée libre (mm)	Format (cm)	Plaque sauve-banc (mm)	Plaque d'éjection (mm)	Matrice (mm)
PH-1890 PH-2090 PH-2590 PH-2890	SACMI	1750	≤ 50 x 50	1710 x 860 x 55	1580 x 485 x 108	1740 x 860 x 98 1740 x 800 x 98 1740 x 960 x 98 1740 x 1000 x 98
PH-3590 PH-4600	SACMI	1750	60 x 60	1710 x 960 x 55 1710 x 1000 x 55	1580 x 685 x 108 1580 x 590 x 108	1740 x 860 x 98 1740 x 800 x 98 1740 x 960 x 98 1740 x 1000 x 98
PH-3800 PH-4900 PH-5000 PH-6200	SACMI	2450	≥ 60 x 60	2390 x 900 x 55 2430 x 900 x 55 2390 x 1000 x 55 2430 x 1000 x 55	2200 x 540 x 108 2280 x 540 x 108 2200 x 685 x 108 2280 x 685 x 108	2440 x 900 x 98 2440 x 1000 x 98 2430 x 900 x 98 2430 x 1000 x 98

Source : MACER

Tableau 3.3. Dimensions de quelques plaques sauve-banc

Afin d'augmenter la durée de vie du moule et son efficacité, MACER peut équiper la matrice d'une **plaque d'usure** fabriquée en acier inoxydable, vissée sur sa face extérieure afin de la protéger de l'abrasion produite par le chariot. Ces plaques ne sont pas réversibles. En effet, l'inversion de leur position peut entraîner le dépôt de terre dans les fissures dues au chariot de la presse sur la face déjà utilisée, déformant légèrement le profil de la plaque et causant des problèmes dans le chargement des alvéoles.

La figure 3.20 montre la matrice d'un moule pénétrant pour 3 sorties et la plaque d'usure correspondante.



Figure 3.20. Plaque d'usure prête à être vissée sur la matrice

3.6. BARRETTES

Les barrettes (figure 3.21) sont les composants du moule installés à l'intérieur des alvéoles de la matrice, délimitant le périmètre de la cavité. Elles ont quatre fonctions : donner la forme finale et le profil latéral de la pièce pressée ; en faciliter l'extraction ; résister aux contraintes générées lors de l'opération de pressage et à l'usure causée par les matériaux abrasifs et très durs présents dans la composition de la pâte pressée. Leurs performances mécaniques doivent donc être supérieures à celles de la matrice sur laquelle elles sont ancrées et il est indispensable qu'elles soient très résistantes à l'usure. À titre d'exemple, une perte de seulement 0,2 mm dans les barrettes d'un moule pénétrant suffit en effet pour que le jeu entre les barrettes et le poinçon supérieur provoque une perte de poudre après l'impact des poinçons et, en outre, rende irrecevables les carreaux ainsi pressés. C'est pourquoi les barrettes sont fabriquées en acier trempé, en acier renforcé en surface ou renforcées par des inserts en carbure de tungstène. Malgré tout, les barrettes sont soumises à une usure continue causée par les particules abrasives des poudres, ce qui signifie qu'elles doivent être remplacées après un certain nombre de pressages (voir tableau 3.6).

Les barrettes de la matrice supérieure du moule double ou des moules pénétrants doivent être fabriquées avec un certain angle de sortie (α) connu sous le nom de **conicité** (figure 3.22), qui facilite l'extraction et permet de relâcher progressivement la force élastique accumulée par la pièce pendant le pressage. Cet angle d'inclinaison est déterminé de façon empirique en fonction du format et de la pâte utilisée et, le cas échéant, il est modifié en cas de pertes dues à l'expansion après pressage, bien qu'il y

ait une tendance à unifier les valeurs de la conicité en fonction du type de produit et du format fabriqué³¹ (tableau 3.4).



Figure 3.21. Différents types de barrettes

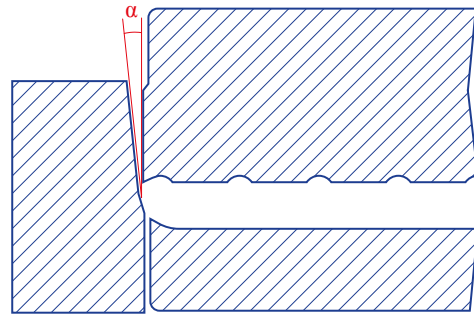


Figure 3.22. Conicité des barrettes

Dans les moules pénétrants, les barrettes sont également pourvues de chanfreins ou rayons pour éviter que les bords de la barrette n'endommagent la face à émailler lors de l'éjection de la pièce. En outre, de petites rainures sont généralement réalisées dans les barrettes des moules de façonnage supérieur ou « moules doubles » ; en revanche, la partie inférieure du moule double est équipée d'une matrice avec des barrettes sans conicité ni rayon, car cette partie sert de simple récipient pour le chargement et le façonnage est effectué dans la partie supérieure du moule.

Produit	Côté (cm)	Hauteur de charge (mm)	Épaisseur (mm)	Rapport de compression	Conicité réelle (°)
Monoporeuse pâte blanche	33	18	8,5	2,12	2,26
	40	19	9,5	2,00	2,10
	44,5	19	9,5	2,00	2,14
	60	22	10,5	2,10	2,37
Monoporeuse pâte rouge	25	15	8	1,88	2,29
	25	17	8	2,13	2,33
	33	16	9	1,78	2,18
	45	21	10	2,10	2,03
	44,5	19	9,5	2,00	2,14
	60	22	10	2,20	1,84
Grès pâte rouge	9,8	14	7	2,00	2,09
	33	22	10,5	2,10	2,03
	45	21	9	2,33	2,21
	50	23	10	2,30	2,27
Grès cérane	33,3	19	8,2	2,32	2,14
	45	21	9	2,33	2,21
	67,5	22	9,5	2,32	2,37
	111,7	27	13	2,08	3,00

Source : MACER.

Tableau 3.4. Valeurs réelles de conicité des moules utilisés dans le secteur de la céramique

³¹ Il est également possible d'effectuer une estimation de l'angle minimal de sortie en fonction des paramètres décrits, sur la base de considérations purement géométriques. Ainsi :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{L_A \cdot EP}{200 \cdot h}$$

où L_A est la longueur de la barrette, h est la hauteur de chargement et EP est l'expansion après pressage. Les valeurs ainsi obtenues ne diffèrent que légèrement de celles effectivement utilisées pour les moules pour petits formats, mais sont très différentes à mesure que le format augmente, de sorte que cette valeur calculée n'est utile qu'à titre indicatif.

Le tableau 3.4 indique les angles de conicité réalisés dans certains moules en fonction du format, du type de produit fabriqué et de certaines caractéristiques de l'opération de pressage. Il convient de noter que pour les grands formats, l'augmentation des dimensions due à l'expansion est si importante qu'elle dépassera toujours la valeur de la conicité, de sorte que l'extraction de ces formats³² doit toujours se faire en paquet.

3.6.1. Types de barrettes

En fonction de leur système de montage, on distingue deux grands groupes de barrettes : les **barrettes fixes**, qui sont des barrettes indépendantes vissées à la matrice, et les barrettes **amovibles** ou **interchangeables**, constituées d'un seul corps chargé de façonner les carreaux, et vissées à la matrice au moyen de trous horizontaux. Ces dernières barrettes (figures 3.21 et 3.23) ont été mises au point par MACER et brevetées en 2003^[71].

Quant aux barrettes amovibles, on peut les **rectifiées** et/ou **couper au fil** pour produire une grande variété de profils et de formes.

Les barrettes fixes et amovibles sont toutes deux en acier trempé DIN 1.2080 et peuvent être renforcées afin de prolonger leur durée de vie. Il y a quelques années, MACER a breveté un système de renforcement par projection thermique (projection à grande vitesse, HVOF) d'un revêtement en métal-céramique constitué de carbure de tungstène et de cobalt, mais de nos jours, on opte plutôt pour les renforcements en plaques de carbure de tungstène.

Le tableau 3.5 présente une classification des barrettes utilisées dans la fabrication des moules conformément aux critères décrits ci-dessus, et le tableau 3.6 présente certaines des principales caractéristiques techniques des barrettes.



Figure 3.23. Barrettes amovibles

Type de barrette				Référence MACER
En fonction de l'installation	Conventionnelles ou fixes	À une face 1. Courtes 2. Longues	À une face	
			Symétriques	
		Doubles 1. Courtes 2. Longues 3. Centrales	Renforcées par soudage	
			À une face	
	Amovibles	Symétriques		
		Rectifiées		MRCM
		Rectifiées – coupées au fil		MRCMH
		Coupées au fil (MHI)	MHI	
Anti-usure (peuvent être fixes ou amovibles)		Anti-usure avec projection HVOF		MMD
		Anti-usure en carbure de tungstène		

Tableau 3.5. Classification des barrettes

³² En général, il est conseillé de procéder à l'extraction en paquet à partir de formats dont au moins un côté est supérieur ou égal à 60 cm.

Type de barrette	Matériau	Nbre de pressages (environ)	Dureté Rockwell C (HRC)
Conventionnelles	Acier DIN 1.2080 trempé	500 000 – 600 000	60-62
Rectifiées (MRCMH)		500 000 – 600 000	60-62
Coupées au fil (MHI)		500 000	58-60
Rectifiées et coupées au fil (MRCMH)		500 000 – 600 000	58-60
Anti-usure (MMD)	Acier DIN 1.2080 avec projection HVOF de WC - Co	2 200 000	91 – 91,5
	Acier DIN 1.2080 avec inserts en carbure de tungstène	3 000 000 – 4 500 000	75-85

L'annexe III contient un résumé des essais de dureté utilisés pour caractériser les aciers.

(*) Dépend des caractéristiques de la pâte (composition et pourcentage de matériaux abrasifs).

Tableau 3.6. Caractéristiques techniques des barrettes

3.6.1.1. Barrettes fixes

Les barrettes fixes (figure 3.24) sont un ensemble de pièces en acier trempé qui forment le profil latéral du carreau pressé. Elles sont fabriquées et montées séparément dans chacune des alvéoles de la matrice. En fonction des format de carreau à obtenir, il est possible de différencier jusqu'à trois types de barrettes fixes : les latérales **longues** et **courtes** et, dans certains moules, les **centrales**. Les deux premières servent à recouvrir les alvéoles simples de la matrice. Les barrettes centrales permettent de diviser une alvéole en deux ou de transformer un seul renforcement de la matrice en plusieurs alvéoles. Les barrettes longues sont adaptées à la taille de la matrice au moyen de trous filetés verticaux qui les empêchent de se déplacer verticalement, et les courtes sont adaptées aux longues. La longueur des barrettes courtes coïncide donc exactement avec la mesure de l'un des côtés de la pièce à façonner.



Figure 3.24. Barrettes fixes avec insert en carbure de tungstène

Les barrettes sont fixées au renforcement usiné dans la matrice du moule au moyen de vis dans des trous horizontaux, et/ou au moyen de trous³³ aux extrémités des barrettes longues, voire des courtes, en fonction du format. Ces barrettes sont assemblées en une seule fois, ajustées manuellement, selon un processus extrêmement lent qui exige une grande précision et ne peut être réalisé sur la presse. Cela nécessite donc le changement du moule ou, au minimum, le démontage de la matrice et son transport jusqu'à l'atelier du fabricant. La procédure devient extrêmement compliquée pour les formats aux bords irréguliers, en raison de la difficulté à définir les points de mesure.

Pour permettre l'extraction des barrettes de la matrice où elles sont ancrées, il existe des vis d'extraction, également vissées dans des trous horizontaux. Lorsqu'elles sont vissées, elles servent de butée avec la matrice et poussent la barrette sur le côté. Lorsque les barrettes de ce type s'usent, le moule doit être renvoyé à l'atelier du fabricant pour être rectifié. Cette opération impliquant un enlèvement de matière, il est nécessaire de placer des inserts, généralement de fines feuilles de laiton, entre la barrette et la matrice, afin de retrouver les dimensions d'origine de l'alvéole. Cependant, au-delà d'une certaine limite qui, en fonction des barrettes et des formats, peut représenter jusqu'à 3 mm d'insert, cette opération ne peut plus être réalisée car la déformation subie par l'insert, constitué d'un

³³ Dans certains cas, on peut utiliser également des rondelles de fixation verticales.

matériau plus tendre que l'acier des barrettes et de la matrice, met en péril l'intégrité des vis d'ancrage. Dans ce cas, il faut retirer les barrettes et les remplacer par des neuves.

Malgré ces inconvénients, qui rendent le montage et le démontage fastidieux, ce type de barrettes est encore utilisé lorsque l'espace pour installer le moule limite excessivement le nombre de sorties et oblige à fabriquer les barrettes avec une épaisseur réduite ou, parfois, à la demande du client lui-même.

3.6.1.2. Barrettes symétriques réversibles

Il existe une variante à ce type de barrettes : ce sont les **barrettes symétriques réversibles**^[70]. Lorsqu'elles sont apparues, ces barrettes présentaient une forme innovante car, contrairement aux précédentes, elles possèdent deux biseaux de conicité (figure 3.25), ce qui permet d'utiliser l'onglet de coupe inférieur lorsque l'onglet supérieur est usé, simplement en retournant la matrice. L'expérience de ce type de barrettes a montré que bien qu'elles prolongent la durée de vie, elles ne la doublent pas, car la partie de la barrette qui travaille est également soumise aux contraintes et à l'usure. Ainsi, lorsqu'on la retourne, la durée de vie de la deuxième barrette est inférieure à celle de la première. Il faut également tenir compte du fait que la matrice doit être démontée dans l'usine puis remontée, ce qui signifie que les barrettes de ce type ne sont utilisées que pour les petits formats et que dans les grands moules installés dans des presses de grand tonnage, il est impossible d'effectuer ce changement dans l'usine même. Par conséquent, ce type de barrettes n'est d'aucune utilité pour ces grandes presses et ces grands formats.

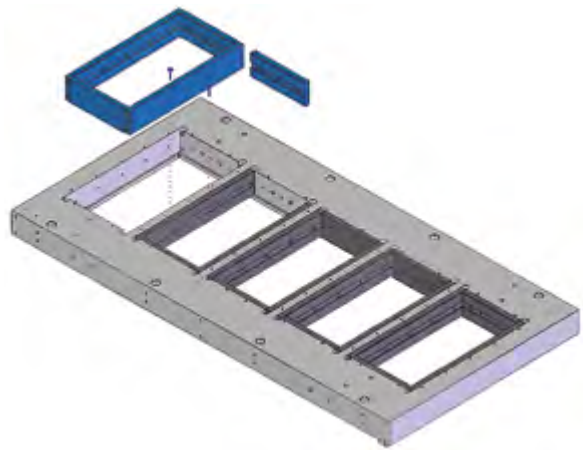


Figure 3.25. Disposition des barrettes symétriques réversibles dans le moule

Les figures 3.25 et 3.26 montrent un schéma du montage et de la disposition de ces barrettes dans le moule et la figure 3.27 montre un détail de celles-ci.

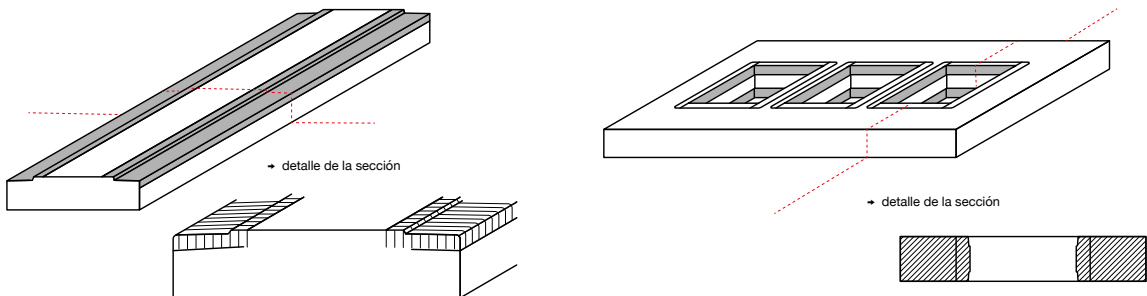


Figure 3.26. Disposition des barrettes symétriques réversibles dans le moule selon la référence^[70]



Figure 3.27. Barrettes symétriques réversibles (détail)

3.6.1.3. Barrettes amovibles

Il s'agit de barrettes amovibles, montées sur la matrice de façon à former un corps unique, ce qui en facilite le montage et le démontage. Les barrettes amovibles permettent d'adapter une même matrice à différents formats, par de simples opérations mécaniques. Elles permettent également de changer rapidement et facilement de format, ce qui réduit le nombre de moules nécessaires à une entreprise. Bien entendu, il est possible de combiner ces modifications avec des blocs multiformat et leurs inserts, mais cela n'est pas toujours nécessaire car on peut aussi installer des barrettes amovibles dans des moules à un seul format. D'autre part, ces barrettes éliminent la procédure d'ajustement manuel et améliorent la flexibilité du processus de fabrication du moule. En outre, il est possible de remplacer les barrettes sur la presse chez le fabricant de carreaux lui-même, ce qui permet d'économiser du temps et de l'argent.

En fonction de leur processus de fabrication ou de leurs caractéristiques techniques, il existe différents types de barrettes amovibles (tableau 3.5). Un avantage notable de tous ces outils est, comme nous l'avons déjà indiqué, la flexibilité de conception du moule. Ainsi, avec un simple changement de barrettes, on peut rapidement l'adapter à différents formats, bien qu'il soit préférable de le faire dans des formats petits et moyens. Le tableau 3.7 présente quelques exemples de ces adaptations de moules.

Moule de...		Il est possible de l'adapter à...	
Format (cm)	Nombre de sorties	Format (cm)	Nombre de sorties
33x67	2	33x33	4
30x30	4	30x60	2
12x24	8	24x24	4
40x40	3	45x45	3
30x30	2	33x33	2

Tableau 3.7. Exemples de flexibilité des moules grâce à l'utilisation de barrettes interchangeables

De même, et toujours à titre d'exemple, il est possible d'adapter un moule de 40x40 cm à trois sorties à un format de 45x45 cm octogonal, hexagonal, à angle arrondi, irrégulier, etc.

3.6.1.4. Barrettes amovibles rectifiées

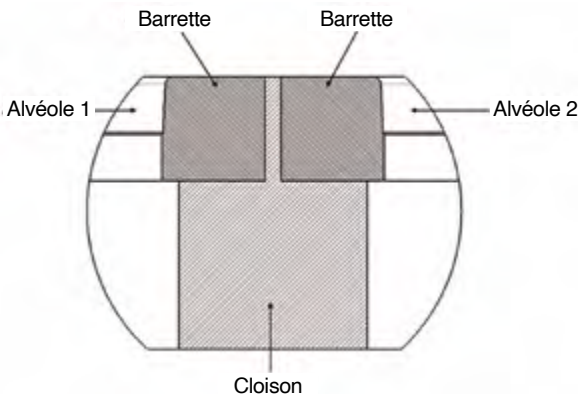
Les barrettes amovibles peuvent être fabriquées séparément, comme les barrettes fixes, puis assemblées en queue-d'aronde (figure 3.28). On les appelle alors des barrettes rectifiées^[71]. Dans certains cas, il est nécessaire de les fabriquer d'un seul tenant à partir de plaques d'acier coupées au fil.



Figure 3.28. Barrettes amovibles rectifiées avec assemblage à queue-d'aronde

Chaque alvéole des moules pour formats rectangulaires et carrés, équipés de ce type de barrettes, est constituée d'un jeu de quatre barrettes : 2 longues et 2 courtes, comme pour les barrettes fixes. Ces barrettes sont donc essentiellement fixes et fabriquées séparément, mais elles comportent deux innovations importantes : d'une part, elles peuvent être montées en un seul corps avec un assemblage à queue-d'aronde, ce qui les rend facilement démontables, et d'autre part, elles peuvent être fixées à la matrice au moyen de trous verticaux. Il est également possible de fabriquer des barrettes amovibles rectifiées à double ou même triple sortie, bien que dans ce cas il n'y ait pas de cloison centrale entre deux alvéoles successives, puisque les séparateurs sont les barrettes à proprement parler, de sorte que pour des raisons d'entretien, il est conseillé de les fabriquer avec une seule sortie. La figure 3.29 présente un schéma de la séparation entre deux alvéoles successives avec cloison (a) et uniquement avec des barrettes dans le cas des barrettes amovibles rectifiées à plusieurs sorties (b).

(b) Vue en coupe de la séparation avec cloison de deux alvéoles avec barrettes



(a) Vue en coupe de la séparation de deux alvéoles avec barrette sans cloison

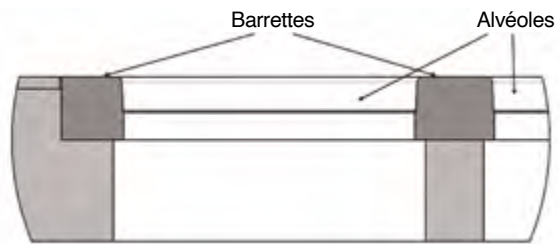


Figure 3.29. Séparations entre alvéoles avec cloison et avec barrettes uniquement

Dans ce type de barrettes, caractérisées par une grande facilité de montage et de démontage, il est également possible de diviser les alvéoles au moyen d'une pièce centrale. Cela permet d'obtenir différents formats pour une même matrice (moules multiformat), et de réaliser des formats similaires (coins arrondis, profil fiche à fiche, etc.) avec le même nombre de sorties.

3.6.1.5. Barrettes rectifiées – coupées au fil

Ces barrettes ont une structure similaire à celle des barrettes rectifiées, fabriquées séparément puis montées en une seule pièce avec un assemblage à queue-d'aronde. Ce type de barrettes, référence MRCMH de MACER, intègre la technologie de la coupe au fil pour réaliser la forme intérieure une fois l'ensemble monté entièrement, afin d'obtenir des profils irréguliers impossibles à réaliser avec rectification (figure 3.30).



Figure 3.30. Barrettes à profils irréguliers (barrettes fiche à fiche) rectifiées et coupées au fil

3.6.1.6. Barrettes coupées au fil

Lorsqu'il est nécessaire d'avoir une barrette avec des profils irréguliers (figure 3.31), impossibles à obtenir par rectification conventionnelle à base de produits abrasifs, on a recours à la découpe au fil, comme nous l'avons vu pour les barrettes de type MRCMH. Si au contraire, elles sont fabriquées à partir d'une plaque d'acier et forment donc une seule pièce, elles sont appelées barrettes coupées au fil (MHI de MACER). Il s'agit de barrettes amovibles constituées d'une seule pièce qui limite chacune des alvéoles du moule. Ces barrettes sont fabriquées séparément puis assemblées.



Figure 3.31. Barrette au profil irrégulier coupée au fil dans une plaque d'acier

3.6.1.7. Barrettes anti-usure

Qu'elles soient fixes ou amovibles, les barrettes sont en acier trempé, car elles sont soumises à l'abrasion de la poudre céramique pressée et supportent la composante transversale de la force de pressage. L'usure continue des barrettes qui en résulte augmente le jeu avec les poinçons supérieurs et rend nécessaire leur remplacement tous les 600 000 pressages environ. Cette usure commence à la surface et dépend de la composition de la pâte pressée, en particulier de sa teneur en matériaux de dégraissage abrasifs. D'autre part, on sait que la quantité d'acier trempé utilisée dans la fabrication des barrettes est très élevée par rapport à la faible quantité d'usure (0,2 mm), ce qui peut les rendre irrecevables pour la production de carreaux de qualité.

Afin d'améliorer la résistance à l'usure, de nombreux secteurs industriels utilisent les revêtements de métaux avec d'autres matériaux plus durs, métalliques ou non métalliques. Le revêtement de substrats en acier non trempé selon différentes techniques permet d'obtenir deux types de barrettes, que nous appellerons de façon générale les « barrettes anti-usure » :

- barrettes avec revêtement HVOF ;
- barrettes avec inserts en carbure de tungstène.

a) Barrettes anti-usure avec revêtements HVOF

L'un des procédés de revêtement des métaux est la projection thermique, qui consiste à appliquer des métaux plus durs sur le métal de base ou le substrat par pulvérisation à haute température. Ce procédé est utilisé pour protéger les pièces contre l'usure ou pour d'autres applications telles que l'amélioration de la résistance à la corrosion atmosphérique, à l'attaque d'acides, etc. Il est donc largement utilisé dans de nombreux secteurs industriels, tels que la sidérurgie, l'industrie textile, l'automobile, etc. Cependant, dans la fabrication de moules pour le façonnage de carreaux céramiques, le revêtement de la matrice est la barrette en acier trempé elle-même, dont le rôle est de résister aux contraintes mécaniques et à l'abrasion de la pâte au cours de l'opération de pressage.

En 2004, l'entreprise MACER, en collaboration avec l'Institut de la céramique et du verre (CSIC), a présenté des barrettes anti-usure à l'occasion du CEVISAMA³⁴. Il s'agit de barrettes amovibles de type MRC, sans traitement thermique de trempe, sur lesquelles on applique, par pulvérisation thermique sur la face en contact avec la poudre de céramique, un revêtement en alliage métal-céramique, constitué de carbure de tungstène (WC) comme phase céramique dispersée et de cobalt (Co) comme matrice, dans un rapport de 80:20^{[72] [73]}. L'étape de la trempe, qui vise à améliorer les propriétés mécaniques de l'acier, est remplacée par le dépôt du revêtement d'acier par projection thermique de particules à très grande vitesse.

La méthode ayant servi à obtenir le revêtement utilisé est une variante de la projection thermique, appelée « projection à grande vitesse » HVOF (Hyper Velocity Oxi Fuel Spraying). Le matériau qui formera le revêtement anti-usure est projeté à grande vitesse (entre 700 et 1100 m/s) après avoir été chauffé à des températures comprises entre 1500 °C et 2000 °C au moyen d'une flamme conventionnelle d'hydrogène, d'acétylène ou de gaz naturel, produite à l'intérieur d'un pistolet qui projette la poudre de WC - Co avec une énergie cinétique élevée. Cela permet d'obtenir des revêtements à haute densité avec des épaisseurs comprises entre 0,1 et 0,3 mm et une porosité inférieure à 1 %.

³⁴ Ce projet a reçu une mention honorable du jury des prix Alfa de Oro décernés chaque année par la Société espagnole de la céramique et du verre.

Le revêtement est appliqué par la machine SULZER METCO DJ2700 sur la zone d'usure des barrettes et il est constitué de particules de céramique en WC intégrées dans la matrice en Co.

Le procédé permet une bonne adhérence au substrat, ici de l'acier DIN 1.2080 avec 12 % de Cr sans traitement thermique de trempe.

Ce type de barrettes étant également amovibles, le processus de fabrication est semblable à ceux décrits dans cette section, outre l'étape d'application d'une couche de revêtement anti-usure au moyen d'une projection à grande vitesse.

Ces barrettes peuvent supporter un plus grand nombre de pressages (2 200 000 contre 600 000 pour les barrettes en acier trempé), ce qui réduit le coût de la matrice par cycle de pressage et permet d'utiliser des aciers moins chers pour leur fabrication.

Comme indiqué ci-dessus, l'acier utilisé ne subit pas le traitement thermique de la trempe, qui consomme beaucoup d'énergie et entraîne généralement un nombre élevé de rejets. Il est donc possible de les usiner, en éliminant les restes du revêtement appliqué, et après dégraissage et grenaillage, de réaliser une nouvelle projection en vue de les réutiliser.

b) Barrettes anti-usure avec revêtement en plaque de carbure de tungstène (WC)

Le carbure de tungstène est un matériau de haute dureté constitué de tungstène et de carbone. Il est utilisé, entre autres, dans la fabrication d'outils³⁵ pour travailler l'acier et d'autres matériaux extrêmement durs.

On obtient les matériaux en carbure de tungstène en pressant ou en extrudant des poudres de WC et 6 à 10 % de cobalt, qui agit comme un liant, puis en les cuisant à très haute pression pour former un « cermet »³⁶. Les pièces ainsi obtenues ne peuvent être usinées que par des méthodes abrasives ou par électroérosion. Le liant le plus couramment utilisé dans le carbure de tungstène est le cobalt, bien que certaines spécifications utilisent le nickel ou des mélanges de Ni-Co ou Ni-Cr, en particulier pour les applications nécessitant un matériau anticorrosion.



Figure 3.32. Plaques de carbure de tungstène

Les pièces en carbure de tungstène pour les barrettes anti-usure sont fournies sous forme de plaques (figure 3.32). Il est en effet conseillé, et beaucoup moins cher, d'assembler les plaques de carbure de tungstène à l'acier. L'assemblage rigide de deux métaux pour produire un composant soumis à de fortes pressions et à des frottements peut être problématique. Il existe différentes techniques d'assemblage^[50]

³⁵ Ce matériau est également connu sous le nom de *widia*. Le terme vient de l'allemand *wie diamant* qui signifie « comme un diamant ».

³⁶ Un « cermet » est un matériau composite constitué de métal et de matériau céramique.

entre l'acier et le carbure de tungstène, telles que le brasage^[37], l'utilisation d'adhésifs industriels puissants^[38] ou d'ancrages mécaniques. En revanche, il n'est pas recommandé d'assembler l'acier et le WC par soudage conventionnel à l'acétylène ou à l'arc.

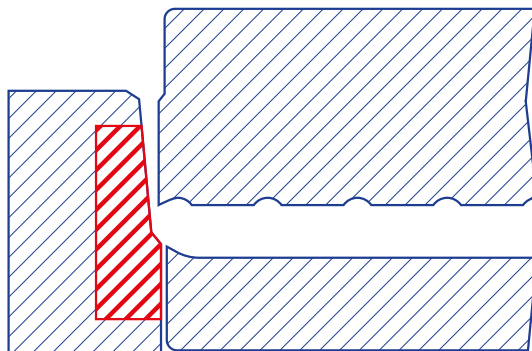


Figure 3.33. Plaque en carbure de tungstène insérée dans une barrette

Les barrettes anti-usure avec un revêtement en plaque de carbure de tungstène (référence MMD de MACER) sont donc constituées d'un support en acier trempé³⁹ avec un revêtement en plaque de carbure de tungstène. Elles ont remplacé les barrettes renforcées par projection en raison de leur coût moins élevé. Il s'agit de barrettes fixes ou amovibles (figures 3.24, 3.34 et 3.35) fabriquées dans le même acier que les autres barrettes, sur lesquelles les plaques de WC sont collées puis usinées. Dans leur zone de pressage, ces barrettes ont une dureté Rockwell comprise entre 75 et 85 HRC et sont capables de supporter entre 3 et 4,5 millions de pressages, ce qui permet de multiplier la durée de vie des barrettes par 4.



Figure 3.34. Schéma d'une plaque en carbure de tungstène insérée dans une barrette et assemblage des barrettes renforcées



Figure 3.35. Barrette amovible renforcée par un insert en carbure de tungstène

³⁷ Le brasage est un procédé d'assemblage thermique utilisant un métal d'apport qui est chauffé jusqu'à ce qu'il fonde et s'écoule par capillarité entre les deux métaux à souder. Le matériau d'apport a un point de fusion supérieur à 450 °C et inférieur aux deux métaux à assembler. Si elle est inférieure, le processus est appelé « brasage tendre » (*soldering*).

³⁸ On utilise généralement des adhésifs acryliques ou des résines époxy, tels que les cyanoacrylates.

³⁹ Bien qu'il soit possible de trouver sur le marché des supports en acier non trempé pour les barrettes renforcées avec revêtement en carbure de tungstène, MACER préfère utiliser de l'acier trempé pour le support car il est soumis à un frottement permanent avec le chariot de la presse.

3.7. POINÇONS

Les poinçons du moule (figures 3.36 et 3.37) façonnent les faces supérieure et inférieure des carreaux. Ce sont par conséquent, avec les barrettes, les composants les plus exposés à l'usure. Ils sont fabriqués en acier et renforcés dans les zones les plus exposées à l'abrasion par des cordons de soudure d'aciers à haute résistance, qui sont ensuite rectifiés aux dimensions définies. La surface des poinçons est généralement recouverte de caoutchouc vulcanisé pour empêcher l'adhérence de la poudre humide.

Les poinçons sont chargés de façonner les faces des carreaux. En fonction de leur position dans le moule, on distingue deux types de poinçons : les poinçons **supérieurs** qui, avec la plaque portepoinçons, sont ancrés à la traverse mobile et sont chargés de transmettre la force développée par la presse à la poudre, et les poinçons **inférieurs** qui sont assemblés rigidement aux blocs du moule et font partie de son système d'extraction.



Figure 3.36. Poinçon pour les carreaux grand format (60x120 cm) en relief

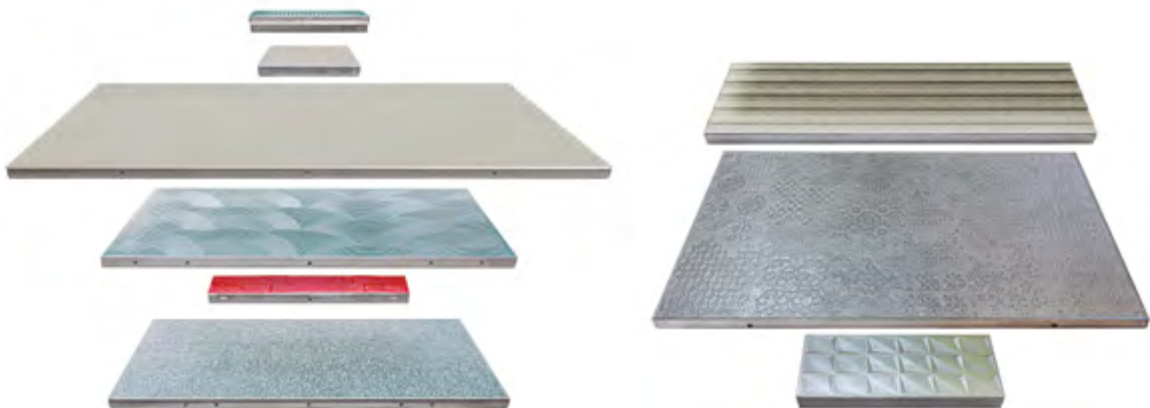


Figure 3.37. Différents types de poinçons

Le poinçon supérieur, dans les moules pénétrants, ou le poinçon inférieur dans les moules à double matrice, façonne le dos du carreau, généralement appelé « face de dos ». Il est souvent doté d'une compensation d'huile pour corriger les éventuelles différences de chargement dans l'alvéole. Ces types de poinçons à compensation hydraulique sont appelés **poinçons isostatiques** et sont classés en fonction du système de compensation utilisé. L'autre poinçon façonne la face noble du carreau et, bien qu'il ne soit généralement pas isostatique, il peut également être compensé isostatiquement pour certains types de carreaux. Le tableau 3.8 présente une **classification des poinçons** pour le pressage des carreaux.

Type				Description	Référence MACER	Utilisation la plus fréquente
Sans caoutchouc	Trempés			Poinçons avec surface en acier trempé		Face noble et face de dos des premiers moules de presses hydrauliques. Non utilisé.
	Trempés et polis			Poinçons avec surface en acier trempé et poli		Face noble Grès cérame non émaillé
Avec caoutchouc	Isostatiques	À cavité unique	Avec fixation par rainure	Caoutchouc fixé par une rainure périmétrique		Première solution de poinçons isostatiques. Début des années 1990. Il est utilisé par une minorité de nos jours.
			À cavité unique	Une seule cavité dans chaque alvéole pour contenir l'huile. Sans plaque.	MGPV	Faces de dos. Petits et moyens formats.
			À cavité unique avec plaque libre	Variante du précédent. Une fine platine basculante est placée dans la cavité.	MGPVT	
			À cavité unique avec plaque perforée fixe	La plaque située dans la cavité est fixée au caoutchouc, qui à son tour est fixé au poinçon par le bord biseauté du périmètre	MGV-1M MGV-2M	
	Cavités interconnectées	Mixtes	Compartiments interconnectés et caoutchouc collé à un système de rainure périmétrique et de trous ou de croisillons.			
		À grille	Dans la cavité prévue pour l'huile, un système de petites alvéoles interconnectées est usiné et rempli d'huile.	MRPV	Faces de dos Utilisation généralisée. Bons résultats pour les moyens et grands formats.	
	Pas de compensation d'huile				Poinçons en acier revêtus de caoutchouc ou de résines synthétiques	

(*) Les carreaux polis de grand format ne peuvent pas être pressés avec des moules isostatiques. En effet, ceux-ci sont à l'origine de petites différences d'épaisseur qui peuvent provoquer des taches visibles après le polissage.

Tableau 3.8. Classification des poinçons

Comme on peut le voir, à un premier niveau, les poinçons peuvent être classés selon qu'ils sont ou non revêtus de caoutchouc. Les poinçons revêtus de caoutchouc peuvent à leur tour être équipés ou non de systèmes de compensation d'huile. Le tableau donne également une brève description de chaque type de poinçon, que nous développerons dans les sous-sections suivantes, ainsi que les références MACER pour chaque type de poinçon et leur mode d'utilisation le plus fréquent.

3.7.1. Poinçons sans caoutchouc

Dans ces poinçons, la poudre de pressage entre en contact direct avec l'acier, qui doit être trempé car il est davantage soumis à l'usure. C'est ce type de poinçon qui était utilisé dans les presses à friction et les premières presses hydrauliques au début des années 1980. De nos jours, certains poinçons sans caoutchouc sont également produits avec une surface polie afin d'obtenir une texture très lisse de haute qualité dans certains produits très spécifiques, par exemple lors de l'utilisation de pigments micronisés ou de flocons.

3.7.1.1. Poinçons sans caoutchouc et trempés

Les poinçons utilisés dans les moules des anciennes presses à friction et dans les premières presses hydrauliques étaient entièrement fabriqués en acier. La surface en contact avec la pâte étaient donc en acier. Ces poinçons étaient soumis à une usure continue due au contact avec les éléments abrasifs de la pâte et aux pressions auxquelles ils étaient soumis. La poudre humide adhère facilement à l'acier, ce qui signifie que, outre les éventuelles pertes de qualité dues à des adhérences, il fallait arrêter la presse fréquemment pour nettoyer les poinçons, ce qui entraînait une réduction de la production. Ce problème est plus grave dans le cas du pressage de poudres atomisées que dans le cas du pressage de poudres broyées à sec. Il serait donc plus important aujourd'hui qu'il ne l'était avec les presses à friction qui pressaient les poudres obtenues par broyage à sec, du fait que dans les presses hydrauliques, les poinçons sont en contact avec la poudre plus longtemps^[9]. Le problème s'aggrave également lorsque l'on presse des modèles dotés d'une certaine forme de relief.

On peut réduire le phénomène de collage des moules considérablement réduit en les chauffant. Comme indiqué ci-dessus, les moules sont dotés d'un système de chauffage par résistances électriques, décrit à la section 3.11.

Certains fabricants de presses ont fourni des solutions, ou du moins ont cherché à minimiser le problème de collages du moule en utilisant des spatules ou des rouleaux de nettoyage^{[32] [86]}. Cette solution n'était applicable qu'aux moules lisses. Une solution plus efficace consistait à les recouvrir de caoutchouc synthétique, avec une faible adhérence caoutchouc-argile, lié au métal par un processus de vulcanisation, solution qui est parvenue jusqu'à nos jours.

3.7.1.2. Poinçons sans caoutchouc, trempés et polis

De nos jours, les moules sans revêtement en caoutchouc présentent une finition polie réalisée par rectification (figure 3.38), ce qui donne aux carreaux pressés une texture de surface de haute qualité, supérieure à celle que l'on obtiendrait avec des revêtements en caoutchouc de haute dureté. Pour améliorer leur résistance, ils sont également soumis à un processus thermique de trempé. Les poinçons de ce type sont fortement recommandés pour le pressage du grès cérame non émaillé, en raison de la grande qualité de la finition de surface des pièces.

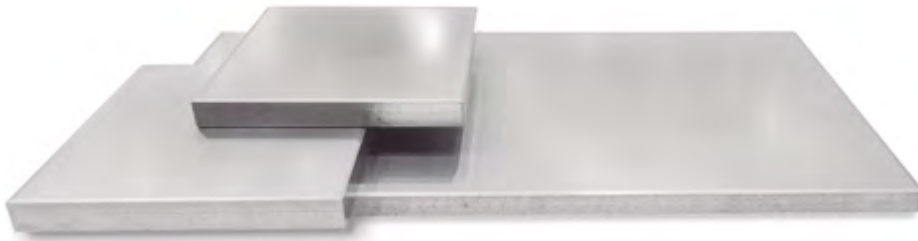


Figure 3.38. Poinçons massifs, sans caoutchouc, trempés et polis

3.7.2. Poinçons avec caoutchouc

Le revêtement en caoutchouc (figure 3.39) des poinçons empêche la poudre humide d'y adhérer, ce qui permet de supprimer les défauts de collage, de faire fonctionner la presse en continu, d'éliminer les arrêts pour le nettoyage et donc d'augmenter la production. Ces poinçons se sont généralisés à partir des années 1980 et, bien qu'il était nécessaire d'adapter la technologie alors disponible pour les fabriquer, ils ont facilité la diffusion des reliefs de presse, car ils ont simplifié le processus d'obtention des poinçons avec reliefs.



Figure 3.39. Poinçons avec revêtement en caoutchouc

3.7.2.1. Poinçons isostatiques

Les poinçons isostatiques (figure 3.40) intègrent une chambre à huile entre le corps du poinçon et le revêtement en caoutchouc. Son rôle est de compenser les éventuelles hétérogénéités dans la distribution de la charge des alvéoles, afin de répartir la pression de manière égale, en maintenant une compacité constante dans toute la pièce, au prix d'une compensation des différences de charge avec de légères différences d'épaisseur.



Figure 3.40. Poinçon isostatique avec trou fileté pour la valve de remplissage d'huile

L'obtention de charges homogènes dans les alvéoles est nécessaire pour la fabrication des carreaux, en particulier pour les produits à forte densification, tels que le grès et le grès cérame, et pour les grands formats. Des irrégularités dans la charge entraînent des variations dans le compactage qui débouchent sur des différences de contraction linéaire du carreau après la cuisson, ce qui peut être à l'origine de défauts, notamment de trapèzes et de lunettes, voire des différences d'épaisseur^[9].

Une bonne fluidité de la poudre atomisée facilite l'opération de chargement du moule^{[8] [15]}, bien qu'il soit possible que, dans certaines situations, la charge présente certaines irrégularités qui, selon leur ampleur, sont susceptibles d'entraîner des défauts. Il est possible de minimiser ces différences de charge par des réglages de la presse, notamment la vitesse du chariot, la chute du poinçon inférieur

pendant le chargement et sa synchronisation avec la position du chariot, la modification de la distribution des lames et des systèmes de lames de nivellement à réglage multiple. On peut même intervenir sur les moules, notamment en corrigeant les surfaces ou la disposition des épaisseurs^[79].

Des propositions ont également été faites pour le contrôle en temps réel de la densité apparente au moyen d'un système de détection des poinçons^{[24] [69]}. D'autre part, MACER a mis au point un système pour déterminer en temps réel les variations significatives de la densité apparente par la mesure en ligne du poids et de l'épaisseur des carreaux, afin de définir des actions de correction dans la presse, en fonction des variations de compacité, bien que ce système soit aujourd'hui obsolète.

Cependant, le problème de la mauvaise répartition des charges, en particulier au sein d'une même alvéole, est difficile à résoudre de façon automatique avec les mécanismes actuels de réglage des presses. Une solution a été recherchée afin de compenser automatiquement les différences de charge, et donc de compacité de la pièce, au moyen des poinçons isostatiques. Cette technique dérive du pressage isostatique à sec avec dry-bag^[23], connu et utilisé dans le façonnage de certains produits céramiques, notamment la vaisselle, la céramique technique, etc., où la pression est appliquée à un moule en élastomère, qui fait partie de la presse, à travers un milieu liquide incompressible. Elle est donc transmise de manière égale dans toutes les directions, de sorte que les différences de charge se traduisent par des différences d'épaisseur dans la pièce pressée, mais pas par une différence de compacité.

En principe, les poinçons isostatiques sont des poinçons où un lit d'huile est intercalé entre le caoutchouc et le métal, de façon à ce que le caoutchouc, déformable, et l'huile, incompressible, absorbent les différences de charge. Dans certains modèles de poinçons isostatiques, l'huile peut être répartie dans de petites alvéoles reliées entre elles (figures 3.51, 3.52 et 3.53), de sorte que si le poinçon rencontre une charge inégalement répartie pendant le pressage, celle-ci est égalisée dans toutes les cavités lorsque la pression est appliquée, conformément au principe des vases communicants. Ainsi, la pression de l'huile dans les différentes alvéoles du poinçon isostatique acquiert la même valeur et donc, la pression spécifique appliquée aux zones irrégulièrement chargées du carreau est la même. Par conséquent, **le carreau aura tendance à conserver la même compacité dans les zones où la charge n'est pas égale, au prix d'une variation de l'épaisseur** (figure 3.41).

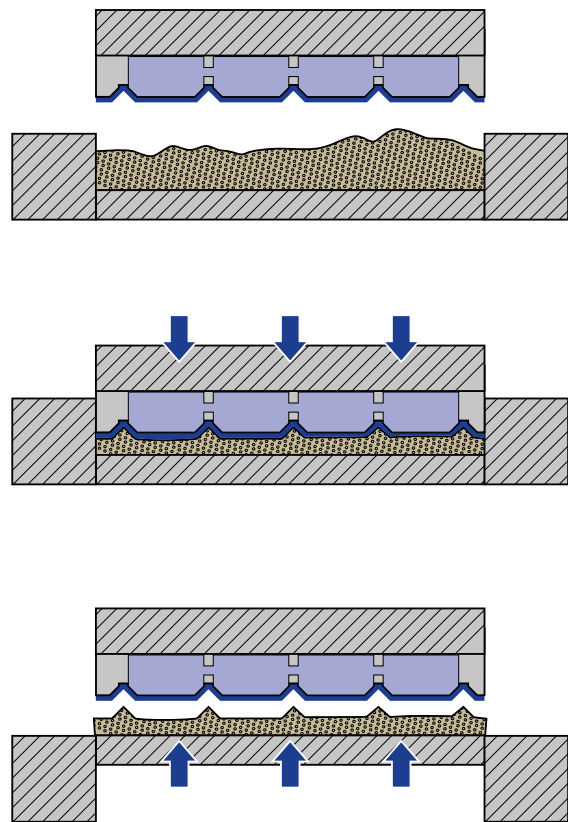


Figure 3.41. Processus de pressage avec des poinçons isostatiques

Pour éviter que les petites déformations dues aux différences d'épaisseur ne soient visibles sur la

« face noble » du carreau, cet effet est presque toujours utilisé dans les poinçons de la « face de dos »⁴⁰, bien qu'aujourd'hui il soit également utilisé sur la face noble pour le façonnage de certains modèles imitation pierre ou avec des reliefs très prononcés. Dans les moules pénétrants, le relief de dos est généralement mis en forme par les poinçons supérieurs, qui sont donc isostatiques. Toutefois, dans les moules à double matrice, utilisés pour la fabrication de grès cérame non émaillé, la face de dos correspond au poinçon inférieur qui, dans ce cas, est celui dont l'effet est isostatique.

La figure 3.42 montre l'effet de la compensation isostatique sur la distribution de la densité apparente par rapport à la distribution obtenue en pressant la même poudre dans les mêmes conditions avec des poinçons massifs, c'est-à-dire sans compensation isostatique. Les cartes de densité apparente présentées ont été obtenues avec un appareil de mesure par absorption de RX appelé DENSEXPLORER^[56] (voir annexe IV).

Sur les cartes obtenues, on observe une grande hétérogénéité de la distribution de la compacité dans les carreaux pressés avec des poinçons sans compensation isostatique par rapport à ceux obtenus avec des poinçons isostatiques. En revanche, ces différences sont inversées pour ce qui est de l'épaisseur, comme le montre la figure 3.43. En effet, comme indiqué plus haut, on obtient les compensations de densité apparente dans les poinçons isostatiques au prix de différences d'épaisseur.

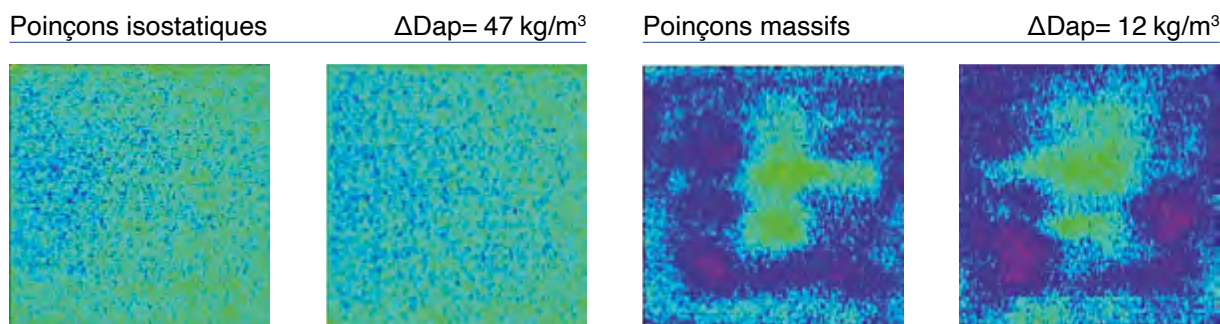


Figure 3.42. Distributions de la densité apparente dans les carreaux pressés avec des poinçons isostatiques et massifs selon la référence^[56] Image : ITC-MACER

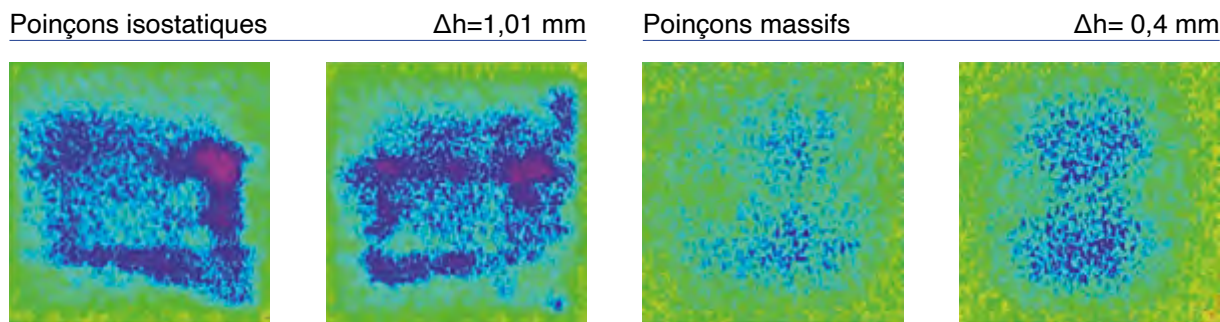


Figure 3.43. Distributions de l'épaisseur dans les carreaux pressés avec des poinçons isostatiques et massifs selon la référence^[56] Image : ITC-MACER

⁴⁰ Bien que les variations d'épaisseur se manifestent sur la face du relief de dos, des différences importantes peuvent provoquer des déformations clairement visibles sur le carreau. Par conséquent, il est parfois préférable d'obtenir de petites différences de compactage en gardant l'épaisseur constante plutôt qu'un compactage constant obtenu au détriment de différences d'épaisseur qui se manifestent sur la face noble du carreau.

Il faut tenir compte du fait que dans certains types de poinçons isostatiques, des cycles de pressage excessivement rapides peuvent réduire la compensation isostatique, étant donné que pour que l'huile puisse circuler d'une cellule à d'autres du même poinçon, il doit y avoir une différence de pression. Le débit d'huile à transférer dépend de cette différence de pression et peut donc, dans les cycles excessivement rapides, être trop élevé pour compenser les différences de pression. Naturellement, la conception des raccords entre ces cellules joue alors un rôle important.

Dans les poinçons isostatiques, la conception de la face de dos est très importante et il faut veiller à ce que l'effet de la compensation, c'est-à-dire la variation d'épaisseur, ne dépasse jamais la hauteur des nervures, ce qui entraînerait une perte de stabilité des carreaux sur le support. Certains auteurs^[1] recommandent que la hauteur minimale des nervures ne soit pas inférieure à 0,5 - 0,6 mm.

Les principaux avantages de l'utilisation de poinçons isostatiques pour le pressage sont la réduction drastique des défauts dimensionnels dus à l'opération de pressage, la réduction des calibres et l'augmentation du rendement de la presse^[23].

Il existe de nombreux types de poinçons isostatiques disponibles actuellement sur le marché. Les principales différences entre eux résident dans la disposition de la ou des chambre(s) à huile et dans les systèmes de fixation du caoutchouc, qui sont liés à la conception du poinçon lui-même. La fixation du caoutchouc au poinçon est un aspect technique important, car des détachements partiels de caoutchouc peuvent entraîner des défauts de gonflement dans la pièce.

D'autre part, il convient de noter que le caoutchouc utilisé dans les poinçons isostatiques est généralement d'une dureté inférieure à celle des poinçons de la face noble.

a) Poinçons isostatiques à cavité unique

Ces poinçons isostatiques ont une structure plus simple. Sur la surface du poinçon, on réalise un creux limité par un cadre périphérique (figure 3.44) où l'on fixe le caoutchouc, ce qui permet de délimiter entre celui-ci et le poinçon une chambre, que l'on remplit d'huile. Les différentes techniques de fixation du caoutchouc donnent lieu à différents types de poinçons à cavité unique. On peut réaliser cette fixation de façon plus simple, grâce à un adhésif puissant, ou avoir recours à des éléments mécaniques tels que des trous filetés, des rainures ou des croisillons.



Figure 3.44. Poinçon isostatique à cavité unique

Une variante particulièrement intéressante est le poinçon à plaque libre ou flottante, c'est-à-dire un poinçon à cavité unique dans lequel une plaque métallique est insérée afin de minimiser les ondulations causées par l'huile, qui peuvent devenir visibles sur la face émaillée des carreaux grand format, en particulier lorsque l'on utilise des émaux brillants et clairs.

Poinçons de type MGPV⁴¹

La conception des poinçons isostatiques à cavité unique du type MGPV, où le caoutchouc est collé aux biseaux de la cavité du poinçon, est similaire, mais avec un collage du caoutchouc nettement amélioré. L'huile est chargée dans chaque poinçon en l'injectant à travers la valve de remplissage. Les valves de remplissage sont des clapets anti-retour et peuvent être soit vissées, soit à raccord rapide (figure 3.54).

Lorsque l'épaisseur du poinçon est si faible qu'elle ne permet pas d'y installer une valve de remplissage (généralement quand elles sont inférieures à 40 mm), on les fabrique sans valve et on les remplit d'huile par les bouchons⁴².

Poinçons à rainure

Les poinçons à rainure ont été les premiers poinçons isostatiques à apparaître sur le marché entre 1992 et 1993. Leur conception était très simple ; elle consistait essentiellement à intercaler une couche ou un lit d'huile entre le caoutchouc et le métal dans une enceinte étanche. Le caoutchouc était fixé dans la rainure. La quantité d'huile dans chaque poinçon était donc constante.

Cependant, ce type de poinçon n'est pas parvenu à résoudre complètement le problème de la décompensation des charges, car le caoutchouc a peu de surface de jonction avec le poinçon et si les différences de charge sont très prononcées, les déformations peuvent devenir perceptibles sur la face noble du carreau^[74].

Poinçons avec fixation par trous filetés

Il s'agit d'un type de poinçon isostatique semblable au précédent, avec une seule cavité, qui est aujourd'hui totalement obsolète. Le caoutchouc y était fixé au poinçon au moyen d'un adhésif sur les biseaux périmétriques et dans les petits trous filetés sur la surface du poinçon après l'opération de pressage à chaud^[77].

Le caoutchouc remplissait les trous percés dans la cavité hydraulique de sorte que, une fois solidifiée, la partie retenue dans les trous filetés agissait comme des éléments de retenue mécanique avec le corps du poinçon, tout en créant un réseau de petites chambres interconnectées.

Comme dans tous les poinçons isostatiques, l'huile était introduite par un clapet anti-retour et distribuée par des canalisations internes dans toutes les petites chambres créées par le système de fixation en caoutchouc.

⁴¹ Nom commercial de ce type de poinçons de l'entreprise MACER S.L.

⁴² En réalité, il est possible de fabriquer tout poinçon isostatique sans valve et de remplir l'huile par les bouchons, bien que cela ne soit pas conseillé. En effet, il s'agit d'une opération fastidieuse, de sorte que, si l'épaisseur du poinçon le permet, ils sont fabriqués avec une valve.

Poinçons à cavité unique avec plaque flottante (MACER TYPE MGPVT)

Dans les grands formats, les poinçons isostatiques à cavité unique ont tendance à transférer une certaine ondulation de surface sur la face émaillée, ce qui est particulièrement visible si on utilise des émaux clairs et brillants. Un moyen de minimiser ce problème consiste à insérer une plaque métallique libre dans la cavité de l'huile (figure 3.45), de façon à ce que le basculement de la plaque réduise l'effet d'ondulation provoqué par l'huile dans les grandes cavités.

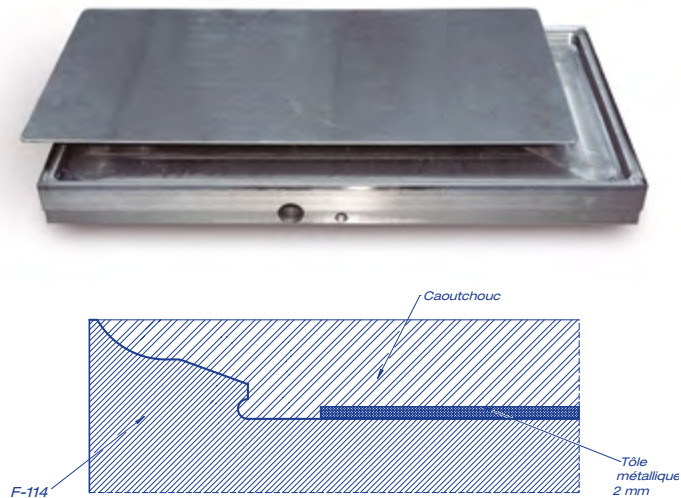


Figure 3.45. Poinçons isostatiques à cavité unique avec plaque

Poinçons à cavité unique avec plaque fixe perforée

Dans les poinçons de ce type, une plaque perforée est emboîtée dans la cavité prévue pour l'huile (figure 3.46) et le caoutchouc y est fixé, d'une part, au corps du poinçon au niveau du bord biseauté périmétrique et, d'autre part, à la plaque qui reste, dans la partie inférieure, en face du fond de la cavité. L'huile vient se loger entre la plaque et le fond de la cavité.

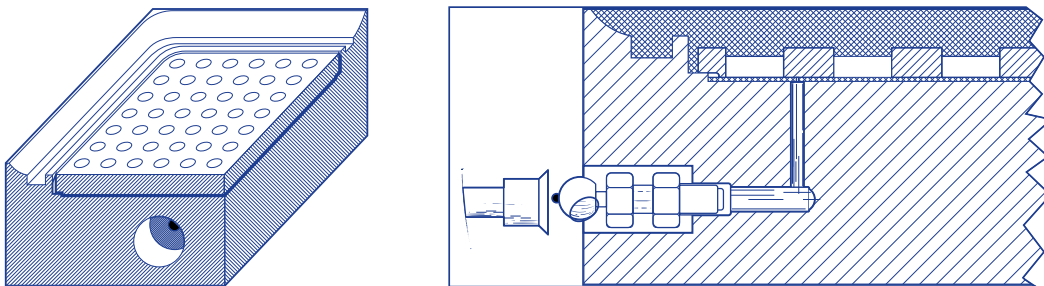


Figure 3.46. Poinçons isostatiques à cavité unique avec plaque fixe perforée

En fonction du type de plaque utilisé, MACER fabrique deux modèles différents : les poinçons MGV-1M (figures 3.47 et 3.48) et les poinçons MGV-2M (figures 3.49 et 3.50).

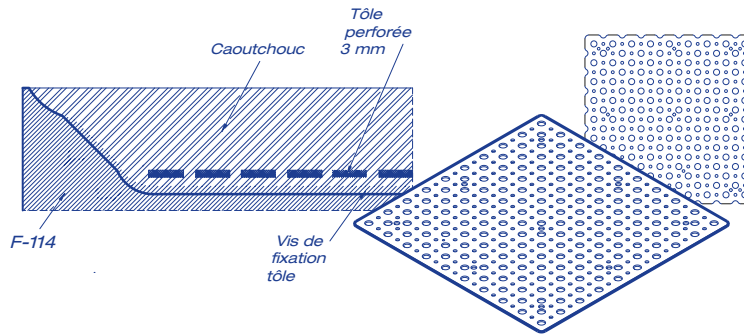


Figure 3.47. Poinçons isostatiques avec plaque fixe MGV-1M (schéma)



Figure 3.48. Poinçons isostatiques avec plaque fixe MGV-1M

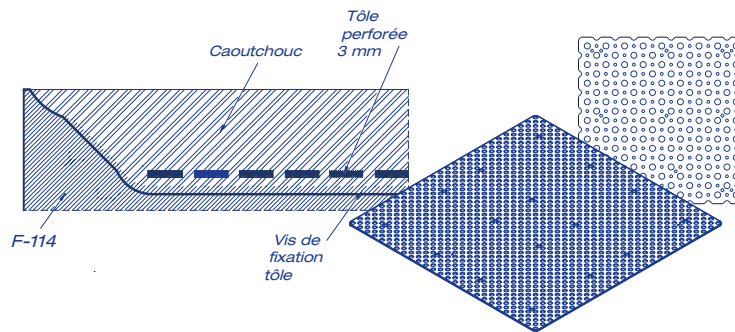


Figure 3.49. Poinçons isostatiques avec plaque fixe MGV-2M (schéma)



Figure 3.50. Poinçons isostatiques avec plaque fixe MGV-2M

b) Poinçons isostatiques à cavités interconnectées

Les poinçons isostatiques à cavité unique sont limités par le format. En effet, il est difficile d'empêcher l'apparition d'ondulations dues à l'huile sur la partie émaillée des grandes surfaces. Bien que les poinçons à plaque flottante puissent constituer une bonne solution, ils ne sont pas suffisants pour les grands formats. C'est pourquoi de nouveaux types de poinçons isostatiques ont été mis au point, afin de transformer la cavité de l'huile en un système de petites cavités ou alvéoles interconnectées.

On peut trouver une grande variété de ces poinçons sur le marché. Les différences entre les uns et les autres résident dans la solution utilisée pour construire la structure des alvéoles interconnectées dans lesquelles l'huile est logée.

Poinçons mixtes

Ils constituent une amélioration par rapport aux types de poinçons précédents, grâce à une conception mixte qui reprend le même type de fixation du caoutchouc et l'intègre dans un système d'alvéoles interconnectées.

Le caoutchouc est fixé à la rainure latérale et à des trous filetés ou à des croisillons. Au cours du traitement thermique auquel le caoutchouc est soumis (durcissement), il est solidement fixé à la rainure et aux trous, ou aux croisillons, et non aux alvéoles, grâce à l'application d'agents de démoulage dans ces zones, créant ainsi une structure suffisamment rigide qui permet néanmoins l'effet isostatique, puisque tous les compartiments sont, comme indiqué ci-dessus, interconnectés les uns aux autres.

Poinçons isostatiques à grille (TYPE MRPV DE MACER)

Les poinçons à grille (figures 3.51, 3.52 et 3.53) sont dotés d'un quadrillage usiné dans le poinçon qui définit un système d'alvéoles susceptibles d'avoir différentes formes, bien que la plus fréquente en raison de sa simplicité constructive et de son efficacité soit carrée. Les petites chambres qui forment le quadrillage d'alvéoles sont reliées entre elles par différents procédés : canalisations, trous percés à différents angles, etc.

