



Moulage au sable de l'aluminium

Guy Morin ing.
Franco Chiesa Ph.D.

Centre de Métallurgie du Québec

20 mars 2019

MOULAGE AU SABLE DE L'ALUMINIUM

Auteurs : Guy Morin, ing. et Franco Chiesa, Ph.D.

1. Introduction

Le moulage au sable est un procédé de moulage qui utilise le sable comme matériau principal du moule et un modèle permanent. On distingue deux variantes :

- Le sable à vert
- Le sable à prise chimique

Le mélange de sable est pressé dans des outillages qui sont retirés pour former une cavité destinée à recevoir l'aluminium liquide. Des blocs de sable préparés à part appelés noyaux servent à mouler les cavités et les détails externes ne permettant pas d'extraire le modèle.

Le moulage au sable permet la production de pièces de faibles à moyennes séries avec une bonne liberté de conception (figure 1). Il n'y a pas de limites de dimensions.



Figure 1. Petites pièces moulées au sable à prise chimique

2. Éléments d'un moule au sable et conception

Le mélange de sable (à vert ou à prise chimique) est compressé contre le modèle qui est une copie de la pièce plus grande d'environ 1 %. Le modèle imprime aussi les canaux d'alimentation et les masselottes servant à fournir l'empreinte en métal liquide pendant la coulée et la solidification qui suit la fin de

la coulée. En général, le moule est constitué de deux parties; le châssis supérieur (*cope*) et le châssis inférieur (*drag*). Lors de la préparation du moule, une descente de coulée pour l'alimentation en métal et des événements servant à évacuer les gaz présents dans l'empreinte sont percés dans la partie supérieure du moule. Afin de former des détails extérieurs ou les cavités qui ne peuvent pas se mouler en retirant le modèle, on utilise des outillages séparés (boîtes à noyaux). Les noyaux sont fabriqués par le procédé au sable à prise chimique. Certaines formes extérieures nécessitent un moule avec plus de deux châssis. Les figures 2 et 3 montrent un moule au sable à prise chimique et le moulage produit; pour ce moulage, aucun noyau n'est nécessaire.

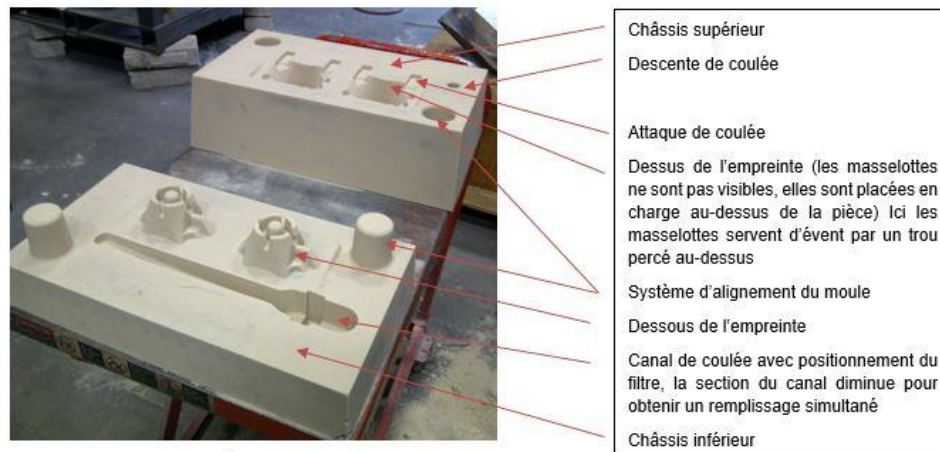


Figure 2. Éléments d'un moule au sable (sable à prise chimique)



Figure 3. Moules coulés; trous d'évents visibles et moulage final avec masselottes en charge

Le fondeur est responsable de la conception du moule qui comprend les éléments suivants :

- Ajout du retrait de fonderie (autour de 1 %), car l'aluminium liquide se contracte lors de la solidification et à l'état solide. La contraction du liquide avant la solidification est compensée par les masselottes, mais le retrait subséquent affecte la dimension finale de la pièce.

- Ajout des angles de dépouille de 2 à 4 % qui permettent de retirer le modèle du moule de sable.
- Ajout des surépaisseurs d'usinage.
- Prévion de la solidification dirigée afin de terminer la solidification dans les masselottes, les canaux d'alimentation ou encore dans des zones du moulage non-critiques. Celle-ci est obtenue par le placement des masselottes et de refroidisseurs (blocs de fonte) dans le moule.
- Ajout d'évidements servant à localiser les noyaux et les refroidisseurs dans le moule.
- Calcul du système d'alimentation, afin de remplir avec une vitesse optimisée qui réduit la turbulence et permet de remplir l'empreinte avant le début de la solidification.
- Conception des boîtes à noyaux.
- Dans certains cas, le fondeur offre les deux procédés à vert ou à prise chimique et en fera le choix en fonction des requis de moulage demandé.

Certains fondeurs (et aussi des concepteurs) utilisent des logiciels de simulation de remplissage et de solidification pour concevoir le système d'alimentation et le masselottage du moule.