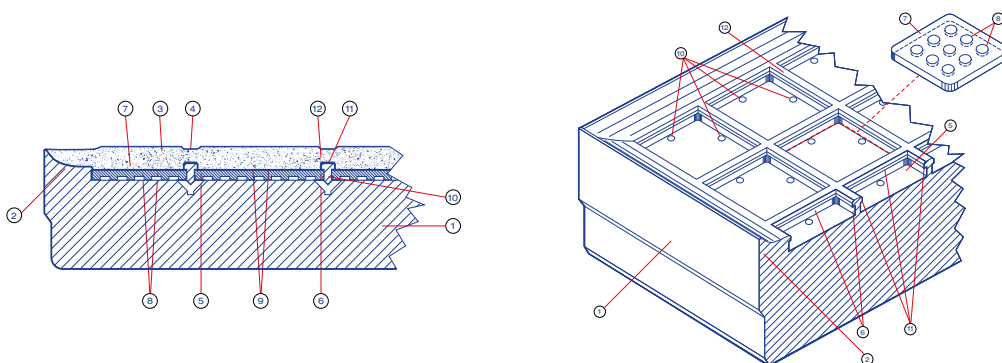


Figure 3.51. Structure du poinçon isostatique avec alvéoles en grille

1. Corps du poinçon
2. Cadre périmétrique
3. Caoutchouc
4. Face de dos
5. Fond des alvéoles
6. Cloisons des alvéoles

7. Pièces modulaires élastiques
8. Boutons des pièces élastiques
9. Trous remplis d'huile
10. Orifices pour le remplissage d'huile
11. Paliers de fixation des butées
12. Parties supérieures des cloisons

Le quadrillage est conçu de telle sorte que les mortaises formées soient plus petites que la face de dos à utiliser et que les nervures coïncident avec celles de la face de dos d'origine (figure 3.52), sans qu'elles ne subissent une compensation et en formant un plan parfait avec la pièce. Ceci est important car le carreau doit avoir un plan d'appui parfait pendant le stockage et la manipulation à l'état cru, et surtout pendant la cuisson. Par conséquent, la conception des alvéoles peut réduire l'effet isostatique du poinçon pour maintenir un appui parfait des carreaux^[1].

Alvéoles bouchées avec butées élastiques

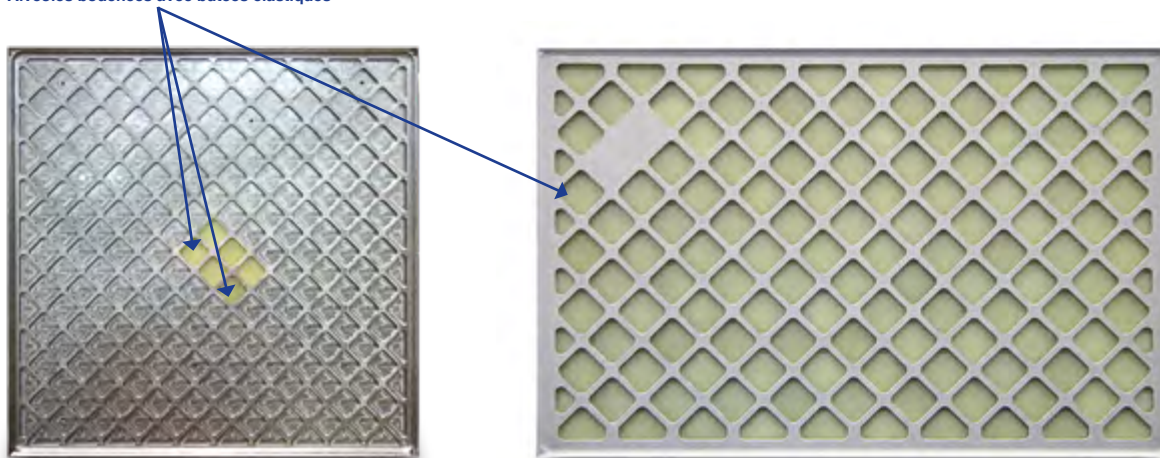


Figure 3.52. Structure des alvéoles en grille et butées élastiques de fermeture

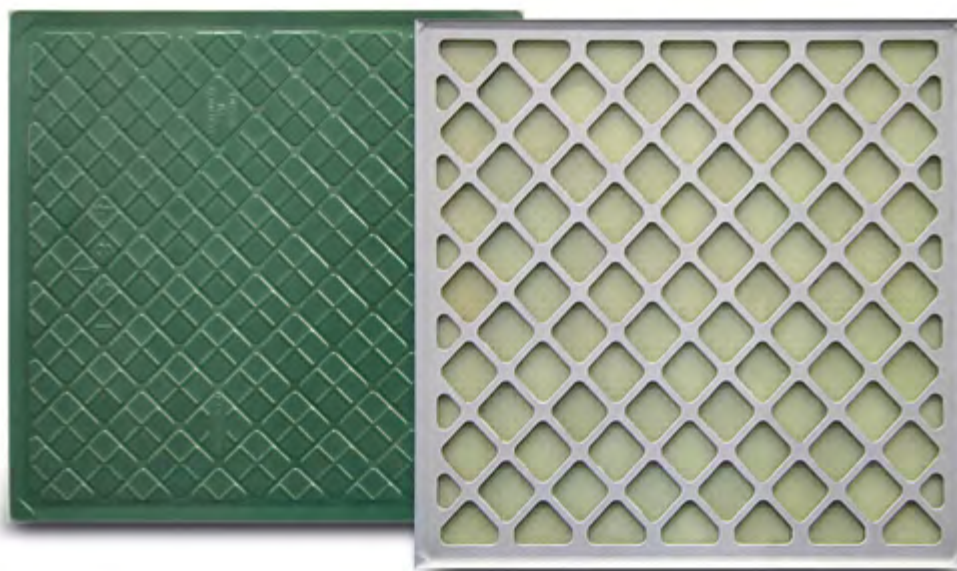


Figure 3.53. Poinçons isostatiques avec structure en grille

L'huile est introduite par le clapet anti-retour de remplissage piloté et occupe les alvéoles. Les valves (figure 3.54) peuvent être à raccord rapide ou à visser. Cette opération est facilitée par la présence de petits conduits de désaération réalisés dans la grille. L'huile n'est jamais en contact avec le caoutchouc du poinçon, car les alvéoles sont fermées au moyen de pièces modulaires élastiques dont les bases inférieures sont munies de boutons ou de protubérances qui reposent sur le fond de la cavité et s'insèrent parfaitement dans chacune des alvéoles^[77]. Des saillies ou des paliers périmétriques réalisés dans les cloisons des alvéoles en empêchent le mouvement. Les faces supérieures de ces butées sont en contact avec le caoutchouc du poinçon, de sorte que ce sont les butées qui transmettent la pression de l'huile et permettent donc de maintenir l'effet isostatique. En effet, toutes les alvéoles sont reliées entre elles et l'huile peut circuler librement entre les saillies inférieures des pièces modulaires.



Figure 3.54. Types de valves pour les poinçons isostatiques

Ce type de poinçon réduit considérablement la quantité d'huile nécessaire et, en outre, il n'est pas nécessaire d'appliquer une pression supplémentaire sur le fluide. De par sa conception, il présente également l'avantage d'effectuer la compensation hydraulique tout en maintenant l'épaisseur presque constante, avec des différences d'à peine $\pm 0,1$ mm.

Lorsque les carreaux sont émaillés avec des émaux brillants, tels que les cristallins, ces poinçons peuvent donner lieu à un défaut connu sous le nom de « marquage des nervures ». Autrement dit, les nervures peuvent devenir visibles sur la surface de l'émail lorsque la lumière s'y reflète. Pour éviter cela, il est conseillé de concevoir les nervures du moule avec une faible épaisseur, bien qu'il soit préférable d'utiliser ce système de compensation hydraulique pour les carreaux mats et épais.

Il existe des systèmes pour contrôler le circuit de charge. Il s'agit d'un tube ou d'un tuyau de chargement où tous les poinçons sont connectés en série à un bloc doté d'une valve, d'un élément logique et enfin d'un transducteur de pression connecté à un afficheur qui indique la pression de travail maximale et minimale du circuit. Ce dispositif permet de détecter les décharges du circuit.

D'autre part, il est possible de connaître la pression des chambres à huile pendant l'opération de pressage si l'on raccorde un transducteur de pression soit directement au corps du poinçon, soit au moyen d'un tuyau.

La mesure de la pression dans chacun des poinçons permet d'équilibrer l'opération de pressage en égalisant le compactage sur tous les plateaux. Par exemple, lors du pressage de grands formats ou de formats moyens avec un grand nombre de sorties, on utilise de grands moules, ce qui nécessite des presses avec une distance élevée entre les colonnes. Dans ces cas, la pression est inégalement répartie, de sorte que les carreaux des alvéoles centrales sont plus compacts que ceux des extrémités. Cela veut dire que le volume d'huile dans chaque poinçon ne doit pas toujours être le même, car il varie en fonction de la charge de l'alvéole, celle-ci pouvant être variable. L'équipement décrit peut détecter ces différences, ce qui permet de modifier les pressions dans la chambre de chaque poinçon en injectant ou en extrayant de l'huile.

Une variante directe de ce dispositif est un équipement qui régule séparément le remplissage de la cavité de chacun des poinçons à partir d'un groupe hydraulique avec injecteur, relié à chaque poinçon au moyen de tuyaux et de vannes de commande indépendantes. Ainsi, au début de la régulation du pressage, les poinçons sont vidés et on obtient les valeurs réelles de la densité apparente, sans compensation hydraulique. Ensuite, on ajuste la densité apparente dans chaque plateau en injectant par impulsions la quantité d'huile nécessaire dans chaque poinçon, afin d'unifier les compactages dans toutes les sorties. Chaque impulsion correspond à 2 ml d'huile injectés. Le système est déclenché par l'opérateur de la presse, car il fait partie du système de régulation de la presse qui l'intègre. La quantité d'huile dans chaque poinçon est donc automatiquement ajustée au moyen d'un microprocesseur où l'on saisit les données de contrôle de la densité en vrac.

c) Poinçons isostatiques interconnectés

Jusqu'à présent, nous avons toujours parlé de poinçons étanches, dans lesquels on injecte une quantité d'huile qui peut être différente en fonction de la position du poinçon. Il est toutefois possible d'interconnecter les poinçons du moule au moyen d'un système de tuyaux, ce qui permet une certaine compensation de la charge d'huile de chaque poinçon, mais s'avère inutile pour compenser les différences de charge entre les plateaux^[1].

Pour un bon fonctionnement des poinçons, le transfert d'huile d'un poinçon à l'autre doit être minimal. Un excès d'huile peut annuler l'effet d'équilibrage de la pression à l'intérieur des petites cavités ou alvéoles d'un poinçon, celui-ci se comportant alors comme un poinçon traditionnel sans compensation hydraulique.

3.8. PLAQUES SUPÉRIEURES

Il s'agit des plaques (figure 3.55) qui servent à maintenir les poinçons supérieurs. Elles sont donc vissées à la traverse mobile de la presse. Bien que des bobines électromagnétiques puissent être utilisées pour le système d'aimantation, les moules actuels sont généralement dotés d'un système d'aimantation permanent qui maintient les poinçons supérieurs en place et les empêche de tomber en cas de panne de courant accidentelle. Ces plaques sont fabriquées en acier DIN CK45.

MACER commercialise une plaque supérieure complémentaire universelle à aimantation permanente (figure 3.56) qui a les mêmes dimensions que la traverse de la presse et est fixée à celle-ci. Cette plaque est dotée de systèmes de centrage et de sécurité qui permettent de monter une grande variété de plaques, aussi bien isostatiques que traditionnelles, et donc de changer rapidement de format.

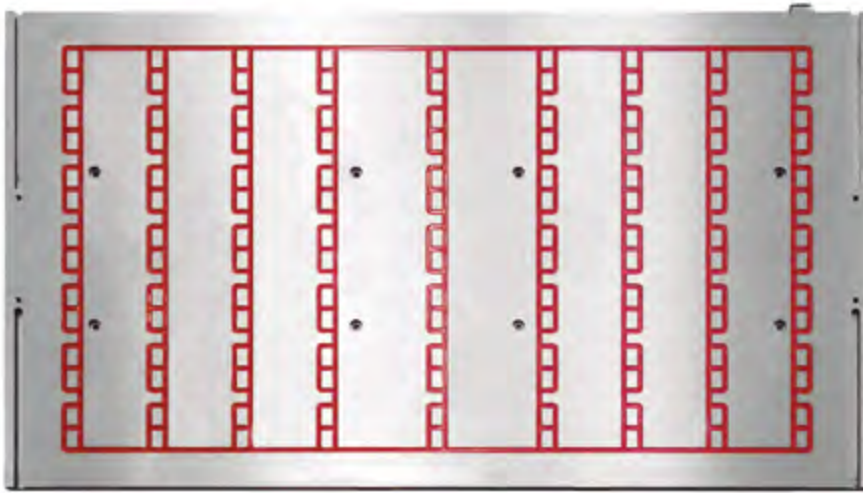


Figure 3.55. Plaque supérieure complémentaire universelle à aimantation permanente

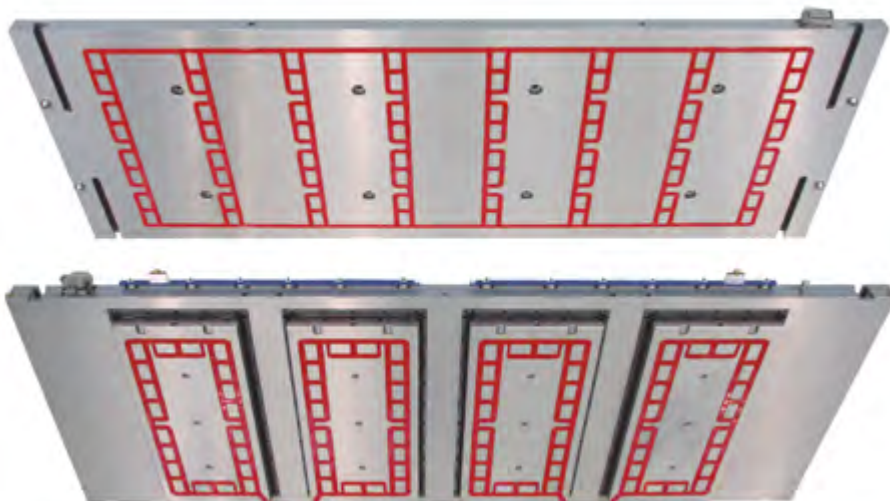


Figure 3.56. Plaque supérieure isostatique montée sur une plaque supérieure complémentaire universelle à aimantation permanente

3.9. PORTE-POINÇONS ISOSTATIQUE

Certains moules sont équipés d'une plaque porte-poinçons isostatique. Ces plaques sont dotées d'un système hydraulique interne qui relie tous les poinçons, ce qui permet d'obtenir une compensation hydraulique. Ce système découle de la compensation isostatique et est utilisé lorsqu'il est nécessaire de minimiser le nombre de calibres produits.

Le porte-poinçons isostatique peut être installé dans n'importe quel type de moule. Dans les moules pénétrants, la compensation isostatique est installée dans les poinçons supérieurs, et dans les moules de façonnage supérieurs, ou moules doubles, elle était installée au départ dans la partie inférieure (figure 3.57). Aujourd'hui, en raison des problèmes de décompensation de la charge des alvéoles détectés dans les moules dotés de plaques porte-poinçons à compensation hydraulique, on préfère l'installer dans la plaque supérieure (figure 3.58), bien qu'il s'agisse d'une solution technique beaucoup plus complexe.



Figure 3.57. Moule à façonnage inférieur (moule double)

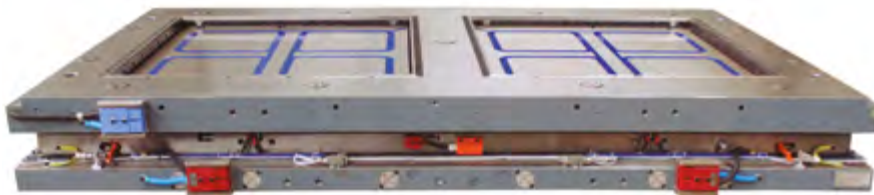


Figure 3.58. Moule à façonnage supérieur (moule double) avec plaque supérieure isostatique

Le schéma 3.59 montre l'effet sur la densité apparente d'une plaque porte-poinçons supérieure installée dans un moule pénétrant à trois sorties^[25].

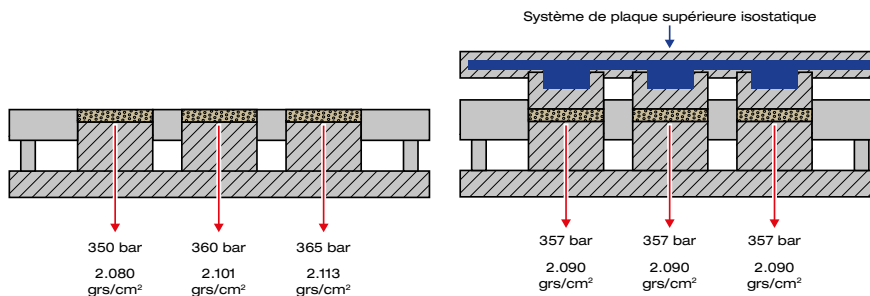


Figure 3.59.

3.10. SYSTÈMES D'AIMANTATION

Dès les années 1980, la fixation magnétique a remplacé les vis pour maintenir les poinçons en place. Ce type de fixation présente des avantages considérables par rapport au précédent, car il permet un meilleur centrage et un montage plus rapide des poinçons.

La fixation magnétique peut être effectuée par des aimants permanents ou des électro-aimants. **Les aimants permanents** sont utilisés pour fixer les poinçons supérieurs à la plaque porte-poinçons supérieure (figure 3.60). Ce système comprend trois types d'aimants : des aimants en néodyme à polarité fixe d'un côté et des aimants en AlNiCo à polarité alternée de l'autre, autour desquels on place une bobine électrique. Le champ magnétique est inversé par une brève impulsion de courant pulsatoire qui oriente les molécules des aimants AlNiCo de façon différente. Dans la phase magnétique (MAG), le champ magnétique est doublement concentré dans la partie supérieure de l'aimant.

Les bobines sont alimentées par la tension du secteur via un panneau électrique qui transforme la tension en impulsions positives ou négatives. Dans un cas, on induit une polarité dans les aimants qui provoquent l'aimantation, retenant les poinçons ; dans l'autre cas, on inverse la polarité pour démagnétiser et permettre de les changer. Il n'est pas nécessaire de maintenir le courant électrique dans la bobine pour maintenir l'état de l'aimant ; il suffit de fournir le courant nécessaire pendant un certain temps pour provoquer le changement d'état.

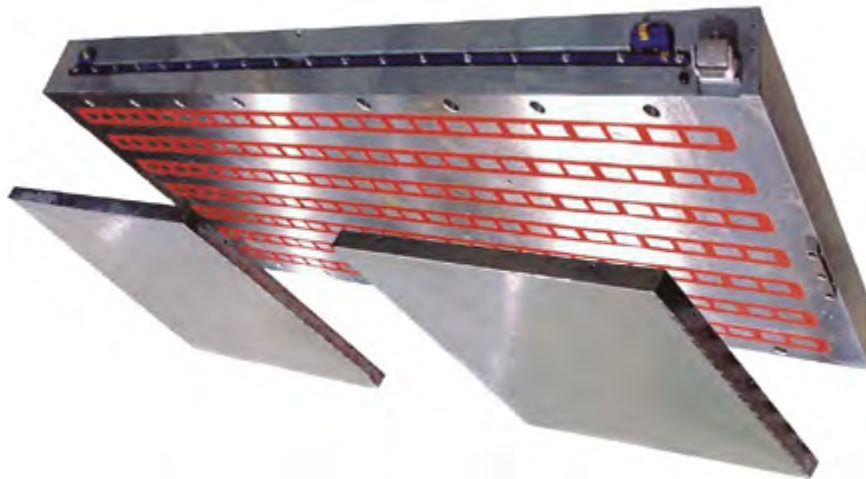


Figure 3.60. Fixation magnétique des poinçons supérieurs dans un moule à miroir

Les électro-aimants sont utilisés pour la fixation des poinçons sur les blocs (figure 3.61) et également pour la fixation des poinçons supérieurs.

Ce système est constitué de bobines (solénoïdes) qui doivent être alimentées en permanence par une tension continue de 24 ou 48 volts. Le courant qui circule dans les bobines génère un champ magnétique qui maintient les poinçons attachés aux blocs ou à la plaque porte-poinçons.

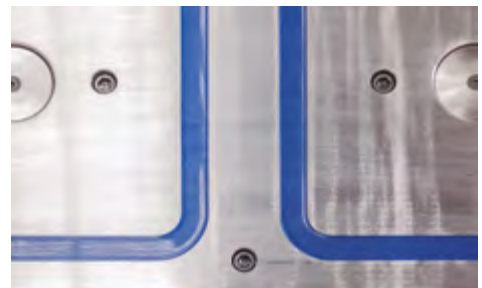


Figure 3.61. Électro-aimant sur les blocs (détail)

3.11. SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

Les moules sont équipés d'un système de chauffage dont le but est de chauffer les composants qui entrent en contact avec la poudre pendant le pressage, c'est-à-dire les barrettes et les poinçons, afin de réduire l'adhérence de la poudre au moule et d'éviter les arrêts pour le nettoyage. Le chauffage de tous ces composants permet également d'agir sur les jeux entre les barrettes et les poinçons en contrôlant leur dilatation.

L'intensité du courant électrique qui circule dans les résistances génère une énergie thermique (Q) égale à :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

où,

Q : énergie thermique (J)

I : intensité (A)

R : résistance (Ω)

t : temps (s)

L'énergie thermique générée au cœur de la résistance est transmise par conduction à travers les pièces métalliques jusqu'aux zones souhaitées du moule (intérieur de la barrette et caoutchoucs ou faces des poinçons en contact avec la terre), ce qui fait augmenter la température des pièces jusqu'aux valeurs de travail, généralement situées entre 35 et 55 °C.

Deux systèmes de chauffage sont actuellement utilisés, en fonction du type ou du composant du moule :

- **Résistances chauffantes tubulaires.** Les résistances de ce type (figure 3.62) sont montées dans les trous de la matrice et dans les parties du moule qui sont en contact avec les poinçons (blocs et plaques porte-poinçons).
- **Résistances périmétriques en forme de L** (figure 3.63). Elles sont montées dans les coins et tout au long du périmètre de la matrice. Elles conviennent mieux pour une distribution homogène de la chaleur dans les moules de grandes dimensions.

Outre ces deux types de résistances, il est également possible de trouver des **résistances plates** (figure 3.64), bien qu'elles soient peu utilisées en raison de leur faible efficacité.

Dans les petits moules, dont la longueur est généralement inférieure à 1 750 mm, les résistances qui chauffent la matrice sont habituellement installées dans la partie inférieure, en contact avec celle-ci. L'épaisseur de la matrice n'étant pas très élevée dans ce type de moule, la chaleur est répartie de façon assez homogène si le choix des résistances et leur distribution sont appropriés. Cependant, dans les grands moules utilisés pour presser des carreaux grand format, la matrice est très grande et très épaisse, de sorte que cette disposition des résistances est insuffisante pour obtenir une distribution homogène de la chaleur. MACER équipe ses moules de longues résistances en forme de L qui sont installés au niveau du périmètre, comme le montre la figure 3.63.



Figure 3.62. Résistances chauffantes tubulaires



Figure 3.63. Résistances chauffantes périmétriques en forme de L



Figure 3.64. Résistances chauffantes plates

Le tableau 3.9 indique les éléments chauffants utilisés en fonction du type de moule.

Certains modèles de moules utilisent un courant triphasé de 380 V - 440 V, permettant d'utiliser des câbles de plus petite section et des connecteurs rapides qui facilitent le remplacement rapide et sécurisé des moules. En fonction du nombre de zones de chauffage de la presse, on utilise une ou deux boîtes de raccordement pour le chauffage et l'aimantation du moule. Dans ce type de moule, tous les éléments chauffants installés sont des résistances tubulaires. Chaque zone de chauffage est contrôlée par un thermocouple. Des presses comportant jusqu'à 16 zones ont été fabriquées, ce qui a permis de contrôler chaque alvéole indépendamment dans les moules comportant jusqu'à 6 sorties.

Type de moule	Composant	Élément chauffant habituellement utilisé
Pénétrant petit (*)	Poinçon supérieur	Résistances tubulaires
	Bloc – Poinçon inférieur	Résistances tubulaires
	Matrice	Résistances simples en forme de L
Pénétrant grand	Poinçon supérieur	Résistances tubulaires
	Bloc – Poinçon inférieur	Résistances tubulaires
	Matrice	Résistances doubles en forme de L
Moule double	Matrice supérieure	Résistances tubulaires
	Matrice inférieure	Résistances simples en forme de L
Moules 380 – 440 V		Résistances tubulaires

(*) Longueur inférieure à 1750 mm

Source : MACER

Tableau 3.9. Éléments chauffants utilisés en fonction du type de moule

3.12. CIRCUIT ÉLECTRIQUE ET CONNECTEURS RAPIDES

Dans les circuits électriques des moules, la tendance actuelle est de disposer de cavités intérieures couvertes, de sorte que tous les composants sous tension, c'est-à-dire le câblage, les résistances et les bobines, ne soient pas facilement (ou accidentellement) accessibles. Cela facilite la protection du câblage et des autres composants car ils sont isolés de l'humidité et de la poussière, ainsi que l'entretien de l'équipement. L'emplacement de ces composants est clairement indiqué par des pictogrammes et des codes de couleur.

MACER équipe actuellement tous ses moules de connecteurs rapides, tels que ceux que l'on peut voir sur les figures 3.65 et 3.66. Ces connecteurs renforcent la sécurité du moule, évitent les erreurs, facilitent le montage et réduisent le temps passé à changer de moule.



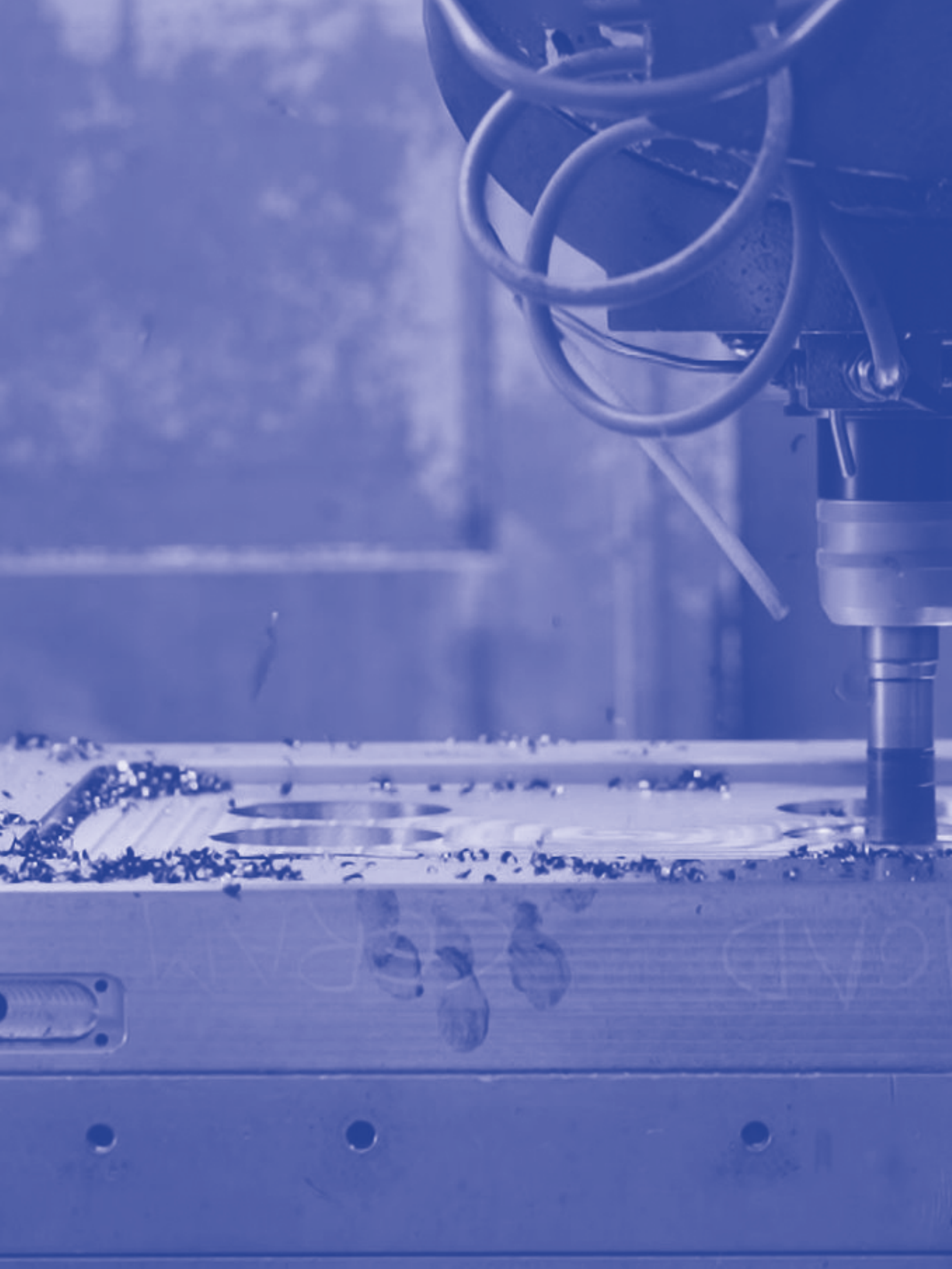
Figure 3.65. Connecteurs rapides dans la partie inférieure du moule



Figure 3.66. Connecteurs rapides sur une plaque supérieure

Processus de fabrication

Chapitre 4



4.1. MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LA FABRICATION DES MOULES

Dans le chapitre précédent, nous avons décrit les composants du moule et le tableau 3.1 donne des informations sur les matériaux utilisés dans le processus de fabrication. Comme le montre ce tableau, la plupart des éléments structurels du moule sont fabriqués en acier (figure 4.1) et la plupart des poinçons, à l'exception des modèles trempés et trempés-polis, sont revêtus de caoutchouc. Ces deux matériaux sont essentiels dans la fabrication des moules, mais il faut en ajouter d'autres utilisés dans une moindre mesure pour d'autres composants, notamment les élastomères utilisés dans les soufflets, etc.

4.1.1. Aciers

L'acier est un alliage de fer et de carbone dans lequel la teneur en carbone en dissolution solide dans le fer est inférieure à 2,1 %. En général, une augmentation de la teneur en carbone de l'acier accroît sa résistance à la traction, mais augmente également sa fragilité à froid et réduit sa ténacité et sa ductilité. Outre le fer et le carbone, l'acier peut contenir d'autres éléments d'alliage, notamment du manganèse, du chrome, du nickel, du silicium, du molybdène et du vanadium, qui en modifient les propriétés.



Figure 4.1. Plaques d'acier brut

Ainsi, les différentes compositions chimiques des aciers, associées aux différents traitements thermomécaniques et à la grande variété de traitements de surface existants, donnent lieu à un très grand nombre d'aciers aux propriétés et aux utilisations différentes.

4.1.1.1. Classification

Il existe une grande variété de critères pour la classification et la désignation des aciers. Les aciers utilisés dans l'industrie sont classés selon des normes nationales et internationales établies. Par exemple, en Espagne, les aciers sont classés selon la **norme UNE-EN 10020:2001**, qui remplace la norme précédente UNE-36010. Dans le cas des aciers de construction, ce sont les normes européennes EN 10025-2: 2004 et EN-10025-4: 2004 qui sont suivies.

La norme **UNE-EN 10020:2001** les classe en fonction de leur composition chimique, de leur qualité et de l'usage auquel ils sont destinés :

a) Classification selon la composition chimique

Selon leur composition chimique, les aciers peuvent être classés comme suit :

- **Aciers au carbone** Il s'agit de la plupart des aciers. Ils contiennent des quantités variables de carbone, inférieures à 1 %, et moins de 1,65 % de manganèse, 0,60 % de silicium et 0,60 % de cuivre.

Les aciers au carbone sont couramment utilisés, notamment dans la construction de structures et de composants de machines.

En fonction de la teneur en carbone, on distingue les **aciers à faible teneur en carbone** (moins de 0,25 %), les **aciers à teneur moyenne en carbone** (entre 0,25 et 0,55 %) et les **aciers à haute teneur en carbone** (plus de 0,55 %). En fonction de la teneur en carbone, les aciers peuvent être **doux, semi-doux, semi-dur et dur**. Le tableau 4.1 présente les caractéristiques de ces types d'aciers et le rapport entre les deux critères de classification.

Il est possible d'en modifier les propriétés mécaniques par des traitements thermiques tels que le recuit, la trempe et le revenu (annexe V).

Type d'acier		% C	Résistance mécanique (kg/mm ²)	Résistance mécanique après la trempe (kg/mm ²)	Dureté Brinell (HB)	Dureté Brinell après la trempe (HB)	Applications
Faible teneur en carbone	Acier doux	< 0,25	48 à 55		135 à 160		• Peut être soudé. • Pièces moyennement résistante avec une bonne ténacité, déformation à froid, emboutissage, cintrage, ferrures. • Profilés structurels, fils, clous, vis, barres, tiges.
Teneur moyenne en carbone	Acier semi-doux	0,35	55 à 62	Jusqu'à 80	150 à 170	215 à 245	• Éléments de machine, boulons, vis, ferrures, etc.
	Acier semi-dur	0,45	62 à 70	Jusqu'à 90	180		• Arbres et éléments de machines, pièces assez résistantes, cylindres de moteurs à explosion, transmissions, etc.
Haute teneur en carbone	Acier dur	0,55	70 à 75	Jusqu'à 100	200 à 220	276 à 300	• Arbres, transmissions, tendeurs et les pièces chargées de façon régulières, avec des épaisseurs limitées.

Tableau 4.1. Caractéristiques des aciers en fonction de la teneur en carbone[54]

- **Aciers alliés.** Ils contiennent du vanadium, du molybdène et d'autres éléments, ainsi que des quantités plus élevées de manganèse, de silicium et de cuivre que les aciers au carbone. On peut subdiviser ce groupe en **aciers faiblement alliés**, si la teneur en élément d'alliage est inférieure à 5 %, et en **aciers fortement alliés** si elle est supérieure.

b) Classification selon la qualité

Selon ce critère, la norme classe les aciers en trois groupes :

- **Aciers non alliés.** Ils sont divisés en **aciers non alliés de qualité**, aux performances mécaniques particulières, et en aciers **non alliés spéciaux**, caractérisés par un bon comportement lors des opérations de trempe et de revenu.

- **Aciers alliés.** Ils sont subdivisés en deux groupes : les aciers alliés de qualité et les aciers alliés spéciaux.
- **Aciers inoxydables.** Ils sont subdivisés en fonction de la teneur en nickel, qu'elle soit supérieure ou inférieure à 2,5, et de leurs caractéristiques physiques : résistance à la corrosion, résistance à l'oxydation à chaud et bonnes performances au fluage.

c) Classification selon l'utilisation

Selon ce critère de classification, les aciers sont divisés en :

- **Aciers pour la construction,** caractérisés par un bon comportement au soudage.
- **Aciers cémentés.** Il s'agit d'aciers qui subissent un processus thermochimique consistant à ajouter du carbone à la surface par diffusion. Ce traitement les rend plus durs, mais aussi moins résistants à la rupture par impact.
- **Aciers pour la trempe et le revenu.** Le traitement de la trempe⁴³ (voir annexe V) durcit les aciers et augmente leur résistance. Les aciers trempés peuvent être revenus⁴⁴ afin d'éliminer les contraintes créées lors de la trempe, ce qui leur permet d'atteindre la dureté et la résistance souhaitées.
- **Aciers inoxydables pour usages particuliers.** Ils présentent un alliage de fer avec un minimum de 10 % de chrome en masse.
- **Aciers pour outils de coupe et d'usinage.** Ils ont une dureté et une résistance à l'usure élevées.
- **Aciers rapides.** Ils sont utilisés pour les machines de coupe et leur alliage est généralement à base de tungstène, de molybdène et de molybdène-cobalt.

4.1.1.2. Désignation des aciers

En raison de la grande variété d'aciers mentionnés ci-dessus, on trouve un grand nombre de normes et de réglementations pour leur désignation, qui varient d'un pays à l'autre. En Espagne, la désignation des aciers est régie par les normes **UNE-EN 10027:2001**, bien que les aciers de construction soient désignés conformément aux normes européennes EN 10025-2: 2004 et EN-10025-4:2004⁴⁵. Les normes américaines **AISI** (American Iron and Steel Institute) et **ASTM** (American Society for Testing and Materials), les normes allemandes **DIN**, la norme japonaise JIS (Japanese Industrial Standards) et la norme **ISO 3506** sont également intéressantes car elles sont fréquemment utilisées au niveau international. Il convient également de mentionner le système de dénomination du **CENIM** (centre espagnol de recherches métallurgiques), couramment utilisé dans l'industrie espagnole.

En général, l'identification des aciers se fait à l'aide de codes ou de désignations établis par la réglementation, qui peuvent être de deux types, symboliques ou numériques.

⁴³ Le traitement de trempe consiste à chauffer le matériau à une température légèrement plus élevée que la température critique, puis à le refroidir dans un liquide, généralement de l'huile.

⁴⁴ Le revenu est un traitement semblable à la trempe, bien qu'il soit effectué à une température inférieure d'environ 50 °C à celle-ci et avec un refroidissement à l'air.

⁴⁵ Il convient de noter qu'un nombre croissant de normes nationales européennes (DIN, AFNOR, UNE, UNI, etc.) ont été remplacées par des normes européennes (EN). C'est le Comité européen de normalisation qui est chargé de cette tâche.

La **désignation symbolique** fait référence aux propriétés physiques, chimiques et technologiques du matériau et, dans certains cas, à d'autres propriétés ou caractéristiques significatives qui permettent de l'identifier plus précisément.

La **désignation numérique** est un code alphanumérique qui permet l'identification et la classification du matériau, mais sans fournir d'informations sur ses caractéristiques.

Dans ce texte, nous nous référons tout particulièrement à la norme **UNE-EN 10027:2001** utilisée dans l'industrie de la fabrication de moules pour les presses à céramique, même si, en raison de la prolifération des normes mentionnées, il est également nécessaire de connaître les équivalences entre les différents systèmes de désignation des aciers dont nous parlons, tels que ceux présentés dans les tableaux 4.9 et 4.12, ou ceux qui, en général, se trouvent dans l'annexe VII.

Désignation des aciers selon la norme UNE-EN 10027:2001

Cette norme prévoit deux types de désignation :

- Désignation numérique selon UNE-EN 10027-1:2001.
- Désignation symbolique selon UNE-EN 10027-2:2001.

Désignation numérique

La norme utilise la référence numérique générale suivante pour désigner tout type d'acier :

1. YY XX(XX)

Dans cette référence :

- 1 correspond au type de matériau (acier). Pour d'autres matériaux, on indique les chiffres 2 à 9 et ils sont présentés dans le tableau de la norme.
- YY indique le numéro de groupe de l'acier selon un tableau de la norme.

Le tableau 4.2 présente les groupes d'aciers décrits selon la numérotation YY de la norme et l'annexe VI présente le tableau complet.

YY	Application
00 et 90	Aciers de base non alliés
01 à 07	Aciers de qualité non alliés
91 à 97	
10 à 13	
15 à 18	Aciers de qualité non alliés
08 et 09	Aciers de qualité alliés
98 et 99	
20 à 28	Aciers alliés pour outils
32 à 39	Aciers alliés de différents groupes
40 à 49	Aciers inoxydables et réfractaires
50 à 89	Aciers de précontrainte

Tableau 4.2. Types d'acier selon la numérotation de la norme UNE-EN 10027-1:2001

- XX(XX) représente le numéro d'ordre au sein du groupe. Les chiffres entre parenthèses correspondent à des extensions pour des besoins futurs de numérotation.

Par exemple, 1.1191 est un acier spécial non allié et 1.2080 est un acier allié pour les outils. Vous trouverez ici^[44] davantage d'informations sur ce point.

- **Désignation symbolique**

Selon la désignation symbolique suivie par la norme UNE-EN 10027-2:2001, on peut identifier les aciers selon deux critères :

- selon leur utilisation et leurs caractéristiques mécaniques ou physiques ;
- selon leur composition chimique.

Selon leur utilisation et leurs caractéristiques mécaniques ou physiques, ils sont désignés par une lettre (**X**) indiquant leur application (tableau 4.3) suivie d'un nombre (**YYY**), qui donne la valeur d'une propriété mécanique caractéristique (généralement la limite d'élasticité minimale garantie, exprimée en N/mm²), et de symboles additionnels (**ZZZ**), facultatifs et présentés dans la norme, qui servent, si nécessaire, à identifier l'acier.

Désignation générale : **X YYY ZZZ**

Exemples :

- Selon cette norme, le **S250** est un acier pour construction métallique dont la limite d'élasticité minimale garantie est de 250 N/mm², ce qui équivaut dans le système numérique à l'acier 1.0715 (voir le tableau « Aciers faciles à usiner » à l'annexe VII).
- Le **S235JRH** est un acier pour construction métallique dont la limite d'élasticité minimale garantie est de 235 N/mm², pour la construction ordinaire (JR) et de profil creux (H).

En règle générale, ce type de désignation est utilisé pour les aciers de qualité moyenne dont la composition chimique n'est pas strictement contrôlée.

X	Application
B	Aciers pour le béton armé
D	Produits plats pour la déformation à froid
E	Aciers pour la construction mécanique
H	Produits plats laminés à froid en acier à haute résistance
L	Aciers pour tubes
M	Aciers pour applications électriques
D	Aciers pour récipients sous pression
R	Aciers pour rails
S	Aciers pour la construction métallique
T	Produits d'emballage
Y	Aciers de précontrainte

Tableau 4.3. Applications des aciers selon UNE-EN 10027-2:2001

Selon la composition chimique, la désignation commence par une lettre ou un code, indiquant le type de composition chimique qui définit cet acier (tableau 4.4), suivi du pourcentage de carbone multiplié par 100 et des éléments d'alliage. Viennent ensuite les symboles des éléments et les valeurs numériques exprimant leur pourcentage dans la composition.

Si aucun code de type n'apparaît au début de la désignation, il faut l'interpréter comme décrivant un acier non allié contenant plus de 1 % de manganèse ou un acier allié contenant moins de 5 % de tous les éléments d'alliage.

Les éléments d'alliage sont classés en fonction de leur concentration.

Symbole	Type de composition de l'acier
C	Aciers non alliés dont la teneur moyenne en Mn est inférieure à 1 %
X	Aciers fortement alliés dont la teneur en poids des éléments d'alliage est supérieure ou égale à 5 %
HS	Aciers rapides
S (+symbole chimique des éléments d'alliage)	Produits plats laminés à froid en acier à haute résistance

Tableau 4.4. Type de composition chimique des aciers selon la norme UNE-EN 10027-2:2001

4.1.1.3. Propriétés mécaniques des aciers

À des fins de calculs et de conception structurelle, nous présentons certaines valeurs moyennes des propriétés des aciers dans le tableau 4.5.

Propriété physique		Valeur moyenne
Densité		7,85 t/m ³
Capacité thermique		0,11 kcal/kg °C
Coefficient de dilatation linéaire		120 x 10 ⁻⁷ °C ⁻¹
Température de fusion	Aciers à faible teneur en carbone	1510 °C
	Aciers à moyenne teneur en carbone	1430 °C
	Aciers à haute teneur en carbone	1370 °C
Température d'ébullition		2500 °C
Coefficient de Poisson		0,3
Module d'élasticité		210 000 N/mm ²

Tableau 4.5. Propriétés moyennes des aciers à des fins de calcul et de conception (communes à tous les aciers)

a) Le diagramme « contrainte-déformation » des aciers

Il s'agit de la représentation graphique de la courbe « contrainte de traction-déformation » obtenue lorsqu'un échantillon d'acier standard est soumis à une contrainte de traction continue et croissante (F/S) jusqu'à sa rupture. Normalisé dans la norme UNE-EN 10002-1, ce test permet de calculer certaines propriétés des matériaux.

La courbe « contrainte de traction-déformation » des aciers (figure 4.2) est une excellente représentation de leur comportement lorsqu'ils sont soumis à des contraintes de traction. Elle permet d'identifier les sections et points suivants :

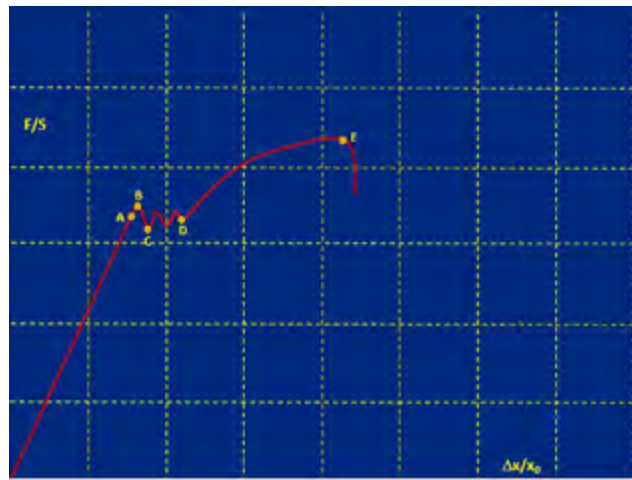


Figure 4.2. Aspect général du diagramme contrainte-déformation des aciers

- Jusqu'au **point A**, appelé limite de proportionnalité, l'acier a un comportement élastique selon la loi de Hooke, de sorte que l'allongement subi ($\Delta x/x_0$) est proportionnel à la contrainte de traction appliquée par unité de surface (F/S) et est réversible. Ainsi, lorsque la force de déformation cesse, le matériau revient à ses dimensions de départ.
- Le **point B est la limite supérieure de fluage**. Avant d'atteindre ce point (entre les points A et B), le matériau a encore un comportement élastique, même si, lorsque la contrainte de déformation cesse, il ne retrouve pas complètement sa forme de départ. À partir de ce point, l'augmentation de la contrainte entraîne une déformation irréversible. Autrement dit, le matériau ne revient pas à ses dimensions de départ et il subsiste une déformation permanente. Si cette valeur est dépassée, les composants ou les structures ne peuvent plus être utilisés en toute sécurité.
- Le **point C est la limite inférieure de fluage**. C'est la contrainte minimale dans la zone de fluage du matériau après la limite supérieure de fluage.
- Dans la **section entre B et D**, appelée état de fluage ou zone élastoplastique, la déformation augmente rapidement alors que la contrainte fluctue. Cette section est caractéristique des aciers doux et n'est pas présente dans les autres types d'aciers.
- La **section entre D et E** est appelée la zone d'écrouissage du matériau.
- Si la contrainte continue d'être appliquée **à partir du point D**, la déformation augmente rapidement jusqu'au point E où le matériau se rompt. La contrainte nécessaire (force par unité de surface) est appelée « **charge de rupture** ».

La forme de la courbe contrainte-déformation des aciers dépend de leur composition, de leur ductilité et de leur fragilité. Les aciers les plus déformables ont une pente de la zone élastique (module de Young) beaucoup plus faible et les aciers les plus fragiles ont une zone d'écrouissage inférieure. Les aciers doux ont, comme indiqué ci-dessus, une zone élastoplastique et une déformation élevée avant la rupture.

Cet essai permet de déterminer différentes caractéristiques mécaniques des matériaux en général et des aciers en particulier, telles que :

- **Module d'élasticité.** Quantifie la proportionnalité entre la contrainte de déformation et la déformation. C'est la pente de la ligne contrainte-déformation dans la phase de comportement élastique du matériau.
- **Coefficient de Poisson.** Décrit la relation entre l'allongement longitudinal subi par le matériau et la diminution de la section transversale du matériau.
- **Limite de fluage.** Également appelée limite d'élasticité apparente, elle correspond à la valeur de la contrainte que le matériau supporte au moment où il atteint l'état de fluage. Ce phénomène se produit dans la zone de transition entre les déformations élastiques et plastiques et se caractérise par une augmentation rapide de la déformation sans augmentation sensible de la charge appliquée.
- **Limite élastique.** Il s'agit de la contrainte maximale qui peut être appliquée sans provoquer une déformation permanente du matériau.
- **Charge de rupture.** Il s'agit de la charge maximale que le matériau peut supporter sans se rompre. Pour la calculer, on considère la section initiale de l'échantillon.
- **Allongement à la rupture.** Augmentation de la longueur, exprimée en pourcentage, que l'échantillon a subie jusqu'à la rupture.
- **Striction.** Diminution de la section transversale, également exprimée en pourcentage, subie par l'échantillon jusqu'à la rupture.

b) Caractérisation physique

La caractérisation physique des aciers dépend de l'usage auquel ils sont destinés, mais comprend généralement les propriétés physiques indiquées dans les tableaux 4.5 et 4.6.

⁴⁶ D'après la loi de Hooke, tant que les déformations produites ne dépassent pas une certaine limite, il existe une proportionnalité entre la contrainte σ ou la force appliquée par unité de surface et la déformation produite ($\Delta x/x_0$) :

$$\sigma = E \cdot (\Delta x/x_0)$$

où E est un facteur de proportionnalité caractéristique de chaque matériau, appelé **module d'élasticité** ou **module de Young**.

⁴⁷ Le module de cisaillement (G) est lié au module de Young (E) et au coefficient de Poisson (ν) par l'équation :

⁴⁸ La valeur de l'équivalent carbone (CEV) est calculée à l'aide de l'expression suivante où [X] est le pourcentage présent dans l'acier de l'élément X

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$CEV = [C] + \frac{[Mn]}{6} + \frac{[Cr] + [Mo] + [V]}{5} + \frac{[Ni] + [Cu]}{15}$$

Propriété physique	Unités de mesure	Essai	Description de la propriété
Limite élastique	kg/mm ² kg/cm ² N/mm ² MPa	Diagramme « contrainte - déformation » Norme UNE-EN 10002-1 Norme ISO 6892-1 (essai à température ambiante) Norme ASTM E8.	C'est le point du diagramme « contrainte-déformation » où l'acier cesse de se comporter comme un solide élastique, dans lequel la déformation est donc proportionnelle à la contrainte appliquée et est réversible (elle ne suit plus la loi de Hooke ⁴⁶). À partir de ce moment, les augmentations des contraintes entraînent des déformations permanentes (comportement plastique).
Résistance à la traction			Charge de rupture par unité de surface après avoir subi une contrainte de traction.
Module d'élasticité longitudinale (module de Young)			Pente de la droite contrainte-déformation dans la phase de comportement élastique de l'acier. Propriété intrinsèque du matériau qui donne une idée de sa rigidité structurelle.
Module de cisaillement ⁴⁷			Il mesure la déformation subie par le matériau lorsqu'il est soumis à un effort de cisaillement, c'est-à-dire appliqué dans une direction tangente à la surface sur laquelle il agit. Il est également connu sous le nom de module d'élasticité transversale.
Coefficient de Poisson	Sans dimension		Rapport entre la section transversale d'un matériau isotrope linéaire élastique et l'augmentation de sa longueur lorsqu'il est étiré. Il reste constant dans le domaine du comportement élastique.
Résilience	J/mm ²	UNE EN ISO 148-1:2017 Essai de flexion par choc sur un échantillon entaillé aux dimensions standard.	La résilience mesure le degré de ténacité ou de ductilité de l'acier à une température donnée (généralement la température ambiante, à 0 °C ou à -20 °C).
Ténacité	MPa.m ^{1/2}	ASTM E399-81	La ténacité définit la mesure de la résistance d'un matériau à la propagation d'une fissure. La rupture du matériau commence là où la concentration de contraintes est la plus élevée possible, et cet endroit peut être la pointe d'une microfissure existante.
Dureté Brinell	(HB)	EN ISO 6506-1:2005. Norme ASTM E10-08. Essai d'indentation où l'on utilise une sphère d'acier ou de carbure de tungstène de 10 mm de diamètre (annexe III).	La dureté est une mesure qui définit la résistance d'un matériau à la pénétration d'un autre.
Dureté Rockwell	(HR)	EN ISO 6508-1:2017 ASTM E10-08 Essai d'indentation où l'on utilise trois types d'indenteurs : un cône en diamant, une sphère en acier de 1/16" de diamètre ou une sphère en acier de 1/8" de diamètre (annexe III).	
Soudabilité			Évalue l'aptitude de l'acier à pouvoir être soudé. La soudabilité dépend à la fois des caractéristiques du métal de base et de celles de l'agent d'apport. L'un des paramètres qui fournit des informations sur la soudabilité est la valeur équivalente en carbone (CEV) ⁴⁸ , qui compare la soudabilité relative de différents alliages d'acier avec les propriétés d'un acier au carbone simple.
Indice de ductilité		Norme UNE-EN ISO 7438:2021	Informe sur la capacité de pliage, c'est-à-dire sur la présence ou l'absence de fissures et les fissures suite au pliage de l'acier.

Tableau 4.6. Caractérisation physique des aciers

4.1.1.4. Propriétés des aciers utilisés dans la fabrication des composants de moules

Les aciers les plus souvent utilisés dans la fabrication des moules sont les suivants :

- Acier 1.2080
- Acier 1.1191 (CK45)

Acier 1.2080		
Classification	Acier allié pour outils	
Composants du moule fabriqués	Poinçons supérieurs et inférieurs Barrettes Plaques « crochets »	
Composition chimique	C 1,9 % à 2,2 % Si 0,1 % à 0,6 % Mn 0,2 % à 0,6 % Cr 11,0 % à 13,0 %	
Dureté Brinell (tel que livré)	250 HB	
Résistance à la traction (N/mm ²)	850	
Densité (g/cc)	7,70	
Chaleur spécifique à 20 °C (J/kg °K)	460	
Résistivité électrique à 20 °C (Ω.mm ² /m).	0,65	
Module de Young à 20 °C (GPa)	215	
Conductivité thermique (W/m.°K)	Température	Conductivité
	20	16,7
	350	20,5
	700	24,2
Coefficient de dilatation (10 ⁶ °C ⁻¹)	Plage de températures	Coef. dilatation
	20 – 100 °C	11,7
	20 – 200 °C	12,0
	20 – 300 °C	12,4
	20 – 400 °C	12,9
	20 – 500 °C	13,3
	20 – 600 °C	13,6
	20 – 700 °C	14
Applications	Outils de coupe à haute performance, outils de perçage, poinçons, couteaux à ciseaux, poinçons de tête, broches, outils d'étirage, matrices d'étirage, rouleaux annulaires et fraises à bois.	

Tableau 4.7. Propriétés physiques de l'acier DIN 1.2080

a) Acier 1.2080

Le 1.2080 est un acier à outils à haute teneur en carbone/chrome durci qui présente une très grande résistance à l'usure. Il est durci par trempe à l'huile avec un faible changement dimensionnel. Sa résistance à la compression est très élevée.

Le tableau 4.7 présente les principales propriétés physiques de l'acier DIN 1.2080 et le tableau 4.8 les équivalences entre les différents systèmes de désignation et d'identification des aciers.

Traitement	Température	Refroidissement
Recuit d'adoucissement	800 à 840 °C	Four (refroidissement lent)
Recuit pour réduire les contraintes	650 à 700 °C	Four
Trempe	930 à 960 °C	Huile
	950 à 980 °C	Air (*)
Revenu	Température	Dureté Rockwell (HRC)
	180 °C	61 - 63
	200 °C	61 - 63
	250 °C	60 - 62
	300 °C	59 - 61
	350 °C	58 - 60
	400 °C	57 - 59
	500 °C	53 - 55

(*) Jusqu'à 30 mm d'épaisseur

Tableau 4.8. Traitement thermique de l'acier 1.2080

Espagne	UNE 36011-12	F5212
Europe	EN 10083	X210Cr12
Allemagne	DIN 17200	X210Cr12
	STAND N°	1.2080
France	NF A35-552-86	X200Cr12
Italie	UNI 7846	UX210Cr13KU
États-Unis	AISI/SAE	A681(D3)ASTM
Japon	JIS	SKD-1

Tableau 4.9. Équivalences internationales de l'acier 1.2080

b) Acier 1.1191

Dans ce texte, nous désignons cet acier sous le nom de **CK45**, car c'est celui que nous utilisons habituellement dans notre environnement industriel. Il s'agit d'un acier trempé et non allié, souvent utilisé en ingénierie mécanique générale. Il convient à une utilisation structurelle dans les machines.

Le tableau 4.10 présente les principales propriétés physiques de cet acier, le tableau 4.11 ses traitements thermiques et le tableau 4.12 les équivalences entre les différents systèmes de désignation et d'identification des aciers.

Acier 1.1191 (CK45)	
Classification	Acier spécial de qualité, non allié
Composants du moule fabriqués	Plaques sauve-banc Plaques d'éjection Blocs Matrice Poinçons inférieurs avec revêtement en caoutchouc Poinçons supérieurs avec revêtement en caoutchouc Plaques supérieures magnétiques
Composition chimique	C 0,40 % à 0,50 % Si 0,15 % à 0,40 % Mn 0,5 % à 0,8 % P ≤ 0,035 % S ≤ 0,035 % C équiv. 0,4 % Cr ≤ 0,4 %
Dureté Brinell (tel que livré)	172/242 HB
Dureté Vickers	180/290 HV
Densité (g/cc)	7,85
Chaleur spécifique (J/kg °K)	460
Module de Young à 20 °C (GPa)	215
Conductivité thermique à 400 °C (W/m. °K)	41,0
Résistance à la traction (MPa)	640
Coefficient de dilatation de 20 à 500 °C (10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	14,2
Soudage	Électrode de base ou fil de CO ₂ . Il est recommandé d'effectuer un préchauffage entre 200 et 250 °C et un refroidissement lent
Pliage	Insuffisant. La mise en forme peut être améliorée par l'application d'un recuit d'adoucissement ou globulaire. Le façonnage à chaud est toujours recommandé.
Usinage	Nécessite un recuit ou un traitement de stabilisation après l'oxycoupage pour éliminer la dureté superficielle qui en résulte.
Trempe	Trempe correctement.
Applications	Éléments de machine de bonne résistance. Blocs hydrauliques. Moules et porte-moules. Peut être utilisé pour des pièces trempées par induction nécessitant des duretés superficielles de 55 HRC.

Tableau 4.10. Propriétés physiques de l'acier DIN 1.1191

Traitement	Température	Refroidissement
Recuit d'adoucissement	670 - 710 °C	air
Recuit globulaire	710 °C 6 heures et	10 °C/heure jusqu'à 650 °C
	670 °C 8 heures	
Standardisé	840 à 870 °C	air
Trempe	830 à 850 °C	eau
	840 à 860 °C	huile
Revenu	500 - 650 °C	air

Tableau 4.11. Traitements thermiques de l'acier 1.1191

Espagne	UNE 36011-12	F1140
Europe	EN 10083	C45E
Allemagne	DIN 17200	CK45
	STAND N°	1.1191
France	NF A35-552-86	XC45
Italie	UNI 7846	C45
États-Unis	AISI/SAE	SAE 1045
Japon	JIS	S45C

Tableau 4.12. Équivalences internationales de l'acier 1.1191

4.1.2. Caoutchouc pour poinçons

Aujourd'hui, les revêtements en caoutchouc vulcanisé sont largement utilisés pour toutes sortes de poinçons, aussi bien ceux qui forment la face noble du carreau que ceux qui forment la face de dos, qui ont souvent une compensation d'huile. Les poinçons de ce type sont appelés « isostatiques ».

Les caoutchoucs utilisés pour le revêtement des poinçons sont des élastomères d'uréthane à haute résistance à la contrainte, à l'abrasion et à la compression, qui subissent un processus de durcissement. De nos jours, on tend à réaliser ce processus à 100 °C pour les applications de caoutchouc liquide, quel que soit le type de poinçon dont il s'agit, et à 120 °C pour les feuilles. Dans les deux cas, il faut en général une durée similaire, d'environ 20 minutes. Les caoutchoucs utilisés sont classés en fonction de leur dureté SHORE, échelle A⁴⁹, conformément aux normes ISO 868, UNE 53130 et ASTM D 2240, mesurée à l'aide d'un duromètre Shore (annexe VIII). Les caoutchoucs liquides ont généralement un aspect brillant, tandis que les caoutchoucs appliqués en feuilles ont un aspect mat après durcissement.

Les caoutchoucs utilisés pour le revêtement des poinçons (figure 4.3) ont des duretés Shore A comprises entre 85 et 100. Des valeurs de dureté élevées donnent des comportements semblables à celui du métal lors du processus de pressage. Autrement dit, elles permettent d'obtenir des textures de grande qualité, mais le poinçon se salit plus facilement, ce qui rend le démoulage plus difficile. Au fur et à mesure que l'on descend dans l'échelle de dureté, on observe une texture plus rugueuse, avec un grain plus marqué dans la pâte pressée, mais l'adhérence de la poudre de presse est moindre. Cette texture est très visible lors de l'utilisation de caoutchoucs dont la dureté est inférieure à 90 sur l'échelle Shore A.

En revanche, plus la dureté est faible, plus l'élasticité est élevée. Ainsi, pour le pressage de carreaux présentant des reliefs prononcés, il est recommandé d'utiliser des caoutchoucs plus souples, plus élastiques et donc qui facilitent le démoulage.

Certains types de caoutchoucs peuvent être appliqués sur le poinçon en très fines épaisseurs, ce qui augmente la rigidité de façon considérable et permet d'obtenir de meilleures textures sur les carreaux lisses. Ce type de caoutchouc tend à remplacer les poinçons polis, car il permet d'obtenir leur haute qualité de finition tout en réduisant l'adhérence de la poudre.

À titre d'exemple, le tableau 4.13 présente les caoutchoucs que l'on peut utiliser dans la fabrication des poinçons, leur dureté Shore A et leur utilisation la plus fréquente. Ces caoutchoucs peuvent être appliqués en feuilles ou sous forme liquide (figure 4.4).

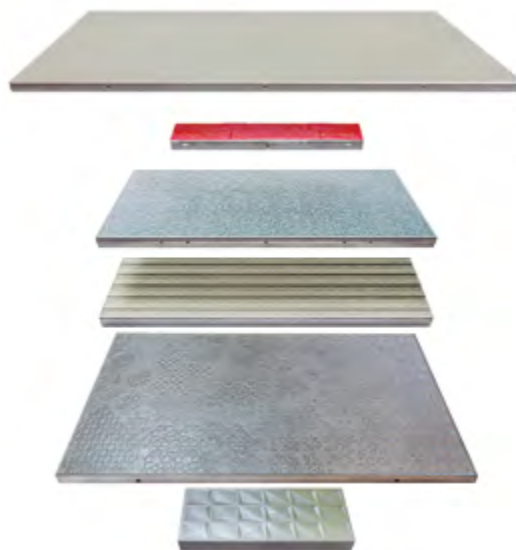


Figure 4.3. Poinçons avec revêtement en caoutchouc de différentes duretés

⁴⁹ La dureté Shore est une dureté au rebond. L'essai est effectué à l'aide d'un duromètre Shore de type PB à une température de 20 ± 2 °C sur des échantillons fraîchement vulcanisés et trois jours après durcissement. Trois essais sont effectués sur chaque échantillon en différents points séparés les uns des autres et des bords d'au moins 5 mm, en appliquant un poids constant de 1 kg pendant trois secondes.

Présentation		Couleur	Dureté Shore A	Utilisations les plus fréquentes	
Feuille ^[30]		Bleu	95	Poinçons non isostatiques, lisses ou en relief et pièces spéciales	
		Rouge	90		
		Vert	95		
		Rouge	85	Poinçons isostatiques	
		Gris	85		
		Vert	85		
Liquide	Polymère (thermodurcissable)	Incolore (*)	95	Poinçons de face noble (lisses ou relief)	
			92		
			90		
		Rouge	92		
	Élastomère (thermoplastique)	Vert	88	Poinçons des faces de dos (compensation hydraulique)	Rigides, MGPV ; MGPVT ; MRPV MGV-1M ; MGV-2M.

(*) Selon le durcisseur utilisé, les caoutchoucs incolores peuvent présenter, après vulcanisation, une teinte jaune très prononcée ou légère (champagne).

Tableau 4.13. Duretés et couleurs des caoutchoucs pour poinçons

En général, deux types de caoutchoucs sont utilisés, **les polymères et les élastomères**. Les polymères utilisés sont thermodurcissables et destinés à la face noble des carreaux, qu'ils soient lisses ou en relief. Ils ne peuvent pas être attaqués par l'huile. Les élastomères sont utilisés sur la face de dos. Ils sont thermoplastiques et fournis en différentes duretés, mais on les mélange pour obtenir une dureté SHORE A de 88⁵⁰ qui est utilisée sur la face du relief de dos.



Figure 4.4. Différents types de caoutchouc pour le revêtement des poinçons

⁵⁰ Deux caoutchoucs de dureté 90 et 83 sont généralement mélangés pour obtenir le caoutchouc de dureté 88.

4.1.2.1. Caoutchouc en feuille

Certains fabricants fournissent le caoutchouc **en feuilles** (figure 4.5) de différentes couleurs en fonction de leur dureté Shore. Ces feuilles sont livrées dans des formats rectangulaires de 40x90 cm et d'une épaisseur de 2 mm. Elles sont stockées dans des congélateurs coffres à des températures comprises entre -10 et -15 °C, car elles perdent rapidement leurs propriétés à température ambiante. Pour leur application, elles doivent d'abord être décongelées de façon naturelle. Il faut tenir compte du fait que ce processus dépend fortement de la température ambiante. Il faut donc adapter les durées à la température ambiante afin d'éviter des défauts dans le caoutchouc lors du durcissement, tels que plis, cloques, peau d'orange, etc.



Figure 4.5. Caoutchouc pour poinçons en feuille

4.1.2.2. Caoutchoucs pour application sous forme liquide

Les caoutchoucs peuvent également être appliqués **sous forme liquide**. Il s'agit de mélanges de résines synthétiques fondues dont le dosage permet d'ajuster de façon précise les propriétés du caoutchouc. Ce type de caoutchouc est le plus souvent utilisé dans les moules, en particulier dans les poinçons de moyens et grands formats.

Les caoutchoucs liquides sont livrés à l'état solide dans des bidons de 200 kg ou de 25 kg, dans lesquels ils sont stockés à température ambiante (figure 4.6).



Figure 4.6. Bidons de stockage pour les caoutchoucs à appliquer sous forme liquide

4.2. PROCESSUS DE FABRICATION DE LA PLAQUE SAUVE-BANC ET DE LA PLAQUE D'ÉJECTION

La plaque sauve-banc et la plaque d'éjection sont fabriquées (figure 4.7) à partir de plaques d'acier DIN CK 45 de 48, 55 et 65 mm d'épaisseur, c'est-à-dire les valeurs de fabrication les plus courantes. Elles sont fournies dans les dimensions requises, plus les surépaisseurs. Ces plaques sont soumises à un usinage d'ébauche sur les surfaces supérieures et inférieures, longitudinales et latérales, au moyen de la fraiseuse à commande numérique (figure 4.8), d'où elles passent à la perforation (figure 4.9) pour que l'on réalise les trous nécessaires. Ce sont ceux qui, entre autres, sont requis pour l'assise des pistons d'extraction, du soufflet, la désaération et la fixation des pilastres et des mortaises, etc. Le dernier usinage aux dimensions exactes est réalisé avec la rectifieuse de surface, dont le but est de réaliser la finition de la surface en respectant l'épaisseur et à la planéité voulues.

Il faut tenir compte du fait que les plaques peuvent être reçues rectifiées, ce qui simplifie le processus et rend inutiles toutes les opérations de rectification (liens 4.1 et 4.2) que l'on peut voir dans l'encadré en pointillé de la figure 4.7.

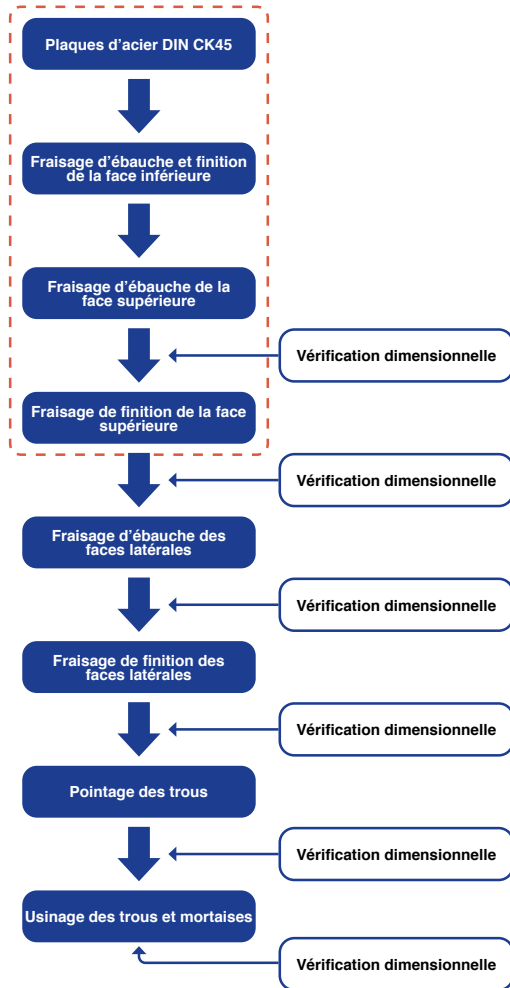


Figure 4.7. Processus de fabrication de la plaque sauve-banc et de la plaque d'éjection

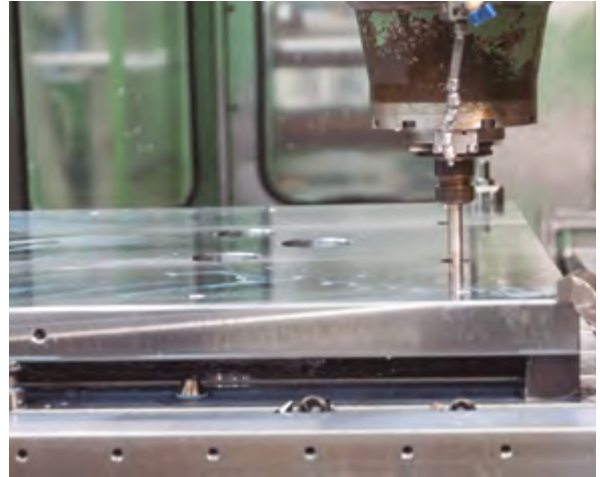


Figure 4.8. Fraisage de dégrossissage d'une plaque sauve-banc



Figure 4.9. Perçage de la plaque sauve-banc à l'aide d'une perceuse à commande numérique



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre une fraiseuse à portique réalisant l'usinage d'une plaque sauve-banc. Lien 4.1



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre la rectification d'une plaque. Lien 4.2



Figure 4.10. Perceuse à canon

Dans les moules actuels, toutes les conduites pneumatiques, pour le nettoyage des moules et hydrauliques, par exemple le circuit d'extraction des moules doubles, qui se trouve dans leur partie supérieure, sont percées dans les plaques qui constituent le moule. Cette opération est réalisée à l'aide de machines spéciales appelées perceuses à canon, comme on le voit sur la figure 4.10. La principale différence entre ce type de perçage et le perçage conventionnel réside dans la profondeur qui peut être atteinte, pour laquelle on utilise des forets spéciaux pour perforation profonde.

4.3. PROCESSUS DE FABRICATION DES BLOCS

Le processus de fabrication des blocs (figure 4.11) comprend les opérations décrites pour les plaques sauve-banc et d'éjection et, en plus, l'usinage des rainures pour l'assise des bobines magnétiques et le perçage des assises des résistances chauffantes.

4.4. PROCESSUS DE FABRICATION DES CADRES DES SOUFFLETS

Le cadre du soufflet (figure 4.13) est fabriqué à partir d'angles qui sont soudés et percés selon le processus décrit à la figure 4.12.

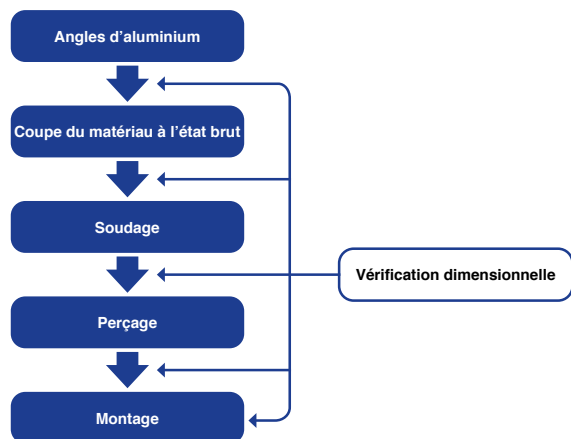


Figure 4.12. Processus de fabrication du cadre du soufflet

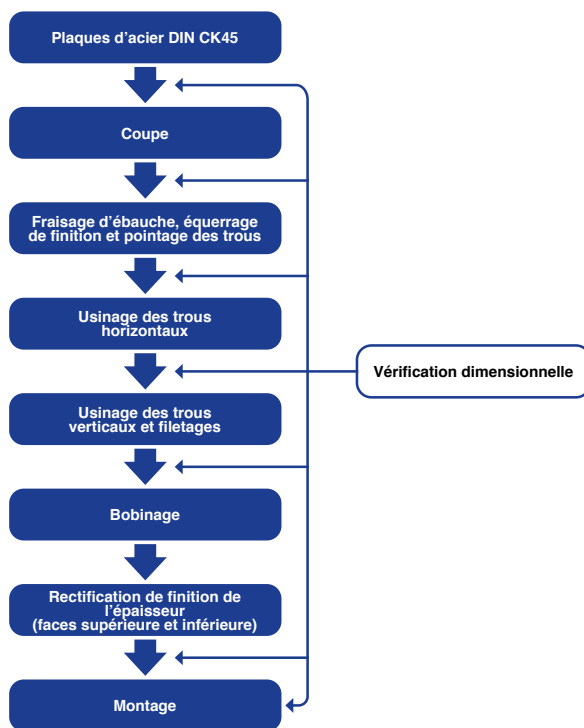


Figure 4.11. Processus de fabrication des blocs



Figure 4.13. Montage du soufflet

4.5. PROCESSUS DE FABRICATION DE LA MATRICE

La plupart d'entre elles sont fabriquées selon le schéma de la figure 4.14 à partir de plaques d'acier DIN CK45 de différentes épaisseurs, en fonction du format, qui sont fournies avec les dimensions requises et dans lesquelles les alvéoles ont déjà été réalisées par oxycoupage. Ces plaques sont également soumises à un usinage par enlèvement de copeaux superficiel, longitudinal et latéral sur la fraiseuse à commande numérique (figure 4.15), ainsi qu'à un perçage et à un usinage aux dimensions exactes, toujours sur la rectifieuse de surface (figure 4.16). La dernière étape du processus de fabrication de la matrice est le réglage des barrettes, qui diffère entre les barrettes fixes traditionnelles et le système de barrettes amovibles mis au point par MACER.

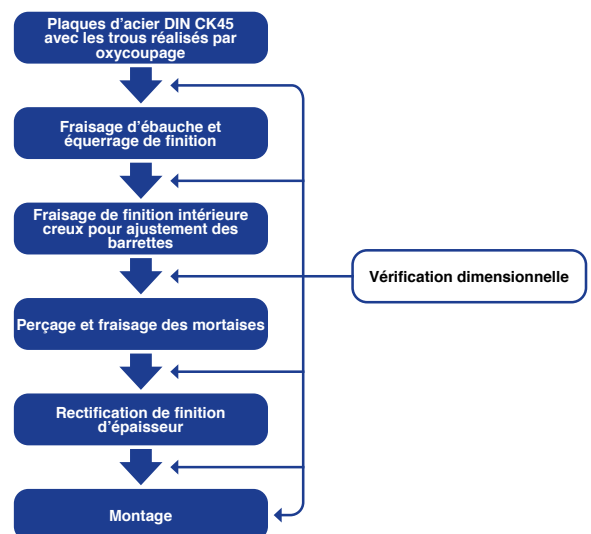


Figure 4.14. Processus de fabrication de la matrice



Figure 4.15. Fraisage de la matrice



Figure 4.16. Rectifieuse de surface

4.6. PROCESSUS DE FABRICATION DES BARRETTES

Dans le chapitre précédent, nous avons décrit et classé les différents types de barrettes. Vous pouvez consulter cette classification dans le tableau 3.5. Dans ce chapitre, nous décrirons les processus de fabrication de chacun de ces types de barrettes.

4.6.1. Processus de fabrication des barrettes fixes

La figure 4.18 présente le diagramme de flux du processus de fabrication et de montage des barrettes fixes.

Les barrettes sont fabriquées à partir de barres ou de plaques d'acier brut laminé DIN 1.2080, qui sont coupées aux dimensions requises au moyen d'un équipement de coupe automatique. Les coupes sont réalisées avec des surépaisseurs par un équipement d'usinage à commande numérique, qui effectue ensuite le perçage des trous de fixation. Cette étape est suivie de la trempe.

Il convient de noter qu'au cours de l'opération de trempe, des variations peuvent survenir dans la géométrie de la barrette, entraînant un certain nombre de rejets, compte tenu de la stricte précision dimensionnelle exigée pour ces composants du moule.



Figure 4.17. Barrettes pour une sortie 31x90

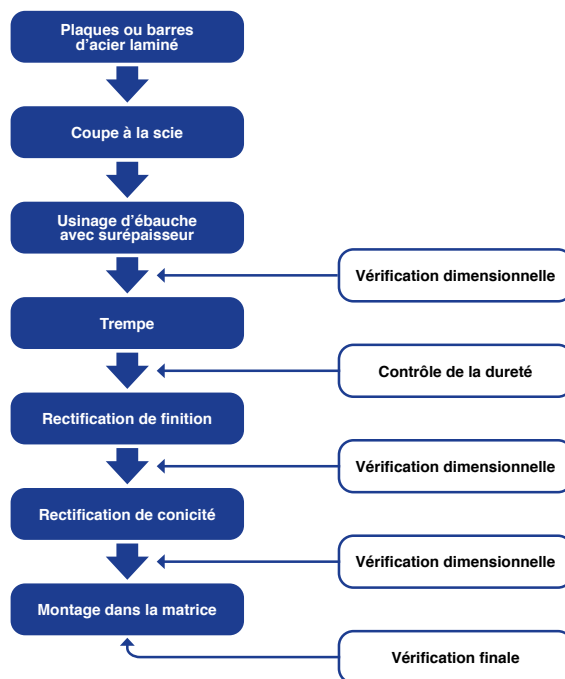
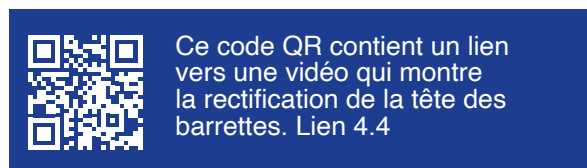
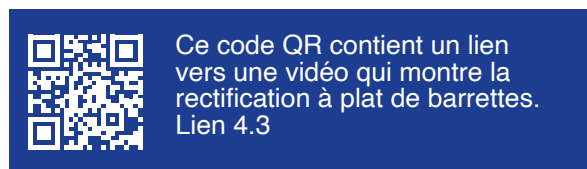


Figure 4.18. Processus de fabrication des barrettes fixes

Après la trempe, qui vise à améliorer les propriétés mécaniques du métal, les barrettes sont rectifiées aux dimensions nominales et on leur donne la conicité et les rayons requis. Ensuite, les filets sont retravaillés, cette opération étant nécessaire après le perçage, puis laborieusement ancrés dans la matrice. Bien entendu, il est primordial que l'usinage interne des alvéoles soit réalisé avec une extrême précision.

Après chaque opération, il est nécessaire d'effectuer la vérification dimensionnelle avec la précision requise dans les procédures, afin de s'assurer que les dimensions des pièces semi-finies sont conformes aux exigences dimensionnelles définies dans les plans. On réalise généralement la vérification à l'aide d'équipements de mesure de précision tels que des micromètres, des pieds à coulisse et des palpeurs numériques (lien 4.5.). Après la trempe, on effectue un contrôle de la dureté.



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre un processus de centrage au moyen de palpeurs numériques. Lien 4.5

4.6.2. Processus de fabrication des barrettes interchangeables rectifiées

Ces barrettes sont fabriquées, selon le diagramme de la figure 4.19, à partir de barres d'acier brut laminé qui sont découpées. On obtient la préforme avec les trous par usinage - fraisage. Cet usinage est réalisé avec une surépaisseur, c'est-à-dire avec une légère augmentation pour compenser la variation dimensionnelle qui aura lieu lors de la trempe. Après l'usinage, on effectue un contrôle dimensionnel des barrettes avant de passer à la trempe, qui permet d'atteindre une dureté de 60-62 HRC. Ensuite, il est nécessaire de rectifier la surépaisseur, qui est de 0,1 mm, ainsi que la largeur, qui est quant à elle déjà à la dimension nominale. On réalise la découpe au fil des assemblages en queue-d'aronde, avant de rectifier la conicité, d'effectuer le montage et de rectifier l'épaisseur. L'assemblage en queue-d'aronde n'est utilisé que pour les barrettes amovibles.

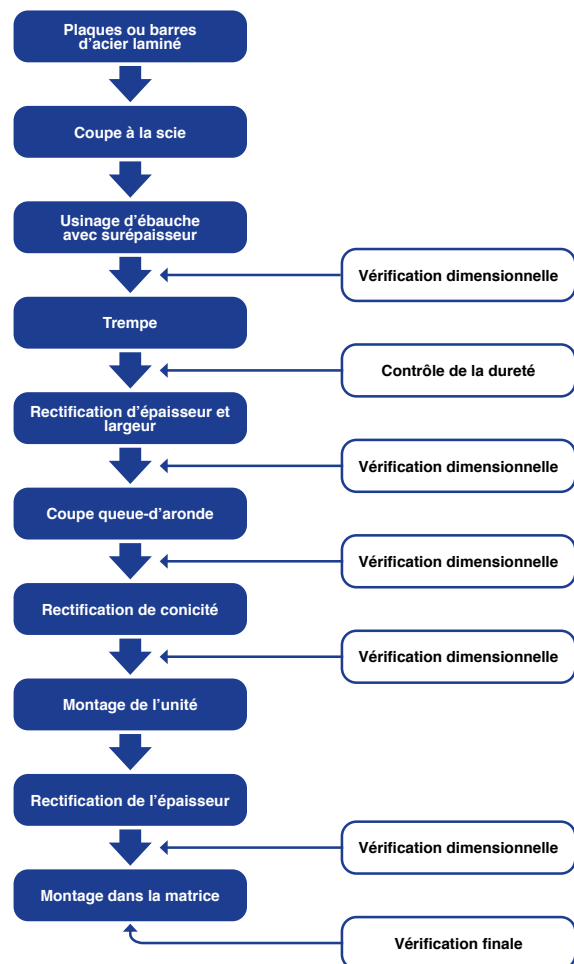


Figure 4.19. Processus de fabrication des barrettes interchangeables rectifiées

Les figures 4.20, 4.21, 4.22 et 4.23 montrent graphiquement le processus de montage de ces barrettes sur la matrice.

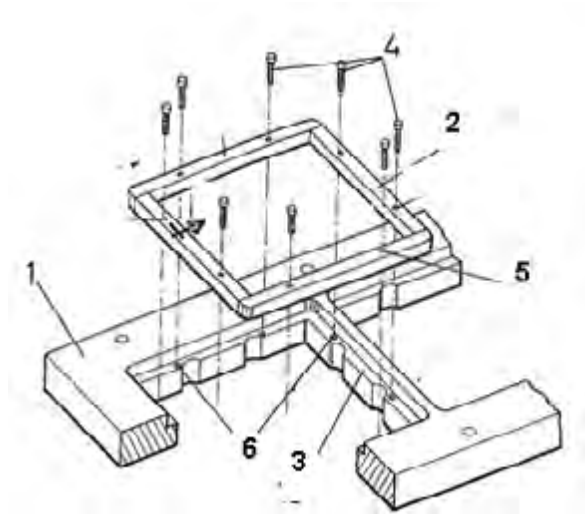


Figure 4.20. Montage de barrettes amovibles dans la matrice

- 1 Cadre des barrettes
- 2 Barrettes
- 3 Assise de fixation
- 4 Vis de fixation
- 5 et 6 Trous filetés



Figure 4.21. Processus de montage des barrettes interchangeables rectifiées (1)

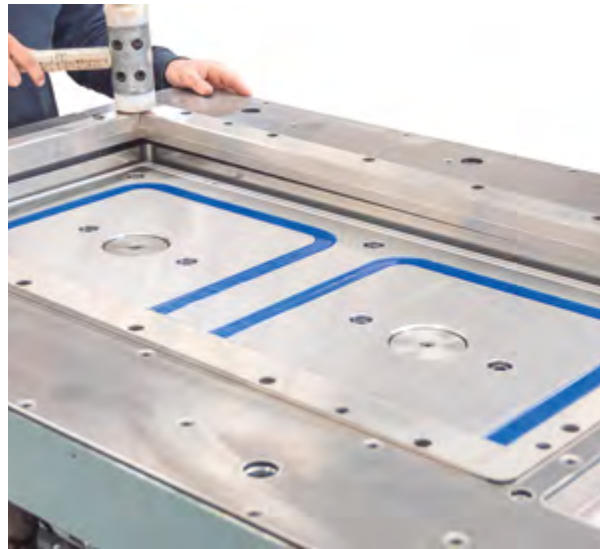


Figure 4.22. Processus de montage des barrettes interchangeables rectifiées (2)



Figure 4.23. Processus de montage des barrettes interchangeables rectifiées (3)

4.6.3. Processus de fabrication des barrettes rectifiées - découpées au fil

Le processus de fabrication (figure 4.24) est similaire à celui des barrettes rectifiées. Les plaques ou barres d'acier laminé sont coupées et usinées pour préparer la préforme avec une surépaisseur, puis trempées. Après une rectification ultérieure, elles sont montées et l'ensemble est à nouveau rectifié pour ajuster l'épaisseur aux mesures établies. L'étape suivante de découpe au fil (figures 4.25, 4.27 et lien 4.6) permet d'obtenir les profilés intérieurs irréguliers. L'angle est obtenu par électroérosion (figure 4.26) ou par fraisage. Pour finir, l'ensemble subit un processus de grenaillage avant d'être monté sur la matrice. Le grenaillage est une technique de nettoyage de surface par impact de particules abrasives projetées à grande vitesse (entre 65 et 110 m/s) sur une surface métallique, qui permet d'obtenir une excellente finition de surface.

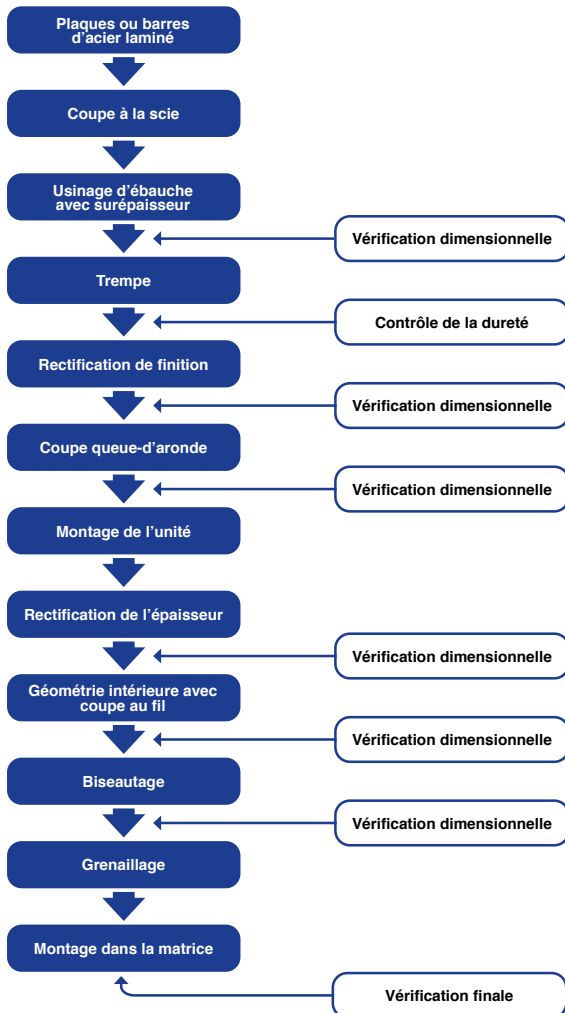


Figure 4.24. Processus de fabrication des barrettes démontables - amovibles MRCMH



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre un processus de découpe au fil de barrettes amovibles. Lien 4.6



Figure 4.25. Découpe au fil

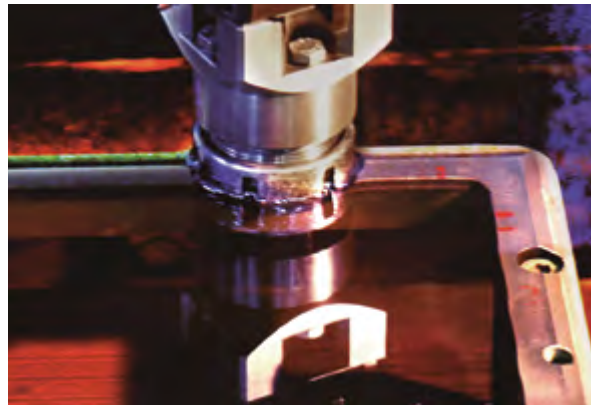


Figure 4.26. Électroérosion



Figure 4.27. Machine de découpe au fil

4.6.4. Processus de fabrication des barrettes coupées au fil

Les « barrettes coupées au fil » sont des barrettes amovibles constituées d'une seule pièce qui limite chacune des alvéoles du moule. Ces barrettes sont fabriquées à partir d'une plaque dont l'intérieur est coupé au fil.

La figure 4.28 présente le diagramme de flux du processus de fabrication de ce type de barrettes.

On utilise des plaques d'acier laminé DIN 1.2080, qui sont découpées à l'aide d'une machine à scier et usinées par une fraiseuse à commande numérique aux dimensions requises, avec une surépaisseur. La pièce est ensuite percée selon le plan, car cette opération est beaucoup plus difficile après la trempe, bien entendu.

Après le traitement de trempe de ces barrettes, on obtient une dureté Rockwell de 58-60 HRC, qui est légèrement inférieure à la dureté obtenue dans les barrettes rectifiées (MRC), afin d'éviter qu'elles ne se cassent lors du processus de découpe du fil. Après la trempe, la rectification est effectuée selon les dimensions établies d'épaisseur, de dimension et d'équarrissage, avec une précision de $\pm 0,01$ mm.

L'intérieur de la barrette est réalisé en deux étapes. On forme tout d'abord l'intérieur au moyen de l'équipement d'érosion à fil, puis le séparateur avec érosion par pénétration si nécessaire, puisque toutes les barrettes ne sont pas équipées d'un séparateur.

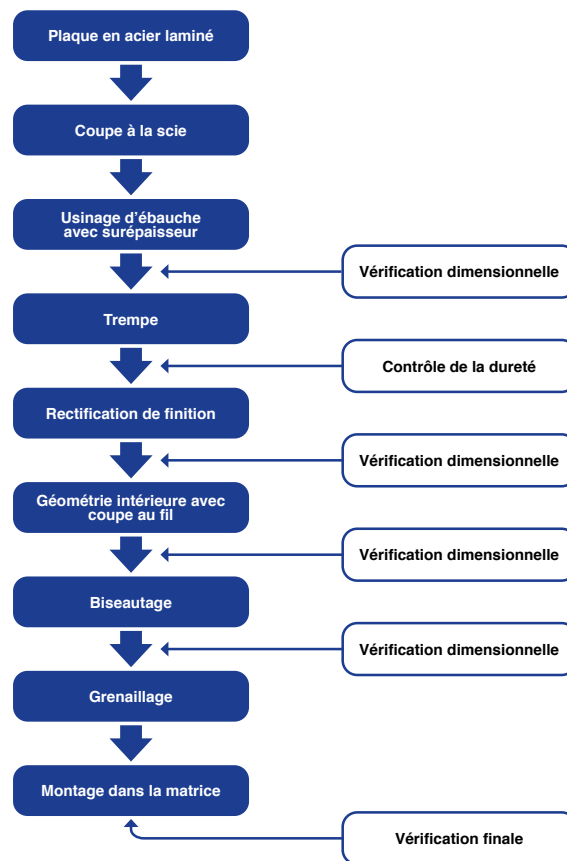


Figure 4.28. Le processus de fabrication des barrettes coupées au fil (MHI)

4.6.5. Processus de fabrication des barrettes anti-usure

Comme décrit au chapitre 3, on obtient les barrettes appelées généralement « anti-usure » en revêtant les substrats en acier non trempé. On a ainsi deux types de barrettes : les « barrettes avec revêtement HVOF » et les « barrettes avec inserts en carbure de tungstène ».

Les « **barrettes avec revêtement HVOF** » étant également amovibles, leur processus de fabrication est semblable à ceux décrits dans cette section, outre l'étape d'application d'une couche de revêtement anti-usure au moyen d'une projection à grande vitesse, expliquée au chapitre 3. Ce processus commence avec des plaques ou des barres d'acier brut laminé qui sont découpées et usinées comme décrit ci-dessus, par enlèvement de matière dans les zones soumises au frottement, d'une profondeur supérieure ou égale à l'usure maximale admissible.

Il est possible de fabriquer des « **barrettes anti-usure avec inserts en carbure de tungstène (WC)** » aussi bien sous forme de **barrettes fixes** que de **barrettes amovibles**. Les opérations de base du processus sont les mêmes, à l'exception de l'assemblage des barrettes. Dans le cas des versions amovibles, il se fait, comme indiqué ci-dessus, par queue-d'aronde, et dans le cas des versions fixes, il se fait à la main dans le renforcement usiné dans la matrice au moyen de vis dans les trous horizontaux et/ou les trous aux extrémités des barrettes longues, en fonction du format. Dans les deux processus (figures 4.29 et 4.30), on part également de plaques ou de barres d'acier brut laminé qui sont découpées, usinées et trempées comme décrit ci-dessus, de façon à obtenir un emplacement pour l'insertion des barrettes en tungstène. La surface est ensuite traitée pour améliorer l'adhérence du revêtement des inserts en carbure de tungstène rectifiés qui sont fixés rigidement aux barrettes en acier. Après l'assemblage du revêtement, on découpe la queue-d'aronde sur les barrettes amovibles, on rectifie les dimensions aux valeurs spécifiées dans le plan, puis le biseau et l'épaisseur, avant d'effectuer le montage dans la matrice.

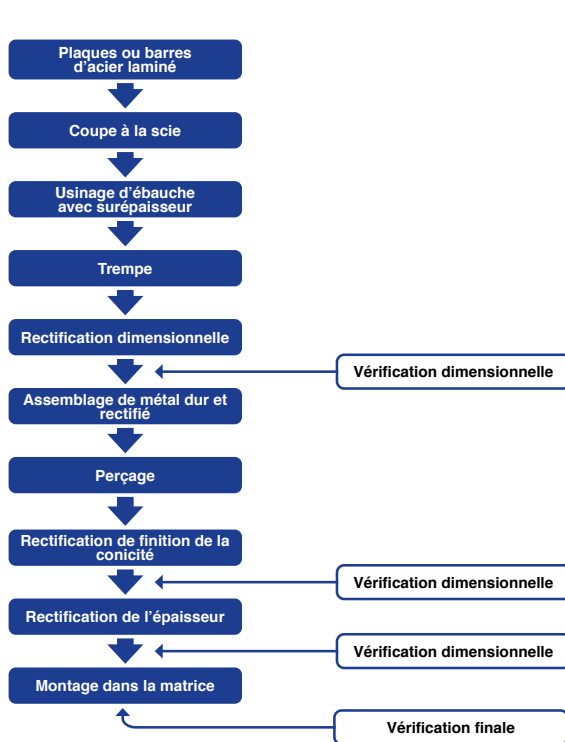


Figure 4.29. Processus de fabrication de barrettes fixes anti-usure avec des inserts en carbure de tungstène

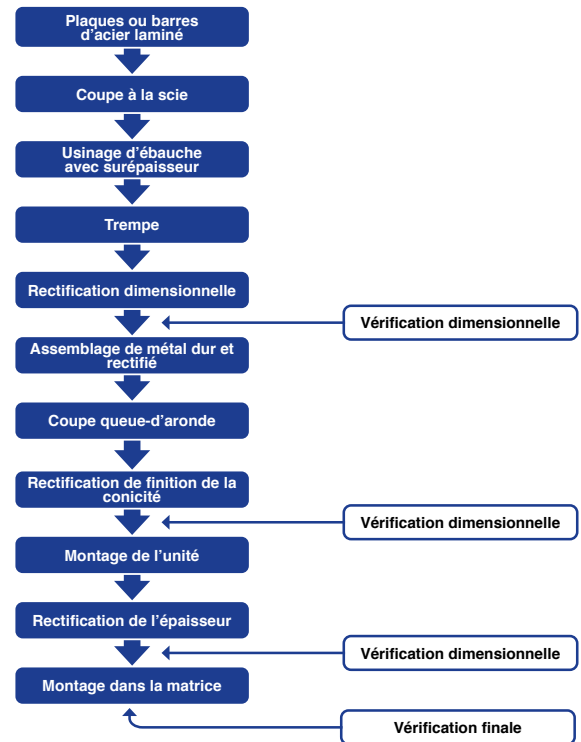


Figure 4.30. Processus de fabrication de barrettes amovibles anti-usure avec des inserts en carbure de tungstène

4.7. PROCESSUS DE FABRICATION DES POINÇONS

Les poinçons (figures 4.31 et 4.32) sont fabriqués à partir de plaques d’acier brut DIN CK45 ou DIN 1.2080 qui sont découpées par oxycoupage ou sciage (figure 4.33 et lien 4.7) aux dimensions nominales du poinçon plus 4 à 5 mm d’excédent sur l’épaisseur et 10 mm sur les côtés.



Figure 4.31. Poinçons en cours de réalisation



Figure 4.32. Poinçons à profil fiche à fiche

Les plaques sont fournies dans des épaisseurs standard. Pour la fabrication des poinçons, on utilise celles indiquées dans le tableau 4.14, en choisissant les plus grandes pour les poinçons de grands formats.

Type de moule	Poinçon	Épaisseurs des plaques (mm)
Pénétrant	Supérieur	55
	Inférieur	30 - 35
Moule double	Supérieur	30 - 35
	Inférieur	40 - 45
Miroir pénétrant	Supérieur	40 - 45
	Inférieur	40 - 45

Tableau 4.14. Épaisseurs des plaques d’acier brut



Figure 4.33. Découpe des plaques d’acier brut par sciage



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre un processus de découpe de plaques d’acier par sciage.
Lien 4.7

Les plaques découpées sont fraisées pour obtenir la forme de poinçon requise. L'opération est appelée usinage d'ébauche, car elle n'atteint pas les dimensions finales de la pièce, sur laquelle une surépaisseur est laissée. On la réalise avec une fraiseuse à commande numérique. On perce ensuite les trous filetés et de manutention. En outre, dans les poinçons isostatiques, il faut percer les trous pour les soupapes de remplissage et de désaération.

Les trois opérations que nous venons de décrire sont communes à tous les poinçons. À partir de là, les opérations du processus de fabrication varient en fonction du type de poinçon et nous les décrivons séparément.

4.7.1. Processus de fabrication des poinçons trempés et polis

Le schéma de ce processus est présenté dans la figure 4.34. Ces poinçons sont fabriqués à partir de plaques d'acier DIN 1.2080. Après les opérations de découpe, d'usinage d'ébauche et de perçage des plaques d'acier, le poinçon de la face noble du carreau est évidé et biseauté par fraisage, de façon à le dégrossir. Le poinçon est ensuite trempé. Cette opération consiste en un chauffage contrôlé jusqu'à une température de 940-970 °C, suivi d'un refroidissement brusque dans l'huile ou dans un bain de sel, au cours de laquelle le métal atteint une dureté comprise entre 56 et 58 HRC.

La trempe est suivie d'opérations de finition de l'épaisseur, par rectification à l'aide de meules abrasives, et de finition des dimensions latérales, c'est-à-dire d'équarrissage, par fraisage des contours. On crée ensuite la forme définitive du profil intérieur du poinçon en réalisant l'évidement et le biseautage par fraisage. La surface du poinçon est ensuite polie sur la rectifieuse.

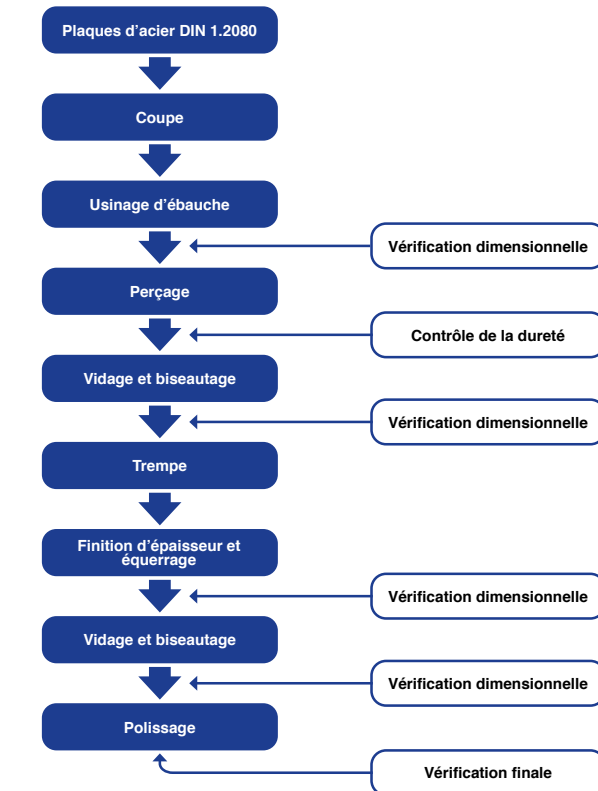


Figure 4.34. Processus de fabrication des poinçons trempés et polis

4.7.2. Processus de fabrication des poinçons avec du caoutchouc

Le processus de fabrication des poinçons avec revêtement en caoutchouc (figure 4.35) comporte un certain nombre d'étapes communes aux différents types décrits ci-dessus. Il y a cependant des différences significatives si les poinçons sont équipés d'un système de compensation (poinçons isostatiques) ou non, c'est pourquoi nous les décrivons séparément.

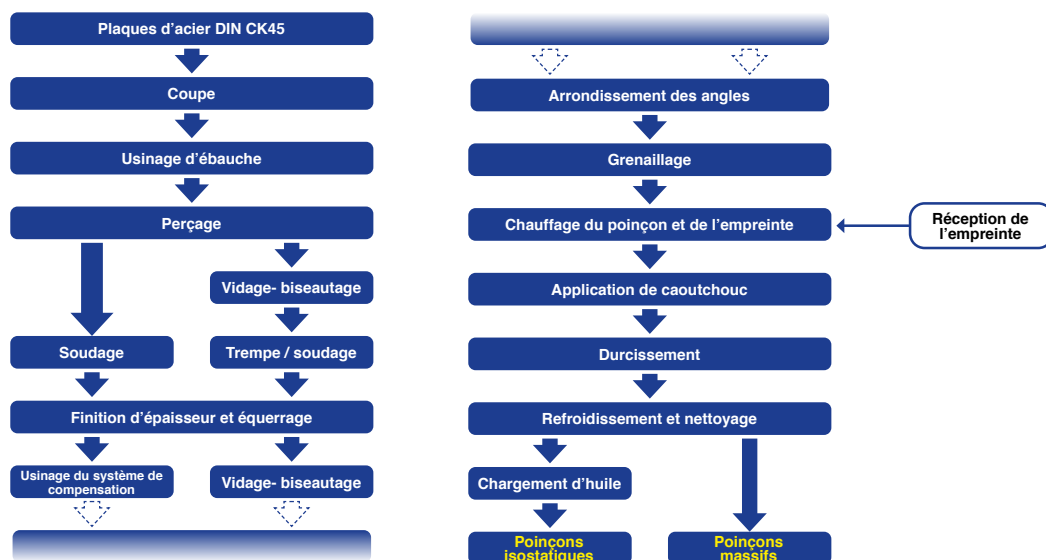


Figure 4.35. Processus de fabrication des poinçons avec du caoutchouc

4.7.2.1. Poinçons massifs avec du caoutchouc

Les **poinçons avec revêtement en caoutchouc et sans compensation d'huile**, que nous appellerons « poinçons massifs », sont utilisés dans la plupart⁵¹ des poinçons de face noble du carreau et également dans les poinçons de face de dos de certains revêtements et petits formats, dans lesquels l'effet isostatique n'est pas considéré comme nécessaire, ou n'est pas conseillé⁵².



Figure 4.36. Cordon de soudure périphérique

⁵¹ De nos jours, cependant, on a tendance à installer des poinçons isostatiques également sur la face noble des moules pour carreaux à effet pierre ou avec des reliefs très prononcés.

⁵² Il n'est pas toujours conseillé d'utiliser des poinçons isostatiques si les carreaux doivent recevoir un traitement lappato après la cuisson, car les petites différences d'épaisseur dues à la compensation isostatique deviendront visibles après le traitement.

Ils sont également fabriqués à partir de plaques d'acier DIN CK45 qui sont coupées, fraisées et percées comme décrit ci-dessus. Après ces opérations, on procède à l'évidement et au biseautage d'ébauche.

Il existe deux procédures pour renforcer les parties de ces poinçons plus exposées à l'usure, en fonction du type d'acier utilisé dans leur fabrication. Sur les poinçons en acier DIN 1.1191 (c'est-à-dire F-114 ou CK45), il est possible d'ajouter un cordon de soudure périphérique (figure 4.36) d'un matériau plus dur. Par ailleurs, ils ne sont jamais trempés. Quant aux poinçons en acier DIN 1.2080, il est possible de les tremper selon la procédure décrite, mais on n'ajoute jamais le cordon de soudure.

Le type de soudage utilisé pour durcir le périmètre des poinçons en acier DIN 1.1191 est le procédé MAG (Metal Active Gas). Ce type de soudage, avec protection gazeuse et électrode consommable, est presque exclusivement appliqué aux aciers au carbone et faiblement alliés. Le gaz le plus couramment utilisé est l'argon avec un pourcentage de CO_2 variant de 15 à 25 %.

Quel que soit le procédé de renforcement utilisé, il faut ensuite rectifier le poinçon aux dimensions nominales en réalisant les opérations de finition d'épaisseur, d'équarrissage et d'évidement - biseautage. Après ces opérations, le poinçon doit avoir les dimensions spécifiées dans le plan, avec une tolérance de $\pm 0,02$ mm. Il ne reste plus qu'à terminer le biseau des angles, là où il n'a pas été possible d'accéder avec les outils utilisés pour ces opérations. Pour ce faire, on utilise des meules de petites dimensions. Après ces opérations, le poinçon est prêt à recevoir le revêtement en caoutchouc.

4.7.2.2. Poinçons isostatiques

Les poinçons isostatiques ont un processus de fabrication similaire jusqu'au point décrit dans la section précédente, mais ils ne sont pas trempés, car ils sont fabriqués en acier DIN 1.1191. Ainsi, dans le cas de ces poinçons, l'amélioration des caractéristiques mécaniques des pièces exposées au frottement se fait par l'ajout d'un cordon de soudure. Il faut tenir compte du fait qu'après la trempe, l'usinage du système de compensation n'est pas possible.

Après les opérations de finition d'épaisseur et d'équarrissage décrites ci-dessus, on usine le système de compensation à l'aide de la fraiseuse à commande numérique (figure 4.37). Dans le cas des poinçons à grille de type MRPV, il faut également percer les conduits d'interconnexion des chambres. Les finitions des angles sont ensuite réalisées à l'aide de meules plus petites.



Figure 4.37. Usinage du système de compensation d'huile dans les poinçons isostatiques à grille de type MRPV

La surface sur laquelle le caoutchouc doit être appliqué est soumise à un nettoyage abrasif appelé grenailage ou sablage. Le négatif du relief est réalisé sur le caoutchouc lors du processus de durcissement dans la presse. Il est donc nécessaire d'utiliser une empreinte métallique, en aluminium ou en bakélite, avec le positif du relief, pour transférer la forme sur le caoutchouc, qui est vulcanisé et collé au poinçon au cours d'un même processus. Nous avons déjà abordé le processus d'élaboration de ces empreintes au chapitre 2.

Après les opérations de préparation, le poinçon et l'empreinte sont chauffés à des températures proches de 100 °C sur une plaque chauffante avant l'application du caoutchouc.

4.7.2.3. Préparation et application des caoutchoucs

Nous avons déjà indiqué qu'il existe deux types d'application du caoutchouc pour les poinçons : l'**application de feuilles** et l'**application liquide** de résines synthétiques fondues. Généralement utilisée pour les poinçons isostatiques, les poinçons de grands formats et les poinçons en relief, quel que soit le format, cette dernière présente une excellente adhérence au métal. La machine de dosage de caoutchouc liquide (figure 4.38) est alimentée par un nombre limité de caoutchoucs standard, stockés dans des réservoirs chauffés à 85 °C, d'une contenance comprise entre 50 et 200 litres, équipés d'une pompe à vide pour éviter la présence de bulles d'air occluses dans le caoutchouc et de circuits indépendants. Un programme permet de doser différentes recettes de caoutchoucs, préprogrammées à partir de mélanges de compositions standard, de sorte qu'il est possible de définir exactement les propriétés du mélange à partir des propriétés individuelles de chacun des caoutchoucs dont il est constitué.

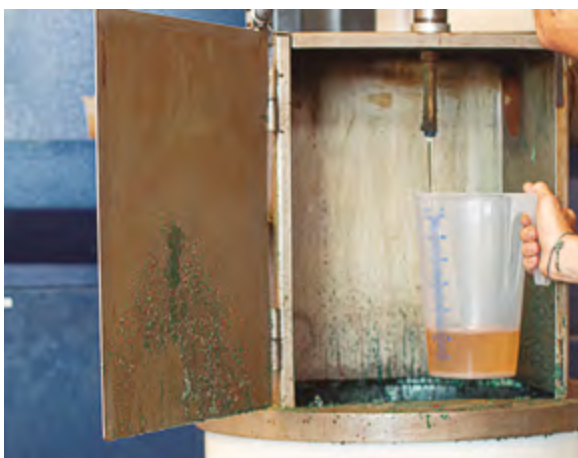


Figure 4.38. Dosage des caoutchoucs liquides pour les poinçons

a) Durcisseurs pour les caoutchoucs appliqués sous forme liquide

Les caoutchoucs appliqués sous forme liquide sont dosés avec l'ajout d'un agent durcissant, également appelé « durcisseur », qui agit comme un expanseur des chaînes de polymères ou d'élastomères. Les agents utilisés sont MOCA® et ETHACURE 300®. Le tableau 4.15 présente certaines des propriétés physicochimiques des deux agents de durcissement.

Propriétés	MOCA	ETHACURE 300
Formule chimique	$C_{13}H_{12}N_2Cl_2$	$C_9H_{14}N_2S_2$
Poids moléculaire	267,16	214,36
Poids équivalent	133,5	107
Présentation commerciale	Granulés jaunes	Liquide clair et jaunâtre
Densité (g/cc - 20 °C)	1,44 (solide)	1 208 (liquide)
Densité (g/cc - 107 °C)	1,26 (liquide)	-
Plage de fusion (°C)	98 à 102	-
Température d'ébullition (°C)	-	200 °C

Tableau 4.15. Propriétés des durcisseurs utilisés pour les caoutchoucs liquides

Actuellement, le durcisseur MOCA® est sur le point d'être complètement remplacé par ETHACURE 300®^[4] (diméthylthiotoluène diamine) qui est une diamine aromatique liquide, peu toxique et facile à manipuler, bien connue et utilisée dans l'industrie des polyuréthanes. Dans les bonnes proportions, ce matériau agit comme un durcisseur efficace. Les polymères durcis avec ETHACURE 300® présentent une résistance mécanique et une dureté élevées, ainsi qu'une bonne résistance chimique. Pendant le processus de durcissement, il présente des temps de travail compatibles avec le processus de fabrication des poinçons.

Les deux durcisseurs exigent des paramètres de travail différents (température, temps d'attente, de pressage et pression) et ont des effets différents sur le caoutchouc vulcanisé. ETHACURE 300® permet de travailler à une température plus basse et nécessite des temps de durcissement différents, qui doivent donc être adaptés au cas par cas. Il offre une meilleure définition des reliefs, il est donc plus adapté aux poinçons avec reliefs, surtout lorsqu'ils sont très prononcés. En revanche, MOCA® permet un démoulage plus rapide et colore en jaune les caoutchoucs incolores (voir tableau 4.14).

Les caoutchoucs appliqués sous forme liquide sont fournis sous forme solide, stockés dans des bidons. Pour leur utilisation, ils sont chauffés pendant 8 heures, entre 80 et 90 °C dans un four, puis transférés dans la machine de dosage (figure 4.38) au moyen d'une pompe à vide, où l'on programme le dosage du mélange de durcisseur et de composition de caoutchouc, ou de plusieurs caoutchoucs, afin d'obtenir une dureté et des propriétés spécifiques. Ces machines sont différentes pour chaque type de durcisseur utilisé. En effet, MOCA® doit être dissous à 120 °C et ensuite mélangé avec le prépolymère dans la chambre de mélange de la machine de dosage, tandis que ETHACURE 300® est travaillé à température ambiante. La quantité totale de mélange dosée pour chaque poinçon dépend logiquement de son format, de la profondeur qui y est usinée et des reliefs éventuels. Elle doit donc être calculée pour chaque poinçon en tenant compte du fait que le caoutchouc y est déposé avec un petit excédent pour faciliter l'élimination des gaz occlus lors du pressage.

Les fournisseurs de durcisseur fournissent un paramètre, appelé NCO, que l'on utilise pour calculer la proportion de durcisseur dans le caoutchouc. Cette donnée est fournie par le fabricant et figure sur l'étiquette du produit, bien qu'elle puisse varier d'un lot à l'autre et doive donc être adaptée à chaque lot. À titre d'exemple, vous trouverez ici^[33] une fiche technique pour différents prépolymères durcis avec MOCA® où, parmi les propriétés, on peut voir le NCO moyen et sa plage d'oscillation en fonction des lots, pour chacun d'entre eux.

Le calcul peut être effectué à l'aide d'une formule simple et est différent pour chaque durcisseur. La formule générale pour calculer la proportion d'un durcisseur ou agent durcissant dans un prépolymère est la suivante :

$$PPC(\%) = \frac{PE \times NCO \times RE}{42,02}$$

Dans cette formule :

PPC (%) est le pourcentage d'agent durcissant pour 100 parties de caoutchouc.

PE est le poids équivalent du durcisseur. Il est de 133,5 pour MOCA® et de 107 pour ETHACURE 300®.

NCO est une donnée fournie par le fabricant.

PE est le rapport stœchiométrique exprimé en nombre décimal. Il est généralement de 0,95.

Généralement, on simplifie cette formule en remplaçant les données connues des durcisseurs couramment utilisés. Dans notre cas :

$$\text{Pour MOCA}^{\circledR} \text{ (PE=133,5)} \quad \text{PPC}(\%) = \frac{133,5 \times \text{NCO} \times \text{RE}}{42,02} = 3,18 \times \text{NCO} \times \text{RE}$$

$$\text{Pour ETHACURE 300}^{\circledR} \text{ (PE=107)} \quad \text{PPC}(\%) = \frac{107 \times \text{NCO} \times \text{RE}}{42,02} = 2,55 \times \text{NCO} \times \text{RE}$$

Le tableau 4.16 présente les valeurs NCO de certains caoutchoucs couramment utilisés, ainsi que certaines de leurs propriétés^[33].

Type de prépolymère	Dureté Shore A	Gamme NCO	Durcissement (80-90 °C) en min
TDI – PTMEG	85	3,10 à 3,50	25 à 30
	90	4,00 à 4,40	
TDI – PPG	90	4,00 à 4,40	12 à 16
	95	5,30 à 5,70	8 à 10
TDI – Polyester	80	2,90 à 3,30	7 à 8
	95	5,40 à 5,80	3 à 4

Remarque :

- TDI est l'acronyme de diisocyanate de toluène.
- PTMEG est l'acronyme de polytétrahydrofurane.
- PPG est l'acronyme de propylène glycol.

Tableau 4.16. Propriétés de certains prépolymères utilisés pour les caoutchoucs liquides

Tous ces prépolymères ont une faible teneur en TDI libre (moins de 0,1 %). Les prépolymères à très faible TDI libre réduisent l'exposition de l'opérateur aux vapeurs de TDI, ont une viscosité d'application plus faible (85 °C) et augmentent le temps nécessaire au durcissement.

b) Pressage de durcissement

Avant d'appliquer le caoutchouc, le poinçon est soigneusement nettoyé au jet de sable jusqu'à ce qu'il soit complètement exempt de particules et de poussière. On applique ensuite un adhésif ou une colle sur la surface du poinçon par aérogaphie manuelle, avant de le laisser sécher à l'air. L'empreinte et le poinçon sont alors chauffés pendant 15 à 20 minutes à environ 100 °C si le caoutchouc est appliqué sous forme liquide ou à 120 °C s'il l'est sous forme de feuille. Bien qu'au départ, on utilisait un seul type de colle pour un poinçon donné, on en utilise aujourd'hui deux différentes selon qu'il s'agit d'une application en feuille ou sous forme liquide.

Pour éviter que le caoutchouc liquide ne colle sur les côtés du poinçon après le pressage, on applique également un agent de démoulage au pinceau (figure 4.39).



Figure 4.39. Application d'un agent de démoulage sur les côtés du poinçon

On **applique le caoutchouc liquide** en le versant sur le poinçon propre à une température de 100 °C, comme le montre la figure 4.40 et le lien 4.8. Dans la vidéo, on peut voir qu'après avoir versé le caoutchouc, on applique de la chaleur afin d'éliminer les bulles d'air occluses.

Ensuite, on applique également un film plastique de démoulage entre l'empreinte et le caoutchouc, afin que le caoutchouc ne colle pas à l'empreinte.

Une fois refroidi, le caoutchouc est en tension, car il se rétracte, mais il est retenu dans le poinçon et en recouvre uniformément toute la surface.

Bien que le processus de pressage de durcissement soit standard pour tous les poinçons, il existe quelques différences selon qu'il s'agisse de poinçons lisses, à relief léger ou à relief prononcé (abrasifs ou très prononcés). Il existe également des différences selon qu'il s'agisse de caoutchoucs liquides ou appliqués sous forme de feuilles, et même selon le type de durcisseur utilisé avec les caoutchoucs liquides. Comme référence pour ce dernier point, vous trouverez ici^[33] une fiche technique où vous pouvez consulter ces données pour un certain nombre de prépolymères commerciaux durcis avec MOCA®.

Il faut également tenir compte du fait que l'aluminium et le fer ont une bonne conductivité thermique, alors que la bakélite agit pratiquement comme un isolant et se comporte donc différemment. Il faut par conséquent utiliser des paramètres de processus différents en fonction du type d'empreinte utilisé.

Si l'empreinte est en bakélite, elle est centrée manuellement à l'aide de centreurs incorporés à l'empreinte elle-même. Si elle est en fer ou en aluminium, elle est fixée au moyen d'ancrages appelés « pattes » (figure 3.43 et lien 4.9). L'ensemble « empreinte - caoutchouc - poinçon », rigidement assemblé par les pattes, est placé sur le banc de la presse et les dimensions sont vérifiées au moyen de jauges de profondeur ou « sondes » pour déterminer la hauteur des butées, appelées « parallèles », nécessaires au pressage (figures 4.41, 4.42 et 4.43 et lien 4.10). En général, la hauteur des butées est supérieure d'un dixième à l'épaisseur de l'empreinte et du poinçon.



Figure 4.40. Versement du caoutchouc liquide dans un poinçon



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre le processus d'application du caoutchouc sur un poinçon. Lien 4.8



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre le processus de centrage de l'empreinte pour le formage du caoutchouc par pressage. Lien 4.9



Figure 4.41. Presse à six pistons pour l'application de caoutchouc sur des poinçons de grand format

Les presses automatiques utilisées dans l'opération développent des forces allant de 40 à 800 tonnes selon le format du poinçon, les forces d'ouverture du moule allant de 6,5 à 35 tonnes. On choisit la presse adaptée à chaque poinçon, en tenant compte avant tout de la portée libre de la presse et du format du poinçon. La force maximale que chaque presse est capable de développer ne joue pas un rôle important dans son choix, car elle n'est pas très élevée. Au cours du cycle, il faut définir les paramètres de l'opération : température du poinçon, temps, vitesse, pression, positions des éléments mobiles et durée du cycle, en fonction du type de poinçon et de relief.

Au terme de l'opération de pressage, et après le refroidissement, on nettoie et on retouche manuellement le poinçon, qui est alors prêt à être monté.



Figure 4.42. Pressage d'une feuille

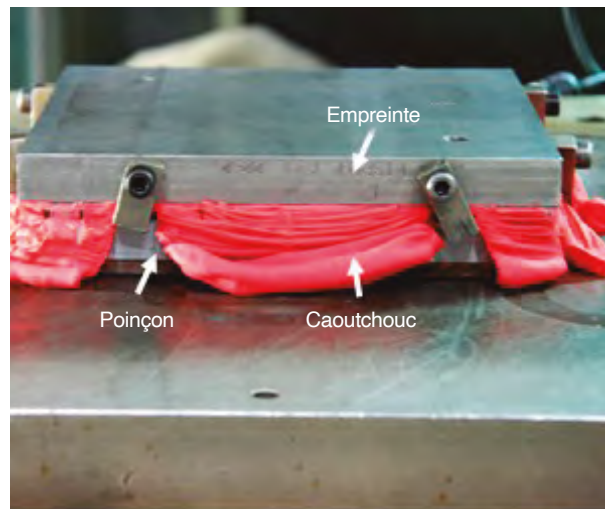


Figure 4.43. Application du caoutchouc sur un poinçon (pressage d'une feuille)



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre le processus de pressage de l'ensemble empreinte-caoutchouc-poinçon. Lien 4.10

La figure 4.44 montre un poinçon isostatique à plaque fixe sans application de caoutchouc, ainsi qu'un autre présentant les mêmes caractéristiques et où le processus de coulée du caoutchouc et de durcissement a déjà été effectué.

Il est parfois nécessaire de réaliser des poinçons de relief de dos avec une cellule d'identification (marque, numéro de plateau, etc.) libre (figure 4.45), afin de pouvoir y apposer les estampilles requises, en fonction des besoins. Ces estampilles sont fabriquées en différentes couleurs et sont adaptées au renforcement prévu à cet effet, comme on peut le voir dans la figure 4.46.

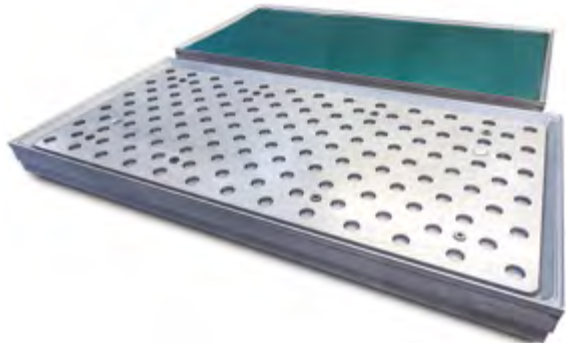


Figure 4.44. Poinçon isostatique à plaque fixe avant et après l'application et le durcissement du caoutchouc



Figure 4.45. Poinçon (et empreinte) avec trou anagramme



Figure 4.46. Anagramme interchangeable

(c) Les butées ou « parallèles »

Au cours du processus de pressage, le caoutchouc liquide n'offre pas une grande résistance à la presse et se déforme en prenant la forme du poinçon. Afin de réguler l'opération, il existe quatre butées métalliques (ou plus) situées sur le banc de la presse (figures 4.47, 4.48 et 4.49), dont la hauteur est légèrement supérieure à la somme des hauteurs du poinçon et de l'empreinte, de sorte que la déformation du caoutchouc s'arrête à cet endroit. La hauteur de ces butées dépend du type de poinçon, de l'empreinte et du durcisseur utilisé et doit être choisie avec soin. En effet, une pression excessive due à une faible hauteur des butées est susceptible de « clouer » l'empreinte, c'est-à-dire la faire pénétrer dans le caoutchouc, voire de l'endommager. En revanche, une hauteur excessive, et donc un pressage insuffisant, aurait un impact sur la qualité du caoutchouc et son collage. Les parallèles disponibles présentent différentes épaisseurs à partir de 0,05 mm (figure 4.47) et sont ajoutées jusqu'à ce que la hauteur souhaitée soit atteinte (figures 4.48 et 4.49). Il convient de noter que l'épaisseur de ces inserts diminue à l'usage. Il faut donc les remplacer périodiquement.

Pour définir la hauteur de ces butées, on peut utiliser les informations fournies par le codeur de la presse, qui repère la position de la traverse mobile, ou effectuer des mesures manuelles à l'aide d'une jauge de profondeur.

Dans les grands formats, par exemple 60x120 cm avec des empreintes en bakélite, une décompensation peut survenir pendant le pressage, en raison de la grande taille, et il peut y avoir de légères différences de planéité qui peuvent également être compensées par les parallèles, en réglant la hauteur de chaque butée pour garantir un ajustement parfait entre l'empreinte, le caoutchouc et le poinçon et, si nécessaire, en disposant deux parallèles supplémentaires dans la partie centrale du poinçon. Afin de garantir une répartition correcte des pressions, il est préférable de presser ces poinçons de grands formats avec des presses à 6 pistons, comme celle de la figure 4.41, qui garantissent une parfaite horizontalité de la traverse mobile.

Exemples

- Si la somme des hauteurs du poinçon et de l'empreinte est de 54 mm, on peut installer quatre butées dans la presse à une hauteur de 54,8 mm, ce qui donne 0,8 mm de caoutchouc qui offrira une résistance à la presse au fur et à mesure qu'il durcit.
- Sur les moules lisses avec des empreintes en fer, on laisse généralement les butées à environ 0,3 mm au-dessus de la somme des hauteurs du poinçon et de l'empreinte.



Figure 4.47. « Parallèles »



Figure 4.48. Disposition des butées ou « parallèles » dans la presse (détail)

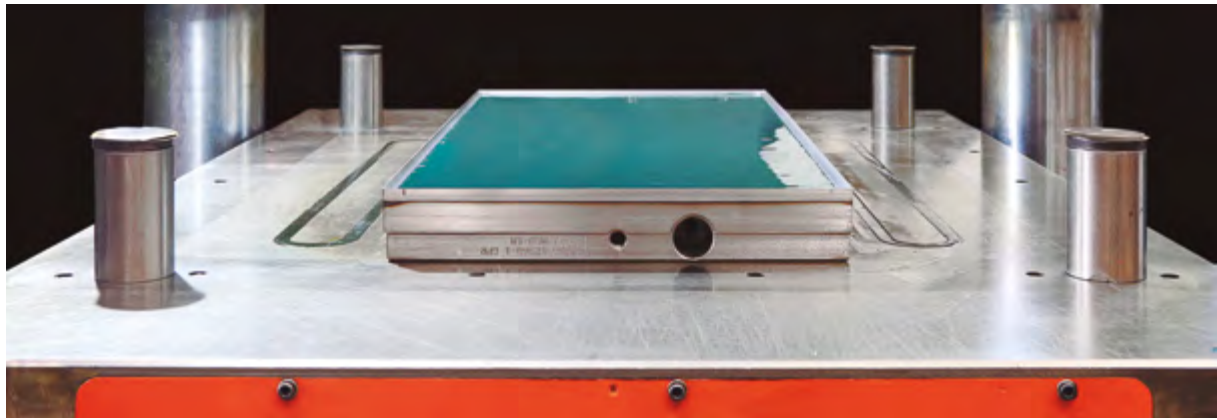


Figure 4.49. Disposition des butées ou « parallèles » dans la presse

4.7.2.4. Variables de l'opération de pressage de durcissement

Conformément à la description donnée jusqu'à présent, on peut reconnaître les principales variables du processus pressage de durcissement, que nous allons énumérer progressivement. En raison du grand nombre de facteurs qui ont un impact sur le processus, dont beaucoup découlent de l'énorme variété des poinçons existants en termes de format, de reliefs et de profondeur, des types d'empreinte, de l'état physique du caoutchouc appliqué, qu'il soit liquide ou en feuilles, etc., la standardisation nécessaire du processus est très difficile et elle repose souvent sur l'expérience et l'expertise de l'opérateur.

La **température du poinçon** influe considérablement sur la viscosité du caoutchouc lorsqu'il est déposé sur celui-ci, et donc sur la façon dont il recouvre le poinçon avant le pressage. Si la température est insuffisante, le caoutchouc ne recouvre pas bien le poinçon, ce qui crée des bulles d'air occluses qui peuvent provoquer une déchirure du caoutchouc lors de l'utilisation du poinçon. En revanche, la viscosité à la température du poinçon dépend de la **composition du caoutchouc liquide** appliqué. On peut voir ici^[33] des viscosités aux températures de travail de certains caoutchoucs polymérisés avec MOCA®.

Il est important de définir précisément le **temps** qui s'écoule entre le dépôt du caoutchouc sur le poinçon et le pressage, car cela détermine la viscosité du caoutchouc liquide et influe directement sur sa qualité après durcissement. Si le temps n'est pas bien défini, des défauts peuvent apparaître dans le caoutchouc du moule, tels que la peau d'orange avec des reliefs arrondis et mal définis, ou même un durcissement excessif qui rend le pressage difficile, voire impossible.

La **température de pressage** et le **temps de pressage** sont deux variables importantes du processus, bien qu'elles soient plus faciles à standardiser. Jusqu'à il y a moins de dix ans, les poinçons des faces de dos étaient pressés à 120 °C et les autres à 90 °C. De nos jours, on a tendance à presser tous les types de poinçons à la même température : 100 °C pour les applications liquides et 120 °C pour les feuilles. Le temps de pressage est similaire, environ 20 minutes, bien que ce paramètre soit conditionné par le type de durcisseur utilisé.

Dans les grands formats, il peut être difficile d'homogénéiser la température des poinçons, car en raison de leur taille, ils peuvent présenter des différences de température d'un point à l'autre. Pour éviter cela, les grandes presses destinées à ces formats sont équipées de plaques chauffantes divisées en zones régulées indépendamment, ce qui permet de compenser les gradients de température qu'il peut y avoir dans un même poinçon.

Pendant le processus de pressage des poinçons avec du caoutchouc liquide, il est important de contrôler les **vitesse de descente de la traverse**. Dès qu'elle entre en contact avec l'ensemble « empreinte-caoutchouc-poinçon », il faut interrompre la descente pendant quelques secondes pour faciliter la désaération, c'est-à-dire l'élimination des gaz occlus dans le caoutchouc, puis poursuivre la descente en douceur jusqu'aux butées. La désaération ne doit pas être effectuée en relevant la traverse, car cela entraînerait une déformation du caoutchouc. Nous avons déjà indiqué en parlant du dosage du caoutchouc liquide qu'il faut un petit excès pour faciliter la désaération.

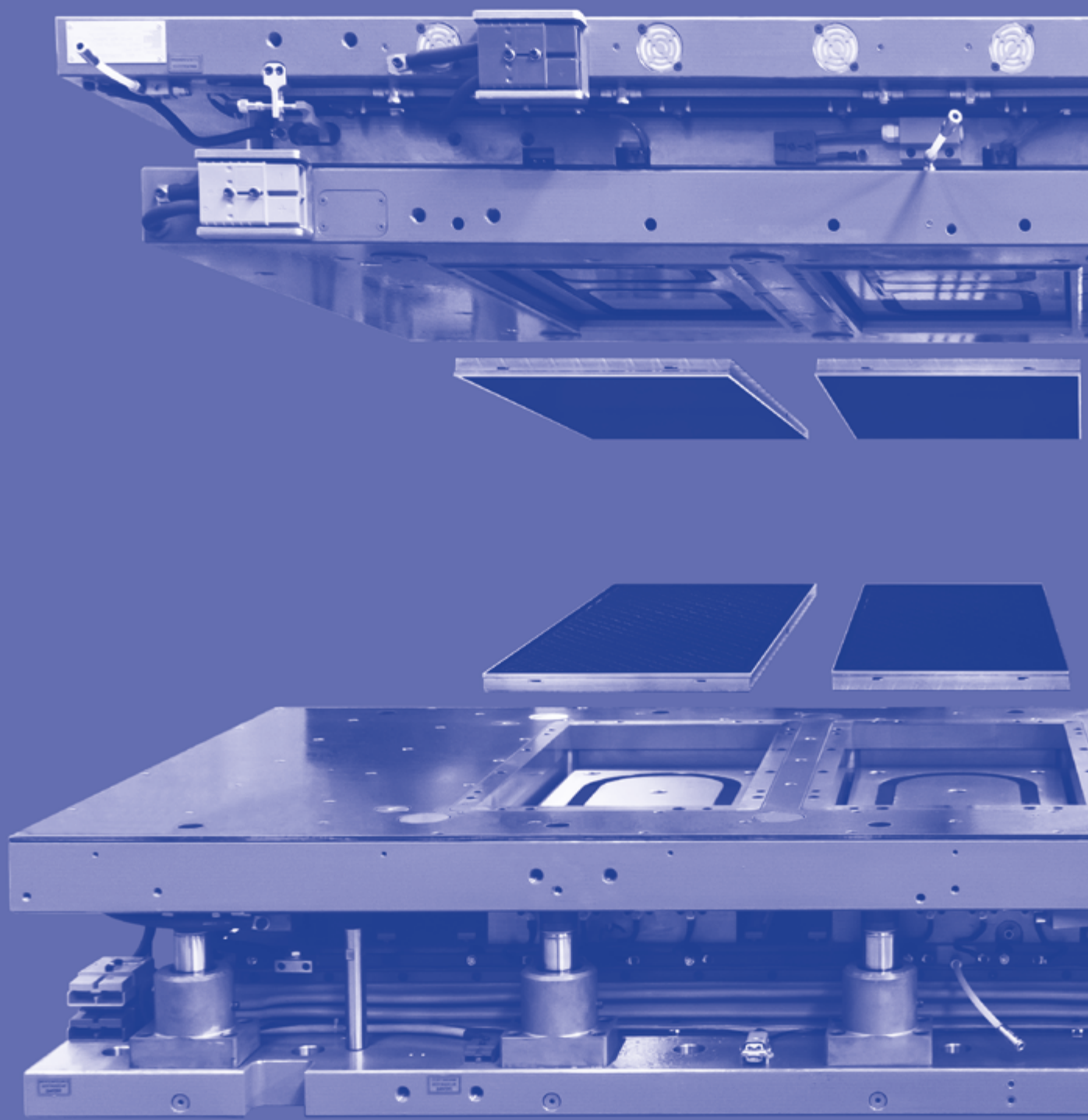
Dans le cas des caoutchoucs appliqués en feuille, on prépare celle-ci avec des dimensions légèrement inférieures à celles du poinçon. Pendant le pressage, elle se dilate du centre vers les extrémités, éliminant ainsi l'air. Lors du pressage de feuilles, on peut faire descendre la traverse rapidement jusqu'à ce que la pression de pressage fixée soit atteinte.

Un autre paramètre qui influence le processus de durcissement est la **profondeur du poinçon**. Sur les plateaux lisses, avec une épaisseur de 0,3 mm, le caoutchouc est en contact direct avec le poinçon chaud et il est facile d'obtenir un durcissement homogène. En revanche, avec des épaisseurs plus élevées pour les poinçons en relief, par exemple au-delà de 4 mm, il peut y avoir un gradient de température entre la couche de caoutchouc en contact avec la surface chaude du poinçon et la partie supérieure en contact avec l'empreinte, et il sera donc difficile d'obtenir un durcissement homogène.

Certains modèles nécessitent des reliefs très prononcés, notamment pour les carreaux grand format, et des épaisseurs supérieures à 11 mm. Dans ce cas, la construction du relief en caoutchouc selon le procédé que nous avons décrit s'avère très problématique, car elle nécessite des épaisseurs élevées de caoutchouc, qui peuvent entraîner des déformations du relief pendant le pressage. On peut résoudre ce problème en usinant le relief sur la surface du poinçon, qui dans les versions précédentes était toujours lisse, et en le recouvrant d'un caoutchouc d'une épaisseur constante. Pour ce faire, il est nécessaire de définir les niveaux de gris et de les inverser, c'est-à-dire d'en construire le négatif, et à partir de là, d'élaborer le programme d'usinage. Rappelons que dans le cas des reliefs profonds, si le modèle le permet, la face de dos est compensée de façon à ce que l'épaisseur reste à peu près constante.

Types de moules et fonctionnement

Chapitre 5



5.1. TYPES DE MOULES POUR LE PRESSAGE

Les types de moules pour le pressage ont évolué au fil du temps en fonction des conditions technologiques, structurelles, fonctionnelles et économiques liées à l'évolution du secteur. Certains d'entre eux sont restés pratiquement identiques, notamment le moule pénétrant, tandis que d'autres comme le moule à miroir ne sont presque plus utilisés. Parallèlement, d'autres sont apparus, notamment le moule à miroir pénétrant, qui allie les caractéristiques et les avantages de plusieurs types.

On peut classer les moules pour le pressage unidirectionnel semi-sec des carreaux céramiques en quatre types :

- Moule pénétrant
- Moule à miroir
- Moule double
- Moule à miroir pénétrant

Ces types généraux admettent quelques variantes issues de modifications qui touchent à la fois leurs composants et leur fonctionnement, mais qui, pour l'essentiel, n'altèrent pas les caractéristiques générales décrites pour chacun d'eux. Parmi ces variantes, on trouve actuellement sur le marché le **moule à changement rapide (CRS)** et le moule **380-440 V**.

Le tableau 5.1 présente les caractéristiques les plus importantes et les produits qui sont pressés de préférence avec chacun de ces types.

Type	Caractéristiques	Produits majoritaires	Variantes
Pénétrant	Le poinçon supérieur pénètre dans l'alvéole. Face noble vers le bas : il faut un culbuteur. Avec séparateur.	Grès à pâte blanche. Grès à pâte rouge. Monoporeuse à pâte blanche. Monoporeuse à pâte rouge. Revêtements à bi-cuisson. Grès cérame émaillé. Grands formats (avec la face noble en haut).	Pénétrant inversé : La face de dos est façonnée par le poinçon inférieur et la face à émailler par le supérieur. Carreaux avec la face noble vers le haut. Sans séparateur ou avec séparateur inversé.
Miroir.	Poinçon supérieur dont la surface est plus grande que celle de l'alvéole. Le pressage a lieu lorsque l'on fait descendre la matrice. Face noble vers le haut. Sans séparateur. Il ne faut pas de culbuteur.	Utilisation rare : mosaïque.	Miroir inversé : La face de dos est façonnée par le poinçon supérieur et la face à émailler par l'inférieur. Carreaux avec la face noble vers le bas. Avec ou sans séparateur. Il faut un culbuteur.
Moule double	Double matrice. Façonnage dans la partie supérieure. Face noble vers le haut. Avec ou sans séparateur. Il ne faut pas de culbuteur.	Revêtement poreux. Grès cérame décoré en presses. Grès cérame non émaillé Grès cérame à double compactage. Grès cérame émaillé.	
Miroir pénétrant	Ses caractéristiques sont à mi-chemin entre le moule pénétrant et le moule à miroir. Poinçons supérieurs d'une taille comparable à celle du moule pénétrant et qui ne pénètrent que jusqu'à un niveau défini. Les pousseurs déplacent la matrice vers le bas. Le poinçon supérieur pénètre dans la matrice. La course du piston supérieur est contrôlée par des butées situées sur la plaque supérieure. Face noble vers le haut. Peut ou non être muni d'un séparateur. Matrice mobile contrôlée par des pistons hydrauliques.	Grands formats (avec rectification ultérieure) de grès cérame.	

Tableau 5.1. Types de moules

5.2. LE CYCLE DE PRESSAGE

Afin d'expliquer les caractéristiques et le fonctionnement des différents types de moules pour le pressage actuellement utilisés dans la fabrication des carreaux de céramique, il est nécessaire d'introduire et de décrire le concept de cycle de pressage. Le **cycle de pressage** est un ensemble d'opérations et de mouvements synchrones effectués par la presse et le moule, qui permettent le façonnage et l'éjection d'un carreau dans chacune des alvéoles.

Un **cycle standard** comprend les étapes suivantes :

- première chute de plateaux ;
- chargement des alvéoles ;
- deuxième chute de plateaux ;
- descente de la traverse mobile ;
- premier pressage ;
- désaération ;
- deuxième pressage ;
- extraction du carreau pressé.



Figure 5.1. Sortie de la presse

Les caractéristiques du cycle de pressage peuvent varier en fonction du type de produit ou du type de moule. À titre d'exemple, avec le moule double, l'extraction du carreau pressé est divisée en deux phases différentes ou certains cycles comprennent trois pressages avec une autre désaération intermédiaire entre le deuxième et le troisième pressage⁵³.

Dans un cycle standard, il y a deux chutes de plateaux. La première chute est effectuée à un certain niveau, appelée « hauteur de la première chute ». Cette hauteur régule la charge de poudre et influence donc l'épaisseur du carreau pressé. La deuxième chute permet à la plaque d'éjection de reposer sur la plaque sauve-banc au moment où elle reçoit les pressages, de sorte que la pression est absorbée par

⁵³ On réalise généralement un troisième pressage (et donc deux opérations intermédiaires de désaération) sur les carreaux présentant des problèmes de désaération et/ou des reliefs très prononcés.

le banc de la presse et non par les pistons du système d'extraction. De plus, cette deuxième chute évite la perte de poudre après le contact avec les poinçons supérieurs.

Le remplissage de l'alvéole du moule peut se faire en un chargement ou plusieurs, si l'on souhaite des décorations lors de l'opération de pressage, ce qui peut exiger plus de deux chutes de plateaux.

Dans le cas du moule double, l'extraction se fait en deux étapes, comme indiqué plus haut. Dans la première, l'ensemble formé par les poinçons inférieurs, la matrice inférieure et la matrice supérieure monte et les carreaux sont séparés des alvéoles de la matrice supérieure par l'action d'un système d'extraction hydraulique situé dans la partie supérieure du moule. Dans la deuxième étape de l'extraction, les poinçons supérieurs et la matrice inférieure retournent à leur position, ce qui permet d'éjecter les carreaux vers le convoyeur à rouleaux et de commencer un nouveau cycle de pressage.

5.2.1. Durée du cycle de pressage

Il s'agit du temps nécessaire à la presse pour effectuer un cycle complet. Il est d'une importance capitale car il définit la production de la presse. Dans la pratique industrielle, on préfère utiliser, pour des raisons pratiques, le nombre de cycles que la presse effectue par minute, paramètre communément appelé « coups par minute ». À chaque « coup », la presse forme autant de carreaux qu'il y a d'alvéoles ou de « sorties » dans le moule. Le rapport entre ces paramètres et la production est le suivant :

$$\text{Où :} \quad P = G \cdot N \cdot S_F \cdot t$$

P Production de la presse (m²/jour).

G Nombre de cycles par minute.

N Nombre de sorties du moule (carreaux produits à chaque cycle).

S_F Surface d'un carreau, défini par le format⁵⁴ (m²).

t Temps de travail effectif dans une journée (min/jour).

La production de la presse dépend donc de la durée du cycle de pressage qui, comme nous l'avons expliqué, comprend un ensemble de mouvements qui peuvent être simultanés ou conditionnés par l'établissement de synchronismes et de consensus. La durée de chacune de ces opérations dépend de facteurs limitatifs liés aux caractéristiques techniques de la presse, du produit, par exemple le format ou le type de produit (double chargement, décoration sous la presse, etc.) ou de facteurs touchant les caractéristiques qualitatives du produit pressé, par exemple le temps de désaération, le début de la chute des plateaux, etc. qui déterminent le cycle de l'opération. Le tableau 5.2 montre que les étapes de chargement des alvéoles et de désaération sont celles qui demandent le plus de temps dans le cycle de pressage (67 % à elles deux) ^[55]. Ce sont donc deux étapes clés dans les valeurs de production atteintes et, bien entendu, dans la qualité du produit obtenu.

On peut décrire toutes les opérations du cycle de pressage selon la position dans le temps des parties mobiles de la presse^{[49] [69]}, c'est-à-dire la traverse mobile, le chariot et l'équipement d'extraction, et la valeur de la pression spécifique dans les alvéoles ou dans le circuit en fonction du temps.

⁵⁴ Il convient de noter qu'il s'agit du format commercial. Ces données ne comprennent ni les dimensions réelles de l'alvéole, ni les éventuelles variations dimensionnelles que les carreaux subissent au cours du processus de fabrication. Par conséquent, la valeur de la production exprimée en m²/jour, bien que très utile, n'exprime pas avec une précision absolue la valeur de la surface produite.

Étape du cycle de pressage	Temps (%)
Première chute de plateaux et chargement des alvéoles	39
Descente de la traverse, deuxième chute de plateaux et premier pressage	21
Désaération	28
Deuxième pressage	8
Extraction et positionnement de la traverse	4

Tableau 5.2. Temps utilisé (%) pour chaque étape du cycle de pressage avec un moule pénétrant[55]

5.3. LE MOULE PÉNÉTRANT

Pour expliquer la structure et le fonctionnement de chaque type de moule, il est très utile de commencer par le moule pénétrant (figure 5.2). En effet, sa conception est très simple et la plupart de ses composants se retrouvent, d'une manière ou d'une autre, dans les autres types. Nous avons déjà décrit en détail tous ces composants au chapitre 3 et leurs processus de fabrication au chapitre 4.

Dans le moule pénétrant, les poinçons supérieurs pénètrent dans les alvéoles où la poudre est située et lui transmettent la force de pressage. Les alvéoles sont formées par les poinçons inférieurs installés sur les blocs et délimités par les barrettes qui sont montées sur les parois latérales de la matrice, rigidement fixées à la plaque sauve-banc au moyen de piliers de fixation. Le système d'extraction de la presse est chargé d'effectuer les chutes de plateaux nécessaires au chargement et au pressage, et d'éjecter la pièce des alvéoles au moyen d'un mouvement des poinçons inférieurs vers le haut.

Ce type de moules presse les carreaux en position inversée (figure 5.3), c'est-à-dire avec la face noble tournée vers le bas, en raison de la nécessité de doter les carreaux non rectifiés d'un séparateur, qui a pour fonction de protéger la face émaillée d'éventuels impacts latéraux au cours du processus de fabrication. Il est donc clair que l'extraction du carreau ne serait pas possible si les faces de dos étaient formées dans le poinçon inférieur. Ainsi, dans ce type de moule, les poinçons inférieurs forment la face noble des carreaux, tandis que les faces de dos sont façonnées par les poinçons supérieurs, de sorte que la compensation hydraulique doit être effectuée dans ces poinçons (poinçons isostatiques).

Les carreaux sont donc éjectés en position inversée et doivent être retournés sur le convoyeur à rouleaux à l'aide d'un dispositif mécanique appelé culbuteur. Lorsque les carreaux sont situés hors de la zone de pressage, poussés par la butée élastique du chariot, la face qui va recevoir l'émail est exposée au frottement causé par le bord supérieur des barrettes et la matrice. Ces éraflures peuvent être visibles après la cuisson et, en outre, si cette face présente des reliefs décoratifs de presse, ceux-ci peuvent être endommagés par le frottement. Ces défauts éventuels peuvent conditionner l'utilisation de ce type de moule pour certains types de produits.

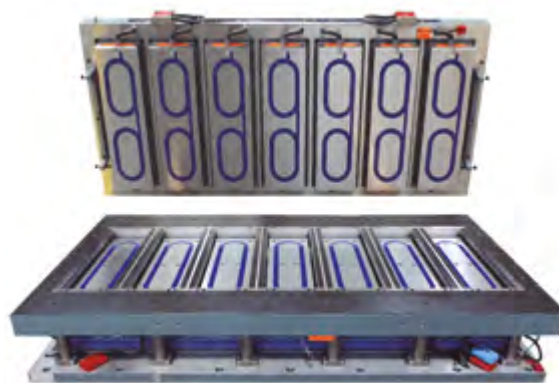
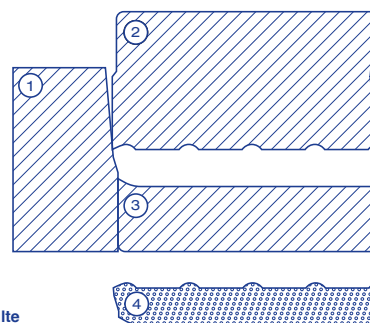


Figure 5.2. Moule pénétrant à 7 sorties 25x75 cm



1. Barrette
2. Poinçon supérieur
3. Poinçon inférieur
4. Carreau qui en résulte

Figure 5.3. Moule pénétrant : les carreaux sont pressés avec des séparateurs et avec la face noble vers le bas

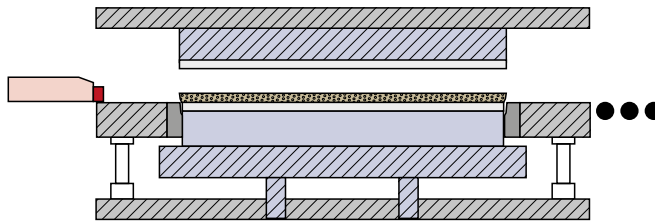
5.3.1. Les étapes du cycle de pressage avec un moule pénétrant

0. Début du cycle

Pour une meilleure compréhension, nous avons considéré que le cycle de pressage, quel que soit le type, commence lorsque la traverse mobile est située dans sa position la plus haute, que nous appelons « **niveau 0 de la traverse** » et que le poinçon inférieur est également situé dans sa position la plus haute, et donc parfaitement aligné avec le niveau de la matrice. Le chariot commence alors un petit mouvement d'approche vers les alvéoles du moule.



Ce code QR contient un lien vers un petit film qui montre le cycle de pressage avec un moule pénétrant. Lien 5.1



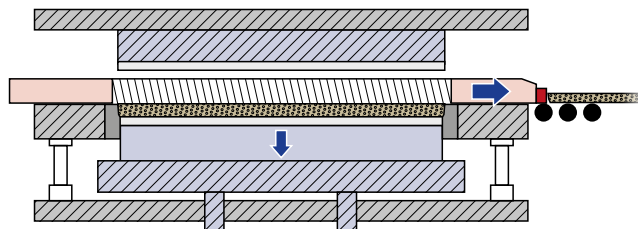
1. Éjection du carreau, première chute de plateaux et chargement de l'alvéole

Le chariot commence le mouvement d'approche vers les alvéoles du moule avec lequel il pousse les carreaux pressés lors du cycle précédent et les place sur le convoyeur à rouleaux, et les poinçons inférieurs descendent jusqu'au « **niveau de la première chute** » (première chute de plateaux).

La grille du chariot est positionnée au-dessus des alvéoles et y décharge la poudre. À un certain point de l'avancement du chariot, la première chute de plateaux commence jusqu'au « niveau de la première chute », qui est la distance, en mm, à laquelle la plaque d'éjection se positionne par rapport à la plaque sauve-banc. Le réglage de cette distance définit la hauteur de la charge de poudre qui, combinée à la pression de pressage, déterminera l'épaisseur du carreau.

On règle la position du chariot au moment où la première chute commence à partir du panneau de commande de la presse. Elle est d'une grande importance pour obtenir un bon chargement des alvéoles.

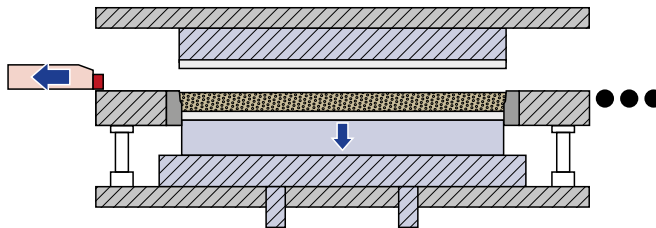
La fonction de l'opération de remplissage des alvéoles est d'obtenir une distribution homogène de la charge dans l'ensemble du moule et de la maintenir constante dans le temps. Un remplissage correct dépend des caractéristiques technologiques de la poudre, telles que sa fluidité et sa distribution granulométrique, des caractéristiques du système d'alimentation et de ses paramètres de réglage, c'est-à-dire des déplacements, des temps et des vitesses de chute de plateaux, de la vitesse du chariot, etc.



2. Deuxième chute de plateaux

Pour commencer le pressage, le moule doit être en position d'arrêt et reposer sur le banc de la presse, de sorte que les plateaux effectuent une deuxième chute jusqu'à cette position. Ainsi, l'ensemble formé par les poinçons, les blocs et la plaque d'éjection peut reposer sur la plaque sauve-banc et la pression exercée lors du premier et du deuxième pressage est supportée par le banc de la presse et non par l'équipement hydraulique chargé d'effectuer les mouvements des poinçons.

Au cours de cette opération, le chariot revient à sa position de départ et, pendant ce mouvement, la lame de nivellement aplanit la charge. Le nivellement de la charge est une opération importante car s'il est effectué à une vitesse excessivement élevée, il peut provoquer des ondulations sur la surface qui débouchent sur des différences de compacité clairement visibles dans certains modèles, comme les revêtements avec émaux cristallins.



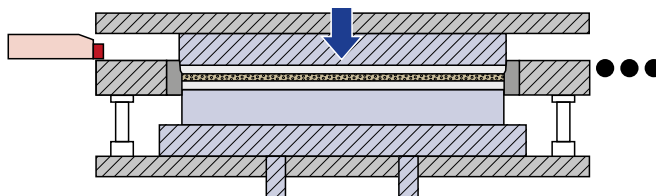
3. Premier pressage

La traverse mobile descend et freine à une courte distance de la charge afin d'éviter un impact excessif entraînant une perte de poudre.

Le premier pressage est la première application de pression sur la charge déposée dans les alvéoles. Il doit éliminer le plus possible l'air contenu dans la poudre par densification grâce à l'application d'une pression modérée (entre 20 et 50 bar), par rapport à la pression de compactage.

Ce premier contact entre les poinçons supérieurs et la poudre est très important, car la désaération et le premier compactage en dépendent. Il doit donc être le plus délicat possible pour que l'air ait le temps d'être correctement évacué.

Pour que la traverse mobile commence à descendre, les poinçons doivent être en position de « moule bas » (plaques sauve-banc et d'éjection en contact) et le chariot doit être au niveau zéro (« chariot en arrière »).



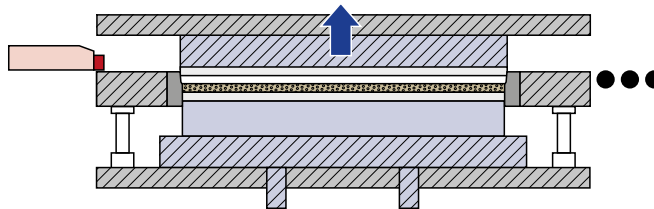
4. Désaération

Les opérations de premier pressage et de désaération ont pour but d'éliminer le maximum d'air de la poudre lors du processus de compactage, afin d'éviter le phénomène de lamination.

Cette étape est destinée à évacuer l'air occlus dans l'alvéole, qui est comprimé par la pression exercée par les poinçons supérieurs, de sorte que la pression sur la pâte doit diminuer et que le piston doit s'élever légèrement de quelques millimètres. Dans le moule pénétrant, l'air est principalement évacué par l'espace entre les poinçons et les barrettes (environ 80 % de l'air est évacué vers le haut et les 20 % restants vers le bas).

Le temps utilisé pour cette opération dépend de la quantité d'air à expulser, et donc de la densité apparente de la poudre dans l'alvéole (densité apparente par chute libre) et des dimensions du carreau. Des durées de désaération élevées assurent une évacuation complète de l'air mais allongent le cycle de pressage, réduisant ainsi la production. Une durée trop courte peut entraîner la lamination des carreaux pressés.

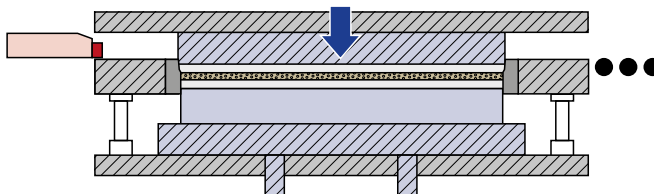
Il convient de noter que certains cycles sont effectués avec trois pressages, ce qui implique une deuxième désaération, que l'on règle exactement de la même manière que la première.



5. Deuxième pressage

La traverse mobile descend à nouveau et la pression maximale du cycle ou pression de pressage est atteinte. C'est l'étape qui forme la microstructure du carreau cru^[13] et qui, par là même, lui donne ses propriétés à l'état cru, influant également sur son comportement dans les étapes suivantes du processus de fabrication et, par conséquent, sur les propriétés du produit fini.

Le poinçon supérieur a pour tâche de transmettre la pression au lit de poudre, de sorte que ses caractéristiques de construction détermineront dans une large mesure la répartition des pressions dans l'alvéole et l'homogénéité de la distribution du compactage dans le carreau.

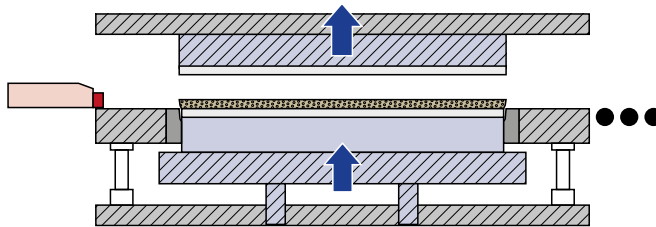


6. Extraction

Après le deuxième pressage, la traverse mobile commence à s'élever jusqu'au niveau 0, tandis que les poinçons inférieurs entament un mouvement rapide vers le haut afin d'extraire les carreaux pressés de leurs alvéoles respectives sans pertes de qualité inacceptables, telles que des fissures ou des coins cassés.

Les carreaux pressés sont placés sur le convoyeur à rouleaux lorsqu'ils sont poussés par la butée élastique du chariot pendant l'étape de chargement des alvéoles, correspondant au démarrage du nouveau cycle. Le pressage s'effectuant en position inversée, il est nécessaire d'installer un culbuteur à la sortie de la presse.

Lorsque la force de déformation cesse, l'énergie élastique est progressivement libérée, de sorte que plus le carreau pressé reste dans l'alvéole, c'est-à-dire plus le temps qui s'écoule entre le début de la montée des poinçons supérieurs et l'extraction complète du carreau est long, plus la contrainte de frottement est faible. La contrainte de frottement augmente légèrement au fur et à mesure que la vitesse de montée des poinçons augmente, alors que la vitesse d'application de la charge lors du deuxième pressage n'influe pas sur le frottement^[12]. Afin de libérer progressivement les contraintes élastiques accumulées par la poudre pendant le pressage et de faciliter l'extraction du carreau, les barrettes des moules pénétrants sont fabriquées avec un petit angle de sortie également appelé « conicité ».



5.3.2. Types d'extraction

En fonction de la position relative des poinçons inférieurs et de la traverse, il existe deux modes d'extraction du carreau : l'extraction libre (également appelée « retardée ») et l'extraction en paquet.

- L'**extraction libre** s'effectue en retardant légèrement la montée des poinçons inférieurs par rapport à la montée de la traverse, de sorte que les poinçons et la traverse montent séparément. Pour effectuer ce type d'extraction, on active le retard de 0 à 4000 ms⁵⁵, de sorte que la traverse mobile commence le mouvement vers le haut avant les poinçons.
- L'**extraction en paquet** (figure 5.4.) s'effectue en synchronisant la vitesse et le temps des mouvements ascendants des poinçons inférieurs et de la traverse mobile, de manière à ce que le carreau effectue la montée pris entre les deux poinçons. Pour l'extraction « en paquet », également appelée « en sandwich », le retard d'extraction doit être désactivé ou réglé au maximum à 50 ms, ce qui permet de commencer en même temps la montée de la traverse mobile et des poinçons. Si l'on veut être sûr d'avoir

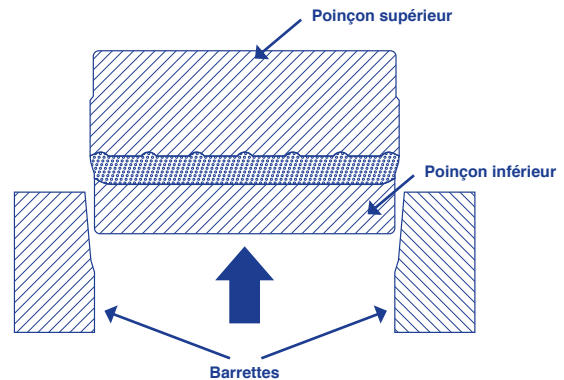


Figure 5.4. Extraction en paquet avec un moule pénétrant

⁵⁵ Pour les presses SACMI

une extraction synchronisée, on peut régler les poinçons inférieurs pour qu'ils montent très rapidement (60 à 100 %) afin que le mouvement plus lent de la traverse mobile force l'extraction avec le carreau pris entre les deux poinçons.

Cette extraction est recommandée pour les grands formats mais également pour n'importe quel format si l'on presse des pâtes dont l'expansion après pressage est excessive, ce qui peut entraîner de petites fissures.

5.3.3. Problèmes liés au moule pénétrant

Le moule pénétrant a l'avantage d'être simple, peu coûteux et très productif, mais il présente certains inconvénients qui ont conduit au développement d'autres types de moules :

1. Repressés. La face noble étant formée sur les poinçons inférieurs, cela peut provoquer des défauts si de petites couches de matériau repressé issues de la poudre coincée dans les espaces entre les poinçons supérieurs et les barrettes tombent au fond de l'alvéole, entraînées par le mouvement vers le bas des poinçons inférieurs lors de la première chute de plateaux. Cet espace doit être d'au moins 0,1 mm pour permettre le mouvement des presses et la désaération après le premier pressage.

2. Usure des barrettes et des poinçons supérieurs. Les poinçons supérieurs et les barrettes subissent l'action abrasive intense des particules qui constituent la poudre de pressage et sont donc soumis à une usure intense. Cette usure entraîne une augmentation de l'espace qui, si elle n'est pas compensée par le chauffage de la matrice, peut entraîner des fuites de poudre et des phénomènes de repressage et de collage. Les poinçons inférieurs sont également soumis à l'usure en raison des carreaux qui sont traînés lors de l'extraction.

3. Éraflures et rayures de frottement. Le pressage en position inversée dans ce type de moule présente un autre inconvénient majeur : en effet, les carreaux sont poussés vers le convoyeur à rouleaux en glissant sur leur face noble, qui peut être lisse ou en relief, en frottant contre le bord des barrettes et la surface de la matrice, ce qui peut évidemment provoquer des défauts tels que des rayures et des éraflures. Ces moules ne sont donc pas adaptés au façonnage de carreaux dont les reliefs sont très prononcés.

Selon le type de relief pressé avec un moule pénétrant, il peut même arriver que le moule frotte contre les poinçons inférieurs lorsqu'il est poussé vers le convoyeur à rouleaux, rayant ainsi le relief du poinçon.

Le tableau 5.3 résume les principales caractéristiques de ce type de moules.

Caractéristiques	
La face de dos est façonnée dans le poinçon supérieur.	Compensation hydraulique : poinçons isostatiques.
La face à émailler est formée dans le poinçon inférieur.	• Possibilité d'éraflures et de rayures sur la face noble. • Usure des reliefs. • Il est nécessaire d'installer un culbuteur sur le convoyeur à rouleaux. • Repressés possibles.
La force de pressage est appliquée par les poinçons supérieurs qui pénètrent dans l'alvéole.	• Le poinçon supérieur pénètre dans l'alvéole. • Éjection éventuelle de poudre au cours de la désaération.
Matrice fixe.	
Les barrettes présentent toujours une conicité, bien qu'elles puissent ou non être munies d'un séparateur.	

Tableau 5.3. Principales caractéristiques du moule pénétrant

5.3.4. Le moule pénétrant inversé

Cette variante du moule pénétrant est utilisée pour la fabrication de certains types de carreaux ou de pièces aux reliefs très prononcés. Il s'agit de moules pénétrants dans lesquels les poinçons sont inversés de sorte que la face de dos est formée par le poinçon inférieur et la face noble ou la face à émailler par le poinçon supérieur.

Les barrettes des moules pénétrants inversés restent dans la même position que dans le moule pénétrant, c'est-à-dire avec une conicité et un séparateur. Ainsi, lors du pressage avec cette variante de moule où la face noble est vers le haut, le séparateur est placé dans une position plus basse, c'est-à-dire à proximité de la face de dos.

Un avantage évident de ce type de moule est sa simplicité de construction, qui facilite le montage et le réglage, en plus de la production élevée du moule pénétrant, dont nous avons déjà parlé. Il convient également de noter sa productivité optimale et ses faibles coûts de fabrication, par rapport à des types de moule plus complexes qui pressent avec la face noble vers le haut, tels que les moules doubles. D'autre part, ces moules garantissent généralement une bonne finition latérale des carreaux⁵⁶.

Cette variante du moule pénétrant connaît actuellement une forte expansion due à la fabrication de grands formats, qui sont presque toujours rectifiés, de sorte que la finition du profil cesse d'avoir de l'importance dans le choix du type de moule.

5.3.5. Le moule pénétrant à matrice interchangeable

Cette variante du moule pénétrant (figure 5.5) est dotée d'une double matrice qui permet de changer toutes les barrettes des alvéoles en remplaçant une matrice par une autre où les nouvelles barrettes sont déjà intégrées, ce qui permet un gain de temps considérable lors du changement de format dans les moules comportant un grand nombre de sorties.

Le moule pénétrant à matrice amovible n'est pas recommandé pour le pressage de grands formats avec de fortes pressions (grès cérame), en raison de la déformation des alvéoles, car les parois sont moins épaisses. Son utilisation doit donc être limitée aux petits et moyens formats poreux ou en grès. On constate cependant qu'elle a été utilisée dans certains cas pour des moules multiformat, bien que cette application puisse entraîner certains problèmes dans la gestion des matrices nécessaires, qu'il faut parfois rectifier avec l'utilisation. Cela implique par conséquent que toutes les matrices utilisées n'ont pas exactement la même épaisseur.

Bien qu'il soit question ici de la variante relative au moule pénétrant, la matrice amovible peut en réalité être adaptée à tout type de moule et les conditions de son utilisation restent les mêmes.



Figure 5.5. Moule pénétrant à matrice interchangeable

⁵⁶ Le moule double permet d'obtenir la meilleure finition latérale des carreaux. Avec un moule pénétrant, on obtient une bonne finition latérale en effectuant l'extraction en paquet. Cependant, les extractions retardées donnent lieu à une finition latérale généralement moins bonne.

5.4. LE MOULE À MIROIR

Le moule à miroir (figure 5.6) n'est aujourd'hui pratiquement plus utilisé. Il est limité à la production de mosaïques, bien qu'il ait été utilisé à l'origine pour presser les carreaux avec la face noble vers le haut, ce qui permettait d'obtenir une excellente qualité de pressage, en raison de l'absence d'ébarbures supérieures, de rayures et de stries causées par le frottement lors de l'extraction. Le moule à miroir a été progressivement remplacé par le moule double et, aujourd'hui, par le miroir pénétrant.

Il se distingue du moule pénétrant sur deux points : la matrice est mobile et les poinçons supérieurs, qui forment la face noble du carreau, sont plus grands⁵⁷ que les alvéoles correspondantes, de sorte que, pendant le pressage, ils sont placés sur la matrice et celle-ci entame un mouvement vers le bas suivi par le poinçon supérieur tandis que le poinçon inférieur reste fixe. La matrice peut effectuer ce mouvement car, comme le montre la figure 5.8, elle repose sur un ensemble de pistons ou de pieds hydrauliques qui lui permettent de descendre. Parfois, ce mouvement peut être facilité par des butées ou des pousseurs situés sur la plaque porte-poinçons.

Le moule à miroir permet de presser la face noble vers le haut (figure 5.7), ce qui améliore la qualité de la production. Il s'agit par conséquent d'un avantage par rapport au moule pénétrant, qui est toutefois minimisé car il n'est pas possible de produire les carreaux avec des séparateurs, et les bords de la couche d'émail cru, après application, sont exposés à des chocs et à des frottements entre carreaux ou avec des éléments fixes de la ligne d'émaillage ou de chargement du four, ce qui augmente considérablement les pertes.

Les poinçons supérieurs du moule à miroir s'usent moins que ceux du moule pénétrant et durent donc plus longtemps. Cependant, de nos jours, l'utilisation des moules de ce type, qui s'étaient imposés comme une alternative valable pour la fabrication de grès cérame non émaillé et qui étaient capables de supporter 2 000 000 de cycles, est minoritaire en Espagne et se limite à la fabrication de mosaïques.

Les barrettes de ce moule n'ont pas de rayon, c'est-à-dire qu'elles n'ont pas le rebord ou le chanfrein caractéristique des barrettes des moules pénétrants. Par ailleurs, bien que dans les petits formats et les mosaïques, elles puissent être dépourvues de conicité, les barrettes présentent toujours un certain angle pour les grands formats. Les barrettes de ce moule sont également moins soumises à l'usure que les barrettes des moules pénétrants. Logiquement, le relief de dos est gravé sur les poinçons inférieurs.

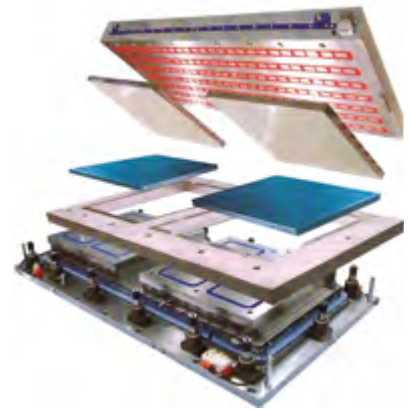
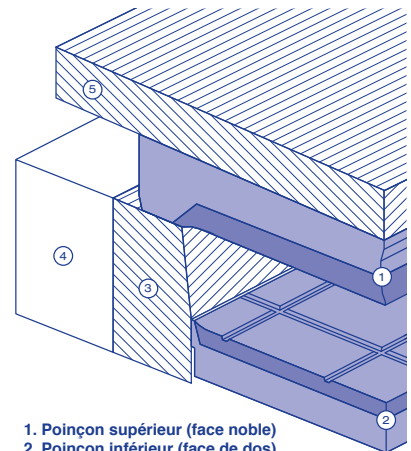


Figure 5.6. Moule à miroir à deux sorties avec poinçons supérieurs et inférieurs et plaque porte-poinçons supérieure



1. Poinçon supérieur (face noble)
2. Poinçon inférieur (face de dos)
3. Barrettes
4. Matrice
5. Plaque porte-poinçons supérieure

Figure 5.7. Mode de pressage avec moule à miroir

⁵⁷ Leurs dimensions étaient légèrement supérieures à celles de l'alvéole, car ils étaient fabriqués avec des surépaisseurs allant de 5 à 10 mm par côté. Il n'était pas souhaitable que les surépaisseurs soient très grandes car, dans les petits et moyens formats, elles pouvaient limiter le nombre de sorties avec lesquels il était possible de fabriquer l'un de ces moules.

La désaération se fait par les espaces existants entre le poinçon et la matrice, aussi bien dans la partie inférieure du moule que dans sa partie supérieure, et l'extraction se fait par le mouvement ascendant du poinçon inférieur. Avec ce type de moule, la désaération est plus difficile qu'avec le moule pénétrant.

Autrefois, le moule à miroir présentait l'avantage d'une usure minimale du poinçon supérieur et, comme nous l'avons expliqué, d'une usure presque inexistante des bords, ce qui lui conférait une longue durée de vie. Cependant, un problème lié à ce moule est le déplacement possible des poinçons supérieurs, ce qui affecte les biseaux. Ce problème était corrigé par l'installation d'ergots qui empêchaient ce déplacement.

5.4.1. Les étapes du cycle de pressage avec un moule à miroir

Pour l'essentiel, les étapes du cycle de pressage (lien 5.2 et figure 5.8) avec ce type de moule sont les mêmes que celles avec le moule pénétrant, à la différence que lors du premier et du deuxième pressage, la matrice mobile, qui dans le moule pénétrant est fixe, descend en accompagnant le poinçon supérieur qui ne pénètre pas dans l'alvéole, et pour l'extraction du carreau, la matrice remonte à sa position de départ.

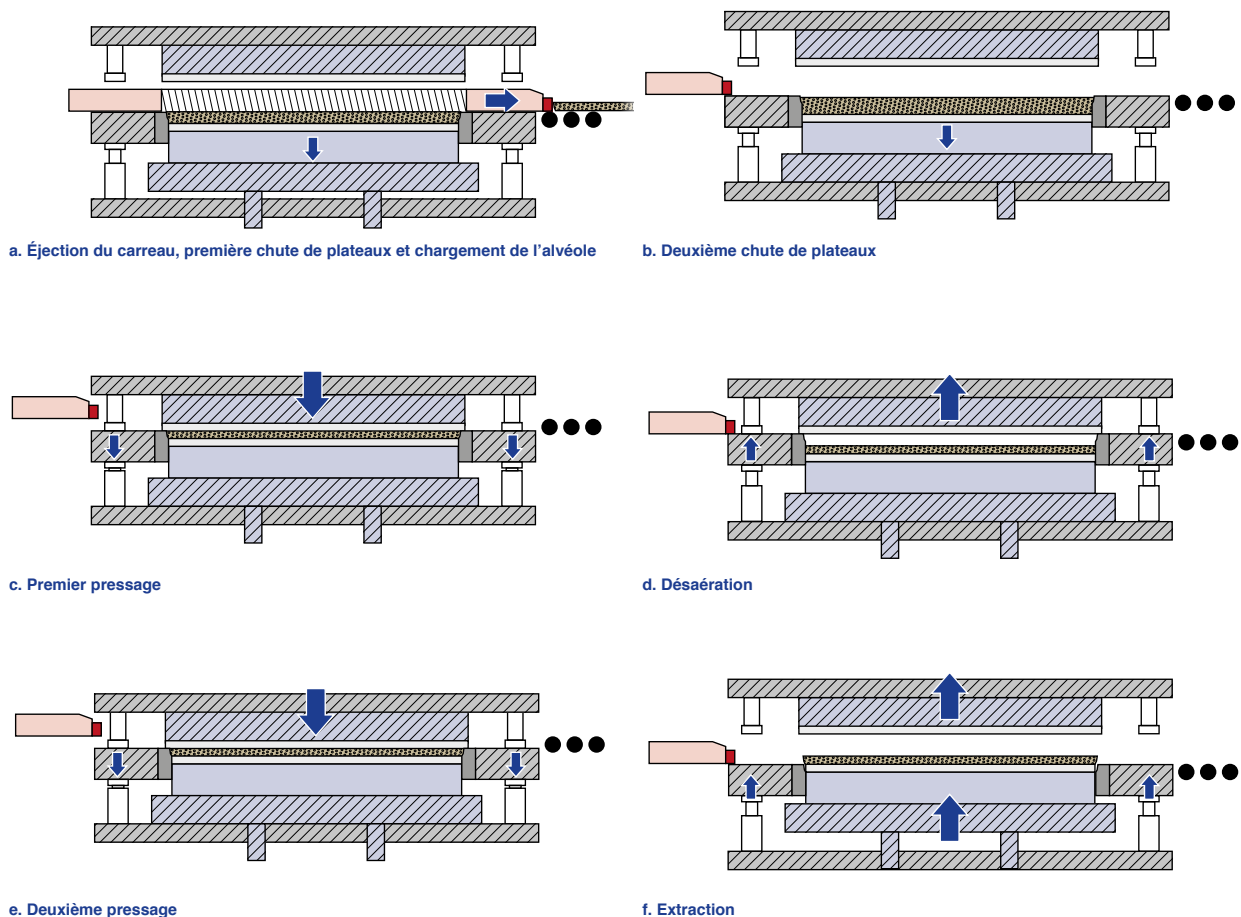


Figure 5.8. Cycle de pressage avec un moule à miroir

Le tableau 5.4 résume les principales caractéristiques de ce type de moules.

Caractéristiques	
Les poinçons supérieurs reposent sur la matrice.	Pressage avec la face noble vers le haut. Poinçon supérieur : face à émailler. Poinçon inférieur : face de dos. Il ne faut pas de culbuteur. Augmente la durée de vie du poinçon supérieur.
La pression est appliquée lorsque la matrice effectue un mouvement vertical vers le bas.	

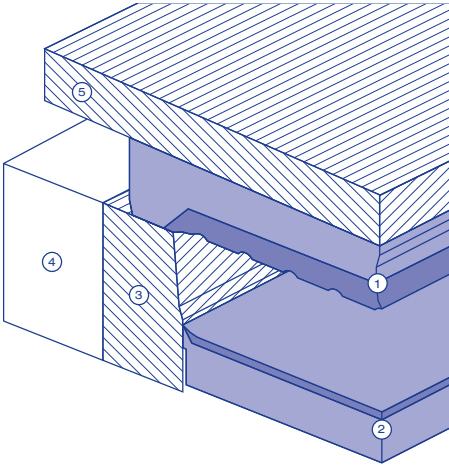
Tableau 5.4. Principales caractéristiques du moule à miroir



Ce code QR contient un lien vers un petit film qui montre le cycle de pressage avec un moule à miroir. Lien 5.2

5.4.2. Le moule à miroir inversé

Une variante de ce moule est le moule à miroir inversé, qui conserve le mode de pressage du moule à miroir, le poinçon supérieur ayant une surface plus grande que l'alvéole et la matrice ayant un mouvement ascendant et descendant. En revanche, le façonnage du carreau est effectué avec la face noble en position inversée et donc avec des carreaux munies de séparateurs (figure 5.9).



- 1. Poinçon supérieur (face de dos)
- 2. Poinçon inférieur (face noble)
- 3. Barrettes
- 4. Matrice
- 5. Plaque porte-poinçons supérieure

Figure 5.9. Mode de pressage avec un moule à miroir inversé

5.5. LE MOULE DOUBLE

Pour le pressage des carreaux de grès cérame, de grès ou monoporeux, décorés ou non sous presse, il est préférable, et parfois même nécessaire, que la face noble des carreaux soit située sur le poinçon supérieur. Pour ce faire, il faudrait utiliser des moules à miroir, que nous avons décrits au point 5.4. Cependant, nous avons déjà mentionné qu’avec les moules à miroir, il n’est pas possible de fabriquer les carreaux avec des séparateurs et avec la face noble vers le haut en même temps, car cela empêcherait l’extraction du carreau. La solution technologique qui prévalait à l’époque était le moule double (figure 5.10), un moule beaucoup plus complexe sur le plan technologique, conçu comme une synthèse entre le moule à miroir et le moule pénétrant. La conception du moule permet de presser les carreaux avec des séparateurs et avec la face noble vers le haut, comme le montre la figure 5.11.

Ce type de moule comprend deux parties assez semblables d’un point de vue formel : la partie inférieure ne présente pratiquement aucune différence avec les moules à miroir traditionnels, c’est-à-dire qu’elle comporte une plaque sauve-banc, une plaque d’éjection, des blocs, des poinçons inférieurs et une matrice équipée de barrettes sans rayons et, contrairement aux moules à miroir, sans conicité. Ils sont normalement équipés d’ergots de 0,1 mm pour faciliter la désaération par la partie inférieure.

La matrice est fixée à la plaque sauve-banc au moyen de pistons hydrauliques qui lui permettent de se déplacer vers le haut et vers le bas.

Les différences importantes avec le moule à miroir se situent dans la partie supérieure, dont la structure est semblable à la partie inférieure du moule pénétrant et dans laquelle une matrice avec des pousseurs est solidement assemblée à la plaque supérieure au moyen de pilastres. Un équipement d'extraction à pistons y est également installé.

Les carreaux étant formés dans la matrice supérieure, ce type de moule est également appelé « moule à façonnage supérieur »⁵⁸ et ce sont, par conséquent, les barrettes supérieures qui façonnent les profils latéraux. Une fois le pressage effectué, c'est le moule lui-même qui effectue l'extraction au moyen d'un système de pistons hydrauliques situés dans la partie supérieure, qui permet le déplacement de la plaque porte-poinçons supérieure, et donc l'extraction des carreaux.

Les poinçons isostatiques sont les poinçons inférieurs, bien qu'il soit également possible d'installer des poinçons inférieurs massifs, c'est-à-dire non isostatiques, par exemple pour le pressage de grès cérame poli.

Les barrettes installées dans la matrice inférieure peuvent être amovibles, bien qu'on y installe souvent des barrettes conventionnelles. De même, on préfère également installer des barrettes conventionnelles dans la matrice supérieure.

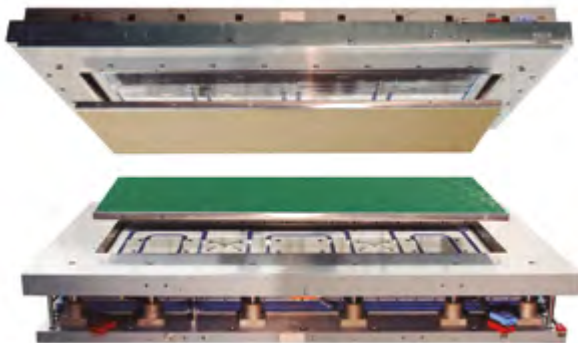


Figure 5.10. Moule double pour une plaque de grand format, 770x1950 mm

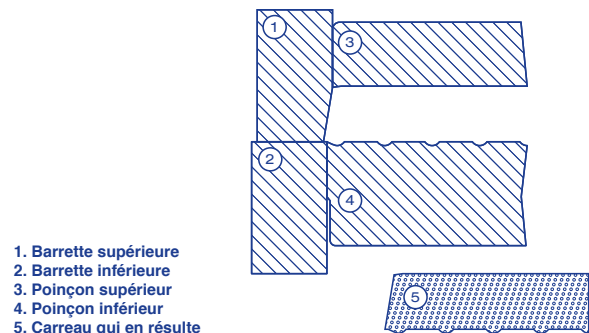


Figure 5.11. Avec le moule double, les carreaux sont pressés avec des séparateurs et avec la face noble vers le haut.

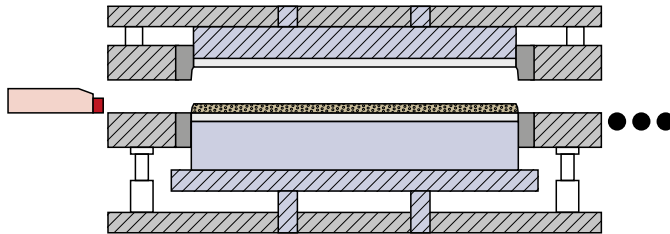
5.5.1. Les étapes du cycle de pressage avec un moule double

Les étapes de la première chute de plateaux, du chargement des alvéoles et de la deuxième chute de plateaux sont similaires à celles décrites pour les moules précédents. Cependant, le carreau est dans ce cas formé dans la partie supérieure du moule qui, rappelons-le, possède une matrice fixe et ce sont les poinçons supérieurs qui forment la face noble. L'extraction doit être effectuée en deux étapes, une première au cours de laquelle l'ensemble formé par les poinçons inférieurs, la matrice inférieure et la matrice supérieure monte et les carreaux sont séparés des alvéoles de la matrice supérieure par l'action d'un système d'extraction hydraulique situé dans la partie supérieure du moule, et une deuxième au cours de laquelle la partie supérieure du moule revient à sa position de départ et les carreaux sont éjectés vers le convoyeur à rouleaux.

⁵⁸ Il est également connu sous l'acronyme SFS (*Stampo a Formatura Superiore*).

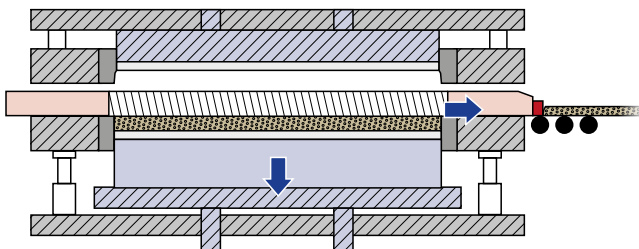
0. Début du cycle

Comme décrit pour le moule pénétrant, le cycle commence avec la traverse mobile au niveau 0 et le poinçon inférieur aligné avec le niveau de la matrice. Les pistons d'extraction dans la partie supérieure du moule sont au niveau 0.



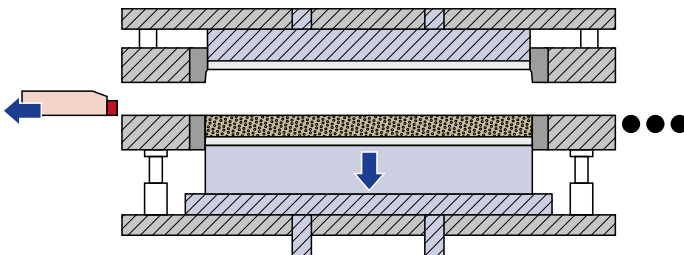
1. Éjection du carreau, première chute de plateaux et chargement de l'alvéole

L'éjection du carreau et le chargement des alvéoles s'effectuent de la même manière qu'avec le moule pénétrant. Le chargement s'effectue également avec deux chutes des poinçons inférieurs. Toutefois, ces moules permettent de réaliser des décorations sous presse et à double charge. Dans ces cas, il y a donc trois chutes de plateaux, la première pour recevoir la charge du support, la deuxième qui régule la couche supérieure et la troisième qui fait reposer la plaque d'éjection sur la plaque sauve-banc et prépare l'ensemble à recevoir la pression.



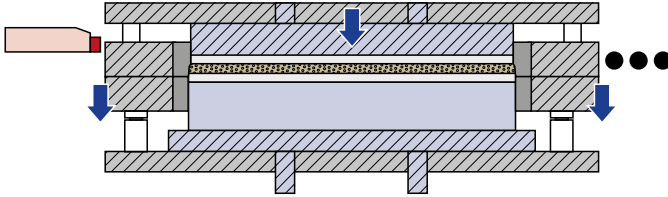
2. Deuxième chute de plateaux

Cette opération est identique à celle décrite dans les types précédents : le chariot revient à la position de départ et l'ensemble des poinçons inférieurs, des blocs et de la plaque d'éjection descendent jusqu'à ce que cette dernière entre en contact avec la plaque sauve-banc.



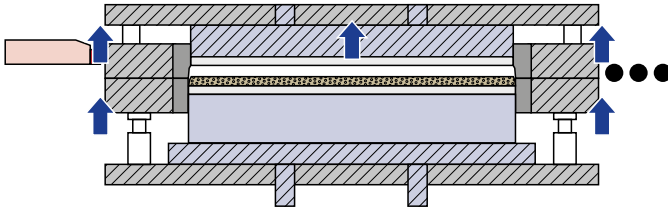
3. Premier pressage

La traverse mobile descend et cette descente s'effectue avec celle de la matrice inférieure, de sorte que le carreau est formé dans l'alvéole définie par la matrice supérieure, ce qui permet de presser et d'extraire les carreaux avec des séparateurs et en position « face noble vers le haut ». Dans cette position, la première pression est appliquée afin d'éliminer le plus d'air possible.



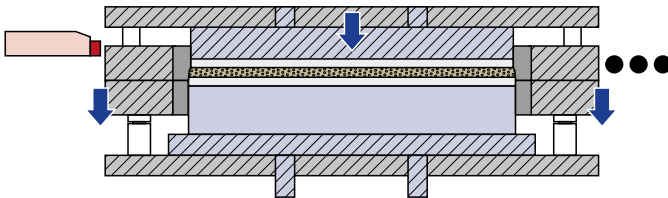
4. Désaération

La désaération s'effectue lorsque la pression du premier pressage cesse, par de petites rainures réalisées dans les barrettes et par l'espace entre les poinçons et les barrettes, pour lequel un léger mouvement vers le haut de la traverse mobile et de la matrice inférieure est nécessaire.



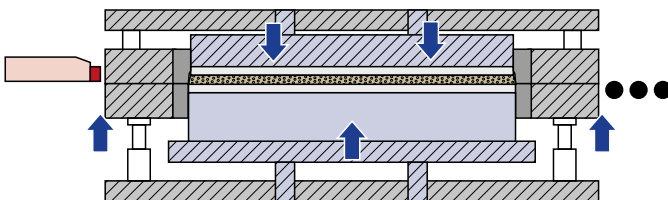
5. Deuxième pressage

La traverse mobile descend à nouveau et la pression maximale du cycle ou pression de pressage est atteinte. L'ensemble plaque d'éjection - blocs - poinçon inférieur reste en position basse et la matrice inférieure descend légèrement lorsque le carreau atteint la compacité requise.



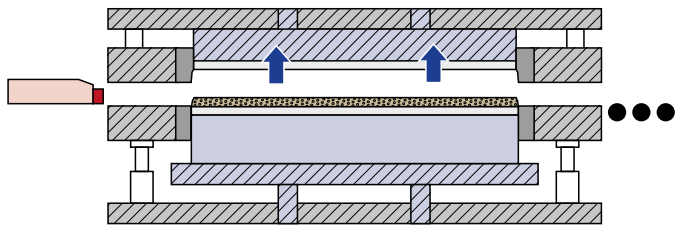
6. Première phase d'extraction

L'extraction du carreau par la partie supérieure du moule se déroule en deux étapes ou phases. Dans la première, qui est celle illustrée par l'image ci-jointe, l'ensemble formé par les poinçons inférieurs, la matrice inférieure et la matrice supérieure effectue un mouvement vers le haut. Les carreaux sont séparés des alvéoles de la matrice supérieure par l'action d'un système d'extraction hydraulique situé dans la partie supérieure du moule, qui donne aux poinçons supérieurs un léger mouvement vers le bas.



7. Deuxième phase d'extraction

Dans la deuxième phase d'extraction, illustrée par la figure ci-contre, le système hydraulique revient à sa position de départ et les poinçons supérieurs et la matrice inférieure reviennent à leur position, ce qui permet l'éjection des carreaux vers le convoyeur à rouleaux et le début d'un nouveau cycle de pressage. En raison de son système d'extraction, ce type de moule doit toujours fonctionner en paquet.





Ce code QR contient un lien vers un petit film qui montre le cycle de pressage avec un moule double. Lien 5.3

5.5.2. Principales caractéristiques du moule double

Le tableau 5.5 résume les principales caractéristiques de ce type de moules.

Caractéristiques	
Il s'agit d'une synthèse entre le moule à miroir (partie inférieure) et le moule pénétrant (partie supérieure). Le façonnage du carreau s'effectue dans la partie supérieure du moule.	Poinçon supérieur : face noble. Poinçon inférieur : face de dos.
	Il ne faut pas de culbuteur.
	Double matrice.
	Carreaux avec séparateur.
	L'extraction se fait grâce à la poussée des pistons situés dans la partie supérieure.

Tableau 5.5. Principales caractéristiques du moule double

Le façonnage supérieur avec la face noble du carreau dans la partie du haut présente l'avantage d'éliminer les phénomènes de repressage, de collage et de frottement lors de l'éjection des carreaux hors de la zone de pressage. Il permet également de se passer d'un culbuteur sur le convoyeur à rouleaux à la sortie de la presse.

5.5.3. Produits fabriqués

Ces moules ont été largement utilisés pour la fabrication de carreaux en grès cérame et de grands formats avec des décorations réalisées sous presse, ou pour effectuer le second pressage de carreaux obtenus par des technologies de double pressage avec précompactage par presse ou avec bande de compactage. Aujourd'hui, ils sont utilisés pour tous les types de produits et de formats. Ils conviennent également au pressage de carreaux aux reliefs subtils car, en raison du pressage avec la face noble vers

le haut, ceux-ci ne sont pas endommagés lorsque les carreaux sont déposés sur le convoyeur à rouleaux, comme cela peut se produire avec le moule pénétrant. Il faut toutefois éviter les reliefs très prononcés car ils peuvent rendre l'extraction difficile ou provoquer des différences de compactage qui peuvent entraîner des problèmes d'absorption des émaux et des trous, en particulier dans le cas des monoporeux.

5.5.4. Réglage de l'épaisseur dans le moule double

Dans ce type de moule, il est généralement très difficile de régler à volonté l'épaisseur des carreaux pressés, ce paramètre étant conditionné par ses caractéristiques de construction. Cependant, MACER a maintenant apporté des améliorations techniques qui permettent de faire varier l'épaisseur à 3 mm près (figure 5.12).

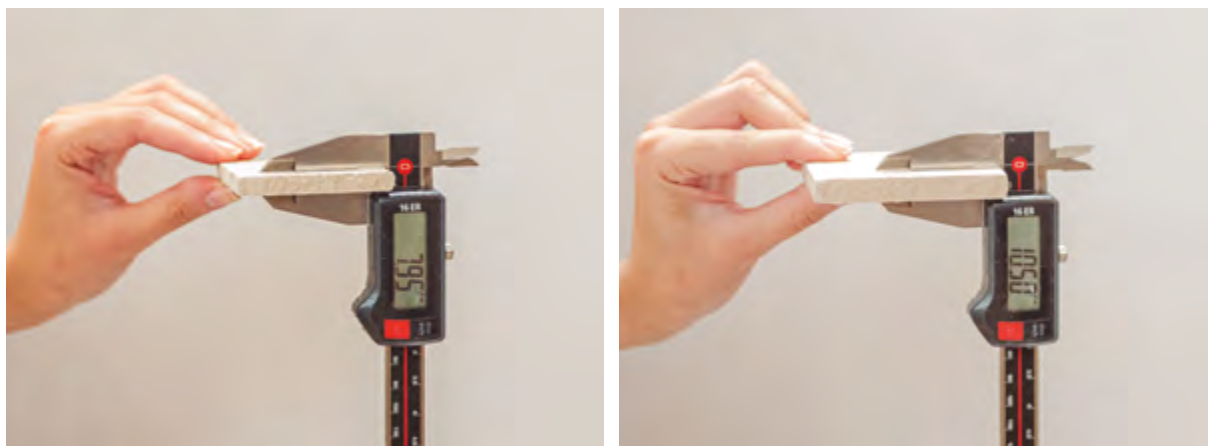


Figure 5.12. Réglage de différentes épaisseurs avec le même moule double MACER

5.5.5. Plaques de compensation hydraulique

5.5.5.1. Plaque porte-poinçons avec compensation hydraulique

Certains moules de ce type comportaient une plaque porte-poinçons isostatique (figure 5.13). Ces plaques étaient dotées d'un système hydraulique interne qui reliait tous les poinçons inférieurs, ce qui permettait d'obtenir leur compensation hydraulique. Dérivé de la compensation isostatique de chaque poinçon, ce système était utilisé dans le but de minimiser le nombre de calibres produits. Dans ce type de moule, la compensation hydraulique était effectuée sur les poinçons inférieurs, car cela simplifiait l'installation et c'étaient les poinçons inférieurs qui formaient la face de dos. Cependant, à l'usage, il a été observé que le système pouvait décompenser le chargement des alvéoles.

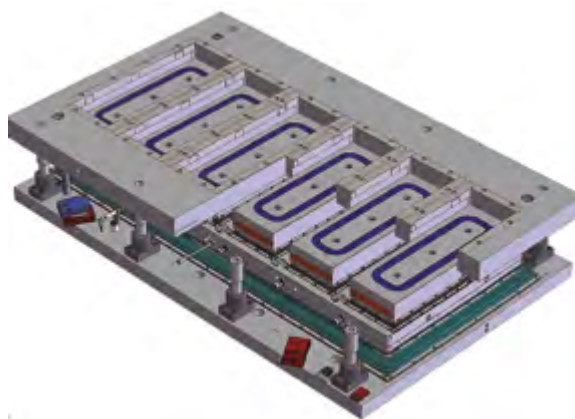


Figure 5.13. Moule équipé d'une plaque porte-poinçons à compensation hydraulique (compensation inférieure)

5.5.5.2. Plaque supérieure avec compensation hydraulique

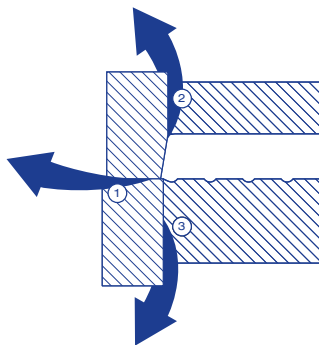
En raison des problèmes de décompensation du chargement des alvéoles détectés dans les moules dotés de plaques porte-poinçons à compensation hydraulique, on préfère actuellement installer la compensation hydraulique sur la plaque supérieure des moules doubles, même s'il s'agit d'une solution technique beaucoup plus complexe (figure 5.14). En effet, la partie supérieure d'un moule double est chargée d'effectuer les mouvements d'éjection du carreau, une fonction qui, dans d'autres types, est confiée au système hydraulique de la presse. C'est pourquoi ce type de moule comporte des pistons à double effet intégrés à l'intérieur, avec tout l'usinage et la configuration des circuits que cela implique. Par conséquent, si l'on intègre en plus un système de compensation isostatique, on ajoute nécessairement un autre type de circuit indépendant du précédent, avec la complexité que cela implique, compte tenu de l'espace réduit dont on dispose.



Figure 5.14. Moule équipé d'une plaque supérieure avec compensation hydraulique

5.5.6. Le problème de la désaération

La structure fermée de ce type de moule rend difficile la phase de désaération, une phase qui devient extrêmement délicate, surtout si l'on tient compte du fait que les carreaux de grands formats sont généralement pressés dans ce type de moule et donc avec de grandes masses d'air qu'il faut évacuer. La désaération se produit principalement entre les barrettes supérieures et inférieures et à travers les espaces entre les poinçons et les barrettes (figure 5.15).



1. Désaération par les rainures des barrettes
2. Désaération par la partie supérieure
3. Désaération par la partie inférieure

Figure 5.15. Voies de désaération dans le moule double

5.5.7. Les butées de la matrice et les éléments de centrage du moule double

Lorsque les décorations sont réalisées sous presse, il n'est pas possible d'aplanir ou de niveler la charge, car cela estomperait la décoration. Il peut par conséquent y avoir des résidus de poudre atomisée sur la surface de la matrice et des barrettes inférieures. Ceux-ci empêchent un contact parfait entre les barrettes au moment du pressage, ce qui peut entraîner des problèmes d'inadéquation entre la partie supérieure et la partie inférieure du moule. Pour éviter cela, MACER a incorporé dans ses moules des **butées** sur la matrice inférieure, au ras de la matrice, et d'autres sur la matrice supérieure, dont le niveau dépasse de quelques dixièmes de millimètres les barrettes. Ainsi, lors du pressage, le contact entre les deux éléments du moule s'effectue sur les butées et non entre les barrettes comme c'est habituellement le cas dans ce type de moules. En outre, les butées supérieures sont équipées d'un système de soufflage d'air qui assure un contact propre. Les butées sont fabriquées en acier trempé, ce qui en réduit considérablement l'usure.

Dans ce type de moule, il est important d'assurer un ajustement parfait afin d'éviter la formation asymétrique des biseaux. Dans ce but, MACER a développé un **système de centrage** de la partie supérieure et inférieure du moule. Le système est constitué de douilles aciérées insérées dans la matrice inférieure et de leurs symétriques dans la matrice supérieure, de sorte qu'elles coïncident lorsque le moule est parfaitement centré. Pour que les mortaises soient en face les unes des autres, des sphères sont placées sur les douilles inférieures lors du réglage (figure 5.16). On fait ensuite reposer la matrice supérieure sur les billes afin qu'elles s'insèrent dans leurs mortaises. Cela permet un centrage rapide du moule.



Figure 5.16. Système de centrage du moule double

5.6. LE MOULE À MIROIR PÉNÉTRANT

Également appelé « semi-miroir » ou « semi-pénétrant », ce type de moule (figure 5.17) présente des caractéristiques intermédiaires entre le moule pénétrant et le moule à miroir. Il est souvent utilisé pour remplacer le moule double, car il est plus simple et moins cher.



Figure 5.17. Moule à miroir pénétrant

La partie inférieure du moule est similaire au moule traditionnel à miroir. Cependant, les barrettes de ce moule se distinguent de celles utilisées dans le moule à miroir, car elles ont la même forme que celles du moule pénétrant, à la différence que la conicité et le séparateur se trouvent à un niveau plus élevé. Dans ce moule en effet, le pressage est effectué plus haut (voir figure 5.18).

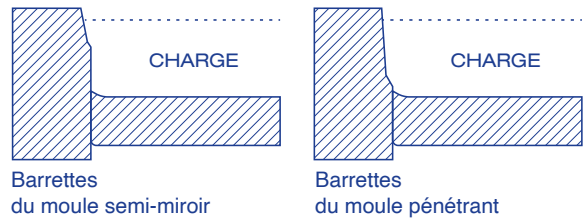


Figure 5.18. Comparaison entre les barrettes du moule semi-miroir et celles du moule pénétrant

La partie supérieure de ce type de moule est différente de celle du moule à miroir. Les poinçons supérieurs sont de taille similaire à ceux du moule pénétrant, mais ils ne sont insérés que jusqu'à un niveau défini, généralement d'environ 3 mm, car leur course est limitée par des butées sur la plaque supérieure (figures 5.19 et 5.20). Cette mesure n'est pas fixe. Par exemple, pour les barrettes en métal durci, il faut éviter que le bord du poinçon coïncide avec la jonction des deux métaux au cours du pressage, ce qui peut nécessiter de varier la course du poinçon supérieur jusqu'à un maximum de 6 mm.



Figure 5.19. Moule à miroir pénétrant avec butées

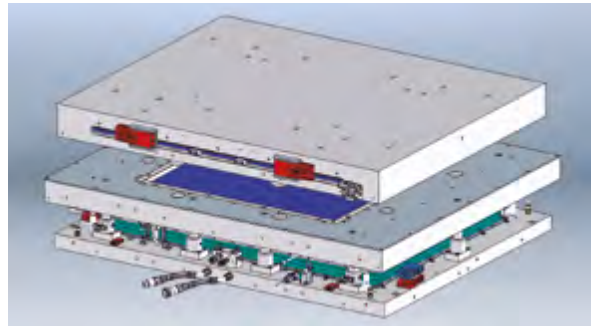
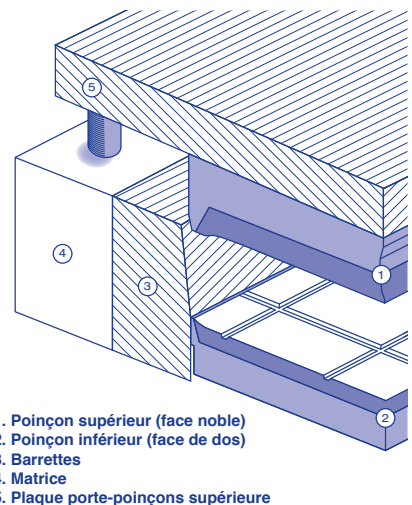


Figure 5.20. Disposition du moule à miroir pénétrant avec butées

Cette faible pénétration des poinçons supérieurs dans les alvéoles réduit les contraintes sur le carreau et l'usure des barrettes et des poinçons. En effet, la matrice est maintenue en position « basse » pendant l'extraction et le carreau est extrait avec un minimum de frottement et un relâchement progressif de la force de pressage.

Le pressage habituel de ce moule se fait avec la face noble vers le haut (figures 5.21 et 5.22).



1. Poinçon supérieur (face noble)
2. Poinçon inférieur (face de dos)
3. Barrettes
4. Matrice
5. Plaque porte-poinçons supérieure

Figure 5.21. Mode de pressage habituel d'un moule à miroir pénétrant

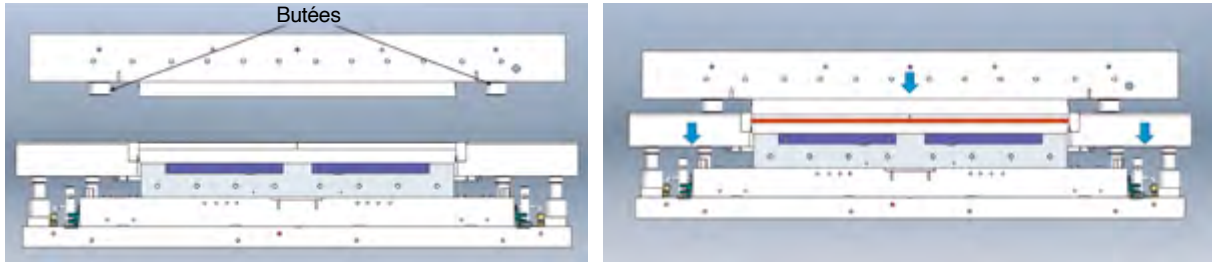


Figure 5.22. Pressage avec un moule à miroir pénétrant

5.6.1. Le cycle de pressage avec un moule à miroir pénétrant

Le cycle de pressage du moule à miroir pénétrant (lien 5.4) est assez similaire à celui du moule pénétrant, car le chargement des alvéoles et les chutes de plateaux se déroulent de la même manière. Même la première et la deuxième phase de pressage sont assez similaires, avec toutefois une variation importante : le poinçon supérieur

pénètre dans les alvéoles, comme le moule pénétrant, mais seulement jusqu'à un certain niveau, marqué par des butées sur la plaque porte-poinçons supérieure et, étant donné que, contrairement au moule pénétrant, la matrice est mobile, elle peut descendre pour permettre le façonnage dans la partie supérieure des barrettes. Cela permet une extraction facile et sans contrainte et une plus longue durée de vie des éléments du moule soumis à l'usure, outre la possibilité qu'a ce type de moule de retenir la matrice en bas, car il comporte des pistons à double effet qui permettent cette manœuvre.

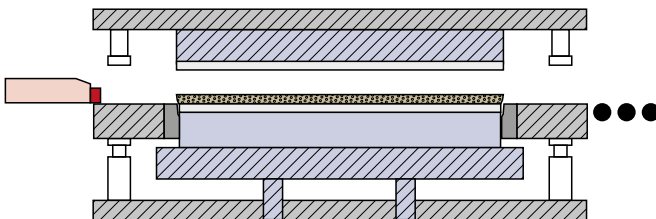


Ce code QR contient un lien vers un petit film qui montre le cycle de pressage avec un moule à miroir pénétrant. Lien 5.4

Contrairement aux moules à façonnage supérieur, ou moules doubles, qui doivent toujours fonctionner en paquet, ce type de moule peut également fonctionner avec un retard d'extraction, c'est-à-dire en relâchant la pression du poinçon supérieur et en éjectant ou, si l'on préfère, en paquet, c'est-à-dire en éjectant de manière synchrone avec le mouvement du poinçon supérieur. Le moule présente par ailleurs un avantage supplémentaire : il perd moins de poudre que les autres moules, car les barrettes présentent moins de conicité et sont situées dans la partie supérieure.

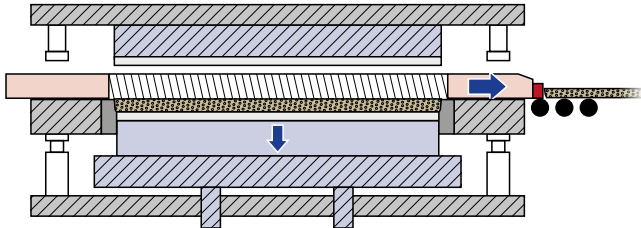
0. Début du cycle

Le cycle commence également avec la traverse mobile au niveau 0 et le poinçon inférieur aligné avec le niveau de la matrice et le chariot.



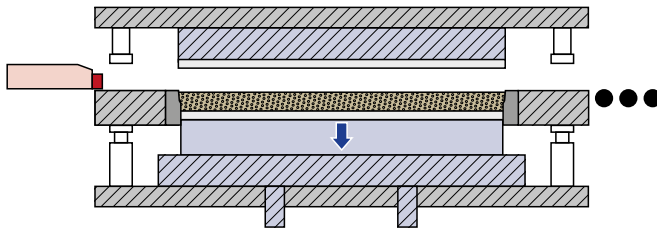
1. Éjection du carreau, première chute de plateaux et chargement de l'alvéole

Une fois de plus, le carreau est déposé sur le convoyeur à rouleaux par la poussée de la butée élastique du chariot, tandis que les plateaux effectuent la première chute jusqu'au niveau correspondant, réglé sur le panneau de commande de la presse. Pendant ces mouvements, la traverse mobile reste en position haute.



2. Deuxième chute de plateaux

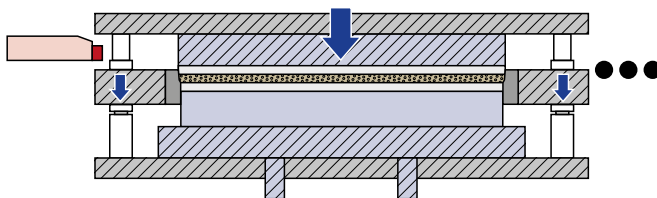
Le chariot revient à la position de départ et l'ensemble des poinçons inférieurs, des blocs et de la plaque d'éjection descend jusqu'à ce que cette dernière entre en contact avec la plaque sauve-banc, qui est prête à recevoir la force de pressage.



3. Premier pressage

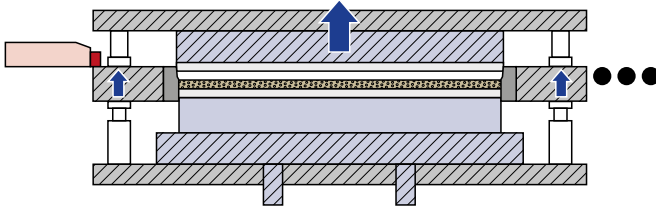
Dans ce type de moule, la matrice descend également en même temps que la traverse mobile (notez la différence de niveau entre le chariot et la matrice), qui ne descend que jusqu'à la butée ancrée à la plaque supérieure, et c'est dans cette position que la première pression est appliquée afin d'éliminer le plus d'air possible.

Il est à noter que dans ce moule, contrairement au moule pénétrant, le pressage s'effectue dans la partie supérieure des barrettes, ce qui facilite l'extraction des carreaux.



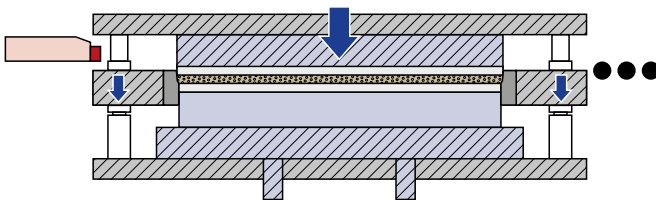
4. Désaération

Lorsque la force de la première pression cesse, la matrice et le poinçon supérieur montent légèrement pour faciliter l'évacuation de l'air occlus à travers l'espace périmétrique entre le poinçon et les barrettes et les rainures des barrettes supérieures.



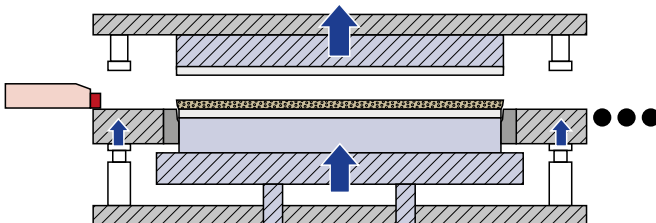
5. Deuxième pressage

L'application d'une force de pression plus élevée lors du deuxième pressage fait descendre la matrice et augmente donc le compactage de la poudre (rappelons que l'ensemble constitué de la plaque porte-poinçons, des blocs et des poinçons inférieurs est en position basse, la plaque porte-poinçons reposant sur la plaque sauve-banc).



6. Extraction

Les carreaux pressés sont extraits de l'alvéole et amenés au niveau du chariot et du convoyeur à rouleaux par le mouvement vers le haut des poinçons inférieurs, accompagné du mouvement vers le haut de la traverse mobile. Comme le pressage a eu lieu sur la partie supérieure des barrettes, l'extraction est simple et implique moins de contraintes dues à l'expansion après pressage.



5.6.2. Caractéristiques du moule à miroir pénétrant

Le tableau 5.6 résume les principales caractéristiques de ce type de moules.

Caractéristiques	
Matrice mobile reposant sur des pistons hydrauliques.	Face noble vers le haut et face de dos façonnée par le poinçon inférieur. Le culbuteur n'est pas nécessaire. Barrettes avec un profil différent de celles des moules pénétrants (voir fig.5.18) Usure minimale des barrettes et des poinçons.
Le poinçon supérieur pénètre jusqu'à un niveau délimité par des butées situées sur la plaque porte-poinçons supérieure.	Moins de contraintes sur les carreaux lors de l'extraction. Possibilité de retenir la matrice dans la partie inférieure.

Tableau 5.6. Principales caractéristiques du moule à miroir pénétrant

5.6.3. Produits fabriqués

Ce moule est utilisé pour le pressage des carreaux à rectifier, de sorte que la face noble est généralement orientée vers le haut, comme nous l'avons mentionné, ce qui permet d'éviter les phénomènes de collage de moule, de repressage et les fissures qui peuvent apparaître en raison du retournement des pièces de grandes dimensions.

Ces moules conviennent parfaitement au pressage de grands formats et d'épaisseurs élevées. Aujourd'hui, on peut les utiliser pour remplacer le moule double, car leur coût est nettement inférieur, bien que, en raison de la conicité légèrement inversée des barrettes, les carreaux doivent être rectifiés et la ligne d'émaillage doit être adaptée pour éviter le contact entre les carreaux crus.

5.6.4. Désaération

La taille des poinçons des moules à miroir pénétrant permet, comme pour les moules pénétrants, de laisser un petit espace périphérique dans la cavité du moule entre les barrettes et le poinçon supérieur, ce qui favorise la désaération. Il faut savoir que dans les grands formats dans lesquels on fabrique généralement le grès cérame, l'étape de désaération est d'une grande importance car il faut évacuer de grands volumes d'air.

5.7. APPLICATIONS SPÉCIFIQUES DES MOULES

Les types de moule décrits dans les sections précédentes admettent certaines modifications qui touchent à la fois leurs composants et leur fonctionnement, mais qui, pour l'essentiel, n'altèrent pas leurs caractéristiques générales ni leur mode de fonctionnement. Parmi ces variantes, on trouve actuellement sur le marché le **moule à changement rapide (CRS)** et le **moule alimenté à 380-440 V**.

5.7.1. Moule à changement rapide

Il est également appelé **moule CRS**, acronyme de *Cambio Rapido Stampo*. Il s'agit de moules de tout type préparés pour les systèmes à changement rapide de moules des presses SACMI^[78]. La figure 5.23 montre un moule à miroir pénétrant avec des éléments de fixation magnétiques et des connecteurs adaptés à un changement rapide de moule.

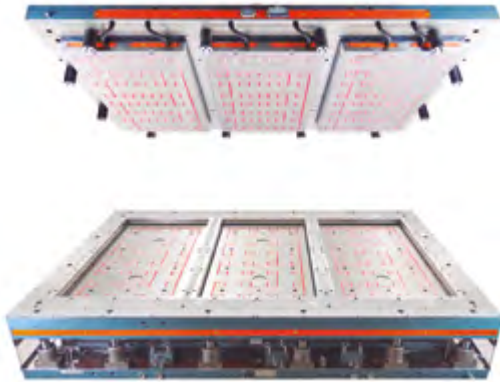


Figure 5.23. Miroir pénétrant avec dispositifs de changement rapide de moule (CRS)



Ce code QR contient un lien vers une vidéo qui montre un moule à changement rapide. Lien 5.5

Les systèmes à changement rapide réduisent considérablement le temps de remplacement des moules en simplifiant toutes les opérations. Ils permettent de s'adapter à une planification de la production très flexible, motivée par la demande croissante de petits lots, de produits personnalisés et d'une grande variété de formats et de reliefs.

Ces moules sont compatibles avec le système intégré dans les presses SACMI, basé sur des dispositifs de fixation magnétique et des connexions rapides, disponibles dans les presses à force de pression élevée. Tous ces moules sont équipés de systèmes de chauffage à 380-440 V.

5.7.2. Moules alimentés à 380-440 V

La plupart des moules, en particulier ceux pour les formats petits et moyens, sont équipés de systèmes de chauffage à basse tension (50 V). Cependant, au fur et à mesure que le format des moules augmente ou dans les presses à fort tonnage, il devient nécessaire de les équiper de transformateurs de plus en plus grands afin d'obtenir cette tension pour les circuits de chauffage.

Les moules alimentés à 380-440 V (figure 5.24) sont des moules quelconques dont le système de chauffage est alimenté par un courant triphasé de 380-440 V. Cela présente l'avantage d'éviter de gros transformateurs dans la presse et d'utiliser un câblage de plus petite section que ce qui serait normalement nécessaire. Bien entendu, le fonctionnement à 380 ou 440 V nécessite la mise en place de systèmes de sécurité très exigeants, notamment la conception d'un moule avec un câblage interne soumis à un certain nombre de contraintes de sécurité et d'isolation, c'est-à-dire des moules très fermés, des connecteurs et des résistances spécifiques, une compensation de phase, etc., ce qui augmente son prix.



Figure 5.24. Moule alimenté à 380-440 V

5.8. CRITÈRES DE SÉLECTION DU TYPE DE MOULE

Le choix d'un certain type de moule est soumis à un ensemble de critères qui peuvent avoir un poids spécifique différent dans la décision finale. Les principaux critères pour choisir le moule approprié sont les suivants :

- Type de produit à fabriquer
- Format
- Relief et/ou face de dos
- Production
- Rectification des côtés
- Technologie de fabrication utilisée
- Prix

a) Type de produit à fabriquer

Il existe différents types de carreaux de céramique en fonction de leur application^[85]. Bien qu'il semble à première vue que tout type de moule puisse être utilisé pour la fabrication de tout type de carreaux de céramique, le type de produit (grès cérame émaillé ou non, grès, monoporeux, produit décoré sous presse, etc.) conditionne dans une large mesure le choix du moule approprié. D'une part, parce que la pression de pressage peut être très différente d'un produit à l'autre, par exemple la différence de pression de pressage entre le grès cérame et d'autres matériaux fait qu'il est préférable d'éviter les moules à matrice amovible pour ce type de produit. Pour certains produits, on privilégie également un moule qui permet un façonnage avec la face noble vers le haut. Celui-ci est même absolument nécessaire, par exemple en cas d'utilisation de la technologie de décoration sous presse.

b) Format

Les formats habituels sont carrés ou rectangulaires et il en existe une très grande variété sur le marché, des mosaïques sur filet aux grands formats actuels.

Le pressage dans le moule pénétrant avec la face noble vers le bas exige un culbuteur sur le convoyeur à rouleaux à la sortie de la presse. Cette opération n'est pas compliquée pour les petits et moyens formats, mais certains fabricants préfèrent éviter de retourner des carreaux de grand format, car cela peut augmenter le risque de fissures dues aux chocs.

c) Relief et/ou face de dos

Dans les modèles avec relief, le type de face de dos est déterminé par la forme du relief, de sorte que l'on s'efforce, au stade de la conception, de minimiser les éventuelles différences de compactage dues aux différences d'épaisseur causées par le relief et/ou la face de dos.

Les reliefs très prononcés peuvent poser des problèmes dans les moules à façonnage supérieur (moules doubles). Il faut tenir compte du fait que si l'on façonne des carreaux au relief très prononcé, leur conception doit être telle qu'elles permettent une extraction facile et nette.

On obtient les meilleurs profils avec le moule double. En revanche, on obtient la meilleure compensation avec le moule pénétrant.

d) Production

Le moule double a, par rapport aux autres types de moule, une production plus faible car son cycle de pressage est plus complexe, surtout en ce qui concerne la phase d'extraction du carreau. Pour un même format et un même produit, un moule double peut avoir en moyenne 1,5 coup par minute de moins que les autres types de moule.

Lorsque le critère dominant est la production, le moule pénétrant est une bonne alternative car il permet d'effectuer un cycle plus court et donc d'obtenir un plus grand nombre de coups par minute.

Le moule à miroir pénétrant permet d'obtenir une production intermédiaire entre le moule pénétrant et le moule double.

(e) Rectification des côtés

Le pressage avec la face noble vers le bas, c'est-à-dire lorsque celle-ci est formée par les poinçons inférieurs, comme c'est le cas, par exemple, dans le moule pénétrant, était à l'origine nécessaire si l'on souhaitait doter les carreaux d'un séparateur. Cependant, ce type de moule présente de nombreux problèmes de rayures, de frottements, de chocs dus au retournement, etc., ce qui a été résolu en introduisant d'autres modèles qui permettent de presser avec la face noble vers le haut.

Le pressage avec la face noble vers le bas n'est cependant pas nécessaire si l'on souhaite rectifier le carreau, car il élimine les séparateurs.

(f) Type de presse et installations de pressage-séchage

Les grandes presses actuelles admettent tous les types de moule. Cependant, sur les petites presses, il peut être impossible d'adapter tous les moules, en particulier le moule double si la **portée libre est insuffisante**.

La **longueur de la traverse** mobile détermine également la possibilité d'installer un moule dans une presse donnée. Par exemple, dans les moules à façonnage supérieur (moule double), les poinçons supérieurs doivent se trouver dans l'espace de projection de la traverse mobile (figure 5.25) afin d'éviter les courbures dans les poinçons. Toutefois, dans un moule pénétrant, les poinçons peuvent être légèrement plus grands et dépasser légèrement les dimensions de la traverse mobile, ce qui peut être corrigé par l'utilisation d'une plaque magnétique plus épaisse.

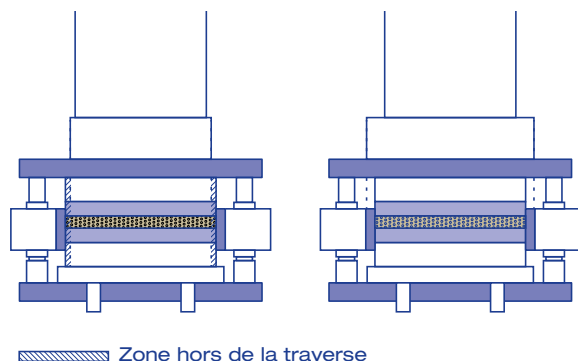


Figure 5.25. Lien entre les dimensions de la traverse mobile et les poinçons supérieurs d'un moule double

Il est également important de tenir compte des installations de la section de pressage – séchage, convoyeur à rouleaux, culbuteur, type de séchoir et dimensions, etc. – car cela peut conditionner le format à fabriquer et, par conséquent, le moule.

Parfois, le choix d'un type de moule peut être conditionné par la nécessité de résoudre un certain type de défaut de fabrication qui survient de manière récurrente. Par exemple, dans certains cas, les moules pénétrants ont été remplacés par des moules doubles afin d'éviter l'apparition de repressés. Ce problème peut être particulièrement grave pour les grands formats en raison du coût élevé que le défaut implique et peut justifier économiquement le remplacement du type de moule.

Enfin, il n'est pas rare que l'on choisisse un moule sur la base de l'expérience de l'entreprise avec un type en particulier, et ce d'autant plus s'il s'agit du type qui y est le plus couramment utilisé. Quoiqu'il en soit, ce choix doit toujours être fait en concertation avec le fournisseur du moule.

Maintenance

Chapitre 6



6.1. CONCEPTS GÉNÉRAUX DE MAINTENANCE

En général, on entend par maintenance industrielle l'ensemble des activités réalisées sur les équipements, les machines ou les infrastructures de l'entreprise elles-mêmes, afin d'en prévenir la détérioration et de réparer les défauts ou les pannes. Elle a pour but de garantir leur bon fonctionnement au fil du temps et de prolonger la durée de vie des équipements, des machines et des installations avec des performances optimales, en toute sécurité et dans le respect de l'environnement.



Figure 6.1. Activités de maintenance

Il existe généralement trois types de maintenance de base distincts : la **maintenance préventive**, **prévisionnelle** et **corrective**.

L'objectif de la **maintenance préventive** est, comme son nom l'indique, d'anticiper les problèmes futurs qui peuvent survenir sur les équipements, généralement au moyen d'un calendrier établi à partir des indications des fabricants d'équipements eux-mêmes. Cette maintenance peut également être programmée pendant les périodes d'arrêt, en fonction du cycle de production de l'entreprise ou de l'équipement lui-même. Les résultats obtenus lors des contrôles des équipements fournissent des informations précieuses qui, si elles sont correctement traitées, peuvent donner une idée de la probabilité de défaillance afin de l'anticiper avant qu'elle ne se produise. Ce type de maintenance est connu sous le nom de maintenance **prévisionnelle** et, à long terme, elle est souvent plus efficace que la maintenance préventive.

Quant à la maintenance **corrective**, elle consiste à résoudre la défaillance lorsqu'elle se produit, afin de remettre les équipements et les machines en état de fonctionnement. Comme chacun sait, l'apparition de défauts dans les équipements industriels a des effets négatifs sur le cycle de production de toute entreprise.

Il convient de noter que l'on entend par « **état de fonctionnement** » l'état de l'équipement opérationnel fournissant la qualité, la sécurité et la protection de l'environnement requises.

D'autre part, la **durée de vie** des machines et des équipements est le temps de travail effectif pendant lequel ils conservent les conditions requises de qualité, de sécurité et de protection de l'environnement, ainsi que les coûts d'exploitation qui les rendent rentables.

Ainsi, le principal **objectif de la maintenance** est en général de disposer d'un système de production dans un état de fonctionnement optimal, avec la totalité des équipements, machines et installations disponibles et en bon état chaque fois que cela est nécessaire et au coût le plus bas possible.

La division de la maintenance industrielle en trois types mentionnés ci-dessus (corrective, préventive et prévisionnelle) est assez courante dans le secteur, bien qu'il existe certaines nuances et adaptations aux conditions spécifiques de chaque entreprise. C'est pourquoi nous allons la décrire plus en détail dans ce texte. Il existe cependant une classification générale, adaptable à toute réalité et qui fait l'objet d'un consensus. Elle fait l'objet de la **norme UNE-EN 13306:2018**, à adopter obligatoirement par les pays de l'Union européenne, qui établit un « tableau terminologique normalisé de la maintenance »^[2] dans le but de parvenir à un langage commun universel et de servir de référence pour les termes et définitions utilisés dans les autres normes européennes relatives à la maintenance.

D'autre part, nous avons considéré d'un grand intérêt la classification des activités de maintenance faite par la **norme française AFNOR NF X 60-000 (2016)**^[3], qui répartit ces activités selon l'ensemble des compétences, aptitudes et connaissances développées dans chacune d'entre elles en cinq niveaux.

Le tableau 6.1 présente les principales caractéristiques des types de maintenance décrits dans notre première classification.

Type de maintenance	Caractéristiques
Corrective	Ensemble d'activités de maintenance visant à corriger les dysfonctionnements au fur et à mesure qu'ils surviennent. Il s'agit du type de maintenance le plus élémentaire, qui consiste principalement à repérer les pannes et à les réparer. Elle est donc basée sur la nécessité de corriger ou de réparer les dysfonctionnements survenant ponctuellement, à un moment donné. Les activités les plus fréquentes de ce type de maintenance sont la réparation et le remplacement des composants en panne. On effectue ce type de maintenance uniquement lorsque l'équipement est dans l'impossibilité de continuer à fonctionner. Il ne s'agit donc pas d'une maintenance planifiable. Elle doit être effectuée le plus rapidement possible pour éviter les coûts, les dommages et/ou la pollution, et peut donc être considérée comme une maintenance urgente, qui présente les inconvénients d'entraîner des coûts impossibles à prévoir de façon exacte. Elle ne permet pas de prévenir les pannes et oblige à disposer d'un stock important de pièces de rechange, ce qui représente un coût considérable pour l'entreprise.
Préventive	Ensemble d'activités de maintenance visant à repérer et à corriger les causes des pannes avant qu'elles ne se produisent. Ce type de maintenance a pour but de réduire les activités de maintenance corrective, et donc leurs coûts, grâce à une routine de contrôles périodiques et de remplacement des éléments susceptibles de provoquer des pannes. Les activités de maintenance préventive sont effectuées selon un calendrier établi connu sous le nom de « programme de maintenance ». Ce programme indique les contrôles à effectuer sur chaque équipement et leur fréquence. Elle présente les avantages d'une meilleure conservation des installations industrielles, d'une réduction du nombre et du coût des réparations. Elle augmente aussi la qualité de la production et améliore les conditions de sécurité et de protection de l'environnement et du site industriel.
Prévisionnelle	Ensemble d'activités de maintenance visant à prévoir le point de défaillance probable des machines afin d'intervenir avant qu'elles ne tombent en panne. Elle repose sur une connaissance approfondie du fonctionnement et de l'état des machines, des équipements et des installations industrielles. On tire ces connaissances d'une grande quantité de données que l'on traite et à partir desquelles on obtient des informations suffisantes pour anticiper les pannes. Si ces informations sont disponibles, il est possible de programmer des activités de maintenance qui n'affectent pas le processus de production, ce qui permet d'optimiser les coûts de production, de main-d'œuvre et de pièces de rechange. On évite donc les pannes importantes et coûteuses en accélérant les interventions.

Tableau 6.1. Types de maintenance

La classification des types de maintenance décrite dans la **norme UNE-EN 13306:2018 « Maintenance. Terminologie de la maintenance »** [2] [84] est similaire, mais plus élaborée. Cette norme classe les types de maintenance en fonction de deux cas de figure ou conditions générales : les activités de maintenance modifient ou non les caractéristiques intrinsèques de conception de la machine, de l'équipement ou de l'installation faisant l'objet de la maintenance, sans changer leur fonction d'origine, ou il est possible de programmer à l'avance l'exécution des activités de maintenance.

- Dans le **premier cas de figure** (figure 6.2), les **activités de maintenance ne modifiant pas les caractéristiques des machines** peuvent être subdivisées selon qu'elles ont lieu avant ou après l'apparition de dysfonctionnements. En revanche, les activités qui modifient les caractéristiques sans changer la fonction sont considérées comme des activités de maintenance d'amélioration. Le concept de **maintenance d'amélioration** est applicable lorsque la maintenance vise à changer de façon positive l'une des caractéristiques définies dans la conception de l'équipement, mais sans modifier ses fonctions d'origine.

La maintenance préventive est subdivisée selon que l'on observe ou non une dégradation des caractéristiques de l'équipement. Dans le premier cas, lorsqu'une dégradation se produit, on parle de « **maintenance conditionnelle** » et si aucune dégradation n'est observée, on parle de « **maintenance par défaut** ».

La maintenance dite « **maintenance conditionnelle** » est un type de maintenance préventive qui comprend l'évaluation de l'état physique, l'analyse et les éventuelles actions ultérieures. Il s'agit donc de l'évaluation de l'état d'un équipement, d'une machine ou d'une installation, qui peut être effectuée par un opérateur ou une équipe d'opérateurs, sous forme d'observation, de tests ou de suivi des paramètres de fonctionnement du système. Cette activité peut être programmée à l'avance ou réalisée sur demande.

La « **maintenance prévisionnelle** » est définie dans cette norme comme une maintenance basée sur la condition, c'est-à-dire fondée sur la prévision tirée des résultats de l'évaluation décrite précédemment.

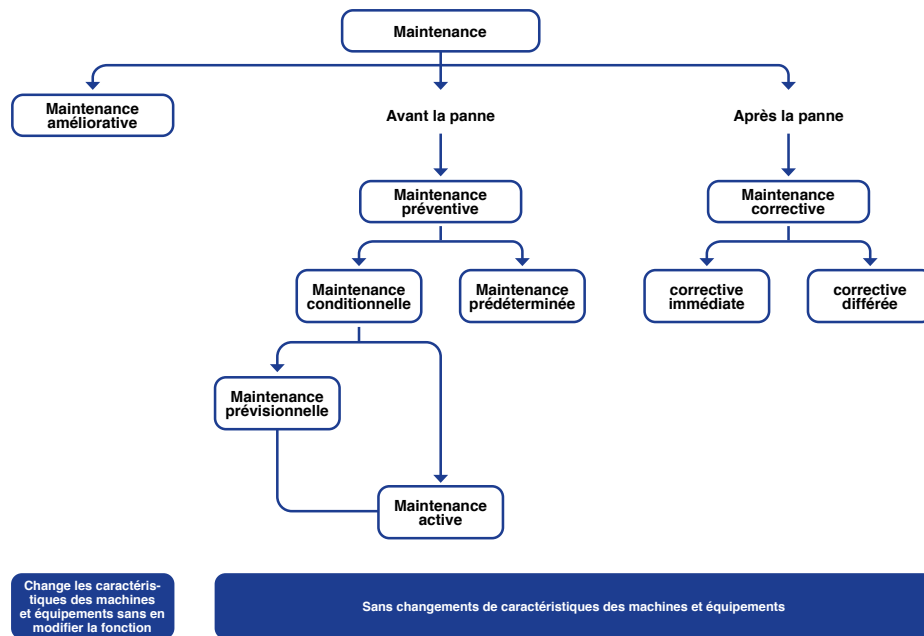


Figure 6.2. Types de maintenance en fonction de la modification ou non des caractéristiques spécifiques des machines et des équipements (Norme UNE-EN 13306:2018)

La « **maintenance active** » peut faire partie aussi bien de la maintenance préventive que de la maintenance corrective. Elle se définit comme l'ensemble des activités effectuées directement sur une machine ou un équipement pour le maintenir ou le remettre en état de fonctionnement et lui permettre d'accomplir la fonction requise.

- Le **deuxième cas de figure** envisagé par la norme UNE-EN 13306:2018 fait référence à la **possibilité de programmer la maintenance**, c'est-à-dire la possibilité de fixer à l'avance des dates et d'allouer des ressources pour l'exécution des activités de maintenance. Elle divise la maintenance en « maintenance planifiée » et « maintenance non planifiée » (figure 6.3).

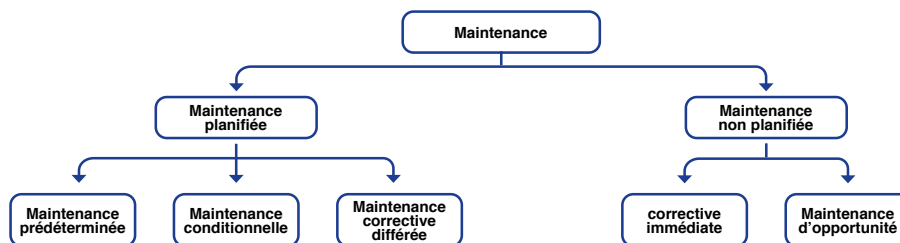


Figure 6.3. Types de maintenance en fonction de la possibilité de les planifier ou non (Norme UNE-EN 13306:2018)

La **maintenance non planifiée** est subdivisée, selon cette norme, en « maintenance corrective immédiate » et « maintenance d'opportunité ». La première fait référence aux activités qui sont exécutées aussitôt après une panne de machine afin d'atténuer les conséquences et la seconde à l'ensemble des activités de maintenance non planifiées qui peuvent être qualifiées de maintenance préventive et/ou de maintenance corrective différée.

Quant à la **maintenance planifiée**, elle se subdivise en :

- **Maintenance par défaut** : il s'agit d'une maintenance préventive cyclique sans évaluation préalable des équipements faisant l'objet de la maintenance.
- **Maintenance conditionnelle** : il s'agit d'une maintenance préventive basée sur une évaluation préalable ou une prévision de l'état des équipements faisant l'objet de la maintenance.
- **Maintenance corrective différée** : il s'agit d'une maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection de la panne et dont on planifie l'exécution selon des critères établis.

Un critère complémentaire vient s'ajouter aux précédents. Il consiste à répartir les activités de maintenance selon leur degré de complexité, c'est-à-dire selon l'ensemble des compétences nécessaires à leur réalisation, la formation requise et le degré de complexité des opérations effectuées, comme décrit dans la norme AFNOR NF X 60-000 (2016)^[3] (tableau 6.2.).

Niveau de maintenance	Principales tâches	Exemples
Premier niveau	Il s'agit d'un ensemble d'interventions simples prévues par le fabricant sur des éléments accessibles, qui ne nécessitent pas de montage et de démontage complexes. Les outils utilisés sont toujours légers. Elles ne présentent aucun risque particulier pour la sécurité si les instructions essentielles sont disponibles.	• Nettoyage des poinçons et des moules. • Nettoyage du moule par aspiration.
Deuxième niveau	Réparations par remplacement d'éléments conformément à la procédure établie, qui ne nécessitent pas le démontage complet de l'équipement. Elles doivent être effectuées par un technicien qualifié ayant reçu une formation sur la sécurité et les risques.	• Réparation des bornes et des connexions électriques du moule, situées dans des endroits visibles.
Troisième niveau	Identification et diagnostic des pannes. Réparations impliquant le remplacement d'éléments fonctionnels. Interventions complexes précédées d'un diagnostic et d'une identification. Il est possible de les réaliser sur place ou dans un atelier de maintenance, sachant qu'elles doivent prendre en compte l'équipement dans son ensemble, car la modification d'un élément peut avoir des conséquences sur son fonctionnement global. Elles doivent être effectuées par des techniciens spécialisés utilisant les outils spécifiés dans les instructions de maintenance de la machine.	• Changement des barrettes fixes. • Changement des barrettes amovibles. • Changement de la plaque d'usure. • Démontage des poinçons. • Montage des poinçons.
Quatrième niveau	Opérations complexes nécessitant des connaissances techniques spécifiques. Elles doivent être effectuées par un technicien spécialisé ou une équipe de techniciens ayant une qualification spécifique, sous la supervision d'un responsable spécialisé. Opérations majeures de maintenance préventive.	• Montage ou démontage du moule.
Cinquième niveau	Interventions complexes réalisées par le fabricant de l'équipement ou par une entreprise autorisée par le fabricant de l'équipement. Il s'agit d'actions similaires à celles menées dans le cadre du processus de fabrication de l'équipement. Travaux de rénovation ou de reconstruction effectués par le fabricant de l'équipement lui-même.	• Rectification du moule.

Tableau 6.2. Niveaux de maintenance en fonction de leur degré de complexité

6.2. PROCÉDURES GÉNÉRALES DE MAINTENANCE ET DE CONSERVATION DES MOULES

Pour décrire les procédures générales de maintenance et de conservation des moules, il est nécessaire de faire la distinction entre le moule complet et ses composants de remplacement, tels que les barrettes (si elles sont amovibles), les poinçons supérieurs et inférieurs, et d'autres éléments tels que les inserts de raccord, les plaques d'usure, les connecteurs, etc.

6.2.1. Stockage et conservation des moules et des composants

Nous distinguerons deux cas possibles : lorsque le moule arrive chez le fabricant de carreaux et lorsqu'un moule qui a fonctionné est remplacé, que ce soit en raison d'un problème qui nécessite son transfert ou en vue de le stocker et de le remplacer par un autre.

Lorsque le moule arrive sur le site industriel, il peut être installé immédiatement dans la presse ou être stocké en vue d'une installation ultérieure. Dans ce second cas, le moule doit être déballé et placé dans un endroit adapté à sa conservation⁵⁹.

Les **moules** doivent être stockés sur des étagères dans des espaces couverts, secs, exempts de poussière et facilement accessibles (figures 6.4 et 6.5). Ils ne doivent jamais être déposés directement sur le sol, ni à proximité de zones à température ambiante élevée, telles que des fours ou des séchoirs, ou à forte humidité. Idéalement, le stock doit être situé à proximité de la section des presses, mais à l'abri de la poussière. Il est tout à fait déconseillé de le déposer dans la section des presses sans isolation ni protection, car la poussière qui en résulte peut pénétrer dans les trous de désaération du moule.

Pour une bonne conservation, il faut protéger le moule avec une fine pellicule de lubrifiant approprié pour en éviter l'oxydation, en recouvrant la surface de la matrice et les barrettes.

En ce qui concerne les **consommables** ou éléments additionnels du moule tels que les barrettes, les poinçons, les inserts de raccord, etc., on peut appliquer les mêmes critères, bien qu'il soit conseillé d'avoir des procédures d'identification, de localisation et de traçabilité afin d'identifier rapidement et précisément l'emplacement de tous les composants. À cet égard, certaines entreprises disposent déjà d'entrepôts intelligents pour leurs pièces de rechange.

Il convient de rappeler que les barrettes et les poinçons sont les composants des moules qui façonnent le carreau. Ils nécessitent donc la plus grande précision dans leur fabrication et une attention particulière pour leurs conditions de stockage et de conservation.



Figure 6.4. Déplacement et stockage des moules et des composants

⁵⁹ Comme nous allons le voir dans ce chapitre, les moules destinés à l'exportation sont placés dans des caisses en bois et ceux destinés aux entreprises espagnoles du secteur de la céramique, en raison de leur proximité, sont déposés sur des palettes et convenablement emballés.

Les poinçons supérieurs et inférieurs sont généralement recouverts de caoutchouc et doivent donc être soigneusement nettoyés avec une éponge trempée dans l'eau, en veillant à ce que l'acier soit complètement sec. Ensuite, si possible, ils doivent être lubrifiés avec un lubrifiant approprié. Ils doivent être stockés à plat (figure 6.5), à l'abri de la lumière directe, dans un environnement sec ou aussi peu humide que possible, et protégés du côté caoutchouc si l'on place des éléments ou d'autres poinçons dessus, afin d'éviter les marques. Dans la mesure du possible, il est recommandé de ne jamais stocker les poinçons les uns au-dessus des autres ou verticalement. Il faut accorder une attention particulière au stockage des poinçons. En effet, même ceux qui n'ont jamais été utilisés peuvent voir le caoutchouc se détériorer s'ils restent stockés pendant une longue période, car celui-ci perd ses propriétés s'il est exposé de façon prolongée à l'environnement (lumière, chaleur, poussière, humidité) et, par conséquent, les poinçons ne sont plus aptes à fonctionner et doivent être à nouveau enduits de caoutchouc pour pouvoir être utilisés. Il est également important de noter le nombre de coups réalisés par les poinçons qui ont déjà été utilisés.

Lorsque le nombre de poinçons à stocker est très élevé, ce qui n'est pas rare dans de nombreuses entreprises du secteur, les modules de stockage constituent une solution optimale qui a déjà été adoptée par certaines d'entre elles (figure 6.6). Les **modules de stockage** sont des dispositifs de stockage informatisés avec des plateaux disposés sur une tour qui permettent un stockage flexible et intelligent.

En outre, lorsque l'on remplace un moule, il faut suivre un certain nombre de lignes directrices pour garantir la préservation correcte de ses composants. Dans ce cas, il est conseillé de démonter les poinçons et de les stocker séparément. Une fois le moule sans poinçons, il est nécessaire d'**examiner** certains de ses **composants** afin de garantir un fonctionnement optimal lors de la prochaine installation dans la machine :

- Il faut vérifier que le **soufflet** n'est pas endommagé ou percé. Pour ce faire, il convient d'enlever la terre afin de faciliter l'accès visuel et, en outre, si le soufflet est en cuir, il faut appliquer une graisse de protection (telle que la graisse de cheval) avant le stockage. Si le soufflet est en



Figure 6.5. Installations de stockage de poinçons



Figure 6.6. Module de stockage

élastomère, on en examine l'état général visuellement. L'uniformité de la couleur est un indice qui permet de savoir si le soufflet en élastomère est en bon état.

- On examine également les **barrettes**, tout d'abord pour vérifier qu'elles ne sont pas cassées. On vérifie également qu'elles ne sont pas usées. Ces contrôles se font d'abord visuellement et au toucher, bien qu'il soit utile de connaître le nombre de coups réalisés par le moule, comme nous l'avons indiqué.
- Il faut également examiner l'usure de la surface de la **matrice**. Si celle-ci est protégée par une plaque d'usure, il faut vérifier son état et l'usure causée par le passage des grilles d'alimentation.
- On vérifie également l'ensemble du câblage électrique, ainsi que les éléments électriques du moule, tels que les résistances des blocs et des matrices et les bobines de ces blocs. Il faut également vérifier que les câbles sont bien fixés et qu'aucun d'entre eux n'est détaché. Il convient alors de vérifier qu'ils sont tous en parfait état et, dans le cas contraire, de les remplacer ou de les envoyer à l'atelier pour réparation si nécessaire.

6.2.2. Procédures de nettoyage des moules

Il convient de distinguer les procédures de nettoyage du moule ou de l'un de ses composants après le démontage du moule et le nettoyage des composants lorsque le moule est installé et à l'arrêt.

Dans le premier cas, on nettoie le moule avant d'y effectuer des activités de maintenance ou de le stocker. Dans le second cas, le nettoyage est une activité qui complète les activités de maintenance effectuées lorsque le moule est à l'arrêt, telles que le changement des barrettes amovibles.

En règle générale, il faut tenir compte du fait que, pour des raisons d'hygiène, le nettoyage manuel par soufflage doit toujours être évité s'il n'est pas possible de garantir une bonne aspiration de la poussière. Ainsi, le nettoyage des moules, qu'ils soient à l'arrêt ou démontés, est effectué par aspiration, en utilisant l'équipement de protection individuelle (EPI) approprié.

Lorsque le moule est en fonctionnement, il faut éviter la saleté et la poussière en général, en particulier l'accumulation de terre entre le creux de la matrice et la plaque d'éjection. La procédure de nettoyage de cette zone, pendant que le moule fonctionne, varie en fonction du fabricant. MACER a incorporé dans ses moules des souffleurs spécifiques qui fonctionnent à l'air comprimé. Ils sont installés dans la plaque d'éjection ou dans la plaque porte-poinçons s'il y en a une, comme décrit dans le chapitre 3. Le montage est complété par un système d'aspiration à l'arrière du moule. Lorsqu'un système de souffleurs et d'aspiration est installé dans le moule, il convient de le fermer sur trois côtés pour optimiser l'aspiration. Le système de soufflage-aspiration dans les moules fermés est efficace si l'aspiration est suffisante, ce qui n'est pas toujours possible. Si on utilise le système d'aspiration de l'usine à cette fin, il peut être efficace lorsqu'il y a très peu de presses installées, mais il est insuffisant lorsqu'il y en a beaucoup. Cela inciterait dans ce cas les fabricants de presses à installer des systèmes d'aspiration individuels pour chacune d'elles.

D'autre part, le nettoyage manuel de cette zone lorsque le moule est à l'arrêt ou démonté peut s'avérer difficile. En général, la poussière est aspirée à l'aide d'un aspirateur muni d'un embout approprié pour atteindre tous les coins. Il est important de protéger cet embout pour éviter d'endommager le soufflet pendant le processus de nettoyage. En général, le nettoyage manuel de la partie arrière des moules, avec le moule monté dans la presse et à l'arrêt, est plus compliqué en raison de l'inaccessibilité de cette zone. Ce nettoyage pouvait être effectué difficilement sur les petites presses équipées de chariots traditionnels, mais les chariots actuels empêchent d'accéder à l'arrière du moule sans enlever le chariot. Il faut donc programmer un nettoyage de maintenance périodique, au cours duquel on enlève le chariot d'alimentation pour nettoyer la zone par aspiration.

Sur les presses équipées du système de changement rapide de moule SACMI, la partie arrière est fermée et équipée d'un système d'aspiration qui permet de nettoyer cette zone du moule pendant le fonctionnement de la presse.

6.3. PROCESSUS DE RÉPARATION OU DE REMPLACEMENT DES COMPOSANTS

Les principaux processus de réparation ou de remplacement des composants des moules sont le remplacement des barrettes, fixes et amovibles, et le remplacement des poinçons. D'autres activités moins fréquentes méritent d'être mentionnées, comme le changement de la plaque d'usure ou la révision des connexions électriques.

6.3.1. Remplacement des barrettes fixes

Les barrettes utilisées dans les moules pour le pressage des carreaux de céramique peuvent être divisées en deux groupes principaux, comme nous l'avons vu au chapitre 3, en fonction de la manière dont elles sont installées dans la matrice : les **barrettes fixes** et les **barrettes amovibles** (tableau 3.5).

Les barrettes fixes ont longtemps été les seuls types de barrettes disponibles, jusqu'à l'introduction dans le secteur des barrettes amovibles par MACER, en 2003^[71].

On les appelle « barrettes fixes » parce qu'elles sont montées et ajustées dans la matrice à l'atelier de moules, et ne peuvent donc pas être démontées dans la presse, ni dans l'usine. Le moule doit donc être transféré dans un atelier spécialisé pour y être démonté et remplacé. Au sein d'un secteur industriel très concentré comme celui de la céramique en Espagne, cette opération est possible en raison des courtes distances entre les fabricants et les entreprises auxiliaires, mais elle est également coûteuse, car elle nécessite le démontage et le transport du moule. En revanche, dans les secteurs très dispersés, comme par exemple dans les pays d'Amérique latine, ce remplacement exige que l'entreprise dispose d'un personnel qualifié à cet effet et des moyens technologiques nécessaires.

Les barrettes doivent être remplacées lorsqu'elles ont subi une usure excessive qui ne peut plus être compensée par le système de chauffage du moule et qui entraîne donc des défauts de pressage, comme nous le verrons au chapitre 7. Les barrettes usées peuvent être démontées et rectifiées un certain nombre de fois, au maximum jusqu'à ce qu'elles aient perdu 2 à 3 millimètres d'épaisseur en raison de l'usure. L'atelier de moules réalisera la rectification des faces et l'usinage du profil, en leur apportant le séparateur et la conicité nécessaires.

Pour changer les barrettes dans l'atelier de moules, il faut démonter la matrice. On extrait les barrettes courtes à l'aide de vis d'extraction vissées dans des trous horizontaux. Lorsqu'elles sont vissées, elles servent de butée avec la matrice et poussent la barrette sur le côté. Le fait de retirer les

barrettes courtes permet de libérer les barrettes longues qu'elles maintiennent. Ensuite, une fois les barrettes démontées, on effectue leur rectification pour laisser de l'acier en vue de réaliser la conicité et le séparateur nécessaires au processus de rectification suivant. On les remonte ensuite pour les ajuster dans la matrice. Comme les barrettes ont perdu de l'épaisseur en raison de l'usure au cours du processus de rectification, il faut y ajouter des plaques sur les faces de contact avec la matrice, afin d'atteindre les dimensions d'alvéole requises.

Les barrettes sont fixées au creux de l'alvéole, usiné dans la matrice, au moyen de vis dans des trous horizontaux, et/ou au moyen de trous aux extrémités des barrettes longues, voire des barrettes courtes, en fonction du format. Ce montage est réalisé à la main et nécessite une grande précision.

Les barrettes centrales, c'est-à-dire celles qui séparent les alvéoles lorsque, par manque de place, il n'y a pas de cloisons de séparation entre elles, ne peuvent pas être rectifiées et doivent toujours être montées neuves. En effet, si elles sont rectifiées, les barrettes du côté opposé nécessitent un complément pour maintenir les dimensions du format et, par conséquent, les centres des creux sont perdus, ce qui entraîne le décentrage des poinçons.

6.3.2. Remplacement des barrettes amovibles

Il peut y avoir différents cas où un changement de barrettes amovibles est nécessaire :

- *Changements de format dans les moules multiformat* Pour ce type de moules, il existe autant de types de barrettes que de formats ou de figures permises par le moule, de sorte que lorsque l'on doit changer de format ou de figure, il faut changer les barrettes en conséquence. Si les barrettes remplacées sont encore aptes à la production, il faut les stocker pour une production future.
- *Remplacement des barrettes amovibles lorsque le moule n'est pas multiformat* Dans ce cas, les barrettes sont remplacées lorsqu'elles atteignent la fin de leur cycle de vie, soit en raison de l'usure, soit en raison d'une éventuelle rupture, auquel cas elles doivent également être retirées et remplacées. Quoi qu'il en soit, il est toujours préférable d'effectuer ce changement sur la presse elle-même, ce qui facilite les opérations de remplacement.

Les barrettes amovibles sont conçues pour être démontées en usine, à l'intérieur ou à l'extérieur de la presse, sans qu'il soit nécessaire de transporter le moule à l'atelier, comme c'est le cas avec les barrettes fixes ou conventionnelles. Dans les deux cas, lorsqu'il s'agit de démonter les barrettes du moule, il est préférable de le faire avec le moule monté dans la presse, car il est possible d'en utiliser le mécanisme d'extraction pour enlever les barrettes plus facilement que si le moule est démonté et donc situé à l'extérieur de celle-ci.

6.3.2.1. Changement de barrettes amovibles sur la presse elle-même

Les barrettes sont remplacées alors que le moule est installé sur la presse. Dans ce cas, la règle à appliquer est la suivante :

1. Pour remplacer les barrettes, le moule doit être complètement propre. Il faut donc aspirer correctement, en particulier dans l'espace entre les blocs où la poussière peut s'accumuler. Chaque barrette est ensuite nettoyée, en particulier la partie supérieure, afin de rendre visibles les vis qui la maintiennent sur la matrice.
2. Chacune des vis mentionnées au point précédent doivent être dévissées, de manière à libérer la barrette pour passer à l'étape suivante.

3. Les barrettes sont ensuite retirées au moyen d'éléments d'extraction appropriés (figure 6.7). Les extracteurs sont positionnés de manière à ce que leurs extrémités soient placées dans l'espace entre la partie inférieure de la barrette et le renforcement intérieur de la matrice où la barrette est installée, et que la partie centrale des extracteurs soit au-dessus du bloc inférieur. Dans cette position des extracteurs et avec la presse en mode manuel, on fait monter l'ensemble de la plaque d'éjection et des blocs, ce qui fait que les extracteurs poussent la barrette hors du renforcement qui l'abrite (figure 6.8). À noter qu'il s'agit de plusieurs extracteurs et non d'un extracteur, car il faut utiliser au moins 2 unités par alvéole pour pouvoir effectuer une manœuvre efficace.



Figure 6.7. Extracteurs de barrettes



Figure 6.8. Extraction des barrettes amovibles

4. Une fois que la barrette à démonter est sortie du renforcement de la matrice, celui-ci est entièrement nettoyé afin de le préparer pour y installer la barrette à monter.
5. À l'aide des mêmes extracteurs que ceux utilisés pour l'extraction de la barrette précédente, on fait glisser la barrette dans le creux de la matrice, et avec le mouvement de la plaque d'éjection, la barrette s'y emboîte parfaitement.
6. Les barrettes sont ensuite revissées à l'aide de vis en bon état ; si nécessaire, on peut en utiliser de nouvelles, car une mauvaise vis peut entraîner des retards dans le processus de démontage suivant.

Il faut souligner l'importance de réaliser cette manœuvre avec soin, en particulier lors de l'insertion de la barrette dans le creux de la matrice, car le réglage étant minimum, on peut la bloquer si sa position n'est pas parallèle, et on peut endommager son logement si on force trop.

Il est conseillé de maintenir la matrice chauffée pour que le creux se dilate, car la barrette à monter est alors plus froide et donc un peu plus petite que lorsqu'elle atteint la même température que la matrice. Cela permet d'obtenir un espace supplémentaire qui facilite son montage.

6.3.2.2. Changement de barrettes amovibles hors de la presse

Si les barrettes doivent être démontées hors de la presse, la méthode est différente, car on ne dispose pas de l'aide fournie par la presse et on ne peut donc pas utiliser les éléments extracteurs. Dans ce cas, la procédure à suivre est la suivante :

1. Le moule n'étant pas installé dans la presse, on suppose qu'il a déjà été aspiré et qu'il est propre, comme l'exige toute opération de maintenance. Quoi qu'il en soit, on vérifie son état de propreté et si nécessaire, comme dans le cas précédent, on nettoie chaque barrette, en particulier sa

partie supérieure, afin de rendre visibles les vis qui la maintiennent sur la matrice.

2. Chacune des vis mentionnées au point précédent doivent être dévissées, de manière à libérer la barrette pour passer à l'étape suivante.
3. Les barrettes amovibles sont conçues avec des logements où l'on installe des broches qui servent à les extraire. Ces éléments sont filetés de façon à les faire sortir de la partie inférieure de la barrette, ce qui, lorsqu'ils reposent sur la base du logement, fait que la barrette commence à se soulever de cette base. Il faut apporter un soin particulier à cette opération, car il y a plusieurs broches à ajuster au cours de cette opération, de sorte qu'il faut l'effectuer à intervalles égaux pour extraire les barrettes en position parallèle. Dans le cas contraire, elles risquent en effet de se coincer en sortant.
4. Une fois que la barrette à démonter est sortie du creux de la matrice, on le nettoie entièrement afin de le préparer pour y installer la nouvelle barrette.
5. Étant donné que, comme nous l'avons déjà mentionné, ces opérations sont effectuées hors de la presse, on ne dispose pas de l'assistance mécanique qu'elle fournit, de sorte que le montage des nouvelles barrettes exige une plus grande habileté de la part de l'opérateur, qui doit introduire manuellement la barrette dans le creux (figure 6.9). Cette opération peut être simple pour les petits formats, mais pour les barrettes plus grandes, il faut utiliser les broches qui serviront d'appui aux barrettes et les marquer à intervalles égaux à l'aide de la clé Allen. Autrement dit, il faut effectuer le mouvement inverse de celui expliqué au point 3, où nous avons décrit leur extraction.
6. Pour finir, on visse les barrettes. Il est très important d'utiliser des vis en parfait état, car une vis en mauvais état peut entraîner des retards dans le processus de démontage suivant. Il est conseillé de toujours utiliser de nouvelles vis quand on constate que le changement est nécessaire.



Figure 6.9. Changement de barrettes hors de la presse

6.3.3. Extraction et installation des poinçons

Pour le changement de poinçons, il y a plusieurs possibilités en fonction du type de moule, du format dont il s'agit ou de la position des poinçons, qui peuvent être supérieurs ou inférieurs, de relief ou de face de dos.

Montage des poinçons

Quel que soit le type de moule, les **poinçons inférieurs** sont toujours insérés dans le moule de la même manière, qui consiste à les déplacer à l'intérieur du creux. Pour faciliter cette opération, on fait monter la plaque d'éjection et les blocs pour recevoir le poinçon à environ 3 ou 4 mm du fil et ainsi faciliter son insertion.

Le **montage des poinçons supérieurs** est différent et la procédure dépend du type de moule :

- Dans le **moule à miroir**, le poinçon supérieur est doté d'un système de guidage avec la plaque ou la matrice, ce qui facilite son centrage.
- Dans le **moule pénétrant**, on effectue son montage et centrage avec le poinçon inférieur monté, puisque l'on posera un support sur ce poinçon inférieur, de préférence un type d'élastomère rigide, qui n'endommage pas le caoutchouc de l'un ou l'autre des deux poinçons, étant donné que le poinçon supérieur sera placé sur ce support. Le support doit avoir l'épaisseur du carreau à presser avec une marge supérieure ou inférieure de 1 mm. De cette façon, on aura le poinçon supérieur à la hauteur de sa position de fonctionnement, et c'est là que l'on doit le centrer avec les barrettes. Pour ce centrage, on utilise des feuilles de métal ou de papier que l'on insère dans l'espace entre le poinçon et les barrettes. Comme le réglage à cet endroit est de l'ordre de 2 et 3 dixièmes de mm, ce type de feuille permet d'ajuster la position du centrage.
- Dans le **moule à miroir pénétrant**, la procédure est la même que pour le moule pénétrant, à la différence que le support utilisé doit être deux fois plus épais que le carreau à former, faute de quoi les barrettes pourraient être endommagées lors du montage ou du démontage des poinçons supérieurs, car elles se trouveraient en dessous du séparateur (s'il y en a un) et/ou de la conicité.
- Pour le **moule double**, la procédure est similaire aux précédentes, avec quelques différences mineures. On monte le poinçon inférieur exactement de la même manière que dans le moule pénétrant. Pour le poinçon supérieur, on procède de la même manière que pour ce moule, en tenant compte du fait que le mouvement de la traverse et de la plaque supérieure s'accompagne de la descente de la matrice jusqu'à la butée. Dans ce type de moule, la matrice supérieure facilite le centrage du poinçon, de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer les opérations de centrage indiquées pour le moule pénétrant.

Les opérations décrites sont relativement simples lorsqu'elles sont effectuées avec des poinçons légers et de petite taille, car ils sont faciles à manipuler. Cependant, plus la taille et le poids augmentent, plus la tâche devient difficile et peut même présenter un risque pour la sécurité et l'intégrité de l'opérateur. On a déjà vu au chapitre 3 que pour faciliter ces opérations, les blocs de grands formats sont équipés de pistons ancrés qui permettent d'élever le poinçon à une hauteur supérieure à celle de la matrice pour faciliter le montage et le démontage du poinçon qui est déplacé au moyen d'un système coulissant (figures 6.10 et 6.11 et lien 6.1).



Figure 6.10. Système de poinçons coulissants

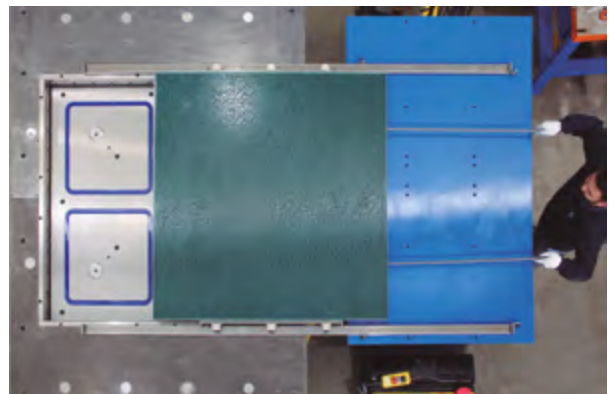


Figure 6.11. Assemblage d'un poinçon de grand format



Ce code QR contient un lien vers une vidéo dans laquelle on peut voir la procédure de déplacement et de montage d'un poinçon inférieur dans un moule pénétrant de grand format. Lien 6.1

Toutes ces opérations doivent être effectuées par un personnel dûment formé et dans le respect de toutes les consignes de sécurité établies. À partir de 25 kg, toutes les charges (poinçons, plaques, etc.) sont soulevées à l'aide de palans ou d'autres moyens mécaniques (figure 6.12), et le transport et les déplacements en vue du montage des poinçons doivent être effectués avec le chariot porte-poinçons. Celui-ci peut être hydraulique manuel (figure 6.13) ou électrique (figure 6.14).



Figure 6.12. Levage et manutention de charges importantes à l'aide de palans et d'aimants



Figure 6.13. Chariot hydraulique manuel pour le changement des poinçons



Figure 6.14. Chariot hydraulique manuel pour le changement des poinçons

6.4. LE PROCESSUS DE CHANGEMENT DE MOULE

Le processus de remplacement d'un moule dans la presse comprend le démontage du moule actif et l'installation d'un nouveau. Il s'agit d'une opération complexe qui doit être réalisée par un personnel dûment formé, selon un protocole strict et dans le respect de toutes les spécifications en matière de sécurité et de protection de l'environnement.

Le remplacement d'un moule installé dans une presse doit être effectué lorsque, pour des raisons de production, un changement de format doit être réalisé, ou en raison de l'usure ou d'une défaillance quelconque du moule, comme la rupture d'un soufflet, etc. Plus rarement, il peut y avoir des situations temporaires qui nécessitent un changement de moule, comme des pannes graves sur une presse qui obligent installer le moule sur une autre, etc.

Le changement de moule comprend un certain nombre d'opérations communes à tous les types de moules et de presses, avec quelques variations importantes dans la procédure qui dépendent principalement du type de presse et, dans une moindre mesure, du type de moule.

Les changements de moule peuvent être effectués à l'aide du chariot élévateur ou d'un chariot spécifique conçu pour les changements de moules, comme celui de la figure 6.15.

En fonction du type de presse et de son mode d'installation, le moule peut être changé en opérant à l'avant de la presse ou à l'arrière. La plupart des presses modernes sont équipées de chariots d'alimentation amovibles qui permettent de changer facilement le moule par l'arrière, après avoir retiré le chariot.

En général, dans toutes les presses équipées d'un système d'extraction traditionnel à pistons et chandelles, le changement de moule se fait par l'avant. Le changement se fait donc de cette façon sur toutes les anciennes presses SACMI jusqu'à la presse PH 1400⁶⁰, une fois le convoyeur à rouleaux retiré. Le changement de moule se fait également par l'avant sur toutes les presses équipées de moules à changement rapide, telles que les presses SACMI de dernière génération, parmi lesquelles la PH10000. Elles sont désormais toutes équipées de ce dispositif, car de nouveaux éléments le permettent, notamment les nouveaux chariots de changement de moule, en plus des moules à changement rapide susmentionnés.

La plupart des presses modernes SITI B&T permettent le changement de moule à l'arrière de la presse. Sur toutes les presses de la série 2000 de SACMI, jusqu'à la PH 3590, on remplace également le moule à l'arrière, tandis que sur la nouvelle génération de presses de plus faible tonnage, également de SACMI, on change de nouveau le moule à l'avant.

Le changement de moule par l'arrière facilite les opérations de remplacement car il y a généralement plus de place pour manœuvrer, mais ce n'est pas toujours le cas, en particulier dans les installations anciennes. Bien entendu, cette opération nécessite le démontage du chariot, comme nous l'avons indiqué. On en profite alors pour y réaliser des activités de maintenance telles que le nettoyage, le remplacement des pièces usées, la vérification des roulements, etc.



Figure 6.15. Transport du moule pour installation ou remplacement

⁶⁰ Ces presses sont connues dans le secteur de la céramique sous le nom de « presses vertes ».

En ce qui concerne le type de moule, il n'y a aucune différence dans la procédure de changement entre les moules pénétrants, les moules à miroir et les moules à miroir pénétrants. En revanche, la procédure est différente avec le moule double.

Tout d'abord, il faut **détacher la plaque d'éjection du moule du système de chargement et d'extraction de la presse**. Cette procédure est différente selon le type de système d'extraction installé qui, comme on le sait, varie en fonction du fabricant dans les presses actuelles :

- SACMI équipe actuellement ses presses du système SPE®, dans lequel les mouvements de l'ensemble plaque d'éjection – blocs sont réalisés au moyen de quatre pistons synchronisés, capables d'effectuer jusqu'à cinq chutes de plateaux. Dans ce système, l'ancrage se fait au moyen de colliers, comme le montre la figure 3.7.
- Les presses SITI B&T sont pour leur part équipées des systèmes SYNCRO® ou E-SYNCRO®, constitués d'un piston central qui déplace la plaque porte-poinçons dans le sens descendant, et de quatre cylindres hydrauliques qui effectuent le mouvement ascendant et accompagnent le mouvement descendant. Pour leur ancrage, on utilise des roulements à rotules, comme le montre la figure 3.9.
- Outre ces systèmes, de nombreuses presses sont équipées d'équipements traditionnels de chargement et d'extraction à piston et à chandelles, où l'ancrage se fait au moyen d'une plaque « crochet ». Il existe également des presses équipées de l'ancien système SMU® de SACMI, où il suffit de dévisser les vis qui relient la plaque sauve-banc au banc de la presse pour le décrochage. Dans cet équipement, le système d'extraction hydraulique est en effet incorporé au moule.

Après le décrochage, on débranche toutes les connexions électriques et on dévisse les vis qui relient la plaque sauve-banc à la presse, sauf dans le cas des moules à changement rapide, où ces vis sont absentes. Après les avoir retirées, on vérifie le filetage à l'aide d'un taraud et si les filets sont en bon état, on nettoie les vis afin de les réutiliser, à moins qu'elles ne présentent un défaut de filetage ou qu'elles ne se vissent pas correctement. Il faut alors les remplacer.

6.4.1. Le changement des moules pénétrants, à miroir et à miroir pénétrant

Le démontage et la séquence des opérations sur ces moules peuvent varier selon qu'ils sont équipés d'une plaque supérieur fixe ou d'une plaque supérieure isostatique.

En général, **on enlève d'abord la partie inférieure du moule**, ce qui laisse suffisamment d'espace pour abaisser la plaque supérieure, isostatique ou fixe, avec la presse en mode manuel, et la déposer sur une palette, puis la retirer à l'aide d'un chariot élévateur.

- Si le moule est équipé d'une **plaque supérieure fixe** et que les dimensions de celle-ci sont compatibles avec le nouveau moule à installer, il est conseillé de ne pas la démonter. Certaines entreprises choisissent d'installer sur leurs presses de grandes plaques fixes d'aimantation, compatibles avec tous les formats à fabriquer, et de ne jamais les changer. Bien qu'il s'agisse d'une solution permettant un gain de temps lors du changement de moule, il est possible que, dans certains formats, le nombre de coups par minute diminue avec cette solution, car la taille de la plaque limite la position du chariot lorsqu'il est en position arrière dans le cycle de pressage. Les plaques très grandes obligent le chariot à partir d'une position plus éloignée des alvéoles, ce qui augmente le temps de chargement des celles-ci pendant le cycle de pressage, entraînant ainsi une diminution de la production de la presse.
- En revanche, si le moule enlevé a une **plaque supérieure isostatique**, celle-ci sera incompatible avec le nouveau moule et il faudra alors l'enlever, en suivant la procédure décrite ci-dessus.

Le **montage du moule** s'effectue de la manière suivante :

- Si l'on souhaite monter un **moule avec une plaque supérieure fixe**, celle-ci peut être installée en premier et il n'est pas nécessaire qu'elle soit parfaitement centrée, car ce sont les poinçons supérieurs qui doivent être centrés. On installe ensuite la partie inférieure du moule, en centrant les poinçons supérieurs selon la procédure décrite ci-dessus.
- Si l'on souhaite installer un **moule avec une plaque supérieure isostatique**, on installe celle-ci en premier mais sans la serrer totalement car, contrairement à la plaque supérieure fixe, elle doit être correctement centrée. On installe ensuite le moule inférieur et on effectue le centrage des poinçons supérieurs et de la plaque sur le moule inférieur. À cet égard, il convient de noter que la plupart des plaques isostatiques modernes sont équipées de centreurs pour faciliter cette opération. On effectue ce centrage en abaissant la traverse mobile et en ajustant le poinçon à l'intérieur de l'alvéole à l'aide des centreurs susmentionnés. Après le centrage, on effectue le vissage final de la plaque.

6.4.2. Le changement du moule double

La procédure de changement du moule à façonnage supérieur ou moule double varie également en fonction du fabricant de la presse. Le processus nécessite d'abord le démontage du moule installé, puis l'installation du nouveau moule.

6.4.2.1. Processus de démontage du moule installé dans la presse

La procédure générale de démontage d'un moule installé dans la presse consiste à retirer d'abord la partie inférieure du moule, puis la partie supérieure. Bien entendu, il est possible de procéder dans l'autre sens, mais la procédure décrite ci-dessus est préférable car le fait d'enlever d'abord la partie inférieure crée un grand espace dans la presse, ce qui facilite le démontage et l'extraction de la partie supérieure.

Dans les presses SITI B&T, il est possible d'enlever le moule complet, avec la partie supérieure emboîtée dans la partie inférieure, une couche de protection étant appliquée sur les poinçons inférieurs pour éviter leur détérioration. Cependant, il faut savoir que cela n'est pas conseillé si l'on veut vérifier les parties internes du moule, car cette opération est alors impossible. Cela n'est pas non plus facile à réaliser avec les moules très grands, car le moule complet est beaucoup plus lourd et il n'y a pas toujours de chariots élévateurs disponibles pour le soutenir.

6.4.2.2. Processus de montage du nouveau moule

Le processus présente également des différences selon le fabricant de la presse, en raison des différents systèmes de chargement et d'extraction qui y sont installés.

Pour effectuer le montage du moule double des presses SACMI, on installe d'abord sa partie inférieure⁶¹, puis sa partie supérieure.

⁶¹ Bien qu'il s'agisse de la procédure recommandée, il est également possible d'effectuer le montage du nouveau moule en installant d'abord la partie inférieure, puis la partie supérieure.

Pour monter la partie inférieure du moule, le système SPE doit être ancré à la plaque d'éjection. Pour effectuer cette opération, la plaque d'éjection doit être freinée. Pour ce faire, on fait pression sur la partie inférieure du moule à l'aide d'éléments spécifiques fournis par le fabricant de la presse. On exerce une pression sur ces derniers grâce au mouvement vers le bas de la traverse mobile de la presse, mise en mode manuel, ce qui permet de serrer le collier d'ancrage.

On installe ensuite la partie supérieure du moule. Pour ce faire, on serre les vis de fixation à la traverse mobile de manière à ce qu'elles soient tendues, mais sans les serrer complètement comme c'est le cas pour d'autres types de moules équipés d'une plaque supérieure isostatique.

Une fois le moule inférieur ancré et serré, on passe au centrage du moule.

Pour effectuer **l'opération de centrage du moule**, il faut d'abord desserrer les vis de fixation de la partie supérieure et placer les billes de centrage du moule dans les trous prévus à cet effet dans la partie inférieure. Ces billes font partie du système de centrage dont MACER équipe ses moules à façonnage supérieur et que nous avons décrit au point 5.5.7.

Avec la presse en mode manuel, on fait descendre la traverse mobile de manière à ce que la matrice supérieure repose sur la matrice inférieure, tandis que les billes ajustent le centrage, puisque la partie supérieure a été préalablement desserrée, comme nous l'avons indiqué. On répète cette manœuvre deux ou trois fois jusqu'à ce que l'on soit sûr que le centrage est parfait et, à ce stade, la traverse étant en position basse et la partie supérieure emboîtée dans les billes de centrage, on serre au moins quatre vis de fixation de la partie supérieure du moule et on fait monter la traverse mobile. Pour finir, on serre les vis restantes et on retire les billes.

Les opérations sont similaires pour le montage des moules à façonnage supérieur sur les **presses SITI B&T**, bien que pour ancrer le système de chargement et d'extraction SYNCRO au moule, il ne soit pas nécessaire de faire pression sur la partie inférieure, comme c'est le cas pour les presses SACMI.

Dans ces presses, on installe d'abord la partie supérieure du moule sans la serrer, à une distance d'un à deux millimètres de la traverse mobile. On monte ensuite la partie inférieure. Pour ce faire, il faut ancrer le système SYNCRO à l'aide des roulements à rotules décrits au point 3.2, puis fixer cette partie du moule de manière rigide à la plaque-base à l'aide des vis de fixation correspondantes. On effectue alors le centrage du moule selon la procédure décrite ci-dessus, puis on serre le moule supérieur.

6.5. Emballage et transport des moules

Que ce soit pour l'emballage ou pour le transport, il convient de faire la distinction entre les moules ou les composants de moules que l'on déplace sur de courtes distances (transport local) et ceux destinés à l'exportation.

6.5.1. Transport local

En Espagne, le secteur de la fabrication de carreaux de céramique est très concentré géographiquement. La province de Castelló concentre 94 % de la production totale du secteur et 80 % des entreprises, principalement dans la zone délimitée par L'Alcora, Onda, Nules et Castelló^[20]. Ainsi, la plupart des distances entre les entreprises sont très courtes et les communications sont excellentes, de sorte que les fabricants de moules peuvent facilement les transporter par voie terrestre en utilisant leurs propres moyens (figure 6.16).

Lors du transport d'un moule entre des entreprises du secteur, celui-ci est lubrifié et déposé sur une palette dont les dimensions sont adaptées à la taille du moule, puis plastifié. Une fois arrivé à destination, le moule est déchargé à l'aide d'un chariot élévateur approprié et, s'il n'est pas destiné à être monté immédiatement, il est stocké tel que reçu sur des étagères appropriées. Nous avons décrit les conditions de stockage et de conservation appropriées dans la section 6.2.1 de ce chapitre.

Lorsque l'on transporte les poinçons localement, on les dépose également sur des palettes, à plat et, s'il est nécessaire de les empiler, on les protège adéquatement afin d'éviter tout dommage pendant le transport.

6.5.2. Exportation

Tous les moules ou composants destinés à l'exportation doivent être emballés et placés dans des caisses en bois (figures 6.17, 6.18 et 6.19). Fabriquées spécifiquement pour chaque moule, les caisses sont conçues en calculant les dimensions exactes pour que les moules s'ajustent parfaitement et ne se déplacent pas. Si nécessaire, on place des butées en bois à l'intérieur pour garantir l'immobilisation complète de la charge.

Lorsque l'on emballe des poinçons ou des barrettes, il faut calculer de façon précise les dimensions de la caisse, qui doit également être fabriquée spécifiquement à cette fin. Pour ce faire, MACER dispose d'un programme de calcul permettant d'optimiser la conception des caisses en fonction des éléments, de leurs dimensions et de leur quantité.

Les moules sont toujours exportés dans des caisses en bois. Des micro-organismes peuvent vivre et se multiplier dans le bois, et être à l'origine de parasites ou de problèmes sanitaires. Il existe donc une réglementation internationale pour le traitement des emballages en bois destinés à l'exportation.

La FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) a élaboré en 2002 une réglementation pour les matériaux d'emballage en bois utilisés dans le commerce international, pour tous les types de marchandises, et créé les normes internationales pour les mesures phytosanitaires (NIMP 15 ou ISPM 15 en anglais)^[65]. Selon cette réglementation, le bois utilisé dans les caisses doit faire l'objet d'un traitement thermique conventionnel à 56 °C pendant 30 minutes dans un séchoir, ou un traitement au bromure de méthyle. De nouvelles dispositions publiées par la suite prévoient d'autres types de traitement. Le bois utilisé pour l'emballage doit être écorcé et exempt de trous d'un diamètre supérieur à 3 mm. Les panneaux d'aggloméré, les fibres de bois transformées, les placages de bois



Figure 6.16. Chargement d'un camion pour le transport local de moules



Figure 6.17. Emballage d'un moule pour l'exportation

d'une épaisseur inférieure à 6 mm et les contreplaqués sont exemptés de traitement.

Les moules ou leurs composants sont plastifiés et placés dans des caisses pour les protéger d'éventuelles infiltrations d'eau.

Le transport vers l'Amérique, l'Asie, l'Afrique ou l'Australie se fait par bateau et vers les pays européens par camion.



Figure 6.18. Caisse d'un moule pour l'exportation



Figure 6.19. Chargement de moules pour l'exportation

Défauts de pressage liés au moule

Chapitre 7



Dans l'ouvrage précédent publié par Macer, *Prensas, moldes y prensado* (Presses, moules et pressage)^[49], le lecteur trouvera une liste exhaustive des défauts de pressage, leur identification, leur évaluation, leurs causes et les solutions possibles. Le texte cité étudie l'opération de pressage dans son ensemble et décrit en détail les défauts dont l'origine se trouve dans cette opération, en considérant toutes les variables du processus liées au produit d'entrée, généralement la poudre atomisée, les variables de la presse et celles du produit de sortie, c'est-à-dire les carreaux crus avant leur passage dans le séchoir. Il décrit également les défauts qui sont issus de l'opération de pressage mais se manifestent dans d'autres opérations de fabrication ou concernent la qualité du produit fini. Dans ce nouveau texte consacré au moule pour le pressage des carreaux, nous avons partiellement enrichi ce chapitre en nous concentrant exclusivement sur les défauts ou les non-conformités de l'opération de pressage qui sont, d'une manière ou d'une autre, causés ou conditionnés par le moule, en les mettant en relation avec ses paramètres de conception, ses composants et son processus de fabrication et de montage.



Figure 7.1. Sélection de carreaux

7.1. MÉTHODOLOGIE POUR L'ANALYSE DES DÉFAUTS DE FABRICATION

Un défaut peut être défini comme une absence ou un manque de qualités d'un produit par rapport à un modèle ou à un standard adopté comme référence^[66]. La production de pièces défectueuses entraîne un coût important, qui a un impact sur le prix du produit et donc sur la compétitivité de l'entreprise.

Il est indéniable que le travail quotidien dans la production exige de prendre des décisions rapidement et de résoudre des problèmes qui surviennent, notamment les défauts de fabrication, de la manière la plus efficace et rapide possible. Toutefois, cela n'est pas possible si l'on ne dispose pas au préalable d'un bagage théorique et pratique considérable.

La résolution des défauts de fabrication est l'une des tâches qui nécessitent une connaissance approfondie du processus de production. Elle implique en effet d'identifier les défauts et d'en évaluer la gravité, d'analyser leurs causes possibles, très souvent interdépendantes, et enfin de proposer et d'exécuter des activités correctives ou préventives, mais également de suivi.

L'étude systématique des défauts de fabrication doit englober l'évaluation de leur gravité, de leur nature et de leur(s) cause(s). Elle doit clairement identifier la façon dont le défaut se manifeste et dont les propriétés techniques et/ou esthétiques du carreau sont altérées et, bien entendu, proposer les solutions possibles avec les équipements, les installations et les ressources disponibles. Le diagramme de la figure 7.2 résume une méthodologie d'étude et de résolution d'un défaut donné, applicable à l'identification et à la correction des défauts de pressage, en particulier ceux qui sont liés au moule. Cette méthodologie doit être interprétée comme une manière de mobiliser ses connaissances sur un problème et d'agir en conséquence.

1. Lorsqu'un défaut de fabrication apparaît, il faut l'**identifier** clairement et **recueillir** toutes les informations qui le concernent. En ce sens, il est très utile de créer et de maintenir une base de données qui regroupe des informations graphiques et techniques sur les défauts de fabrication. Il convient donc de prendre des photos et de noter toutes les données intéressantes, les mesures correctives adoptées et les résultats obtenus, etc. pour s'y référer ultérieurement lorsque le problème se présente à nouveau.
2. Il faut **quantifier la gravité du défaut**. Pour chaque défaut, il convient d'en identifier la **fréquence**, c'est-à-dire l'intervalle avec lequel il apparaît, l'**amplitude**, ou incidence du défaut, et l'**intensité**, qui peut être estimée comme la perte de valeur de la pièce. Cette étude doit être complétée par des méthodologies de contrôle préventif des variables liées aux principaux défauts ou non-conformités du processus.
3. **Identifier la cause ou les causes** probables du défaut. Pour ce faire, il peut être nécessaire de réaliser des tests ou d'éliminer des causes possibles sur la base de preuves de fabrication. Dans les cas où la gravité du défaut le justifie, on peut réaliser une étude plus approfondie des causes qui exigent des tests plus complexes, voire une reproduction en laboratoire ou à l'échelle d'un site industriel.
4. Une fois la cause du défaut identifiée, **on propose les solutions possibles**, qui doivent aller dans deux directions : d'une part, la résolution des défauts détectés dans la production et, d'autre part, la mise en place de mesures préventives visant à éviter ou au moins à minimiser le risque d'apparition du défaut ou à en réduire les conséquences.
5. Le résultat de ce processus est donc double. D'une part, l'adoption de mesures correctives et, d'autre part, de mesures préventives. Naturellement, cela exige d'effectuer un suivi de l'ensemble de ces mesures et d'évaluer les résultats obtenus. Si les résultats ne sont pas positifs, il faut relancer le processus, que ce soit en identifiant les causes ou en proposant de nouvelles solutions. Si, en revanche, le résultat est positif, il faut maintenir dans le temps les mesures préventives adoptées.

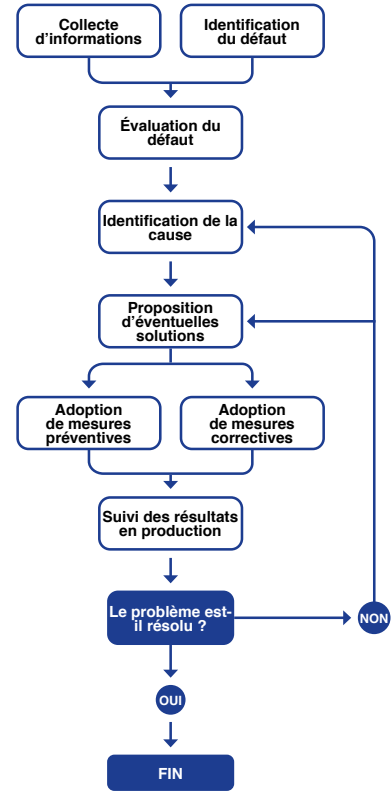


Figure 7.2. Méthodologie d'analyse des défauts de fabrication

7.2. CRITÈRES DE CLASSIFICATION DES DÉFAUTS DÉFAUTS DE PRESSAGE

Dans l'industrie de la céramique, les défauts sont généralement classés selon différents critères, parmi lesquels leur apparence physique, leur cause, l'étape du processus de fabrication où la défaillance apparaît, etc. Dans la pratique, il est courant d'utiliser le critère de classification des défauts en fonction de l'étape du processus de production au cours de laquelle ils surviennent. Ce critère est fréquemment utilisé dans la bibliographie, mais pas exclusivement^{[9][21][22][53][61][62][66]}, et, bien évidemment, il nécessite de repérer exactement la cause du défaut, ce qui, dans certains cas, peut être quelque peu difficile. En effet, un défaut n'est souvent pas dû à une seule cause, mais à une conjonction de facteurs qui conduisent à son apparition. Dans ce chapitre, nous avons adopté une approche mixte pour la classification des défauts ou des non-conformités liés à l'opération de pressage, en combinant les critères de la cause du défaut avec ceux de son apparence physique (tableau 7.1). Ce tableau met en évidence les défauts directement liés au moule.

Défauts dus à un mauvais chargement du moule ou à l'absence de parallélisme entre les poinçons.	Trapèzes.
	Lunettes.
	Cales.
	Ondulations et traces de charge.
	Traces de la grille.
	Cadre périphérique.
Défauts dus à une mauvaise extraction.	Courbures et gonflements.
	Fissures d'extraction.
Défauts provenant du moule.	Ébarbures.
	Repressés.
	Collage de poinçons.
	Collage de terre.
	Éraflures et rayures dues à l'éjection.
	Pointes fragiles. Coins cassés.
	Épaisseurs et profils incorrects dans les carreaux pressés avec un moule double
	Rasages et casse.
	Ongles.
Fissures et cassures (causes diverses).	Défauts dus au décentrage du moule.
	Fissures d'impact causées par une compacité insuffisante.
	Fissures causées par des hétérogénéités dans la poudre.
Laminations.	
Défauts dus à des gouttes d'huile et à des impuretés.	
Calibres.	

Tableau 7.1. Classification générale des défauts liés à l'opération de pressage

Comme on peut le voir dans ce tableau, les calibres sont inclus parmi les « défauts ». Au sens strict, les calibres ne peuvent être considérés comme des défauts, mais comme un critère de sélection, de classification et de commercialisation des carreaux, en fonction de leur taille réelle. Cependant, il est clair que la production de carreaux de calibres différents dans un même format constitue un problème majeur et un coût supplémentaire. En effet, leur gestion nécessite plus d'espace pour le stockage, un effort et un coût plus importants pour la commercialisation des productions avec des calibres différents et, bien sûr, il est difficile de commercialiser les « pics » ou les productions résiduelles de quelques m², ce qui réduit souvent la marge bénéficiaire. D'autre part, il convient de rappeler que la production de calibres est liée à la variation de la contraction linéaire des carreaux et peut provenir des opérations de pressage et/ou de cuisson. Vous trouverez ici^[49] davantage d'informations sur les calibres.

7.3. DÉFAUTS DUS À UNE RÉPARTITION INÉGALE DE LA COMPACITÉ

L'une des causes courantes des défauts dimensionnels dans les carreaux pressés, tels que les défauts de **trapèzes, lunettes et calibres**, est la répartition hétérogène de la compacité dans le carreau ou entre les carreaux. Bien que l'origine de ces défauts puisse être diverse, l'une des causes les plus fréquentes réside dans le **chargement irrégulier des alvéoles du moule**. À titre d'exemple, la figure 7.3 montre une carte des densités apparentes d'un carreau en trapèze où l'on apprécie la valeur de la densité apparente en fonction de la couleur. La figure 7.4 montre la carte des densités apparentes de deux carreaux correspondant aux alvéoles d'un moule à deux sorties, qui révèle les différences de compacité entre la partie centrale et les côtés^[58]. Ces différences donnent lieu à des carreaux en trapèze, ou avec des lunettes. En effet, dans les deux cas, le côté compacté dans la partie centrale a une densité apparente supérieure à celle du côté opposé, qui est chargé à l'extérieur du moule.

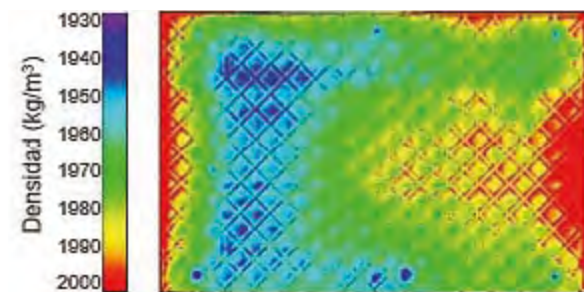


Figure 7.3. Carte des densités apparentes d'un carreau obtenue avec DENSEXPLORER, un équipement d'absorption de RX^[58]

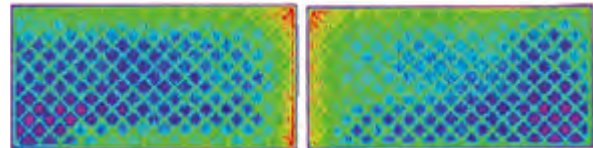


Figure 7.4. Carte des densités apparentes de deux carreaux obtenue avec DENSEXPLORER, un équipement d'absorption de RX^[58]

D'autre part, un mauvais chargement des alvéoles du moule peut également entraîner des ondulations visibles à travers la couche d'émail, des traces de la grille du chariot ou le défaut connu sous le nom de « cadre périphérique ».

La compacité est déterminée par le chargement des alvéoles, ainsi que par les variables des opérations de préparation de la pâte et de pressage ; ce paramètre important détermine à son tour les propriétés du carreau cru^{[8][18]} et cuit^{[6][7][11][14][17][40][83]}. La compacité est liée au retrait linéaire après cuisson, de sorte que des différences considérables dans des zones d'un même carreau peuvent entraîner des différences de contraction qui se traduisent, après cuisson, par une perte d'orthogonalité (trapèze, lunettes, etc.). Si les différences de compacité concernent les carreaux d'un même lot, il peut en résulter des pièces présentant des différences de taille inacceptables au sein d'un même format, ce qui nécessite de les classer dans des lots différents appelés « calibres ».

Pour garantir une compacité homogène dans l'ensemble du carreau, il faut réaliser un chargement des alvéoles et une distribution des pressions homogènes également. Il est donc évident qu'un contrôle strict de l'homogénéité et de la constance du chargement est une condition nécessaire au maintien des normes de qualité dans l'opération de pressage. Cependant, il n'est pas toujours facile d'obtenir et de maintenir une charge homogène, notamment dans les très grands formats et lorsque les reliefs sont prononcés, car de nombreux paramètres la conditionnent. Certains d'entre eux, comme la fluidité, dépendent d'opérations préalables au pressage. D'autres sont directement liés à la régulation du cycle de pressage, comme le type de grille utilisé, le réglage des synchronismes de chute des plateaux, la position du chariot lors de l'ouverture de la trémie de chargement ou au début de la première chute et le réglage des vitesses de chute des plateaux et du chariot dans les mouvements d'aller et de retour. En outre, il est également très important de maintenir constants les paramètres de fonctionnement de la

presse, tels que le nivellement du chariot ou la verticalité de l'axe de la traverse mobile. Ainsi, la mesure de la compacité, ou sa mesure indirecte par l'intermédiaire de la densité apparente, est d'une grande importance pour le contrôle de l'opération de pressage. L'annexe IV décrit la technique de mesure de la compacité des carreaux de céramique par absorption de RX, DENSEXPLORER, et la construction de cartes de densité apparente qui montrent la distribution de la compacité dans un même carreau et dans toutes les alvéoles.

Les différences de compacité dans un même carreau à l'état cru ou à l'état sec sont généralement liées à des déficiences lors du chargement des alvéoles, comme nous l'avons expliqué. Elles peuvent cependant provenir parfois de problèmes de montage ou de conception du moule, tels que l'**absence de parallélisme entre les poinçons** supérieurs et inférieurs, l'**usure des poinçons supérieurs** qui peut entraîner des pertes de poudre sur l'un des côtés des carreaux, ou une **répartition irrégulière des pressions**, surtout pour les carreaux grand format, en raison d'un rapport inadéquat entre les dimensions de la presse, en particulier la traverse mobile, et les dimensions du moule (voir figure 5.25).

7.3.1. Défauts dus à l'absence de parallélisme entre les poinçons

Le manque de parallélisme entre les poinçons provoque ce que l'on appelle le « défaut de cale » Ce défaut se produit lorsqu'il y a une différence d'épaisseur considérable entre deux parties du carreau (figure 7.5). Ces différences peuvent s'expliquer par un mauvais pressage dû au manque de parallélisme entre les poinçons supérieur et inférieur. Le défaut de cale peut également être dû à un mauvais nivellement du chariot, à une mauvaise répartition de la poudre ou, dans les grands formats, à la flexion de la traverse mobile si la presse développe une force excessive⁶².

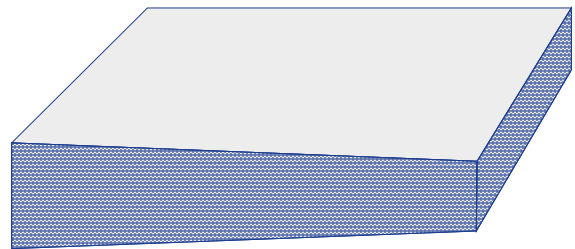


Figure 7.5. Carreau avec défaut de cale (pas à l'échelle)

Les équipements d'extraction modernes (SYNCRO®, SPE®) permettent d'effectuer certaines corrections de chargement pour rectifier les différences d'épaisseur. Par exemple, le système SPE® de SACMI permet d'effectuer cinq corrections de chargement pendant le retour du chariot afin de compenser les différences d'épaisseur des carreaux dans le sens du déplacement du chariot (avant – arrière).

Bien que l'absence de parallélisme entre les poinçons puisse être due à leur montage défectueux, une cause plus probable peut être une éventuelle rupture du soufflet (figure 7.6), qui provoque le dépôt de poussière entre la plaque sauve-banc et la plaque d'éjection du moule (figure 7.7). Les poinçons perdent ainsi leur parallélisme pendant le pressage, ce qui provoque l'effet de cale et de trapèze du carreau, ainsi qu'une légère inclinaison du système plaque d'éjection - blocs - poinçons inférieurs, entraînant finalement une usure prématurée de ces derniers.

⁶² En général, les fabricants de presses conseillent de ne pas aller au-delà de 80 % de la force de pressage maximale.



Figure 7.6. Rupture d'un soufflet en cuir (détail)



Figure 7.7. Terre entre la plaque sauve-banc et la plaque d'éjection due à la rupture du soufflet

7.3.2. Défauts dus à une répartition irrégulière des pressions causée par le moule

Si la force de pressage est transmise par un seul piston central, ce qui est généralement le cas dans les presses utilisées pour les carreaux grand format et équipées de grands moules, la pression peut être répartie de façon irrégulière, se concentrant au centre de la surface de pressage et diminuant vers les extrémités. En effet, la traverse mobile est de grande taille et peut avoir tendance à se courber en raison de ses dimensions et de la pression à laquelle elle est soumise. Les fabricants de presses ont proposé différentes solutions pour résoudre ce problème. WELKO a par exemple conçu des presses équipées de deux cylindres de pressage (série WK2) pour les grands formats, comme la WK2 4800. En revanche, dans les presses SACMI pour grands formats, le piston est fixe et inversé et c'est le cylindre qui transmet la force de pressage aux poinçons supérieurs, constituant l'élément presseur, ce qui permet une meilleure répartition des pressions sur les grandes surfaces des carreaux grand format.

7.3.3. Courbures et gonflements

L'apparition de courbures et d'autres défauts de planéité est souvent considérée comme un problème caractéristique de l'étape de cuisson. En effet, ces courbures se produisent fréquemment pendant les étapes de chauffage et de cuisson, par exemple les courbures associées à la dilatation – contraction thermique et aux déformations pyroplastiques ; ou elles se produisent pendant l'étape de refroidissement, en raison d'une mauvaise correspondance dilatométrique entre l'émail et le support. Toutefois, certaines courbures peuvent provenir de l'opération de pressage, s'il existe de grandes différences dans la répartition de la compacité, et donc de la contraction linéaire, entre les bords et la face. Plus l'épaisseur des carreaux diminue^[62], plus ces défauts sont visibles, bien que l'on puisse les minimiser partiellement grâce à une conception appropriée du relief de dos.

7.3.4. Ondulations

Il s'agit de petites variations d'épaisseur qui sont clairement visibles sur la face noble des carreaux, en particulier lorsqu'ils sont émaillés avec des émaux brillants, cristallins ou satinés ou avec une finition lappato.

Elles sont dues à une répartition inégale de la charge et peuvent être causées par une vitesse de recul excessive du chariot, des vibrations ou des mouvements brusques provoqués par une programmation défectueuse du chargement. On peut résoudre ce problème en reprogrammant, si possible, le chargement à une vitesse constante et non excessive (si les exigences de production de la presse le permettent) et en rectifiant ou en changeant la raclette^[25].

7.4. DÉFAUTS DUS À UNE MAUVAISE EXTRACTION

Lors de l'étape d'extraction, la traverse et les poinçons montent jusqu'à leur position initiale, libérant le carreau pressé de l'alvéole. Pendant le pressage, la pièce emmagasine de l'énergie élastique sous l'action de la force déformante de pressage. Cette énergie est dissipée lorsque la force de déformation cesse, ce qui entraîne une augmentation des dimensions du carreau qui peut être à l'origine de certains défauts, tels que des courbures, des gonflements et des fissures dues à l'extraction. Comme on le sait, on peut effectuer l'extraction de deux manières : l'extraction libre, en retardant légèrement la montée des poinçons inférieurs par rapport à la montée de la traverse, de sorte que les poinçons et la traverse montent séparément ; l'extraction en paquet, également appelée en « sandwich », en synchronisant en vitesse et en temps les mouvements de montée des poinçons inférieurs et de la traverse mobile, de sorte que la pièce effectue la montée prise entre les deux poinçons. L'expérience pratique semble montrer que, dans les mêmes conditions de pressage et pour le même type de pâte, l'expansion après pressage est plus importante lorsque l'extraction est effectuée en paquet, ce qui justifierait que, pour les formats fiche à fiche, on effectue toujours une extraction libre afin d'éviter l'apparition de fissures dans les angles des profils.

Une extraction défectueuse peut entraîner deux types de défauts : la courbure d'extraction et les fissures d'extraction.

7.4.1. Courbures d'extraction

Il s'agit d'un type de courbure associé à l'opération de pressage, qui peut apparaître à l'intérieur de l'alvéole si l'on retarde excessivement l'extraction du carreau en extraction libre. Cette courbure est due à l'énergie élastique accumulée par les particules pendant le pressage, de sorte que les carreaux se courbent de manière convexe à l'intérieur de l'alvéole, ce qui peut entraîner leur rupture dans les brosses du convoyeur à rouleaux à la sortie de la presse. Cette courbure peut s'atténuer considérablement après le séchage. En revanche, si l'on arrête la presse sans avoir terminé le cycle et que le carreau reste confiné à l'intérieur de la matrice, l'expansion après pressage ne peut se faire que vers le haut, de sorte que le carreau se courbe, risquant de se casser.

Afin d'éviter la courbure du carreau à l'intérieur des alvéoles, il faut synchroniser adéquatement l'extraction en agissant sur le paramètre de réglage « retard d'extraction »^[49].

Les courbures très prononcées dues à un retard de l'extraction peuvent également s'accompagner de l'apparition de fissures au centre du carreau.

7.4.2. Fissures issues de l'extraction

Lors de l'extraction, les contraintes générées sur les bords peuvent provoquer de petites fissures dans cette zone des carreaux pressés. Ces fissures surviennent sur les bords supérieurs des carreaux (il s'agit des bords en contact avec les poinçons supérieurs) lors de l'élimination de la charge ou de l'extraction du carreau du moule^[5].

Lorsque la charge appliquée par le poinçon supérieur cesse, la face du carreau en contact avec lui se dilate de façon axiale si le poinçon est retiré. C'est ce qui se produit lors de l'extraction libre (figure 7.8). Cependant, sur les bords supérieurs du carreau, cette expansion est empêchée par les barrettes du moule, ce qui crée des contraintes susceptibles de se transformer en fissures sur les côtés du carreau si elles dépassent la valeur de sa résistance mécanique à cet endroit.

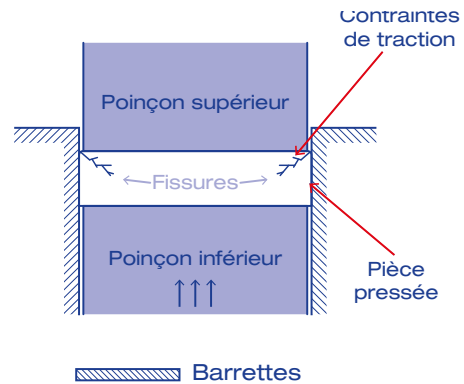


Figure 7.8. Formation de fissures lors de l'élimination de la charge, selon^[5]

Un autre type de fissure d'extraction peut se produire lorsque le carreau est retiré du moule et que sa section transversale augmente (figure 7.9), c'est-à-dire lorsqu'une partie du carreau est encore à l'intérieur de l'alvéole et qu'une partie est déjà sortie et se dilate. Cette expansion entraîne des contraintes le long du bord supérieur, ce qui provoque des fissures longitudinales lorsque la valeur de ces contraintes dépasse la résistance mécanique à cet endroit. Ce type de fissure est rare sur les presses actuelles, dans lesquelles on peut réguler l'extraction de façon plus efficace, en agissant à volonté sur le freinage de la traverse mobile lorsqu'elle monte pour effectuer l'extraction en paquet de manière contrôlée.

Pour éviter ces deux types de fissures, il faut réduire l'expansion après pressage du carreau, ce qui est possible en pressant avec une humidité plus élevée et une pression plus faible, ou augmenter sa résistance mécanique. Quand les fissures apparaissent au moment où la pression exercée par le poinçon supérieur cesse, le problème peut être résolu en procédant à une extraction en paquet. En dernière instance, dans les deux cas, on peut vérifier l'angle d'extraction ou la « conicité » des barrettes pour améliorer l'extraction du carreau.

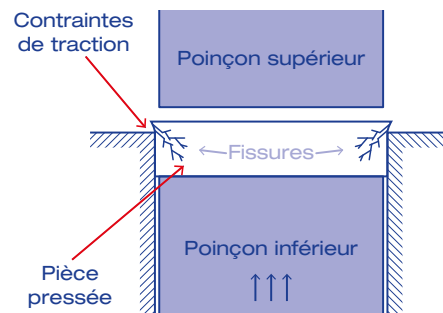


Figure 7.9. Formation de fissures lors de l'expansion de la pièce, selon^[5]

Il est conseillé de toujours effectuer l'extraction des carreaux grand format en paquet. En revanche, pour les carreaux au format « fiche à fiche », il faut l'éviter, car ce type d'extraction peut déboucher sur de petites fissures au niveau des angles prononcés du profil.

7.5. DÉFAUTS ISSUES DU MOULE

Certains défauts de pressage peuvent être dus aux moules utilisés. Parmi les causes possibles, on peut citer l'utilisation de matériaux inadaptés pour certains éléments du moule, en particulier ceux qui sont davantage soumis à l'usure, notamment les poinçons ou les barrettes, ou l'usure de ces éléments eux-mêmes.

7.5.1. Ébarbures.

Les **ébarbures** sont de fines couches de poudre qui sont compactées dans les espaces entre les poinçons et les barrettes. Ces petites couches de poudre compactée adhèrent aux côtés du carreau (figure 7.10).

Dans les moules pénétrants, les ébarbures sont toujours présentes du côté du relief de dos. Elles apparaissent surtout lorsque le moule est fortement usé par l'utilisation et qu'il y a donc plus de jeu. Dans ce cas, on peut minimiser le défaut en chauffant les poinçons, mais lorsqu'ils sont trop usés, la seule solution est de les remplacer et de les rectifier. Cette opération a logiquement une limite et doit être effectuée avec beaucoup de soin pour éviter d'endommager les poinçons. Il faut donc déterminer un nombre maximum de cycles pour chaque moule, après lequel ils doivent être remplacés et rectifiés.

Dans les moules où le pressage est effectué avec la face noble vers le haut, des ébarbures peuvent se former, par le même mécanisme, sur la face noble des carreaux (figure 7.11). Elles doivent être éliminées à la sortie de la presse au moyen de tout dispositif mécanique habituel tel que brosses, raclettes, etc.



Figure 7.10. Ébarbures sur la face du relief de dos



Figure 7.11. Ébarbures sur la face noble du carreau

7.5.2. Repressés.

Les repressés (figure 7.12) sont de petites portions de matériau compacté, provenant généralement d'ébarbures situées dans la matrice, qui se déposent sur la surface du poinçon inférieur avant le chargement, entraînées par l'aspiration générée sur elles lors de la première chute de plateaux ou par le mouvement du chariot. Ce problème se produit souvent à l'avant des carreaux, en raison de leur position dans le moule. Dans ce cas, on peut le minimiser en agissant sur le retard du premier pressage. Une fois pressées, ces portions sont facilement détectables car elles ont été compactées deux fois.



Figure 7.12. Repressé .

Ce problème est caractéristique des moules qui fonctionnent avec la face noble sur le poinçon inférieur, comme le pénétrant ou parfois le miroir pénétrant. Les repressés apparaissent donc sur cette face et impliquent une diminution de la qualité. Le moule double fonctionne toujours avec la face noble sur les poinçons supérieurs et ne provoque donc jamais ce défaut.

On peut minimiser le problème en tentant d'empêcher la formation d'ébarbures par l'installation de buses d'extraction de poussière à l'avant de la matrice et de souffleurs pour son nettoyage. Une autre possibilité consiste à réduire la vitesse de descente de la traverse mobile peu avant l'impact avec la poudre contenue dans l'alvéole. Certains fabricants^[82] recommandent une vitesse comprise entre 25 et 30 mm/s.

7.5.3. Collage de poinçons

Le collage de poinçons (figure 7.13) se manifeste par une irrégularité sur la surface de la face noble du carreau, qui se produit lorsque la poudre adhère au poinçon de la face noble (ou de la face de dos) du carreau. Il ne faut pas le confondre avec le repressage.

Il s'agit d'un défaut caractéristique des anciens poinçons dont la surface était en acier. Ce défaut entraînait de fréquents arrêts de production pour permettre à l'opérateur de la presse d'avoir le temps de nettoyer les moules. Afin de ne pas interrompre l'alimentation du séchoir, un compensateur était installé entre la celui-ci et la presse. Il était destiné à maintenir un flux constant de carreaux, car les arrêts continus de la presse provoquaient des coupures à l'entrée du séchoir et, par conséquent, des changements importants dans la température de surface des carreaux à la sortie, avec les dégâts qui s'ensuivaient pour l'opération d'émaillage suivante. Malgré tout, il était difficile de maintenir un flux constant vers le séchoir.



Figure 7.13. Collage de poinçons

La mise en place de moules en caoutchouc au début des années 1980 a permis d'éliminer presque complètement ce défaut et, dans certains cas, de rendre le compensateur inutile. Toutefois, il convient de noter que ce défaut peut se produire lorsque l'on utilise des poinçons polis pour obtenir des qualités de surface élevées dans le grès cérame ou des poinçons avec des duretés de caoutchouc supérieures à Shore A 92. Les caoutchoucs très durs offrent une excellente définition des détails, mais lors du pressage, ils se comportent presque comme du métal poli, ce qui augmente le risque d'apparition du défaut. Pour éviter cela, on emploie des caoutchoucs moins durs, ce qui permet de ne pas perdre la netteté de reproduction des détails et d'éviter le collage.

Ce défaut est favorisé par l'utilisation de pâtes très plastiques qui ont une plus grande tendance à coller^[61].

7.5.4. Collage de terre

Ce défaut ne doit pas être confondu avec le précédent. Il s'agit de morceaux de terre ou de poussière présents sur la surface de la matrice pendant l'opération de pressage, qui adhèrent à la face noble

des carreaux pressés dans le moule pénétrant, lorsqu'ils sont déposés sur le convoyeur à rouleaux, poussés par la partie supérieure du chariot.

On peut éliminer ce phénomène de collage en installant une raclette de matrice (figure 7.14), c'est-à-dire un système qui gratte et enlève la terre collée sur la face noble des carreaux avant le culbuteur. Le dispositif consiste en une barre métallique avec un support dans lequel est intégrée une lèvre en caoutchouc, que l'on place à la sortie du moule.

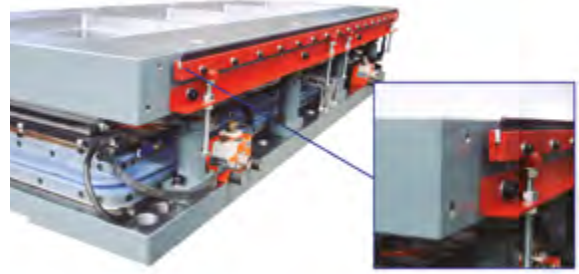


Figure 7.14. Raclette de matrice de MACER

7.5.5. Éraflures et rayures dues à l'éjection.

Il s'agit également d'un défaut résultant du mode de pressage du moule pénétrant. Lorsque la butée du chariot d'alimentation pousse les carreaux à peine retirés des alvéoles et les dépose sur le convoyeur à rouleaux de sortie de la presse, leur face noble traîne sur la matrice et, dans ce mouvement, ils peuvent subir des éraflures et des rayures qui peuvent être visibles après la cuisson. Ces éraflures sont d'autant plus évidentes que les carreaux sont façonnés avec une face noble en relief.

7.5.6. Pointes fragiles. Coins cassés.

Les « coins cassés » (figure 7.15) sont le résultat de la perte partielle de l'un des sommets du carreau à la suite d'un choc. Nous nous référons ici aux coins cassés qui apparaissent lorsque le carreau est cru, que ce soit avant ou après son passage par le séchoir, principalement en raison d'une faible compacité aux extrémités, ce qui entraîne une faible résistance mécanique. Cette faible compacité peut être due à une usure excessive des poinçons supérieurs des moules pénétrants et/ou des barrettes, ce qui entraîne l'éjection de la poudre à l'extérieur de la matrice, ou à la tension générée entre le carreau et le moule^[57]. Elle peut également être due à une faible humidité de la poudre de pressage, ce qui entraîne une compacité insuffisante du carreau.

Un ajustement excessif du poinçon supérieur au niveau d'un angle du carreau provoque un compactage de la poudre dans l'angle et son adhérence, ce qui peut entraîner des coins cassés lors de l'extraction du carreau. On peut résoudre le problème momentanément en arrêtant la presse et en enlevant manuellement la poussière adhérente à l'aide d'un petit poinçon, mais la solution ultime se trouve dans la conception. Il faut placer une petite languette sur le poinçon supérieur pour enlever la poussière adhérente.



Figure 7.15. Coin cassé

Une autre cause possible des coins cassés est l'usure excessive des barrettes près des angles (figure 7.16). Bien qu'il ne s'agisse pas d'une zone où les barrettes s'usent beaucoup par rapport à la zone centrale des alvéoles, elles peuvent tout de même subir une usure appréciable lors du pressage de carreaux épais, ce qui peut provoquer la cassure des coins lors de l'extraction.

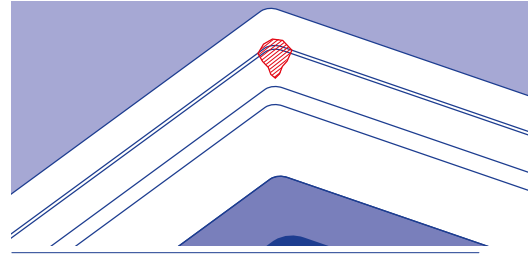


Figure 7.16. Zone d'usure de la barrette, dans l'angle

7.5.7. Épaisseurs et profils incorrects dans les carreaux pressés avec un moule double

La conception du moule double permet de presser les carreaux avec des séparateurs et avec la face noble vers le haut. Comme nous l'avons déjà vu au chapitre 5, dans ce type de moule, les carreaux sont façonnés dans la matrice supérieure et ce sont donc les barrettes des poinçons supérieurs qui forment leurs profils latéraux. L'extraction du carreau des alvéoles supérieures s'effectue au moyen d'un système de pistons hydrauliques situé dans la partie supérieure.

Le moule double permet un réglage assez limité de l'épaisseur des carreaux. Dans la pratique, il dépend presque entièrement des caractéristiques constructives du moule. À cet égard, MACER a introduit des améliorations techniques qui permettent de faire varier l'épaisseur dans une fourchette de 3 mm.

Un mauvais réglage de la course des pistons d'extraction de la partie supérieure du moule double peut entraîner des irrégularités dans le profil des carreaux pressés. Les poinçons supérieurs doivent toujours avoir la même épaisseur pour éviter que le carreau pressé ne reste coincé dans l'alvéole supérieure et ne se casse lors de l'extraction (section 7.5.8). Il faut tenir compte du fait que les pistons d'extraction du moule double ont une course constante et que si l'on change l'épaisseur des poinçons, la position du carreau lors de l'extraction change.

En cas de pressage de carreaux dont l'**épaisseur est supérieure à celle permise par le moule**, une partie du profil latéral du carreau peut être façonnée par les barrettes inférieures (figure 7.17.a), ce qui implique des irrégularités dans le profil qui peuvent entraîner des coins cassés et parfois des ruptures lors de l'extraction.

Si l'**épaisseur est inférieure à celle permise par le moule**, le poinçon inférieur pénètre dans l'alvéole définie par les barrettes supérieures, c'est-à-dire, comme on le sait, là où le carreau est façonné (figure 7.17.b). Cela risque d'endommager le moule et d'entraîner également des irrégularités dans le profil, qui peuvent entraîner des coins cassés.

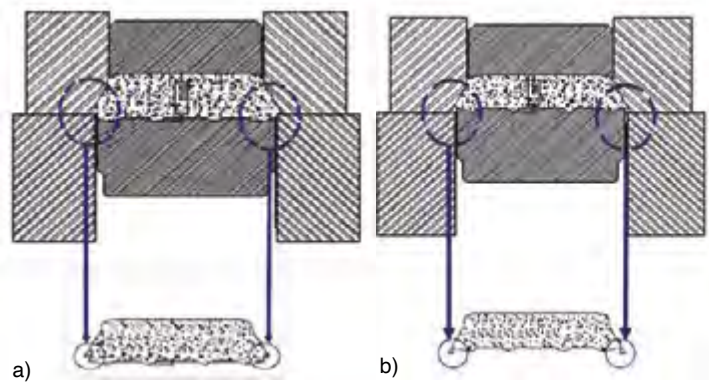


Figure 7.17.

Défauts résultant d'un mauvais réglage de l'épaisseur dans le moule double.

- a) Épaisseur réglée supérieure à celle autorisée.
- b) Épaisseur réglée inférieure à celle autorisée.

7.5.8. Rasages et casse.

Les rasages sont de petites cassures dans le biseau des carreaux causées par les frottements lors de l'étape d'extraction. Ces frottements peuvent être causés par un jeu inapproprié, un mauvais réglage du chauffage du moule ou une mauvaise extraction du carreau.

Si, au cours du cycle de pressage avec le moule pénétrant, la traverse mobile monte trop rapidement et n'est pas suivie par le système d'extraction, les carreaux peuvent commencer à se dilater à l'intérieur de l'alvéole, ce qui entraîne un défaut semblable au rasage, appelé « casse »^[25] du profil.

7.5.9. Ongles

Le défaut apparaît sur le bord des carreaux après la rectification et se présente sous la forme d'une petite fissure profonde et ascendante qui se propage sur tout le profil latéral du carreau. Ce défaut s'accroît dans les grands formats et peut compromettre l'intégrité des bords du carreau. Il peut être causé par une usure excessive des barrettes, c'est pourquoi il est recommandé d'utiliser des barrettes anti-usure pour en prévenir l'apparition.

En l'absence d'une étude rigoureuse sur ce problème caractéristique des carreaux rectifiés, il semble que le défaut soit lié à l'expansion après pressage. Ainsi, l'expérience de la production indique qu'il se manifeste plus fréquemment lorsqu'elle a des valeurs élevées, en particulier lorsque le pressage est effectué à des pressions élevées.

7.5.10. Défauts dus au décentrage du moule

Le montage du moule dans la presse (voir section 6.4) doit être effectué par des opérateurs qualifiés et avec une grande précision. En effet, de petites erreurs de réglage lors du montage peuvent entraîner des défauts importants dans les carreaux et risquent même d'endommager la machine.

Les paramètres les plus importants à vérifier lors du montage du moule sont le parfait centrage des éléments mobiles, à savoir les poinçons supérieurs et inférieurs, par rapport aux alvéoles, les jeux entre les poinçons et les barrettes et le parallélisme entre les poinçons supérieurs et inférieurs.

Un mauvais centrage du moule entraîne différents défauts en fonction du type de moule :

- Avec le **moule à miroir**, le décentrage des poinçons supérieurs entraîne le déplacement latéral des biseaux des carreaux, qui sont donc façonnés de manière asymétrique (figure 7.18).

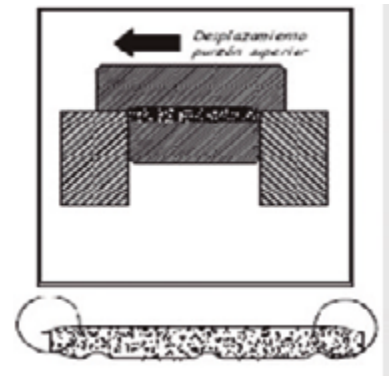


Figure 7.18. Défaut causé par un moule à miroir décentré

- Avec le **moule pénétrant** et le moule à miroir pénétrant, un mauvais centrage des poinçons supérieurs, voire leur usure, entraîne une désaération irrégulière car il y a des zones où l'air occlus a plus de mal à s'échapper, ce qui peut conduire à l'apparition de laminations et aussi de rayures dues au frottement sur le côté du carreau (figure 7.19). D'autre part, le décentrage du moule donne également lieu à des zones par lesquelles l'air est expulsé de préférence, ce qui peut aussi provoquer l'entraînement de particules et d'agglomérats, surtout les plus fins, et donc l'apparition d'un gradient de compacité qui crée des défauts dimensionnels tels que des lunettes ou des trapèzes, voire des fissures, surtout dans les produits monoporeux (voir section 7.6.4).
- Dans le **moule double** en revanche, une éventuelle installation décentrée n'entraîne jamais l'apparition de laminations, car le décentrage concernerait toute la partie supérieure, et pas seulement les poinçons. Si celui-ci se produit, il se manifeste par des frottements sur un côté des carreaux similaire à celui du moule pénétrant (figure 7.19).



Figure 7.19. Frottements latéraux causés par un moule décentré

7.6. FISSURES

Les fissures peuvent apparaître sur les carreaux de céramique pressée avant ou après leur passage dans le séchoir, ou se produire au cours des étapes suivantes de la fabrication, en particulier lors de la cuisson. Les causes peuvent être très diverses et même combinées.

Les types de fissures les plus fréquents liés à l'opération de pressage sont dus à une faible résistance mécanique et généralement causés par des chocs pendant le transport. Dans d'autres cas, des fissures apparaissent sur les bords supérieurs ou sur les côtés après l'extraction du moule. Elles sont liées à une expansion après pressage excessive ou à une régulation insuffisante de cette opération. Des fissures peuvent également apparaître dans l'émail en raison d'une distribution de l'humidité hétérogène dans la poudre.

7.6.1. Fissures causées par des chocs et dues à un compactage insuffisant

Une diminution de la pression de pressage ou une humidité insuffisante, résultant de l'alimentation des presses avec des fractions de poudre accidentellement plus sèches, ou d'un séchage partiel de la poudre contenue dans la trémie d'alimentation lors d'un arrêt de la presse, entraîne une diminution de la compacité des carreaux pressés et, par conséquent, une diminution de leur résistance mécanique. Si les carreaux à faible résistance mécanique subissent un choc latéral pendant les opérations d'émaillage ou pendant le transport ou le stockage, ils présenteront probablement des fissures près des angles (figure 7.20).

Dans ce cas, les fissures peuvent se produire principalement à la sortie ou à l'entrée du séchoir, lors de chocs occasionnels dans la ligne d'émaillage dus à une mauvaise régulation des vitesses des différentes sections, dans les machines de chargement des boxes ou à l'entrée du four. Si elles sont dues à des chocs à l'entrée du séchoir, elles sont facilement détectables en appliquant du gasoil ou du kérosène sur la pièce chaude à l'aide d'un pinceau (figure 7.21). Pour détecter les fissures à la sortie de la presse ou du séchoir, une autre méthode consiste à imprégner la zone de bleu de méthylène et à l'observer ensuite à l'aide d'une lumière ultraviolette.

Pour éviter ce type de fissures, il est primordial que la résistance mécanique à la flexion de la pâte soit adéquate (supérieure à 25 kg/cm²).

Souvent, les fissures de ce type sont accompagnées de coins cassés, défauts également causés par des chocs avant la cuisson.



Figure 7.20. Fissure causée par un choc (dans les pièces insuffisamment compactées)

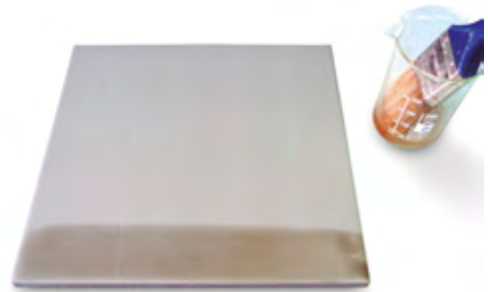


Figure 7.21. Procédure de détection des fissures à la sortie du séchoir

7.6.2. Fissures causées par un compactage hétérogène

Un compactage non uniforme dans les carreaux entraîne l'apparition des défauts de manque d'orthogonalité que nous avons décrits. D'autre part, des différences importantes de compacité dans des zones proches du carreau provoquent des tensions qui déterminent son comportement vis-à-vis des contraintes mécaniques et physiques qu'il subit après le pressage, ce qui peut faire apparaître des fissures, des craquelures, voire rompre le carreau, en particulier dans les produits monoporeux.

Un remplissage irrégulier des alvéoles, avec une répartition de la charge telle que les côtés sont plus remplis que le centre, conduit au pressage de carreaux présentant une zone centrale de faible compacité par rapport aux côtés, ce qui peut provoquer l'apparition d'une fissure centrale s'étendant vers les côtés du carreau (figure 7.22).



Figure 7.22. Fissure centrale due à la non-uniformité de la charge de l'alvéole

Dans les formats de type « fiche à fiche », de petites fissures localisées peuvent apparaître sur les angles très prononcés des bords^[56]. Cela s'explique par des différences de densité apparentes causées par des déficiences de charge résultant de la difficulté à remplir de façon homogène une alvéole aux profils irréguliers. La figure 7.23 montre ces différences de densité, mesurées à l'aide d'un appareil de mesure par absorption de RX DENSEXPLORER (voir annexe IV). Comme on peut le constater, les zones de moindre compacité sont situées sur les pointes et les différences entre les pointes et les angles sont importantes, ce qui conduit à des différences de contraction lors de la cuisson, indiquées par des flèches, et à l'apparition de contraintes à l'origine de fissures. Pour éviter ce problème, les formats de ce type doivent être conçus en réduisant légèrement



Figure 7.24. Microfissure dans la zone arrondie d'un format fiche à fiche

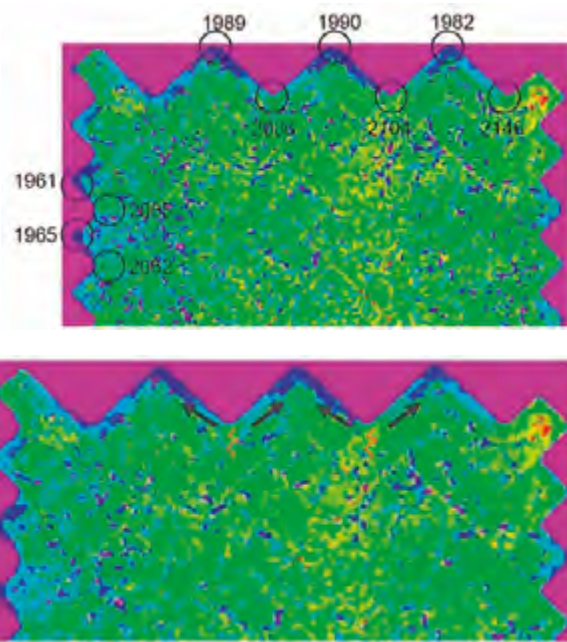


Figure 7.23. Les différences de densité apparente et les fissures qu'elles provoquent dans les profils d'un format « fiche à fiche » selon la référence^[56].

les angles et en leur donnant un petit rayon (une petite courbure). Cette action sur les angles les empêche d'agir comme un point d'accumulation de contraintes. Il faut toutefois noter que cela peut parfois ne pas résoudre complètement le problème si les différences de densité apparente sont très importantes (figure 7.24).

7.6.3. Fissures causées par des hétérogénéités dans la poudre

Si la poudre atomisée contient des granulés ou des agglomérats dont l'humidité est très différente des autres, ils peuvent provoquer de petites fissures sur la surface émaillée, en particulier si les granulés sont d'une taille supérieure à 750 μm ^[62].

Les granulés très humides ou très secs situés près de la surface du carreau formeront des zones de porosité inégale, car ils ont subi la même pression que les autres mais ont une teneur en humidité sensiblement différente. Ainsi, l'absorption de l'eau issue de l'émail sera inégale, et leur comportement lors de la cuisson sera également différent. Dans un cas comme dans l'autre, ces différences d'humidité provoquent des fissures superficielles dans la surface émaillée. Ainsi, par exemple, des granulés très humides près de la surface provoquent, après le pressage, des zones très localisées à faible porosité, et donc une faible absorption de l'eau de l'émaillage, qui sèche plus lentement, donnant lieu à des défauts de manque d'homogénéité dans l'étirement de l'émail et à des fissures.

S'il y a des granulés très secs près de la surface, se détachant probablement de l'atomiseur lui-même, des bandes et des godets ou des silos, ils provoqueront également l'apparition de fissures superficielles, dues dans ce cas à un manque de compactage^[62], ou de laminations.

Au cours du pressage, la présence de gros granulés de poudre atomisée, peu déformés, peut générer de petites microfissures qui pourraient être à l'origine de la rupture du carreau.

7.6.4. Fissures causées par une fuite de poudre

La « fuite de poudre » est la migration des particules fines vers la périphérie de l'alvéole au moment du pressage. Elle se manifeste par de petites fissures dans au milieu des côtés du carreau, orientées perpendiculairement au bord, appelées « peigne » ou « fissures de biseau » (figure 7.25). Ce phénomène peut se produire si la poudre atomisée contient des particules non agglomérées issues des cyclones, si elle est plus sèche ou si la taille des particules est très fine. Le défaut s'accroît en cas de vitesse excessive de la traverse mobile au moment du premier pressage (ou à un freinage insuffisant de celle-ci) et à un jeu excessif entre les poinçons supérieurs et les barrettes dû à l'usure de ces éléments. Les petites fissures apparaissent au milieu des côtés du carreau, car c'est la zone que la barrette peut ouvrir le plus. Lorsque ce défaut apparaît, il est conseillé de réduire la température de chauffage de la matrice.



Figure 7.25. Peigne ou fissures de biseau

7.7. LAMINATIONS

Le défaut connu sous le nom de lamination consiste en des couches ou des poches d'air coincé alternant avec des couches de matériau compacté (figures 7.26 et 7.27). Ce défaut est facilement détectable sur les carreaux à la sortie de la presse, bien qu'il puisse passer inaperçu lorsqu'il est de petites dimensions et devenir très net après la cuisson. Quoi qu'il en soit, il s'agit d'un défaut grave, car il invalide complètement le carreau.

Le défaut se produit lorsqu'il reste de l'air coincé dans la poudre et qu'il s'avère impossible de l'éliminer lors des étapes de premier pressage et de désaération du cycle, qui ont précisément cette fonction.

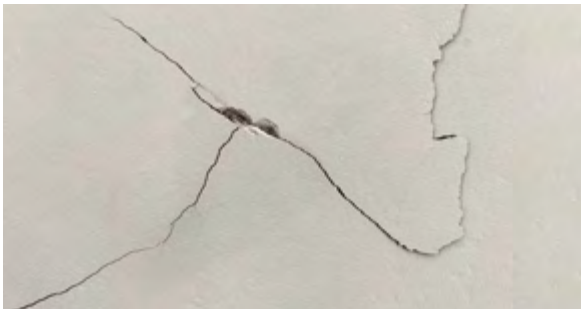


Figure 7.26. Lamination (surface du carreau)



Figure 7.27. Lamination (coupe)

Il s'agit d'un défaut très bien étudié et abondamment décrit^{[1] [9] [21] [22] [61] [62] [80]} où de nombreux facteurs sont impliqués. De nombreuses causes peuvent l'entraîner, bien qu'elles n'aient pas toutes le même poids et qu'elles ne soient pas toutes faciles à résoudre. Certaines causes se trouvent dans les caractéristiques physiques des poudres de pressage, telles que leur humidité et leur distribution granulométrique, que ce soit celle des particules primaires et des agrégats ou celle de la poudre atomisée, et d'autres dans leur composition et leur plasticité. Il est clair que ces facteurs doivent être pris en compte au stade du développement du produit, car une fois la production lancée, le problème est difficile à résoudre.

Toutes ces causes sont décrites dans la bibliographie citée et le lecteur peut en trouver un résumé ici^[49]. Dans ce livre, nous nous concentrerons en revanche sur les causes qui affectent directement le moule ou indirectement au cours du cycle de pressage.

Au cours du cycle de pressage, le premier pressage et la désaération visent à évacuer le plus d'air possible et doivent être effectués de manière à permettre cette évacuation, même si c'est souvent au prix d'une légère augmentation de la durée du cycle (et donc d'une diminution de la production). La presse doit être dotée de mécanismes de régulation et de contrôle qui permettent d'intervenir facilement sur le cycle de pressage sans pour autant compromettre la qualité. Le moule joue également un rôle important, car **il doit disposer de suffisamment de canaux d'évacuation de l'air** pour que cette opération puisse être réalisée rapidement.

7.7.1. Influence du cycle de pressage

L'objectif du premier pressage est d'évacuer autant d'air que possible du lit de poudre. Pour ce faire, la densité de remplissage doit être élevée afin que la quantité d'air à extraire soit la plus faible possible, et le premier pressage et la désaération doivent être effectués de manière à permettre cette évacuation.

Comme nous l'avons expliqué au chapitre 5, le premier pressage doit être effectué à basse pression, généralement entre 20 et 50 bars, afin que le carreau soit suffisamment perméable pour permettre la diffusion de l'air. Il faut éviter un impact trop fort des poinçons sur le lit de poudre ; dans ce but, on effectue généralement un freinage de la traverse mobile avant l'impact et, en général, on réalise le pressage directement avec la pression du circuit et avec un temps suffisant pour faciliter l'évacuation de l'air. Après le premier pressage, une légère montée de la traverse mobile permet d'extraire l'air (étape de désaération). Une durée trop courte de cette étape ou un espace insuffisant entre les poinçons et les barrettes peuvent donner lieu à des laminations.

D'autre part, un mauvais réglage de la montée de la traverse mobile après le premier pressage peut également provoquer des laminations sur les carreaux. En effet, si la montée est excessive, les poinçons peuvent emprisonner de l'air et le repousser dans l'alvéole.

Naturellement, une durée trop courte du premier pressage peut également entraîner des laminations, car cela rend plus difficile la désaération de la poudre.

À titre indicatif, on peut dire que le temps de désaération d'un cycle standard pour les formats moyens peut être d'environ 300 ms, bien qu'il puisse varier en fonction du format. En effet, plus celui-ci est grand, plus le volume d'air qui doit être éliminé est important. Bien entendu, cela dépend également du type de moule utilisé, car la désaération est plus facile avec les moules pénétrants et à miroir pénétrants qu'avec les moules à façonnage supérieur. Lorsque des problèmes de lamination surviennent en raison de la difficulté d'évacuer l'air en phase de désaération, on peut augmenter la durée de cette étape

jusqu'à 700 ms^[82]. Cependant, comme nous l'avons répété plusieurs fois, il convient de noter que cela entraîne une augmentation de la durée du cycle de pressage et, par conséquent, une diminution de la production.

Dans certaines presses anciennes de petit tonnage, on effectue la montée de la traverse mobile après le premier pressage au moyen d'amortisseurs, de sorte qu'en cas de problèmes de désaération, il faut les régler correctement.

7.7.2. Influence du moule

Dans les **moules pénétrant**, l'air est évacué par le jeu entre les poinçons supérieurs et les barrettes. L'espace doit donc être suffisamment grand pour permettre une bonne évacuation, mais pas au point de provoquer des ébarbures et des repressés. Par conséquent, un mauvais centrage des poinçons ou une mauvaise régulation du chauffage du moule peut entraîner des laminations, car il crée des désaérations préférentielles là où le jeu est important, tout en entravant la désaération dans les zones où il y a peu de jeu. Logiquement, les laminations apparaissent à proximité des zones où le jeu est moins important entre la barrette et le poinçon.

Dans le **moule double**, la désaération s'effectue sur tout le périmètre des carreaux entre les rainures des barrettes supérieures et inférieures et à travers les espaces entre les poinçons et les barrettes (figure 5.15). Cela constitue une étape un peu plus complexe du cycle de pressage. Cela s'explique en partie par le fait que ces moules sont généralement utilisés pour presser de grands formats et qu'il y a donc une plus grande quantité d'air à extraire. Mais cela est principalement dû au fait que la conception fermée du moule, avec deux matrices et le façonnage dans la partie supérieure, rend difficile la construction de canaux d'aération adéquats. MACER a amélioré la désaération de ses moules à façonnage supérieur en y installant des butées, de sorte que, lors du pressage, le contact entre les éléments supérieurs et inférieurs du moule s'effectue au niveau des butées et non entre les barrettes.

En chauffant le moule, il est possible de réguler et de modifier les espaces entre les poinçons et les barrettes, et donc d'agir sur la désaération. Lorsque le moule est neuf, ou dans les moules peu usés, s'il y a un problème de lamination, on chauffe la matrice et on maintient la température des poinçons pour améliorer la désaération en augmentant le jeu. Au fur et à mesure que l'usure des éléments soumis à une plus grande abrasion augmente, tels que les poinçons et les barrettes, on maintient, voire on réduit la température de la matrice en augmentant celle des poinçons pour atténuer partiellement l'usure de ces composants. Cependant, si cette opération est mal effectuée, elle peut provoquer des laminations car elle entrave l'évacuation de l'air.

Souvent, en cas de problèmes de lamination, on réduit la température des poinçons pour augmenter légèrement le jeu, ce qui facilite la désaération. Toutefois, il convient de noter que cela peut faciliter l'apparition d'ébarbures et peut également entraîner des repressés dans les moules pénétrants ou à miroir pénétrants inversés, comme nous l'avons déjà indiqué.

7.8. CALIBRES

Le « calibre » est une désignation commerciale qui définit un lot d'un certain format, caractérisé par le fait que l'ensemble des carreaux qui le composent ont les mêmes dimensions réelles, dans certaines limites acceptées.

Pour définir le lot ou calibre, il est nécessaire de fixer les limites des dimensions des carreaux ou les tolérances supérieures et inférieures qui font qu'on les considère comme appartenant à un même calibre. L'écart maximal accepté entre la taille supérieure et la taille inférieure ou « tolérance de calibre » est spécifiée dans la norme UNE-EN 14411:2016 comme étant de 0,6 % du côté, bien que son respect soit facultatif. Dans la pratique, cette tolérance est plus stricte et est décidée par l'entreprise elle-même en fonction de considérations commerciales et techniques ou de la politique de qualité. Elle est généralement de l'ordre de 0,15 %, ce qui représente de 0,5 à 1 mm en fonction du format. Les carreaux dont les différences de taille réelle sont supérieures à la tolérance établie sont considérés et classés dans des calibres différents.

La production de calibres est liée à la variation de contraction linéaire des carreaux ou à des différences de températures ou de cycles de cuisson. Elle peut provenir des opérations de pressage et/ou de cuisson (tableau 7.2).

Lorsque l'**origine** des **calibres** se trouve dans le pressage, cela peut être dû à un mauvais chargement ou à un mauvais nivellement des alvéoles, et cela s'accompagne parfois de trapèzes. Cela peut également être dû à d'autres types de non-conformités, notamment des salissures sous l'un des plateaux, des poinçons mal montés, une rupture du soufflet, etc. Si l'origine de la production simultanée de calibres se situe dans la presse, il est probable qu'il y ait un lien entre les plateaux de la presse et les calibres et il sera donc relativement facile de vérifier s'il existe une prédominance de carreaux provenant d'un ou de plusieurs plateaux de la presse avec un calibre particulier, ce qui contribuera sans aucun doute à résoudre le problème.

Cependant, la plupart des carreaux ayant des calibres différents de ceux que l'on souhaite fabriquer sont produits non pas simultanément, mais au cours du temps de production d'un format et d'un modèle, en raison de la variabilité du processus, incapable, lorsque cela arrive, de maintenir les dimensions finales de tous les carreaux au sein d'un même calibre.

Origine	Production de carreaux de différents calibres	Cause
Pressage	Les carreaux de différents calibres sont produits simultanément.	Chargement défectueux des alvéoles entraînant des différences de compacité. Cela peut s'accompagner de défauts de trapèze.
	Les carreaux de différents calibres sont produits tout au long de la production d'un format.	Grande variabilité du processus entraînant des différences de compacité entre les carreaux.
Cuisson	Les carreaux de différents calibres sont produits simultanément.	Différences de température de cuisson, de temps de séjour ou de gradients transversaux de températures (grès à pâte rouge et à pâte blanche). Différences dans le cycle de cuisson, dans l'étape de chauffage, entre 800 et 950 °C (revêtements muraux).
	Les carreaux de différents calibres sont produits tout au long de la production d'un format.	Grande variabilité du processus (revêtements muraux et grès).

Tableau 7.2. Causes de la production de calibres différents

Annexes



PELIGRO RADIACIÓN /
X-RAY HAZARD

Do not touch the probe. Do not touch the probe. Do not touch the probe. Do not touch the probe.



macer



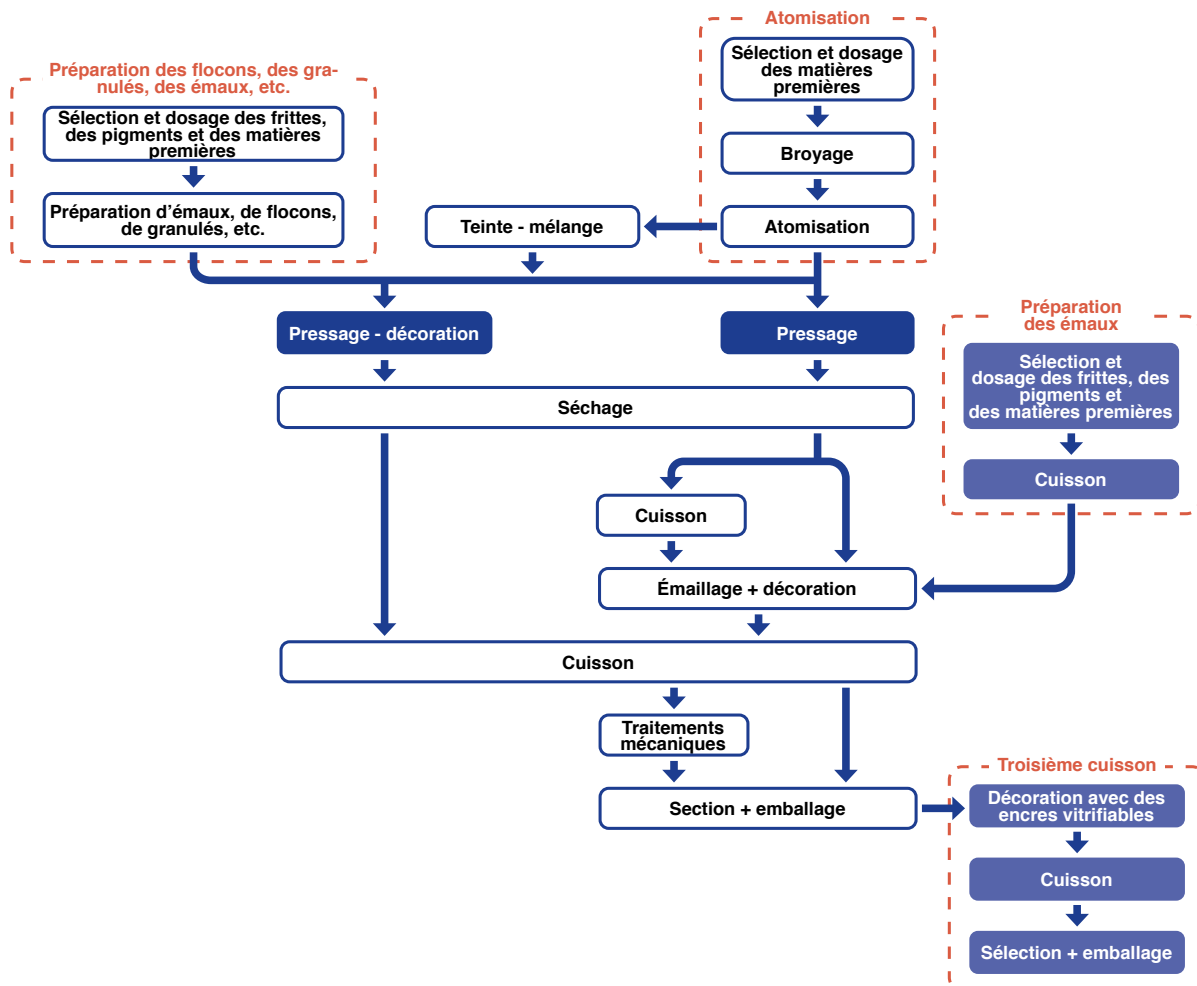
PRECAUCIÓN / CAUTION:

WARNING: Do not touch the probe. Do not touch the probe. Do not touch the probe.

DENSEXPLORER

ANNEXE I.

Processus de fabrication de carreaux et de plaques de céramique



ANNEXE II.

Techniques de façonnage des produits en céramique

Il existe différentes techniques de formage des produits céramiques, caractérisées par une technologie similaire et un ensemble commun de variables de processus, basées sur des principes analogues. Ces techniques sont classées en fonction de la quantité d'eau utilisée pour préparer la pâte.

Certains matériaux sont façonnés par une combinaison de différentes techniques : par exemple, certains types de tuiles sont fabriqués par extrusion de feuilles plates que l'on met en forme par pressage humide. Quant aux isolants électriques, ils sont fabriqués par extrusion de cylindres qui sont coupés aux dimensions requises et mis en forme par calibrage.

État.	% d'eau	Techniques de façonnage	Certains produits obtenus
Semi-sec	5 à 10	Pressage unidirectionnel.	Carreaux. Plaques de céramique. Plaques de matériau réfractaire. Assiettes et plateaux.
		Pressage isostatique.	Céramiques avancées.
Plastique.	15 à 20	Moulage manuel ou semi-automatique.	Poterie.
		Extrusion.	Matériaux de construction.
		Calibrage.	Isolants électriques. Vaisselle.
		Pressage humide.	Tuiles.
Suspension.	30 à 50	Coulage.	Décoration et ornementation. Vaisselle. Sanitaires. Céramiques avancées et à usage technique et de laboratoire.

Tableau II. 1. Techniques de façonnage

ANNEXE III. Essais de dureté.

Définition :

La dureté est une mesure de la résistance d'un matériau à une déformation permanente sur sa surface.

Il est donc entendu que la dureté est une propriété de la couche superficielle d'un matériau et non une propriété caractéristique du matériau.

Mesure :

Il existe différentes méthodes pour mesurer la dureté des matériaux. Elles consistent toutes à produire une déformation locale sur la surface du matériau par l'intermédiaire d'un pénétrateur appliqué avec une certaine charge. En d'autres termes, dans tous les cas, on applique une charge connue sur la surface du matériau et on mesure la déformation permanente qu'elle provoque. Les valeurs de dureté obtenues dépendent de la charge, du type de pénétrateur, de ses dimensions et du temps d'application de la charge, de sorte que les valeurs obtenues doivent toujours être accompagnées d'une indication de la méthode utilisée et des conditions d'essai.

Les essais de dureté peuvent être classés en deux groupes principaux, les essais statiques et les essais dynamiques (tableau III. 1).

Tous les essais statiques montrent que la dureté d'un matériau est inversement proportionnelle aux dimensions de l'empreinte laissée à sa surface lorsqu'on y applique une force de déformation.

Le pénétrateur utilisé pour l'essai doit avoir une dureté supérieure à celle du matériau testé et ne doit subir aucune déformation.

Type d'essai	Description	Essais
Statiques	La charge est appliquée de manière statique. Un pénétrateur exerce une pression sur la surface du matériau en appliquant une charge relativement lente. La mesure de la dureté résulte du quotient de la charge appliquée et de la surface de l'empreinte laissée par le pénétrateur sur la surface ou de la mesure de la profondeur de l'indentation.	Brinell. Vickers. Knoop. Rockwell.
Dynamiques	La charge est appliquée sous forme d'impact. Un pénétrateur d'une énergie connue est lancé sur la surface à tester et l'énergie de rebond après l'impact est mesurée.	Shore. Leeb.

Tableau III. 1 Classification des essais de dureté

Essais de mesure.

(a) Dureté Brinell

L'essai fait l'objet de normes. Normes UNE-EN ISO 6506-1:2015 et ASTM E 10-78. On utilise un duromètre et les valeurs sont exprimées sur une échelle telle que **BHN**.

On applique une charge **P** en utilisant comme pénétrateur une bille d'acier très dure dont on connaît

Moules pour le pressage de carreaux de céramique

le diamètre (**D**) pendant un temps *t*. Le pénétrateur laisse dans le matériau une empreinte en forme de calotte sphérique, dont la mesure permet de déterminer la dureté du matériau (figure III. 1).

La taille de la bille est choisie en fonction de l'épaisseur de l'échantillon à analyser. Et la valeur de la charge à appliquer dans l'essai (**P**) est déterminée en fonction du diamètre de la bille (**D**), en tenant compte des limites dans lesquelles la déformation de la bille sous l'action de la charge n'a pas d'influence sur le résultat obtenu. L'expression est $P = k \cdot D^2$. Les valeurs de *k* sont indiquées dans le tableau, de sorte que pour les fers et les aciers *k* = 30, la charge appliquée pour des billes de 10 mm est donc de 3000 kg. Le tableau suivant indique les valeurs de la charge à appliquer pour les fers et les aciers et le diamètre de la bille, en fonction de l'épaisseur (**e**) de l'échantillon à tester.

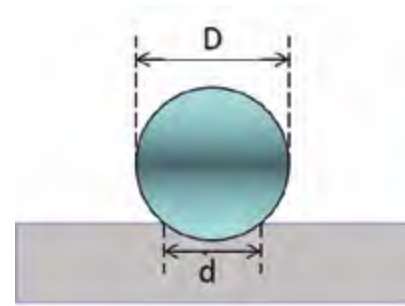


Figure III. 1. Essai de dureté Brinell (schéma)

Épaisseur de l'échantillon (mm)	Diamètre de la bille (mm)	Charge à appliquer (kg) (fers et aciers <i>k</i> =30)
Plus de 6 mm	10	3000
Entre 3 et 6 mm	5	750
Moins de 3 mm	2,5	187,5
	1,25	46,9
	0,625	11,7

Tableau III. 2. Essai de dureté Brinell. Paramètres

On obtient la valeur de dureté (nombre **HB**) simplement en divisant la charge par la surface de l'empreinte qui, s'agissant d'une calotte sphérique, peut être déterminée à partir de la mesure du diamètre de la bille (**D**) et de sa hauteur, qui est la profondeur de l'empreinte (**h**) :

$$HB = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h}$$

La hauteur de pénétration peut être définie en fonction du diamètre de la bille (**D**) et du diamètre de la base de la calotte sphérique (**d**), ce qui donne l'expression suivante :

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Les deux formules sont équivalentes, la première mesurant la profondeur d'indentation (**h**) et la seconde le diamètre de l'empreinte (**d**), bien qu'il soit préférable d'utiliser la seconde car la mesure de **d** est beaucoup plus fiable que celle de **h**. Pour les mesures dimensionnelles, une précision de 0,01 mm est requise.

Le temps d'application de la charge (**t**) peut également avoir une influence sur le résultat de l'essai. Dans les mesures de l'acier, il est généralement compris entre 15 et 30 secondes.

Certains duromètres modernes sont équipés de systèmes électroniques qui déterminent directement la valeur de dureté sans avoir recours à des mesures ou à des tableaux.

Dans la pratique, on peut utiliser des tableaux ou des programmes de calcul où il suffit d'introduire l'une de ces données pour obtenir le nombre Brinell.

Dans l'expression du résultat, la dureté Brinell doit être accompagnée des conditions d'essai, c'est-à-dire le diamètre du pénétrateur (**D**), la charge appliquée (**P**) et le temps d'application (**t**), comme suit : « **HB_{D,P,t}** ».

(b) Dureté Vickers

Cet essai est recommandé pour les matériaux très durs. La procédure utilisée est semblable à celle que nous avons vue pour la dureté Brinell, mais ici, on utilise une petite charge et le pénétrateur est une pyramide régulière en diamant avec une base carrée dont les faces latérales forment un angle de 136 °. Lors de la pénétration de l'indenteur dans l'échantillon, celui-ci doit laisser une empreinte carrée sur le matériau.

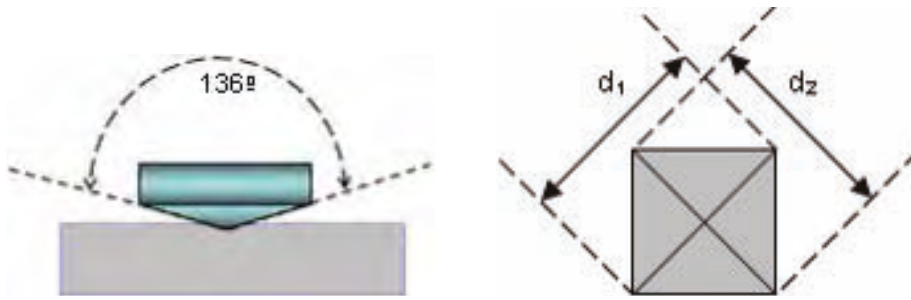


Figure III. 2. Essai de dureté Vickers (schéma)

Parmi les paramètres d'essai de référence, on utilise généralement une charge de 30 kg, appliquée pendant 15 secondes. Une fois l'essai réalisé, on mesure les diagonales (**d₁** et **d₂**) de l'empreinte carrée obtenue sur la surface de l'échantillon testé.

Pour calculer la dureté Vickers (HV) on applique l'expression :

$$HV = \frac{1,854 \cdot F}{d^2}$$

Lors de la mesure de **d₁** et **d₂**, une précision de ±0,001 mm est requise et la valeur de **d** est la moyenne des deux diagonales.

Les charges peuvent varier de 1 à 100 kg en fonction de l'épaisseur et du type de matériau. En général, celles de 30 et 50 kg sont les plus utilisées.

La charge utilisée doit être indiquée dans l'expression des résultats. Par exemple, si l'on a utilisé une charge de 30 kg et obtenu une dureté de 570, celle-ci doit être exprimée ainsi : **570 HV 30**.

L'essai de dureté Vickers donne des valeurs similaires à celles de Brinell pour les matériaux allant jusqu'à 300 HB (voir le tableau à la fin de cette annexe). Cette méthode est considérée comme plus précise que celle de Brinell en raison de la plus faible déformabilité du pénétrateur.

(c) Dureté Rockwell

C'est la méthode la plus utilisée, car elle est considérée comme plus facile à réaliser que les essais Vickers et Brinell, tout en convenant à tous les types de matériaux. Les charges sont moins importantes et les pénétrateurs utilisés sont plus petits, de sorte que l'empreinte causée dans le matériau est inférieure et moins profonde. Il s'agit d'une procédure d'essai normalisée (norme ASTM E-18).

Elle est également basée sur la mesure de la profondeur de pénétration d'un pénétrateur ou d'un indenteur dans l'échantillon sous l'action d'une charge prédéterminée. Les valeurs déterminées sont exprimées sur une échelle HR.

On utilise deux types de pénétrateurs en fonction de la dureté du matériau à tester :

- Pour les matériaux durs ($HB > 200$), on utilise un diamant conique de 120° avec une pointe arrondie et un rayon de $0,20 \pm 0,01$ mm.
- Pour les matériaux tendres ($HB < 200$), on utilise une bille en acier trempé. Selon le type de matériau à tester, on peut utiliser des billes de $1/8"$, $1/16"$, $1/2"$ et $1/4"$ de diamètre.

La procédure d'essai avec un duromètre de laboratoire est la suivante : l'échantillon est soulevé jusqu'à ce qu'il touche le pénétrateur, générant une charge initiale de 10 kg qui produit une petite déformation (point **a** dans la figure III. 3). À ce stade, l'appareil est alors remis à zéro et une deuxième charge de 50, 60, 90 ou 140 kg est appliquée, en fonction du matériau à tester. Lorsque l'on applique la charge supplémentaire, le matériau s'écoule plastiquement, ce qui entraîne une pénétration totale **b**. Ensuite, on retire la charge supplémentaire, ce qui permet la reprise élastique du matériau, donnant lieu à une pénétration finale **c**. Lorsque la charge cesse, on lit la valeur de la dureté sur l'indicateur de l'équipement, celle-ci dépendant directement de la distance **a-c** (figure III. 3).

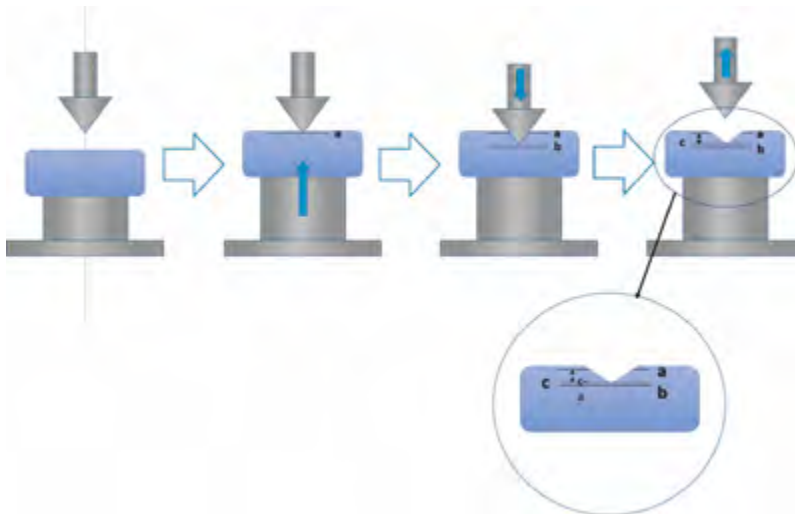


Figure III. 3. Procédure de mesure de la dureté Rockwell

Les résultats obtenus sont exprimés sur différentes échelles, en fonction du type de pénétrateur utilisé et de la charge appliquée.

Échelle	Indenteur	Charge (kgf)	Applications
A	Diamant	60	Aciers traités et non traités. Matériaux très durs. Tôles dures et minces.
B	Sphère de 1/16"	100	Aciers recuits et normalisés.
C	Diamant	150	Aciers traités thermiquement.
D	Diamant	100	Aciers cimentés.
E	Sphère de 1/8"	100	Métaux tendres et antifriction.
F	Sphère de 1/16"	60	Bronze recuit.
G	Sphère de 1/16"	150	
H	Sphère de 1/8"	60	
K	Sphère de 1/8"	150	

Source : <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>

Tableau III. 3. Essai de dureté Rockwell. Paramètres



Figure III. 4. Essai de dureté Rockwell (schéma)

Résumé des essais

Le tableau III. 4 propose un résumé schématique des essais de dureté Brinell, Vickers et Rockwell.

Essai.	Pénétrateur.		Charge.	Formule pour déterminer l'indice de dureté.	Commentaires.
Brinell.	Sphère de 10 mm de diamètre en acier ou en carbure de tungstène.		D	$BHN = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$	Peu précis pour les matériaux durs, mais procédure très simple.
Vickers.	Pyramide en diamant.		D	$VHN = \frac{1,72P}{d_1^2}$	Recommandé pour les matériaux très durs.
Rockwell.	Cône en diamant.	A	60 kg	$R_{(A,C,D)} = 100 - 500 \cdot t$	Il s'agit de l'essai le plus répandu car il permet d'obtenir la dureté par mesure directe et convient à tous les types de matériaux. Il est généralement considéré comme un essai non destructif en raison de la petite taille de l'empreinte.
		C	150 kg		
		D	100 kg		
	Bille d'acier de 1/16" de diamètre.	B	100 kg	$R_{(B,F,G,E)} = 130 - 500 \cdot t$	
		F	60 kg		
		G	150 kg		
	Bille d'acier de 1/8" de diamètre.	E	100 kg		

Tableau III. 4. Essais de dureté

Moules pour le pressage de carreaux de céramique

Le tableau suivant montre la relation approximative entre la dureté et la résistance à la traction.

Rockwell			Vickers	Brinell		Résistance à la traction
HRB	HRC	HR 15 N	HV	P = 3000 kg D = 10 mm	HB	N/mm ²
52,0			95	6,15	90,2	305
56,2			100	6,00	95,0	320
			105	5,90	99,8	335
62,3			110	5,75	105	350
			115	5,65	109	370
66,7			120	5,55	114	385
			125	5,45	119	400
71,2			130	5,35	124	415
			135	5,25	128	430
75,0			140	5,15	133	450
			145	5,10	138	465
78,7			150	5,00	143	480
			155	4,95	147	495
81,7			160	4,85	152	510
			165	4,80	156	530
85,0			170	4,72	162	545
			175	4,65	166	560
87,1			180	4,59	171	575
			185	5,53	176	595
89,5			190	4,47	181	610
			195	4,42	185	625
91,5			200	4,37	190	640
92,5			205	4,32	195	660
93,5			210	4,27	199	675
94,0			215	4,22	204	690
95,0			220	4,19	209	705
96,0			225	4,13	214	720
96,7			230	4,08	219	740
			235	4,05	223	755
98,1	20,3	69,6	240	4,00	228	770
	21,3	70,1	245	3,96	233	785
99,5	22,2	70,5	250	3,92	238	800
	23,1	71,1	255	3,90	242	820
(101)	24,0	71,6	260	3,86	245	835
	24,8	72,1	265	3,82	252	850
(102)	25,6	72,5	270	3,78	257	865
	26,4	73,0	275	3,75	261	880
(104)	27,1	73,4	280	3,72	266	900
	27,8	73,8	285	3,68	271	915
(105)	28,5	74,2	290	3,66	276	930
	29,2	74,5	295	3,63	280	950
	29,8	74,9	300	3,60	285	965
	31,0	75,6	310	3,54	295	995
	32,2	76,2	320	3,49	304	1030
	33,3	76,8	330	3,44	314	1060
	34,4	77,4	340	3,39	322	1095
	35,5	78,0	350	3,34	333	1125
	36,6	78,6	360	3,30	330	1155
	37,7	79,2	370	3,25	352	1190
	38,8	79,8	380	3,21	361	1220
	39,8	80,3	390	3,17	371	1255

Rockwell			Vickers	Brinell		Résistance à la traction
HRB	HRC	HR 15 N	HV	P = 3000 kg D = 10 mm	HB	N/mm ²
	40,8	80,8	400	3,13	380	1290
	41,8	81,4	410	3,09	390	1320
	42,7	81,8	420	3,06	399	1350
	43,6	82,3	430	3,02	409	1385
	44,5	82,8	440	2,99	418	1420
	45,3	83,2	450	2,95	428	1455
	31,0	75,6	310	3,54	295	995
	32,2	76,2	320	3,49	304	1030
	33,3	76,8	330	3,44	314	1060
	46,1	83,6	460	2,92	437	1485
	46,9	83,9	470	2,89	447	1520
	47,7	84,3	480	2,87	(456)	1555
	48,4	84,7	490	2,84	(466)	1595
	49,1	85,0	500	2,81	(475)	1630
	49,8	85,4	510	2,78	(485)	1665
	50,5	85,7	520	2,76	(494)	1700
	51,1	86,0	530	2,73	(504)	1740
	51,7	86,3	540	2,70	(513)	1775
	52,3	86,6	550	2,68	(523)	1810
	53,0	86,9	560	2,66	(532)	1845
	53,6	87,2	570	2,63	(542)	1880
	54,1	87,5	580	2,61	(551)	1920
	54,7	87,8	590	2,59	(561)	1955
	55,2	88,0	600	2,57	(570)	1995
	55,7	88,2	610	2,54	(580)	2030
	56,3	88,5	620	2,52	(589)	2070
	56,8	88,8	630	2,50	(599)	2105
	57,3	89,0	640		(608)	2145
	57,8	89,2	650		(618)	2180
	58,3	89,5	660			
	58,8	89,7	670			
	59,2	89,8	680			
	59,7	90,1	690			
	60,1	90,3	700			
	61,0	90,7	720			
	61,8	91,0	740			
	62,5	91,2	760			
	63,3	91,5	780			
	64,0	91,8	800			
	64,7	92,1	820			
	65,3	92,3	840			
	65,9	92,5	860			
	66,4	92,7	880			
	67,0	92,9	900			
	67,5	93,0	920			
	68,0	93,2	940			

Remarque : Les valeurs entre parenthèses indiquent des valeurs de dureté hors de la zone définie dans l'essai normalisé.
Source : RAZYA. <https://www.ayzar.com/calidad-pdf/TABLA%20dureza%20-%20resistencia%20RAZYA.pdf>

Tableau III. 5. Relation entre la résistance à la traction et les valeurs de dureté Rockwell, Brinell et Vickers

ANNEXE IV.

Mesure de la compacité par absorption de RX. DENSEXPLORER

Compacité et densité apparente

La **compacité** (Φ) est définie comme la relation entre le volume réel occupé par le solide

(V_s) et le volume apparent (V_a), de sorte que

$$\Phi = \frac{V_s}{V_a}$$

et ses valeurs varient également entre 0 et 1

$$0 < \Phi \leq 1$$

La compacité est une propriété importante des carreaux pressés car elle est liée à leur comportement dans les étapes ultérieures du processus de production, en particulier la cuisson, ainsi qu'aux propriétés et aux caractéristiques qualitatives du produit fini. Toutefois, compte tenu de la complexité qu'implique son contrôle industriel, il est courant de déterminer expérimentalement un autre paramètre qui lui est directement lié et qui est plus facile à mesurer. Il s'agit de la **densité apparente sèche** (ρ_a), qui est définie comme le quotient entre le poids d'une pièce sèche (w_s) et le volume qu'elle occupe, ou volume apparent (V_a).

$$\rho_a = \frac{w_s}{V_a}$$

Il est donc facile de déduire que

$$\Phi = \frac{\rho_a}{\rho_s}$$

Expression où ρ_s est le poids spécifique du solide et qui relie la compacité à la densité apparente.

Procédures de mesure de la densité apparente

Le contrôle industriel de la compacité est d'une grande importance étant donné l'influence de ce paramètre sur le développement des opérations de fabrication et sur la qualité des carreaux cuits. Comme tous ceux qui sont effectués sur le site industriel, ce contrôle doit être simple, rapide, fiable, raisonnablement économique, sans danger pour la santé, respectueux de l'environnement, et facile à réaliser et à interpréter. Au niveau industriel, on privilégie la mesure indirecte de la compacité en raison de sa simplicité, de sa rapidité et de son coût, en déterminant la densité apparente, avant ou après le séchoir, puisque, comme nous l'avons vu, il existe une relation directe entre la compacité et la densité apparente à l'état sec, par le biais du poids spécifique de la poudre de pressage.

Les méthodes de mesure de la densité apparente sont généralement divisées en trois groupes^[38] : la mesure d'une propriété directement liée à la densité apparente, la mesure du volume des pores et la mesure séparée de la masse et du volume de la pièce. Le lecteur trouvera ici^[49] une description de chacune de ces techniques de mesure, la mesure de la densité apparente par immersion dans le mercure étant la plus utilisée jusqu'à une date relativement récente. Cependant, cette technique développée et brevetée par l'association espagnole de recherche des industries céramiques (AICE)^{[19][39]}, bien que rapide, fiable et économique, présente l'inconvénient d'utiliser du mercure, qui est hautement toxique.

De nombreuses tentatives se sont donc succédé pour développer une technique alternative.

Mesure de la densité apparente par absorption de RX : DENSEXPLORER

L'institut de technologie céramique (ITC) a publié plusieurs ouvrages^{[10] [16] [46]} où il a mis au point une méthode de mesure de la densité apparente des échantillons et des carreaux de céramique par absorption de RX. Sur la base de ces travaux, et suite à la collaboration entre l'ITC, MULTISCAN et MACER, un équipement industriel (DENSEXPLORER) a été mis au point pour permettre la mesure rapide de la densité apparente et la construction de cartes de densité apparente par absorption de rayons X^[10]. Il convient à une utilisation dans un site industriel (figure IV.1).



Figure IV. 1. Équipement de mesure de la densité apparente par absorption de rayons X

Les principaux éléments de l'équipement^[58] sont un système générateur de rayons X, deux télémètres laser, un capteur linéaire de rayons X qui crée une image à partir du signal de rayons X qu'il reçoit, et un système de transport pour le déplacement des carreaux lors de l'opération de mesure, constitué d'une bande lisse en PVC actionnée par un servomoteur.

La figure IV. 2 présente un schéma^[63] avec tous les composants de l'équipement et leur emplacement, tandis que le tableau IV. 1 en donne une brève description.

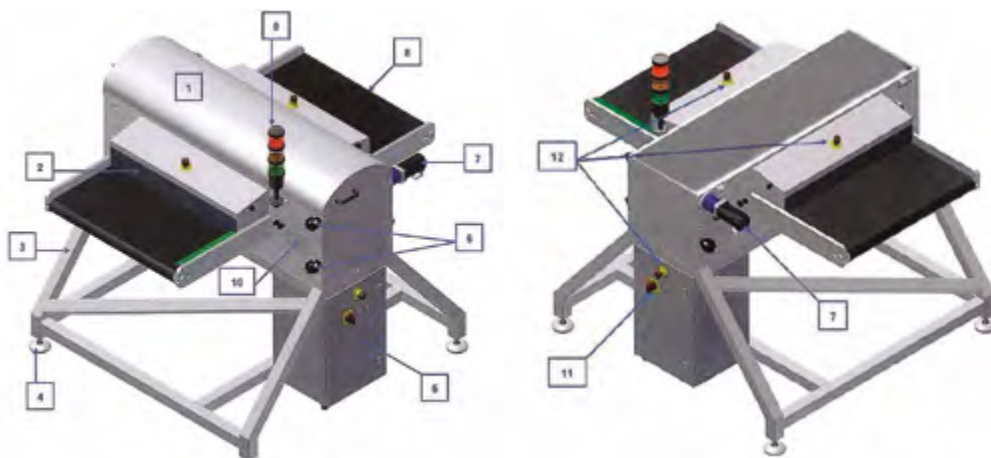


Figure IV. 2. Composants d'un équipement de mesure de la densité apparente par RX DENSEXPLORER
Source : MULTISCAN TECHNOLOGIES

Moules pour le pressage de carreaux de céramique

N° (fig. IV. 3.)	Composant	Description/Fonction
1	Zone de contrôle	Cet espace abrite le système générateur de RX, les télémètres laser, le capteur linéaire de RX et le système de transmission du mouvement.
2	Rideaux anti-ondes	Il s'agit d'éléments de sécurité situés à l'entrée et à la sortie de la zone de contrôle. Leur mission est de contenir le rayonnement dispersé.
3	Support	
4	Supports pour les pieds	Ils sont réglables pour faciliter la mise à niveau de l'équipement.
5	Panneau de contrôle	Il comprend un bouton d'arrêt d'urgence, la clé d'autorisation d'émission de RX, un voyant lumineux de tension et l'interrupteur principal.
6	Roulements	Ils permettent la rotation des arbres de transmission de mouvement du générateur RX et de la bande transporteuse.
7	Servomoteurs	Ils agissent sur les systèmes de transmission de mouvement de la bande.
8	Bande transporteuse	Bande lisse en PVC entraînée par un servomoteur pour faire entrer et sortir les carreaux de la zone de contrôle.
9	Balise lumineuse	Il s'agit d'un voyant lumineux avec un code de couleurs qui fournit des informations sur l'état de l'équipement à tout moment.
10	Plaque signalétique	Fournit des informations sur les caractéristiques techniques de l'équipement.
11	Interrupteur général	Situé sur le panneau de contrôle.
--	Clé d'autorisation d'émission de RX	L'équipement ne peut émettre des radiations que si cette clé active le dispositif d'émission. Cette clé doit toujours être en possession de la personne responsable de l'équipement.
12	Boutons d'arrêt d'urgence	Utilisés pour verrouiller complètement l'équipement en cas d'urgence.
--	Photodiode	C'est le capteur qui reçoit le rayonnement après qu'il a traversé le carreau mesuré. Il transmet ces informations à l'ordinateur.
--	Télémètres laser	L'équipement comporte deux télémètres laser qui mesurent l'épaisseur à chaque point de mesure des carreaux. L'épaisseur en chaque point (e) est obtenue en déduisant de la distance entre les deux télémètres (L), que l'on connaît, la somme des distances mesurées par les deux lasers (x1 et x2) aux surfaces correspondantes du carreau (figure IV. 3).
--	Protections en plomb	Toutes les parties de l'équipement susceptibles d'être exposées aux radiations sont recouvertes d'une couche de plomb.

Source : MULTISCAN TECHNOLOGIES

Tableau IV. 1. Composants du DENSEXPLORER [63]

Les carreaux de céramique à analyser sont introduits dans la zone d'inspection (1) au moyen d'un tapis roulant (8). À leur passage, le générateur de rayons X émet un rayonnement qui, une fois collimaté, est incident sur un point du carreau. En même temps, les deux télémètres laser mesurent l'épaisseur comme le montre la figure IV. 3. Ces deux mesures sont effectuées en un seul point chacune, mais le mouvement de va-et-vient de la tête, induit par la courroie de transmission, lorsque le carreau se déplace dans la zone d'inspection, permet d'effectuer un balayage complet.

Le rayonnement traverse le carreau et est mesuré par le capteur linéaire ou la photodiode, puis l'information est transmise à l'ordinateur afin qu'elle soit traitée. Conformément à la loi de Lambert-Beer, connaissant l'intensité du rayonnement incident et transmis et l'épaisseur de l'échantillon, il est possible, après étalonnage de l'équipement, de connaître la densité en chaque point du matériau mesuré.

La précision de la mesure dépend de la vitesse de progression, qui varie entre 1 et 10 mm/s. De son côté, le tube émetteur de RX se déplace transversalement en balayant le carreau à une vitesse maximale de 1000 mm/s. Le rayonnement qui le traverse est mesuré par un capteur de rayonnement situé dans la partie du bas.

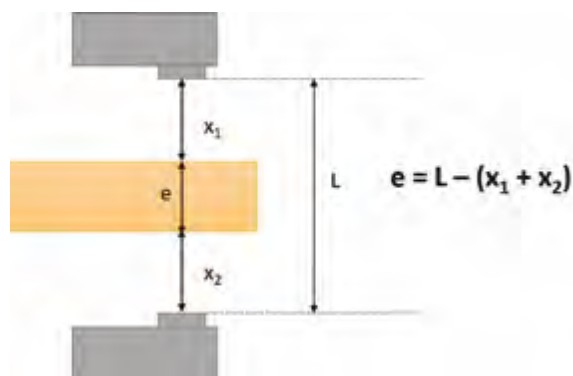


Figure IV. 3. Mesure d'épaisseur en un seul point avec des télémètres laser

L'équipement peut obtenir des valeurs de densité apparente, d'épaisseur et de charge dans des zones de 1 mm² de matériau, ce qui permet d'avoir des cartes de densité apparente extrêmement précises.

The screenshot shows the DENSEXPLORER software interface. The main window is a large plot area. On the right side, there is a control panel with various settings and buttons. Red arrows point to specific features with labels:

- Fix emission status indicator:** Points to the "NO EXHAUST, LAMP OFF" indicator at the top right.
- Warning message viewer:** Points to the area below the indicator.
- Test data form:** Points to the form containing fields for "Computer" (PABSON), "Serial Port" (COM1), "Mode" (LAW), "Resolution" (100), "Step" (1000), "Unit" (N), and a table of "X" and "Y" coordinates.
- Start or cancel test:** Points to the "Start" and "Cancel" buttons.
- Move tape manually:** Points to the "Manual" and "Reverse" buttons.
- Analysis of results:** Points to the "Analysis" button.
- Turn off computer:** Points to the "Turn Off" button.
- Lock access to settings:** Points to the "DENSEXPLORER" logo at the bottom right.

Image : Avec l'aimable autorisation de MULTISCAN TECHNOLOGIES

⁶² La « correction de la balance des blancs » est le processus de mesure qui permet d'obtenir la valeur du signal enregistré par le capteur linéaire lorsque l'émission est effectuée en l'absence de carreaux ou d'échantillons.

Moules pour le pressage de carreaux de céramique

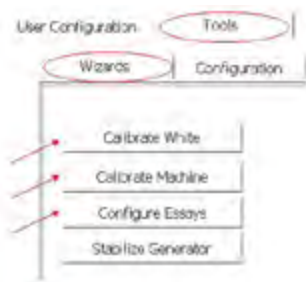


Figure IV. 5. Écran « assistants » pour activer l'étalonnage et la configuration des essais.

Image : Avec l'aimable autorisation de MULTISCAN TECHNOLOGIES

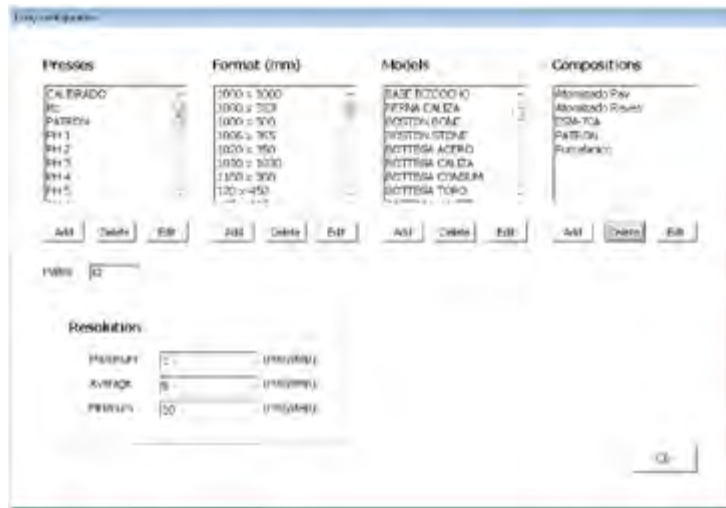


Figure IV. 6. Écran de configuration des essais

Image : Avec l'aimable autorisation de MULTISCAN TECHNOLOGIES



Figure IV. 7. Écran de démarrage de l'essai

Image : Avec l'aimable autorisation de MULTISCAN TECHNOLOGIES

L'essai est très rapide puisque la construction d'une carte complète des densités apparentes sur un carreau de 60x60 cm prend environ 5 minutes. Pour les presses à plusieurs sorties, il est possible d'obtenir une vue d'ensemble de la distribution de la densité apparente et donc de la charge des alvéoles. Le programme peut fournir les résultats obtenus soit sous forme numérique, soit au moyen d'un code de couleurs pour en faciliter l'interprétation. À titre d'exemple, on peut apprécier sur la figure IV. 8 la carte complète de la densité apparente des sept sorties d'un moule de 22x85 cm.

Comme le montre la figure, l'équipement fournit des informations sur la distribution des densités apparentes dans les carreaux. Cette distribution est, comme on peut le constater, très hétérogène et il n'est pas possible de l'apprécier avec une telle clarté au moyen des procédures de mesure ou par immersion dans le mercure ou dans l'eau. On peut également obtenir des cartes de la distribution de l'épaisseur et de la charge des alvéoles (figures IV. 9 et IV. 10).

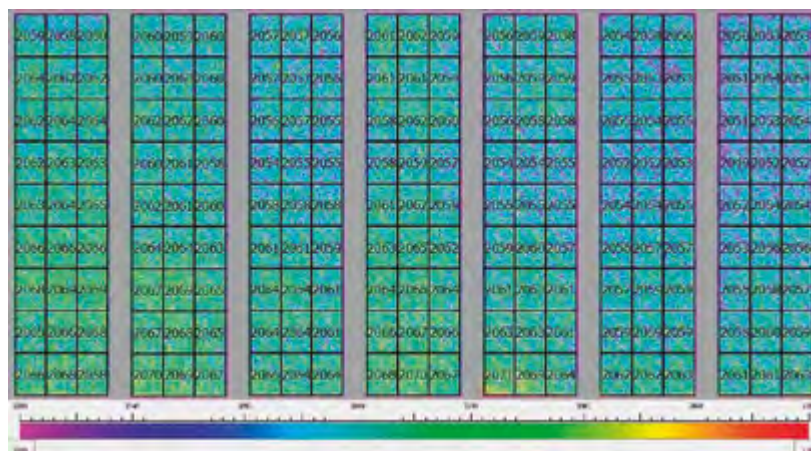


Figure IV. 8. Carte de la distribution des densités apparentes, en kg/m³, obtenue par absorption de RX pour un moule à sept sorties de 22x85 cm. Source : MACER - ITC

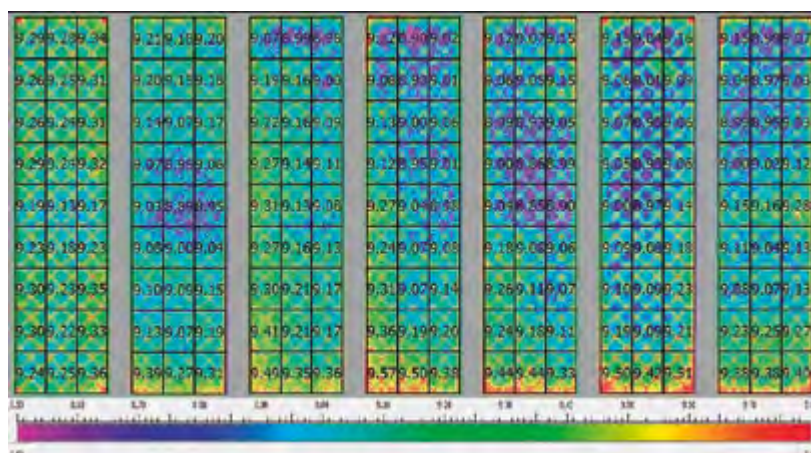


Figure IV. 9. Carte de la distribution des épaisseurs en mm, obtenue par l'équipement DENSEXPLORER pour un moule à sept sorties de 22x85 cm Source : MACER - ITC

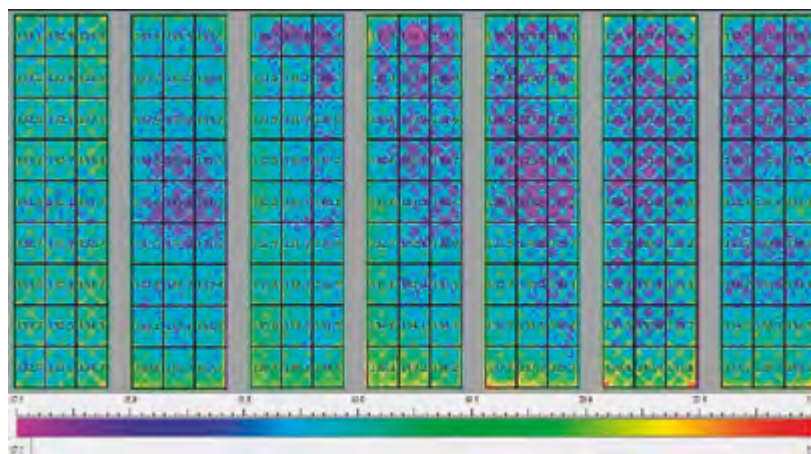


Figure IV. 10. Carte de la distribution des charges en kg/m², obtenue par l'équipement DENSEXPLORER pour un moule à sept sorties de 22x85 cm Source : MACER - ITC

Moules pour le pressage de carreaux de céramique

Le logiciel de l'équipement aussi d'étudier à volonté des sections du carreau en particulier et d'obtenir des données sur la distribution linéaire de la charge, l'épaisseur (figure IV. 11) ou la densité apparente dans une direction donnée. D'autre part, les télémètres laser peuvent fournir des informations graphiques et numériques sur les hauteurs de relief des deux faces, ce qui permet d'étudier la planéité du produit cuit et de relier d'éventuelles déformations à des variations de densité apparente, d'épaisseur ou de charge.

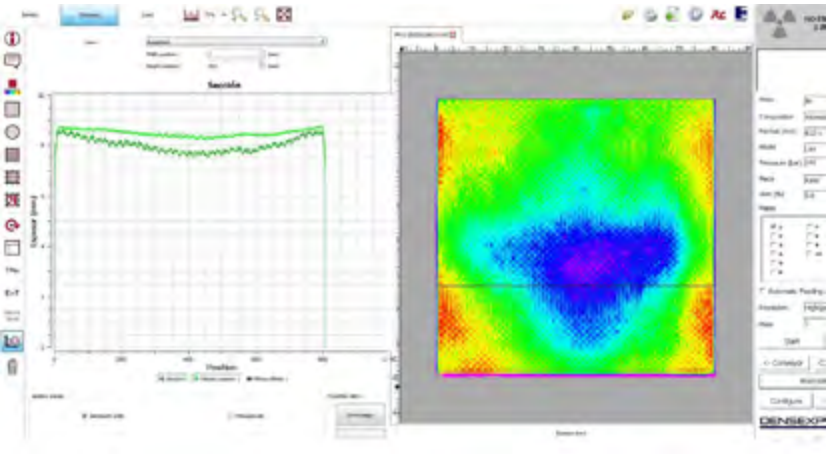


Figure IV. 11. Carte de la distribution des épaisseurs en mm, (a) profil des épaisseurs le long de la direction indiquée obtenu par l'équipement DENSEXPLORER
Source : MACER - ITC

La précision des mesures est identique à celle de la méthode d'immersion dans le mercure, avec l'avantage de la rapidité, de la sécurité et de la protection de l'environnement. D'autre part, et contrairement à l'immersion dans le mercure, il s'agit d'une méthode non destructive, de sorte qu'après avoir établi la carte des densités apparentes des carreaux crus, il est possible de les cuire et d'effectuer à nouveau les mesures sur les mêmes carreaux cuits.

Le tableau IV. 2 présente les équipements de mesure de la densité apparente par absorption de RX disponibles.

Avec cet équipement, il est donc possible de construire rapidement des cartes de la densité apparente, de l'épaisseur et de la charge des carreaux et des plaques de grand format. La figure IV.12 montre les mesures de densité apparente, en code de couleurs, des carreaux pressés dans un moule à deux sorties de 75x75 cm.

Équipement.	Dimensions maximales des carreaux à mesurer (mm).		
	Longueur.	Largeur.	Épaisseur.
Densexplorer 750	Sans limite	750	24
Densexplorer 1100	Sans limite	1100	24

Source : MACER - ITC

Tableau IV. 2. Équipement de mesure de la densité apparente

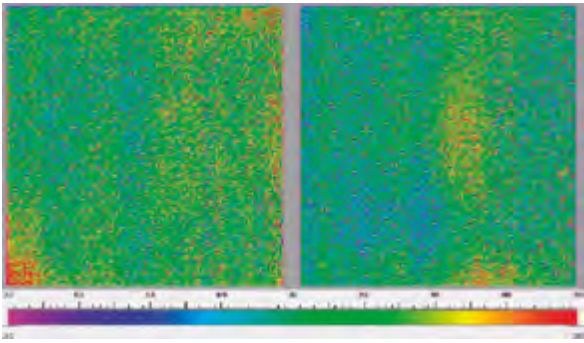


Figure IV. 12. Carte de la distribution des densités apparentes en kg/m3, obtenue par absorption de RX pour un moule à deux sorties. Source : MACER - ITC

ANNEXE V.

Traitement thermique des aciers

Les traitements thermiques des aciers sont des processus de chauffage et de refroidissement qui modifient leur structure interne et, par conséquent, leurs propriétés. En fonction du type de traitement, leur composition chimique peut être modifiée ou non. Il peut s'agir de traitements qui affectent l'ensemble de la pièce et sont appelés **traitements totaux** ou de traitements qui n'affectent que les propriétés de la surface et sont appelés **traitements thermochimiques**. Les traitements totaux peuvent à leur tour être des traitements thermiques continus ou isothermes. Dans cette annexe, nous parlerons des premiers. Il existe quatre traitements thermiques continus : **la trempe, le revenu, la stabilisation et le recuit**.

Trempe

Chauffage du métal suivi d'un refroidissement rapide. Il existe différents moyens d'effectuer le refroidissement (souvent avec de l'huile, de l'eau ou de l'air).

La trempe permet de durcir le métal.

Un traitement de trempe spécifique aux aciers est l'**austénitisation**. Il s'agit d'un chauffage à une température supérieure à la température d'austénitisation (727 °C), suivi d'un refroidissement rapide. Ce traitement permet d'obtenir une structure martensitique (*).

La trempe de l'acier n'est jamais un traitement final car la structure martensitique obtenue, bien que très dure, est en même temps très fragile. C'est pourquoi, une fois l'acier trempé, il est soumis à un traitement thermique de revenu afin d'obtenir une structure plus ductile et tenace. Le traitement complet de la trempe et **du revenu** est appelé **bonification**.

La trempe et le revenu constituent un traitement approprié pour les aciers alliés ou les aciers à forte teneur en carbone.

(*) La martensite est une solution d'insertion sursaturée en carbone dans le fer α que l'on obtient par refroidissement rapide dans la zone austénitique. Elle cristallise dans le réseau tétragonal centré sur le corps. C'est le constituant le plus dur de l'acier après la cémentite.

Revenu

Chauffage du métal trempé à une température inférieure à la température critique (*), maintien et refroidissement.

Il s'agit d'un traitement complémentaire à la trempe. Son but est de réduire les contraintes internes créées après la trempe et donc de réduire la fragilité de l'acier trempé.

Il se déroule en trois étapes : chauffage à une température inférieure à la température critique (les aciers au carbone sont chauffés entre 450 °C et 650 °C), maintien à cette température afin d'homogénéiser la température dans l'ensemble de la pièce et refroidissement à une vitesse peu élevée.

(*) La température critique ou AC1 est la température à laquelle l'austénite commence à apparaître (723 °C).

Stabilisation

Chauffage à une température proche de la trempe (800 °C à 920 °C) jusqu'à transformation complète en austénite avec refroidissement à l'air.

Ce traitement élimine les contraintes internes et uniformise la taille du grain, ce qui confère à l'acier une structure et des propriétés considérées comme normales et caractéristiques de sa composition.

Il est généralement utilisé sur des pièces où l'on souhaite éliminer les défauts causés par un traitement antérieur défectueux ou sur des pièces ayant fait l'objet de travaux de forge, de laminage à chaud ou de fonte. Il s'agit d'un traitement qui convient aux aciers à faible teneur en carbone, car il améliore leurs propriétés mécaniques.

Recuit

Chauffage à une température similaire à la température de stabilisation suivi d'un refroidissement très lent (*).

Le recuit a pour but de ramollir l'acier et de le rendre ductile et malléable en vue du façonnage ou de l'usinage.

(*) La différence entre les traitements de trempe, de stabilisation et de recuit réside dans la vitesse de refroidissement qui détermine la dureté et la résistance mécanique de la pièce.

ANNEXE VI.

Désignation numérique des aciers selon UNE-EN 10027:2001

Aciers non alliés		
Aciers de base		Acier spécial
0	90 Aciers de base	10 Aciers aux propriétés physiques spéciales
	1 Aciers de construction en général avec $R_m < 500 \text{ N/mm}^2$	11 Aciers de construction $C < 0.50 \%$
	2 Autres aciers de construction ne convenant pas au traitement thermique avec $R_m < 500 \text{ N/mm}^2$	12 Aciers de construction, pour récipients sous pression et autres $C = 0,50 \%$
	3 Aciers avec $C > 0.12$ et/ou $R_m < 400 \text{ N/mm}^2$	13 Aciers de construction, pour récipients sous pression et répondant à des exigences particulières
	4 Aciers avec C entre 0,12 et 0,25 % et/ou R_m entre 400 et 500 N/mm^2	14 Aciers à outils
	5 Aciers avec C entre 0.25 et 0.55 % et/ou R_m entre 500 et 700 N/mm^2	15 Aciers à outils
	6 Aciers avec $C = 0,55 \%$ et/ou $R_m = 700 \text{ N/mm}^2$	16 Aciers à outils
	7 Aciers à haute teneur en P ou S	17 Aciers à outils
		18 Aciers à outils
		19 Aciers à outils

Tableau VI. 1. Aciers non alliés. Norme UNE-EN 10027:2001

Métaux alliés							
Qualité de l'acier	Aciers spéciaux						
	Acier à outils	Autres aciers	Aciers inoxydables et résistants à la température	Aciers de construction pour récipients sous pression et autres			
	20	30	40 Acier inoxydable avec Ni <2,5 % sans Mo, Nb et Ti	50 Mn, Si, Cu	60 Cr, Ni avec Cr entre 2 et 3 %	70 Cr Cr, B	80 Cr-Si-Mo Cr-Si-Mn-Mo Cr-Si-Mo-V Cr-Si-Mn-Mo-V
	21 Cr-Si Cr-Mn Cr-Mn-Si	31	41 Acier inoxydable avec Ni <2,5 % avec Mo, sans Ni et Ti	51 Mn-Si-V Mn-Cr	61	71 Cr-B Cr-Mn Cr-Mn-B Cr-Si-Mn	81 Cr-Si-V Cr-Mn-V Cr-Si-Mn-V
	22 Cr-V Cr-V-Si Cr-V-Mn Cr-V-Mn-Si	32 Aciers rapides avec Co	42	52 Mn-Cu Mn-V, Si-V Mn-Si-V	62 Ni-Si Ni-Mn Ni-Cu	72 Cr-Mo avec Mo<0,35 % Cr-Mo-B	82 Cr-Mo-W Cr-Mo-W-V
	23 Cr-Mo Cr-Mo-V Mo-V	33 Aciers rapides sans Co	43 Acier inoxydable sans Mo, Nb et Ti	53 Mn-Ti Si-Ti	63 Ni-Mo Ni-Mo-Mn Ni-Mo-Cu-Ni-Mo-V Ni-Mn-V	73 Cr-Ni-Mo avec Mo<0,4 % + Ni>2,0 %	83
	24 W Cr-W	34	44 Acier inoxydable avec Mo mais sans Nb ni Ti	54 Mo Nb, Ti, V W	64	74	84 Cr-Si-Ti Cr-Mn-Ti Cr-Si-Mn-Ti
	25 W-V Cr-W-V	35 Aciers pour roulements	45 Acier inoxydable avec ajouts spéciaux	55 B Mn-B Cr<1.65 %	65 Cr-Ni-Mo avec Mo<0,4 % + Ni<2,0 %	75 Cr-V avec Cr<2.0 %	85 acier pour nitruration
	26 W Sauf les groupes 24, 25 et 27	36 Matériaux avec propriétés magnétiques sans Co	46 Alliages au Ni résistants aux produits chimiques et aux températures élevées	56 Ni	66 Cr-Ni-Mo avec Mo<0,4 % + Ni entre 2,0 et 3,0 %	76 Cr-V avec Cr>2.0 %	86
	27 Avec Ni	37 Matériaux avec propriétés magnétiques avec Co	47 Aciers résistants à la température avec Ni<2,5 %	57 Cr-Ni avec Cr<10 %	67 Cr-Ni-Mo avec Mo<0,4 % + Ni entre 3,5 et 5 % ou Mo=0,4 %	77 Cr-Mn-V	87 Aciers convenant aux traitements thermiques
8 98 Aciers aux propriétés physiques spéciales	28 Autres	38 Matériaux avec propriétés physiques particulières sans Ni	48 Aciers résistants à la température avec Ni=2,5 %	58 Cr-Ni avec Cr entre 1.0 % et 1.5 %	68 Cr-Ni-V Cr-Ni-W Cr-Ni-V-W	78	88 Aciers ne convenant pas aux traitements thermiques Aciers soudables haute résistance
8 99 Aciers pour d'autres applications	29	39 Matériaux aux propriétés physiques spéciales avec Ni	49 Matériaux avec des propriétés à haute température	59 Cr-Ni avec Cr entre 1.0 % et ≤1,5 %	69 Cr-Ni sauf les groupes 57 à 68	79 Cr-Mn-Mo Cr-Mn-Mo-V	89 Aciers ne convenant pas aux traitements thermiques Aciers soudables à haute résistance

Tableau VI. 2. Aciers alliés Norme UNE-EN 10027:2001

ANNEXE VII.

Équivalences internationales des aciers

Aciers au carbone							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
	F1110	CK15	1.0401	XC15	C15	SAE 1015	C15C
C25E	F1120	CK25	1.1158	XC25	C25	SAE 1026	S25C
C30E	F1130	CK30	1.1178	XC30	C30	SAE 1030	S30C
C45E	F1140	CK45	1.1191	XC45	C45	SAE 1045	S45C
C55E	F1150	CK55	1.1203	XC55	C55	SAE 1055	S55C
C60E		CK60	1.0601	C60	C60	SAE 1060	S58C
S355	AE355	S355	1.0045	E36-2	FE510	SAE 1024	SCC3
		C21	1.0432			ASTM A105	

Tableau VII. 1. Équivalences internationales des aciers au carbone

Aciers alliés pour la trempe et le revenu							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
28Mn6	28Mn6	28Mn6	1.1170	28Mn6	28Mn6	SAE 1027	
38Cr2	F1200	38Cr2	1.7003	38C2	38Cr2		
46Cr2		42Cr2	1.7006	46C2	46Cr2		
34Cr4		34Cr2	1.7033	32C4	34Cr4	SAE 5132	SCR430
37Cr4	F1201	37Cr2	1.7034	38C4	38Cr4	SAE 5135	SCR435
41Cr4	F1202	41Cr2	1.7035	42C4	41Cr4	SAE 5140	SCR440
25CrMo4	F222	25CrMo4	1.7218	25CD4	25CrMo4		SCM420
34CrMo4	F1250	34CrMo4	1.7220	34CD4	34CrMo4	SAE 4135	SCM435
42CrMo4	F1252	42CrMo4	1.7225	42CD4	42CrMo4	SAE 4140	SCM440
	F1282				39NiCrMo5		
34CrNiMo6	34CrNiMo6	34CrNiMo6	1.6582	34CrNiMo6	34CrNiMo6		
30CrNiMo8	30CrNiMo8	30CrNiMo8	1.6580	30CND8	30CrNiMo8		
40NiCrMo7	F1272	40NiCrMo8-4	1.6562		40NiCrMo7	SAE 4340	SNM439
36NiCrMo16	F1260	36NiCrMo16	1.6773	35NCD16	35NiCrMo15		
51CrV4	F1430	50CrV4	1.8159	50CrV4		SAE 6150	SUP10
20MnB5	F1293			20MB5	20MnB5	SAE 15B21H	SWRCHB620
30MnB5					30MnB5	SAE 15B28H	
38MnB5		38MnB5	1.5532	38MB5		SAE 15B41H	SWRCHB737
27MnCrB5		27MnCrB5-2	1.7182				
39MnCrB6		39MnCrB6-2	1.7189				

Tableau VII. 2. Équivalences internationales des aciers alliés pour la trempe et le revenu

Aciers à ressorts							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
		38Si7	1.5023	40Si7			
	F1451	46Si7	1.5024	46S7	48Si7		
	F1450	51Si7	1.5025	51S7	50Si7	SAE 9250	
	F1440	55Si7	1.5026	55S7	55Si7	SAE 9255	
	F1441	60Si7	1.5027	60S7	60Si7	SAE 9260	SUP 16
		54SiCr6	1.7102	54SiCr6	54SiCr6	SAE 9254	SUP 12
		55SiCr7	1.7106	56SC7	55SiCr7	SAE 9261	
	F1442	60SiCr7	1.7108	61SC7	60SiCr8	SAE 9262	
		46SiCrMo6.3	1.8062	45SCD6	45SiCrMo6		
	F1431	55Cr3	1.7176	55C3	55Cr3	SAE 5155	SUP 9
51CrV4	F1430	50CrV4	1.8159	50CrV4		SAE 6150	SUP 10
	F1460	1.7701	1.7701	51CDV4	51CrMoV4		

Tableau VII. 3. Équivalences internationales des aciers à ressorts

Aciers de nitruration							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
		15CrMoV5.9	1.8521				
	F1711	25CrMo12					
	F1712	31CrMo12	1.8515	30CD12	31CrMo12		
	F1721	31CrMoV9	1.8519		31CrMOV10		
	F1741	34CrAlMo5	1.8507				
		34CrAlNi7	1.8550				
	F1740	41CrAlMo7	1.8509	40CAD6.12	41CrAlMo7		SACM645

Tableau VII. 4. Équivalences internationales des aciers de nitruration

Aciers pour roulements							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
100Cr6	F1310	100Cr6	1.3505	100Cr6	100Cr6	6440K ASTM	SUJ2
100CrMn6	F1312	100CrMn6	1.3520	100CrMn6		A485(2)ASTM	
100CrMo7	F1313	100CrMo7	1.3537	100CrMo7.2	100CrMo7	A485(3)ASTM	SUJ4
100CrMo7.3	F1314	100CrMo7.3	1.3536	100CrMo8.3		A485(3)ASTM	

Tableau VII. 5. Équivalences internationales des aciers pour roulements

Moules pour le pressage de carreaux de céramique

Aciers de cémentation							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
C10E	F1510	CK10	1.1121	XC10	C10	SAE 1010	S10C
C15E	F1511	CK15	1.1141	XC12	C15	SAE 1015	S15C
C16E		C16E	1.1148	XC18		SAE 1016	
	F1515	20Mn5	1.1133	20M5	G22Mn3	SAE 1024	SMn420
17Cr3		17Cr3	1.7016	18C3		SAE 5117	
		20Cr4	1.7027				SCr420
16MnCr5	F1516	16MnCr5	1.7131	16MC5	16MnCr5	SAE 5115	
20MnCr5	F150.D	20MnCr5	1.7147	20MC5	20MnCr5	SAE 5120	SMnC21H
	F1551	15CrMo5	1.7262	12CD4FF			SCM21
18CrMO4	F1550	18CrMO4	1.7242	18CD4	18CrMO4		SCM418
20MoCr3		20MoCr3	1.7320	20MoCr3			
20MoCr4	F1523	20MoCr4	1.7321	20MoCr4		4118	SCMV1
16NiCr4	F1581	16NiCr4	1.5714	16NiCr4	16NiCr4		
18NiCr5-4	F1580	18NiCr5-4	1.5810	20NC6			
17CrNi6-6		15CrNi6	1.5919				
15NiCr13	F1540	14NiCr10	1.5732	14NC11	16NiCr11	SAE 3415	SNC21
20NiCrMo2KD	F1522	20NiCrMo2-2	1.6523	20NCD2	20NiCrMo2	SAE 8620	CNCM220
17NiCrMo6-4		17NiCrMo6-4	1.6566	18NCD6	18NiCrMo5		
18CrNiMo7-6		17CrNiMo6	1.6587	18CrNiMo7-6			
	F1560	14NiCrMo13-4	1.6657		15NiCrMo13		9310RH

Tableau VII. 6. Équivalences internationales des aciers de cémentation

Aciers à outils pour le travail à froid							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
	F5238	120W4	1.2516		U115W4KU	F1	
55WCrV8	F5242	60WCrV8	1.2550	45WCrV8	U55WCr8KU	S1	SKS-41
	F5247	58SiMoCr8	1.2103		U58SiMoKU+V	S5	
90MnCrV8	F5229	90MnCrV8	1.2842	90MnV8	U88MnV8KU	A681(O2)ASTM	
95MnWCrV5	F5220	100MnWCrV5	1.2510	90MnWCrV5	U95MnWCr5KU	A681(O1)ASTM	SKS-3
X210Cr12	F5212	X210Cr12	1.2080	X200Cr12	UX210Cr13KU	A681(D3)ASTM	SKD-1
X160CrMoV121	F5211	X155CrVMo12	1.2379	X160CrMoV12	UX155CrVMo12.1KU	A681(D2)ASTM	SKD-11

Tableau VII. 7. Équivalences internationales des aciers à outils pour le travail à froid

Aciers à outils pour le travail à chaud							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
35CrMo8	F5307	56NiCrMoV7	1.2714	55NiCrMoV7	55NiCrMoV7KU	L6	STK-4
40NiCrMoV16	F5305	X45NiCrMo4	1.2767	40NiCrMoV16	40NiCrMoV16KU	6437 E ASTM	
X38CrMoV5.1	F5317	X38CrMoV5.1	1.2343	X38CrMoV5 X	X37CrMoV51KU	6437E ASTM	SKD-6
X40CrMoV511	F5318	X40CrMoV5.1	1.2344	X40CrMoV5	X40CrMoV5.11KU	6408A ASTM	SKD-61
32CrMoV12-28	F5313	X32CrMoV3.3	1.2365	32CrMoV12-28	X30CrMoV1227KU	H10	SKD-7

Tableau VII. 8. Équivalences internationales des aciers à outils pour le travail à chaud

Aciers faciles à usiner							
Europe EN 10083	Espagne UNE 36011-12	Allemagne DIN 17200	Allemagne STD N°	France NF A35-552-86	Italie UNI 7846	États-Unis AISI/SAE	Japon JIS
11SMn30	F2111	9SMn28	1.0715	S250	CF9SMn28	SAE 1213	SUM22
11SMnPb30	F2112	9SMnPb28	1.0718	S250Pb	CF9SMnPb28	SAE 12L13	SUM22L
11SMn37	F2113	9SMN36	1.0736	S300	CF9SMn36	SAE 1215	SUM25
11SMnPb37	F2114	9SMnPb36	1.0737	S300Pb	CF9SMnPb36	SAE 12L14	
15SMN13		15S10	1.0710	13MF4		SAE 1115	SUM31
10S20	F2121	10S20	1.0721	12MF4	CF10S20		
10SPb20	F2122	10SPb20	1.0722		CF10SPb20		
36SMN14	F2131			35MF6	CF35SMn10		SUM41
36SMnPb14	F2132			35MF6Pb	CF35SMnPb10	SAE 1137	
35S20		35S20	1.0726	35MF4			
35SPb20		35SPb20	1.0756				
46S20		45S20	1.0727	45MF4			
46SPb20		45SPb20	1.0757				
44SMn28	F2133	44SMn28	1.0762	45MF6	CF44SMn28	SAE 1144	SUM 43
44SMnPb28		44SMnPb28	1.0763	44SMnPb28	CF44SMnPb28	SAE 1144	SUM 43
		60S20	1.0728				
		60SPb20	1.0758				
		C45PB	1.0504				

Tableau VII. 9. Équivalences internationales des aciers faciles à usiner

ANNEXE VIII. Dureté Shore. Échelles

Définition :

La dureté d'un caoutchouc est une mesure de sa rigidité face aux contraintes de déformation. On l'exprime en valeurs empiriques (échelles de Shore) bien que celles-ci soient liées à son module d'élasticité.

Mesure :

Il s'agit d'un essai normalisé (*norme UNE-ISO 7619-1:2011. « Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique. Détermination de la dureté par indentation. Partie 1 : Méthode du duromètre (dureté Shore). »*



Figure VIII. 1. Contrôle de la dureté Shore A

La dureté Shore est mesurée à l'aide d'un duromètre. Cet instrument est basé sur la mesure de la pénétration d'une pointe tronconique contre la réaction d'un ressort métallique calibré.

Lorsque le duromètre Shore A donne des lectures supérieures à 90 °, il est recommandé d'utiliser le duromètre Shore D, dont le ressort est plus rigide. Les deux méthodes sont décrites dans les normes UNE 53130 (Espagne), ASTM D2240 (États-Unis) et DIN 53505 (Allemagne).

Dans les différents types de duromètres portatifs, la force est appliquée à la main (figure VII. 1) et est donc indéterminée. On obtient davantage de précision et de reproductibilité avec les duromètres fixés sur des supports, où la force appliquée est toujours de 1 kgf pour le duromètre A (Shore A) et de 5 kgf pour le duromètre D (Shore D).

Échelles Shore :

Les échelles Shore sont des échelles de dureté pour les matériaux souples. Le tableau VIII. 1 montre différentes échelles Shore adaptées à la dureté de chaque matériau, et le tableau VIII. 2 présente quelques équivalences.

Échelle	Matériaux	Pénétrateur	Charge
Shore A	Caoutchoucs souples, plastiques, élastomères	Cône tronqué, angle de 35 °	822 g
Shore B	Élastomères, plastiques durs, papier et matériaux fibreux	Cône, angle de 30 °	822 g
Shore C	Revêtements en plâtre ou perlite, élastomères et plastiques de dureté moyenne	Cône tronqué, angle de 35 °	4536 g
Shore D	Caoutchoucs durs et thermoplastiques	Cône, angle de 30 °	4536 g
Shore DO	Matériaux granulaires denses et bobines textiles	Bille 3/32 pouces	4536 g
Shore O	Élastomères très souples, bobines textiles, matériaux granulaires souples	Bille 3/32 pouces	822 g
Shore OO	Mousses légères, éponges	Bille 3/32 pouces	113 g
Shore OOO	Gels et éponges	Bille 1/2 pouce	113 g

Tableau VIII. 1. Échelles de dureté Shore

Shore A	Shore D	Shore O	Shore OO
100	58		
95	46		
90	39		
85	33		
80	29	84	98
75	25	79	97
70	22	75	95
65	19	72	94
60	16	69	93
55	14	65	91
50	12	61	90
45	10	57	88
40	8	53	86
35	7	48	83
30	6	42	80
25		35	76
20		28	70
15		21	62
10		14	55
5		8	45

Tableau VIII. 2. Équivalences entre certaines échelles de dureté Shore

Questions fréquemment posées

Quand faut-il compenser le relief de la face noble avec un relief de dos ?

Un relief très prononcé donne lieu à des différences de compacité importantes dans un même carreau, ce qui entraîne des pertes de qualité. Pour compenser les différences de compacité, il est courant de concevoir le relief de dos compensé. On reproduit donc le relief à l'arrière des carreaux, en maintenant leur épaisseur à peu près constante et en la combinant avec une face de dos conçue de façon à garantir une base d'appui stable.

Que se passe-t-il si les dimensions du poinçon inférieur sont beaucoup plus grandes que la surface du bloc ?

Une différence excessive entre les dimensions du bloc et du poinçon inférieur, c'est-à-dire une saillie excessive du poinçon, peut entraîner un marquage du poinçon, visible sur le carreau fini, voire une déformation du poinçon inférieur. Pour prévenir ce problème, on installe sur le bloc un insert périmétrique appelé manchon.

Pourquoi les plaques d'usure protégeant la matrice ne sont-elles pas réversibles ?

Le chariot, dans son mouvement de chargement des alvéoles, use la plaque et, si on la retourne et qu'on l'utilise de façon continue, la terre pénètre à certains endroits où l'usure est plus importante entre la plaque et la matrice. La petite déformation qui en résulte suffit à rendre la charge des alvéoles non uniforme.

Quel type de barrettes doit-on installer dans le moule double ?

Les moules doubles sont connus pour avoir des barrettes dans la matrice supérieure et dans la matrice inférieure, et les deux types de barrettes peuvent être installées dans les deux matrices. Toutefois, quelques précisions s'imposent :

- En général, on installe des barrettes fixes dans la matrice inférieure, mais si le fabricant de carreaux le demande, il est possible d'installer des barrettes amovibles qui, dans la partie inférieure, sont plus faciles à remplacer, ce qui est un facteur important pour les entreprises dont le fournisseur de moules est très éloigné.
- Cependant, on préfère souvent installer des barrettes fixes dans la partie supérieure. Elles offrent en effet une plus grande sécurité pour les opérateurs lors des opérations de remplacement des barrettes sur la presse. Il faut tenir compte du fait que les barrettes d'un seul tenant peuvent être difficiles à manipuler, surtout dans les grands formats, lorsqu'elles doivent être retirées ou installées dans la partie supérieure du moule. C'est pourquoi dans ce cas, on préfère les barrettes fixes.

Peut-on utiliser des barrettes amovibles de n'importe quel format ?

En principe, le format n'est pas un facteur limitant pour l'utilisation de barrettes amovibles, bien que leur montage puisse être un peu plus compliqué. Il est possible d'installer des barrettes amovibles de grands formats dans des conditions de qualité et de sécurité, à l'aide d'outils qui en permettent le transport et l'installation. Toutefois, à qualité de pressage égale, il est conseillé d'utiliser des barrettes fixes pour les grands formats.

Les barrettes réversibles peuvent-elles être utilisées dans n'importe quel format ?

Non. Elles ne doivent être utilisées que pour les petits ou moyens formats, car leur utilisation nécessite le démontage et le remontage de la matrice en usine, opération très difficile à réaliser sur les presses équipées de grands moules. Ainsi, pour ces grandes presses et ces grands formats, ce type de barrettes n'est pas utile.

Il faut également noter que dans les grands formats, ces barrettes affaiblissent la matrice. En effet, qu'elles soient fixes ou amovibles, elles sont encastrées et la matrice, dans sa partie inférieure, conserve sa largeur. Cependant, ces barrettes sont vissées sur toute l'épaisseur de la matrice, ce qui limite la largeur de celle-ci et donc sa résistance.

Peut-on utiliser des poinçons isostatiques sur la face noble des carreaux ?

Ceci est techniquement possible, mais pas recommandé, car l'effet isostatique des poinçons consiste à compenser les différences de compacité par des différences d'épaisseur, qui sont moins visibles sur la face de dos que sur la face noble.

Toutefois, certains moules sont équipés de poinçons isostatiques pour la face noble, notamment pour le façonnage de certains modèles à effet pierre ou à reliefs très prononcés, car les petites différences d'épaisseur causées par la compensation isostatique n'y sont pas visibles.

Le nombre de coups par minute du cycle de pressage peut-il influencer l'effet isostatique des poinçons ?

L'étape du cycle de pressage qui peut avoir une influence sur l'effet isostatique des poinçons est le temps d'application de la pression de façonnage, c'est-à-dire la durée du deuxième pressage. Toute autre étape du cycle de pressage n'a logiquement aucun effet sur la compensation isostatique.

Dans les poinçons isostatiques à grille (poinçons MACER de type MRPV), la vitesse à laquelle s'effectue le second pressage peut influencer l'effet isostatique, car pour que l'huile circule d'une cellule aux autres d'un même poinçon, il faut qu'il y ait une différence de pression entre elles. Le débit d'huile à transférer dépend de cette différence de pression et peut donc, si l'on augmente la vitesse du deuxième pressage, être trop élevé pour compenser les différences de pression. Naturellement, la conception des connexions entre ces cellules joue alors un rôle important.

Les poinçons isostatiques peuvent-ils créer des problèmes pour les carreaux grand format qui doivent être polis après la cuisson ?

Comme l'effet isostatique consiste à maintenir une compacité constante au prix d'une légère variation de l'épaisseur, des défauts visibles peuvent apparaître après le polissage des carreaux pressés avec des poinçons isostatiques, en particulier dans les très grands formats. C'est pourquoi, dans la pratique, il est toujours préférable d'installer des poinçons massifs pour les carreaux grand format qui doivent être polis après la cuisson.

Dans quels cas le pressage avec des poinçons isostatiques n'est-il pas conseillé ?

Il peut être déconseillé d'utiliser des poinçons isostatiques si les carreaux doivent recevoir un traitement lappato après la cuisson, car les petites différences d'épaisseur causées par la compensation isostatique peuvent devenir visibles après le traitement.

Convient-il de presser des carreaux aux reliefs très prononcés à l'aide d'un moule double ?

Ce n'est pas conseillé si le relief est très prononcé, car avec les reliefs de ce type, la face du relief de dos (nervures) doit être compensée, ce qui rend l'extraction difficile avec ce type de moule et le carreau peut même rester coincé. Ce problème peut également s'accroître dans le pressage de monocuisson poreuse, car les différences de compactage peuvent devenir visibles dans certains types d'émaux et même entraîner des défauts.

Est-il possible de réguler l'épaisseur à volonté avec un moule double ?

Dans les moules à façonnage supérieur, il est très difficile de réguler l'épaisseur des carreaux pressés à volonté, de sorte que celle-ci est conditionnée par les caractéristiques de construction du moule, telles que l'épaisseur des poinçons. Aujourd'hui, MACER a apporté des améliorations techniques dans la construction qui permettent de faire varier l'épaisseur dans une fourchette de 3 mm.

Quand est-il conseillé d'utiliser un moule pénétrant inversé ?

On utilise généralement le moule pénétrant inversé lorsque l'on souhaite profiter des avantages du moule pénétrant (simplicité, faible coût, productivité élevée) mais sans retourner les carreaux à la sortie de la presse, généralement pour de très grands formats et/ou de très faibles épaisseurs.

Les moules pénétrants ne sont pas conseillés pour réaliser certains reliefs qui, en raison de leurs caractéristiques, s'abîment facilement lorsqu'ils sont éjectés de la zone de pressage après l'extraction et déposés sur le convoyeur à rouleaux. C'est le cas des reliefs pointus de type pyramidal, des reliefs avec des arêtes très prononcées, etc., pour lesquels le moule pénétrant inversé peut être une bonne option.

Peut-on obtenir des carreaux avec séparateur en utilisant un moule pénétrant inversé ?

Oui. Dans le moule pénétrant inversé, les poinçons sont inversés et les barrettes sont maintenues dans la même position que dans le moule pénétrant. Elles présentent donc une conicité et un séparateur. Par conséquent, lors du pressage avec la face noble vers le haut, les carreaux présentent également un séparateur, bien qu'il se trouve dans une position plus basse, c'est-à-dire près de la face de dos.

Pourquoi est-il conseillé d'extraire les carreaux de grand format en paquet ?

Parce que l'augmentation des dimensions de la pièce après pressage et extraction, en valeur absolue, dépasse toujours la valeur que l'on peut donner à la conicité des barrettes. Par conséquent, si l'extraction est effectuée avec un « retard » (« extraction libre »), les carreaux frottent excessivement les barrettes, ce qui entraîne des fissures ou des rayures sur les bords.

En général, à partir de 60 cm de côté, il est conseillé d'extraire en paquet.

Quand est-il conseillé d'effectuer un troisième pressage ?

Un troisième pressage est généralement effectué sur les pièces spéciales, telles que les plinthes, les listels, les frises, etc. ou les pièces à fort relief. Il s'agit également d'une solution possible pour lutter contre l'apparition récurrente de laminations.

Quand est-il préférable d'effectuer l'extraction en paquet ?

Elle est recommandée pour les grands formats (avec au moins un côté de plus de 60 cm de long) mais également pour tout format si l'on presse des pâtes dont l'expansion après pressage est excessive, ce qui peut entraîner de petites fissures.

Quel moule permet d'obtenir la meilleure finition latérale des carreaux ?

Avec le moule double. Avec un moule pénétrant, on obtient une bonne finition latérale en effectuant l'extraction en paquet. Cependant, les extractions retardées donnent lieu à une finition latérale généralement moins bonne.

Est-il possible d'effectuer le changement de barrettes directement sur la presse ?

Il est possible de changer les barrettes amovibles directement sur la presse, quel que soit leur type. Pour remplacer les barrettes fixes, il faut toutefois démonter le moule et le transporter à l'atelier.

Est-il possible d'utiliser les barrettes centrales, c'est-à-dire celles qui séparent les alvéoles sans cloison de séparation, lors du changement de barrettes ?

Il vaut mieux éviter. Ces barrettes ne doivent pas être rectifiées et doivent donc toujours être montées neuves. Si l'on souhaite les utiliser, il faut tenir compte du fait que la rectification réduit les dimensions, de sorte qu'il faut compléter les barrettes du côté opposé pour maintenir les dimensions du format. Cela signifie que les centres des trous sont perdus, provoquant ainsi le décentrage des poinçons.

Peut-on démonter et stocker un moule en une seule pièce, c'est-à-dire avec la partie supérieure emboîtée dans la partie inférieure ?

Cela est possible si l'on prend soin de protéger les poinçons inférieurs de tout contact avec les poinçons supérieurs. Pour ce faire, il suffit de placer des plaques d'un matériau élastique solide sur le poinçon inférieur.

Toutefois, cette façon de démonter le moule présente l'inconvénient de rendre la quasi-totalité de ses composants inaccessibles pour toute activité de maintenance.

Dans quel ordre faut-il démonter un moule ? Pourquoi ?

Il n'existe pas de procédure générale, mais habituellement, on retire d'abord la partie inférieure du moule puis, avec la presse en mode manuel, on abaisse la plaque supérieure, isostatique ou fixe, et on la pose sur une palette pour la retirer à l'aide d'un chariot élévateur.

Bien qu'il s'agisse de la méthode couramment utilisée par de nombreuses entreprises, il est possible de procéder dans le sens inverse, mais la procédure décrite est préférable car, le fait de retirer d'abord la partie inférieure permet de créer un grand espace dans la presse, ce qui facilite l'opération de démontage et d'extraction de la partie supérieure.

Une éventuelle rupture de soufflet est-elle grave ? Quels sont les défauts que cela peut provoquer ?

La rupture d'un soufflet est un problème grave, car elle provoque le dépôt de poussières entre la plaque sauve-banc et la plaque d'éjection du moule. Par conséquent, les poinçons perdent leur parallélisme pendant le pressage, ce qui entraîne un effet de cale et de trapèze du carreau, ainsi qu'une légère inclinaison du système plaque d'éjection - blocs - poinçons inférieurs, ce qui débouche sur l'usure prématurée de ces derniers.

La rupture d'un soufflet peut également entraîner la rupture de composants du moule tels que les chandelles, les fins de course sur les SMU, les colliers, les pistons, etc.

Est-il nécessaire d'utiliser des caoutchoucs de haute dureté, tels que Shore A 95, pour obtenir un relief bien net, même si cela augmente le risque de collage du poinçon ?

On peut utiliser ce type de caoutchouc, mais pour éviter le collage des poinçons, on peut en utiliser un moins dur et moins épais, afin de ne pas perdre la netteté de la reproduction des détails et d'éviter le collage.

Quels défauts peuvent être causés par des poinçons supérieurs décentrés dans un moule pénétrant ou un moule pénétrant inversé ?

Un mauvais centrage des poinçons supérieurs entraîne une désaération inégale avec des zones où l'air occlus a plus de difficultés à sortir et d'autres où il est expulsé plus facilement. Cela peut entraîner l'apparition de laminations dans les zones où il est plus difficile d'évacuer l'air et/ou l'entraînement de particules fines et d'agglomérats dans les zones d'évacuation privilégiée de l'air. Ce dernier cas peut conduire à l'apparition d'un gradient de compacité qui crée des défauts dimensionnels tels que des lunettes ou des trapèzes, voire des fissures, en particulier dans les produits monoporeux.

Quels sont les facteurs à prendre en compte pour décider s'il est possible de fabriquer un format donné sur une presse donnée ?

Le principal paramètre qui détermine l'adéquation d'une presse donnée pour fabriquer un format donné est sa force de pressage maximale ($F_{\max}$). Cette donnée permet de calculer le nombre de sorties (N) qui peuvent être pressées avec l'expression

$$N = \frac{0,8F_{\max}}{P \cdot S_A} \cdot 100\%$$

Où P est la pression de pressage et S_A la surface d'une alvéole.

Une fois le nombre de sorties calculé, il faut vérifier s'il y a suffisamment d'espace dans le moule. Pour ce faire, il faut connaître la portée libre de la presse (espace pour le moule) et la largeur de chargement maximale du chariot installé. Si les dimensions sont compatibles avec le moule, il faut vérifier la compatibilité avec d'autres données telles que les dimensions de la traverse mobile et la profondeur du banc de la presse. Enfin, il convient de vérifier la compatibilité du nouveau format avec les autres installations de production, telles que le séchoir, la distance entre les courroies dans les lignes, les boxes, etc.

Si l'on connaît la force de pressage maximale qu'une presse est capable de développer, quelle est la force de travail maximale recommandée ? Que peut-il se passer si l'on dépasse la force recommandée ?

Les fabricants de presses conseillent généralement de ne pas dépasser 85 % de la force maximale de la presse.

Si les conditions de fabrication l'exigent, on peut occasionnellement dépasser cette valeur. Par exemple, lorsque l'on presse un lot de poudre plus sèche, il faut augmenter la pression pour maintenir la compacité voulue. Cependant, si l'on force la presse à travailler continuellement à des valeurs très proches de sa limite, le circuit hydraulique peut en souffrir.

INDEX DES TABLEAUX.

Tableau 2.1. Types d'empreintes pour la préparation des poinçons	47
Tableau 2.2. Expansion après pressage et retrait linéaire dans les conditions de travail de certaines pâtes industrielles	51
Tableau 2.3. Dimensions utiles pour l'installation du moule dans les presses SACMI	54
Tableau 2.4. Presses PH série 2000 de SACMI (carreau en grès)	57
Tableau 2.5. Presses PH série 2000 de SACMI (grès cérame)	58
Tableau 2.6. Presses PH de la série POWER de SACMI (grès cérame)	58
Tableau 2.7. Presses PH de la série IMOLA de SACMI. (grès cérame)	59
Tableau 2.8. Presses de la série CLOCK de BARBIERI TAROZZI (grès cérame)	59
Tableau 2.9. Presses de la série EVO de SITI B&T (grès cérame)	59
Tableau 2.10. Presses de la série Magnum de SITI B&T (revêtement poreux)	60
Tableau 2.11. Presses de la série Magnum de SITI B&T (carreaux de sol en grès)	60
Tableau 2.12. Presses de la série WK de WELKO (grès cérame)	61
Tableau 2.13. Presses de la série WK2 de WELKO (grès cérame)	61
Tableau 2.14. Presses de la série VIS de NASSETTI (revêtement poreux)	62
Tableau 2.15. Presses de la série VIS de NASSETTI (carreaux de sol en grès)	62
Tableau 2.16. Presses de la série VIS de NASSETTI (grès cérame)	63
Tableau 3.1. Composants des moules et matériaux	69
Tableau 3.2. Dimensions de quelques plaques sauve-banc	70
Tableau 3.3. Dimensions de quelques plaques sauve-banc	77
Tableau 3.4. Valeurs réelles de conicité des moules utilisés dans le secteur de la céramique	79
Tableau 3.5. Classification des barrettes	80
Tableau 3.6. Caractéristiques techniques des barrettes	81
Tableau 3.7. Exemples de flexibilité des moules grâce à l'utilisation de barrettes interchangeables	83
Tableau 3.8. Classification des poinçons	90
Tableau 3.9. Éléments chauffants utilisés en fonction du type de moule	107
Tableau 4.1. Caractéristiques des aciers en fonction de la teneur en carbone[54]	112
Tableau 4.2. Types d'acier selon la numérotation de la norme UNE-EN 10027-1:2001	114
Tableau 4.3. Applications des aciers selon UNE-EN 10027-2:2001	115
Tableau 4.4. Type de composition chimique des aciers selon la norme UNE-EN 10027-2:2001	116
Tableau 4.5. Propriétés moyennes des aciers à des fins de calcul et de conception (communes à tous les aciers)	116
Tableau 4.6. Caractérisation physique des aciers	119
Tableau 4.7. Propriétés physiques de l'acier DIN 1.2080	120
Tableau 4.8. Traitement thermique de l'acier 1.2080	121
Tableau 4.9. Équivalences internationales de l'acier 1.2080	121
Tableau 4.10. Propriétés physiques de l'acier DIN 1.1191	122
Tableau 4.11. Traitements thermiques de l'acier 1.1191	123
Tableau 4.12. Équivalences internationales de l'acier 1.1191	123

Tableau 4.13. Duretés et couleurs des caoutchoucs pour poinçons	125
Tableau 4.14. Épaisseurs des plaques d'acier brut	136
Tableau 4.15. Propriétés des durcisseurs utilisés pour les caoutchoucs liquides	140
Tableau 4.16. Propriétés de certains prépolymères utilisés pour les caoutchoucs liquides	142
Tableau 5.1. Types de moules	151
Tableau 5.2. Temps utilisé (%) pour chaque étape du cycle de pressage avec un moule pénétrant	154
Tableau 5.3. Principales caractéristiques du moule pénétrant	159
Tableau 5.4. Principales caractéristiques du moule à miroir	163
Tableau 5.5. Principales caractéristiques du moule double	167
Tableau 5.6. Principales caractéristiques du moule à miroir pénétrant	175
Tableau 6.1. Types de maintenance	184
Tableau 6.2. Niveaux de maintenance en fonction de leur degré de complexité	186
Tableau 7.1. Classification générale des défauts liés à l'opération de pressage	207
Tableau 7.2. Causes de la production de calibres différents	224
Tableau II. 1. Techniques de façonnage	228
Tableau III. 1 Classification des essais de dureté	229
Tableau III. 2. Essai de dureté Brinell. Paramètres	230
Tableau III. 3. Essai de dureté Rockwell. Paramètres	233
Tableau III. 4. Essais de dureté	233
Tableau III. 5. Relation entre la résistance à la traction et les valeurs de dureté Rockwell, Brinell et Vickers	235
Tableau IV. 1. Composants du DENSEXPLORER [63]	238
Tableau IV. 2. Équipement de mesure de la densité apparente	242
Tableau VI. 1. Aciers non alliés. Norme UNE-EN 10027:2001	244
Tableau VI. 2. Aciers alliés Norme UNE-EN 10027:2001	245
Tableau VII. 1. Équivalences internationales des aciers au carbone	246
Tableau VII. 2. Équivalences internationales des aciers alliés pour la trempe et le revenu	246
Tableau VII. 3. Équivalences internationales des aciers à ressorts	247
Tableau VII. 4. Équivalences internationales des aciers de nitruration	247
Tableau VII. 5. Équivalences internationales des aciers pour roulements	247
Tableau VII. 6. Équivalences internationales des aciers de cémentation	248
Tableau VII. 7. Équivalences internationales des aciers à outils pour le travail à froid	248
Tableau VII. 8. Équivalences internationales des aciers à outils pour le travail à chaud	248
Tableau VII. 9. Équivalences internationales des aciers faciles à usiner	249
Tableau VIII. 1. Échelles de dureté Shore	250
Tableau VIII. 2. Équivalences entre certaines échelles de dureté Shore	251

INDEX DES LIENS.

Lien 1.1.	Vidéo.	Pressage	17
Lien 1.2.	Présentation.	Presses à broche.	19
Lien 1.3.	Présentation.	Reliefs de dos et estampilles de fabricants de carreaux pressés au moyen de presses manuelles à broche.	21
Lien 1.4.	Présentation.	Presses à friction, semi-automatiques et automatiques.	22
Lien 1.5.	Présentation.	Les reliefs de presse et leur processus d'élaboration pour les presses à friction semi-automatiques et automatiques.	25
Lien 1.6.	Présentation.	Reliefs de dos sur moules pour presses à friction, semi-automatiques et automatiques.	25
Lien 1.7.	Présentation.	Les presses hydrauliques et leur évolution au fil du temps.	26
Lien 1.8.	Présentation.	Systèmes d'extraction dans les presses hydrauliques.	28
Lien 2.1.	Vidéo.	Fraiseuse à commande numérique pour prototypes en plâtre.	44
Lien 2.2.	Vidéo.	Graveur réalisant un relief sur une empreinte en aluminium.	47
Lien 2.3.	Vidéo.	Graveur laser créant un relief sur une empreinte en bakélite.	48
Lien 4.1.	Vidéo.	Fraiseuse à portique usinant une plaque sauve-banc.	127
Lien 4.2.	Vidéo.	Rectification d'une plaque.	127
Lien 4.3.	Vidéo.	Rectification à plat des barrettes.	130
Lien 4.4.	Vidéo.	Rectification de la tête des barrettes.	130
Lien 4.5.	Vidéo.	Processus de centrage à l'aide de palpeurs numériques.	131
Lien 4.6.	Vidéo.	Processus de découpe au fil de barrettes amovibles.	133
Lien 4.7.	Vidéo.	Processus de coupe des plaques d'acier par sciage.	136
Lien 4.8.	Vidéo.	Procédé d'application du caoutchouc sur un poinçon.	143
Lien 4.9.	Vidéo.	Centrage de l'empreinte pour le pressage de durcissement.	143
Lien 4.10.	Vidéo.	Pressage de l'ensemble empreinte-caoutchouc-poinçon.	144
Lien 5.1.	Animation.	Cycle de pressage avec moule pénétrant.	155
Lien 5.2.	Animation.	Cycle de pressage avec moule à miroir.	163
Lien 5.3.	Animation.	Cycle de pressage avec moule double.	167
Lien 5.4.	Animation.	Cycle de pressage avec moule à miroir pénétrant.	172
Lien 5.5.	Vidéo.	Moule à changement rapide.	176
Lien 6.1.	Vidéo.	Procédure de déplacement et de montage d'un poinçon inférieur.	195

BIBLIOGRAPHIE

1. ACIMAC (Associazione Costruttori Italiani Macchine Attrezzature per Ceramica). *Preparazione materie prime e formatura di piastrelle ceramiche*, Éd. SALA. Modène, (2004).
2. AENOR. Norme UNE 13306 (2018). *Terminologie de la maintenance*.
3. AFNOR. Norme AFNOR NF X 60-000 (2016). *Maintenance industrielle - Fonction maintenance*.
4. ALBEMARLE. *Ethacure® 300 curative – Leading alternative for Moca® replacement*. Disponible à l'adresse https://www.albemarle.com/storage/wysiwyg/ethacure_300_moca_replacement_flyer_final.pdf [consulté le 26/9/2022].
5. AMORÓS, J.L. *A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial. Parte V: descrição da etapa de prensagem*. Cerâmica Industrial, 6 (3). Pages 27 à 33. (2001).
6. AMORÓS, J.L. *Pastas cerámicas para pavimentos de monococción. Influencia de las variables de prensado sobre las propiedades de la pieza en crudo y sobre su comportamiento durante el prensado y la cocción*. Universitat de València. Département de chimie technique. Thèse de doctorat. (1987).
7. AMORÓS, J.L. et al. *Acuerdo esmalte – soporte (III). Elasticidad de soportes y vidriados cerámicos*. Técnica Cerámica, 180. 34-45. (1990).
8. AMORÓS, J.L. et al. *Características de polvos cerámicos para prensado* Bol. Soc. Esp. Cer. Vidr. 26. 1. 31-37. (1987).
9. AMORÓS, J.L. et al. *Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos* AICE. Valence (1991).
10. AMORÓS, J.L. et al. *Estudio de la operación de prensado de baldosas de gran formato utilizando la absorción de rayos X*. A Qualicer 2010. Xle congrès mondial sur la qualité des carreaux et revêtements de sol en céramique. Castelló : Chambre de commerce, de l'industrie et de la navigation. (2010).
11. AMORÓS, J.L. et al. *Expansión térmica de piezas de pavimento gresificado. Influencia de las variables de prensado y de la temperatura de cocción*. Bol. Soc. Esp. Cer. Vidr. 31.2. 109-114. (1992).
12. AMORÓS, J.L. et al. *La extracción de la pieza del molde durante la fase de prensado. Influencia de algunas variables de operación* Bol. Soc. Esp. Cer. Vid. 33. 4. 207-211. (1994)
13. AMORÓS J.L. et al. *La operación de prensado en la fabricación de pavimentos por monococción. I. Influencia de la naturaleza del polvo de prensas sobre las propiedades de las piezas en crudo*. Bol. Soc. Esp. Cer. Vid. 273 – 282. (1988).
14. AMORÓS, J.L. et al. *La operación de prensado en la fabricación de pavimentos por monococción. II. Influencia de la naturaleza del polvo de prensas sobre las propiedades de las piezas en cocido*. Bol. Soc. Esp. Cer. Vid. 29. 3. 151-158. (1990).
15. AMORÓS J.L. et al. *Métodos de determinación de las características tecnológicas de aglomerados. I. Métodos de determinación de la fluidez y de la densidad aparente*. Técnica Cerámica, 146. 380 – 386. (1986).

16. AMORÓS, J.L. et al. *Non-destructive measurement of bulk density distribution in large-sized ceramic tiles*. Journal of the European Ceramic Society 30. Pages 2927-2936. (2010).
17. AMORÓS, J.L.; et al. *Permeabilidad al aire de soportes cocidos de pavimento cerámico: I. Influencia de las variables de prensado y de la temperatura de cocción*. Bol. Soc. Esp. Cer. Vidr. 31.I. 33-38. (1992).
18. AMORÓS, J.L. et al. *Resistencia mecánica y microestructura de soportes cerámicos en crudo*. Técnica Cerámica, 244. 362 – 375. (1996).
19. AMORÓS, J.L. et al. *Técnicas experimentales del control de la compactación de pavimentos y revestimientos cerámicos*. Técnica Cerámica nº 116. 1234 – 1246. (1983).
20. ASCER. <https://www.ascer.es/sectorPlantilla.aspx?lang=es-ES&cual=descripcion> [consulté le 1/11/2022].
21. AZA, S. *Defectos de prensado*. Bol. Soc. Esp. Cer. Vid., 3. 4. 395-415. (1964).
22. BIFFI, G. *Difetti de fabbricazione delle piastrelle*. Éd. Faenza Editrice. Faenza. (1987).
23. BIFFI, G. (coordinateur). *Gres porcellanato: tecnologia, produzione, mercato* Faenza Editrice S.P.A. Faenza. (1994).
24. BLASCO, A. et al. *Estudio experimental de la determinación en continuo y en tiempo real, de la compactación en seco de piezas conformadas por prensado unidireccional*. À Qualicer 1992. Ile congrès mondial sur la qualité des carreaux et revêtements de sol en céramique. Castelló : Chambre de commerce, de l'industrie et de la navigation. 325-345. (1992).
25. BONAQUE, R. *Operaciones de reglaje y ajuste en el prensado*. Cours sur le pressage. Asociación de Técnicos Cerámicos, Castellón. (2017).
26. BRESCIANI, A. ; et al. *Gres porcelánico. Placas de gran formato*. À Qualicer 2000. Vle congrès mondial sur la qualité des carreaux et revêtements de sol en céramique. Castelló : Chambre de commerce, de l'industrie et de la navigation. P.GI 299-316. (2000).
27. BRESCIANI, A. et al. *L'evoluzione della pressatura di piastrelle: dalle origini a Continua+*. Ceramic World Review 118. Pages 170-178. (2016).
28. BRUSA, A. ; BRESCIANI, A. *Tecnología e instalaciones cerámicas*. Conférence à la 3e édition de l'ECERS, Madrid (1993).
29. CASTILLO, G. ; ROMERO, F. *La importancia del molde en la fabricación de piezas complementarias y piezas especiales*. Cours de formation avancée : Le moule céramique. Salle technique MACERCINEI. Universitat Jaume I, Castellón. (mai 2006).
30. CERGOMMA. Catalogue. Disponible à l'adresse <https://www.cergomma.com/es/ceramica/> [consulté le 2/10/2022].
31. COLERA DURÁ, M. *Producción cerámica en Onda, 1920 – 1930*. Musée du carrelage d'Onda. Mairie d'Onda (2002).
32. CONTOLI, L. *Variantes que influyen en el prensado de pavimentos y revestimientos cerámicos*. Técnica Cerámica, 130. 38 – 48. (1985).

33. COVESTRO. *Desmodur® TT1xx + MOCA*. Fiche technique. Disponible à l'adresse https://solutions.covestro.com/en/products/desmodur/desmodur-tt142_86217074-22015750?SelectedCountry=ES [consulté le 2/10/2022].
34. DALMAU, J.I. ; DE MIGUEL FERNANDEZ, E. *El azulejo. Étude sectorielle* Universitat Politècnica de València. Valence. (1991).
35. DEFEZ, B. *Analysis and definition of the optimum design of the back relief in ceramic tiles using finite elements*. Universitat Politècnica de València. Thèse de doctorat. (2007). Disponible à l'adresse https://www.researchgate.net/profile/B-Defez/publication/50837342_Analisis_y_definicion_del_diseno_optimo_del_relieve_al_dorso_en_pavimentos_ceramicos_mediante_elementos_finitos/links/585cff0908aebf17d38a0191/Analisis-y-definicion-del-diseno-optimo-del-relieve-al-dorso-en-pavimentos-ceramicos-mediante-elementos-finitos.pdf [consulté le 25/9/2022].
36. DEFEZ, B. ; et al. *Geometría al dorso de baldosa cerámica: evolución histórica, consideraciones actuales y nuevos enfoques de diseño*. Bol. Soc. Esp. Ceram. V. 49, 3, 197-204 (2010). Disponible à l'adresse https://www.researchgate.net/profile/Guillermo-Peris-Fajarnes/publication/44246625_Geometria_al_dorso_de_baldosa_ceramica_evolucion_historica_consideraciones_actuales_y_nuevos_enfoques_de_diseño/links/00b49525fc7291d094000000/Geometria-al-dorso-de-baldosa-ceramica-evolucion-historica-consideraciones-actuales-y-nuevos-enfoques-de-diseño.pdf [consulté le 25/9/2022].
37. DONDI, M. *Placas cerámicas de bajo espesor: tecnologías, aplicaciones y problemas*. *Cerámica y Cristal*, 144. Pages 38 et 39. (2011).
38. ENRIQUE, J. E. et al. *Alternativas al método de inmersión en mercurio para la determinación de la densidad aparente de baldosas cerámicas*. *Técnica Cerámica*, 250. 18 – 27. (1997).
39. ENRIQUE, J.E. et al. *Controles de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos*. Castelló : IAE, page 94-96. (1989).
40. ESCARDINO, A. et. al. *Comportamiento de las pastas de cocción blanca y roja durante el proceso de fabricación de baldosas cerámicas*. *Técnica Cerámica*, 219. 794-802 (1993).
41. ESTALL I POLÉS, V. *Catálogo de la colección de azulejos de serie del s XIX* faenza Editrice Ibérica. Castelló. (2000).
42. ESTALL I POLÉS, V. *El desarrollo de la industria del azulejo. El caso de Onda. - La ruta de la cerámica* Impiva – Bancaja. Castelló. (2000).
43. ESTALL I POLÉS, V. *La industria cerámica en Onda. Las fábricas, 1778-1997*. Monographies du musée du carrelage d'Onda I. Mairie d'Onda (1997).
44. EUROPEAN STEEL AND ALLOY GRADES/NUMBERS. STEEL NUMBER. Disponible à l'adresse http://www.steelnumber.com/en/number_en10027_eu.php [consulté le 5/11/2022].
45. FATMI ESPAÑOLA, S.A. *El mundo de la cerámica* Catalogue. (1969).
46. FELIU, C. et al. *Medida no destructiva de la densidad aparente de piezas en crudo mediante absorción de rayos X*. A Qualicer 2006. IXe congrès mondial sur la qualité des carreaux et revêtements de sol en céramique. Castelló : Chambre de commerce, de l'industrie et de la navigation. P.BC 69-82. (2006).
47. GAPE DUE S.P.A. *Già varata la seconda generazione degli stampi per formatura ed estrazione con faccia a vista in alto di piastrelle dotate di distanziatore salvasmalto*. *Ceramurgia*, 3-4.144-145. (1988).

48. GALINDO, R. *El molde en la fabricación de la baldosa cerámica*. Éd. Macer. Castelló. (2002).
49. GALINDO, R. *Prensas, moldes y prensado en la fabricación de baldosas cerámicas*. 2^e édition. Éd. Macer. Castelló. (2018).
50. GENERAL CARBIDE. *The designer's guide to tungsten carbide 2021-1*. [Disponible sur https://generalcarbide.com/wp-content/uploads/2021/06/GeneralCarbide-Designers_Guide_TungstenCarbide-2021-1.pdf [consulté le : 27/7/2022]].
51. GOMIS MARTÍ, J.M. *Evolució històrica del taulellet* Col. Universitària. Diputació de Castelló. Castelló. (1990).
52. GOZZI, A. *L'innovazione sulle grandi lastre riparte dal formato minimo*. Ceramic World Review 118. Pages 160-167. (2016).
53. GRAS, M. *Defectos de prensado: interpretación y acciones correctoras*. Cours de formation avancée : Le moule céramique. Salle technique MACER-CINEI. Universitat Jaume I. Castelló. (mai 2006).
54. INGEMECÁNICA. *Características mecánicas del acero* Disponible à l'adresse <https://ingemecanica.com/tutorialesemanal/tutorialn100.html> [Consulté le 7/08/2022].
55. ITC-AICE. *El ciclo de prensado 4^e séance du cours Tecnología del prensado industrial de baldosas cerámicas*. Organisé par ATC. Castelló. (2022).
56. ITC. *Tecnología del prensado industrial de baldosas cerámicas*. Cours sur le pressage. Asociación de Técnicos Cerámicos, Castellón. (2017).
57. JARQUE, J.C. *Estudio del comportamiento mecánico de soportes cerámicos crudos. Mejora de sus propiedades mecánicas*. Universitat Jaume I. Castelló. Thèse de doctorat. (2001).
58. MALLOL, G. et al. *Nuevo equipo para medir la distribución de la densidad aparente de la densidad aparente de piezas cerámicas: DENSEXPLORER*. Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr. Note technique. Disponible à l'adresse <http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/121563/63594.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [consulté le 20/9/2022].
59. MEMBRADO, J.C. *La indústria ceràmica de la Plana de Castelló*, Diputació de Castelló. Col.lecció Universitària. Géographie et histoire. Castelló. (2000).
60. METAL-SERVICE. *Aceros al carbono*. Disponible à l'adresse <http://www.metal-service.net/pdf/CARACTERISTIQUE%20ACERS.pdf> [consulté le 5/08/2022].
61. MONZÓ M.; ENRIQUE, J.E.; DE LA TORRE, J. *Defectos de los productos de monococción (III). Defectos producidos por el prensado y el secado*. Técnica Cerámica, 166. 394-400. (1987).
62. MONZÓ, M. *Estudio de las causas de los defectos de fabricación en la industria de pavimentos y revestimientos cerámicos*. Universitat Jaume I de Castelló. Thèse de doctorat. (1994).
63. MULTISCAN TECHNOLOGIES *Manual de mantenimiento Multiscan DenseXplorer*. Rév. 1.3. (28/01/2016).
64. MULTISCAN TECHNOLOGIES *Manual de usuario Multiscan DenseXplorer* Rév. 1.3. (20/10/2014).

65. ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE (FAO). *Réglementation des matériaux d'emballage en bois utilisés dans le commerce international*. FAO (2018). Disponible à l'adresse https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/ispm_15_mof2018_publicada2019_tcm30-469597.pdf [consulté le 1/11/2022].
66. ORTS, M.J. et al. *Defectos de fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos*. Cerámica Información, 162. 9-162. (1991).
67. PORCAR, J.L. *Apuntes de historia de la cerámica arquitectónica*. Notes sur la matière Histoire de la céramique. Spécialité expérimentale Céramique industrielle. Institut El Caminàs. Castelló. (1989).
68. PORCAR, J.L. *Manual Guía técnica de los revestimientos y pavimentos Cerámicos* Instituto de Tecnología Cerámica de la Diputación de Castellón. Castelló. (1987).
69. PORTOLÉS, J. et al. *Estudio de la dinámica del ciclo de prensado y su influencia sobre la compactación de baldosas cerámicas mediante la sensorización de una prensa industrial*. A Qualicer 1994. Ille congrès mondial sur la qualité des carreaux et revêtements de sol en céramique. Castelló : Chambre de commerce, de l'industrie et de la navigation. 73-91. (1994).
70. POYATOS, A. *Cuchillas simétricas para el prensado de piezas cerámicas*. Modèle d'utilité U 200401322.
71. POYATOS, A.; PARRA, C. *Cuchillas intercambiables para prensas de materiales cerámicos*. Modèle d'utilité U 200302730. (26/11/2003).
72. POYATOS, A. et al. *Desarrollo de moldes de prensado con recubrimientos antidesgaste*, Bol. Soc. Esp. Ceram. 44.1. 33-37 (2005).
73. POYATOS, A. ; RODRÍGUEZ, M.A. *Matrices para el prensado de pavimento y revestimiento cerámico*. Modèle d'utilité U 200302755 (28/11/2003).
74. POYATOS, A. et al. *Moldes Inteligentes para el prensado de pavimento y revestimiento cerámico*. Brevet P200600148 (24/06/06).
75. POYATOS, A. ; PARRA, C. *Punzón hidráulico para fabricación de piezas cerámicas*. Modèle d'utilité U.200101422. (16/03/2002).
76. POYATOS, A., PARRA, C. *Punzón hidráulico para fabricación de piezas cerámicas*. Brevet ES1050209U. (01/07/2002).
77. POYATOS, A., PARRA, C. *Punzón para fabricación de piezas cerámicas*. Modèle d'utilité U 200301012 (23/04/2003).
78. SACMI. Catalogue-Carreaux. Disponible à l'adresse <https://www.sacmi.com/es-ES/ceramics/Azulejos/Prensado-ceramico> [consulté le 12/11/2022].
79. SACMI. *Procedimiento e instalación para la conformación de baldosas o losas cerámicas*. Traduction du brevet européen ES 2 267 045 T3 (1/3/2007).
80. SACMI ; ASSOCIATION ESPAGNOLE DES TECHNICIENS EN CÉRAMIQUE. *Tecnología cerámica aplicada. Vol. 2*. Faenza Editrice Ibérica. Castelló, (2004).

81. SACMI IBÉRICA. *El prensado "en seco" en los años noventa en la industria cerámica*, Técnica Cerámica, 191. Pages 146 à 191. (1991).
82. SACMI IBÉRICA. *Regulación de la prensa por defectos provocados en el ciclo de prensado*. Cours sur le pressage. Asociación de Técnicos Cerámicos, Castellón. (2017).
83. SANDOVAL, F. ; A. IBAÑEZ. *Discusión sobre la influencia de la porosidad en la resistencia mecánica de las baldosas cerámicas*. Bol. Soc. Esp. Cer. Vid. 39. 2. 255-258. (2000).
84. SEXTO, L. *Tipos de mantenimiento: ¿cuántos y cuáles son?* Electromagazine I Mars / Avril 2018. Disponible à l'adresse http://www.mantenimientomundial.com/notas/SEXTO_Tipos-Mantenimiento.pdf [consulté le 22/10/2022].
85. DIVERS AUTEURS. ITC (coord.). *Cerámica para la arquitectura*. Disponible à l'adresse <https://www.tileofspain.com/verDocumento.ashx?documentId=532&tipo=pdf> [consulté le 10/7/2022].
86. VENTURI, V. *Tecnologia Ceramica: Le piastrelle*. Faenza Editrice. Faenza. (1986).

Remerciements.

Les auteurs de cet ouvrage tiennent à remercier tous les collaborateurs de MACER S.L. qui, d'une façon ou d'une autre, ont apporté leur expérience et leurs connaissances à cet ouvrage, et en particulier Sebastián Lengua, Eduardo Cubillas, Alex Poyatos, Ximo Borrás et Francisco Román pour leurs précieuses contributions.

Nous tenons également à remercier tout particulièrement Luis Castillo pour sa collaboration dans certains chapitres de ce livre, qu'il a enrichi de ses connaissances acquises au cours de toutes ses années d'expérience dans le secteur, et Vicente Sanjosé, qui s'est chargé des images, des liens et de l'aspect visuel, dont le magnifique travail a été essentiel pour donner forme à l'ouvrage que le lecteur a entre les mains.

Enfin, nous tenons à remercier tout particulièrement Agustín Poyatos Mora, fondateur et directeur général de MACER S.L., sans qui ce livre n'aurait pas été possible, car c'est de lui qu'est née l'initiative et c'est à lui que nous devons le soutien apporté à la collecte et à la diffusion des connaissances acquises sur les moules pour carreaux céramiques. Nos remerciements personnels pour l'opportunité, le soutien et la confiance accordés à la réalisation de ce livre.

José Antonio Pérez Maximino
Rafael Galindo Renau