Bien entendu, une conception de pièce adaptée à la fonderie dès le départ augmente le degré du succès de la mise en production d'une pièce par moulage au sable. Il est recommandé de:

- Utiliser des sections uniformes.
- Éviter les masses de métal isolées.
- Utiliser des rayons et limiter les angles vifs.
- Tenir compte des axes de démoulage pour éviter un moule trop complexe.
- Tenir compte des tolérances associées au-dessus et au-dessous du moule qui ne sont pas moulées ensemble.
- Prévoir que le moulage aura des angles de dépouille afin de pouvoir extraire le modèle du moule en sable.

3. Moulage en sable à vert

Pour ce procédé, le matériau de moulage est constitué d'un mélange de sable, de bentonite et d'eau. La recette du mélange dépend de chaque fonderie en fonction du type de sable et de bentonite, de pièces produites et des équipements disponibles. Le mélange de base est le suivant :

- Sable de silice de granulométrie 50-110 AFS avec distribution sur trois à quatre tamis
- Bentonite 5 à 12 %; On préfère la bentonite calcique pour le moulage de l'aluminium
- Eau 2 à 5 %

Le mélange de sable est préparé en continu par une série d'équipement tamis et mélangeur de sable et convoyé aux postes ou à une machine de moulage. La fonderie effectue des tests sur le sable (contenu en argile, humidité, perméabilité) afin de garantir la stabilité de la recette. Un système de refroidissement du sable est parfois nécessaire après le démoulage pour amener le sable à la température la plus proche de l'ambiante afin de recommencer le cycle.

En moulage en sable à vert (figure 4), on utilise surtout des boîtes à mouler et des plaques modèles. Les plaques modèles et les outillages pour la fabrication des noyaux sont payés par le client et leur appartiennent. Les matériaux servant à fabriquer les plaques modèles sont diverses essences de bois, le plastique, l'aluminium ou l'acier inoxydable ou une combinaison de ces matériaux. Le nombre de pièces à fabriquer déterminera le matériel de l'outillage et aussi le passage au moulage mécanisé. Certains procédés de fabrication mécanisés sur machine à mouler utilisent exclusivement des outillages métalliques.



Figure 4. Coulée de moules en sable à vert

On distingue trois méthodes de fabrication de moule à vert pour l'aluminium.

1. Moulage manuel, utilisé en mode artisanal, ou pour la fabrication de grosses pièces.
2. Moulage manuel assisté mécaniquement (machine jolt and squeeze – figure 5), ce procédé est largement utilisé, il permet d'accélérer la fabrication des moules et assurer une meilleure répétabilité.
3. Moulage mécanique sur machine à mouler, ce procédé donnera les meilleurs moules avec une dureté permettant d'améliorer les tolérances dimensionnelles. Par contre, une quantité minimale de pièces et de pièces par campagne de coulée est requise pour justifier cette mécanisation. Ce type de machine peut fabriquer des moules qui seront coulés avec ou sans boîtes autour du sable.



Figure 5a. Compression du sable contre la plaque modèle du châssis inférieur, terminé par des secousses (*jolt*)



Figure 5b. Renversement du châssis inférieur, remplissage du châssis supérieur et pression (*squeeze*)



Figure 5c. Percement des événements dans le châssis supérieur, soulèvement du châssis supérieur pour extraire la plaque modèle



Figure 5d. Nettoyage et inspection de l'empreinte, fermeture du moule

3.1. Avantages et capacités du moulage en sable à vert

Le moulage à vert offre le coût minimal pour de faibles ou moyennes séries. Il peut être utilisé pour des très grandes séries avec des investissements très importants (*Disamatic*). Le fini de surface est le moins bon parmi les procédés de moulage et les tolérances dimensionnelles sont les plus larges. La marque laissée par le plan de joint est habituellement visible. Une bonne dextérité et l'attention du personnel de fonderie sont nécessaires pour obtenir une bonne qualité.

Outre l'avantage du coût, le moulage au sable, grâce à l'utilisation des noyaux, offre au concepteur une liberté totale de sa conception en trois dimensions avec ou sans cavités. L'usage de noyaux rend un moulage plus cher dû aux outillages et manipulations supplémentaires, mais peut éliminer certaines opérations d'évidement de matière par usinage ou encore permet un allègement du moulage.

Étant donné que les tolérances obtenues sont plus larges, toutes les dimensions critiques de la pièce doivent être usinées. Si la conception de la pièce nécessite un moule avec beaucoup de détails fins fragiles ou encore des tolérances dimensionnelles qui excèdent la capacité du moulage au sable à vert, le procédé de moulage au sable à prise chimique sera nécessaire. Plusieurs fonderies au sable offrent les deux procédés afin de couvrir tout le marché.

Le moule au sable est moins rigide qu'un moule métallique, cela permet d'élargir la liberté de conception aux gammes d'alliages les plus résistants de la série 200 ou résistant à la corrosion comme le 535, mais qui ont tendance à fissurer à chaud, lorsque moulé en moules métalliques. Les alliages les plus utilisés sont ceux de la série 356.

Puisqu'il s'agit de moules temporaires, il y a un ratio coûts d'outillage / coûts de fabrication des moules où il devient avantageux de recourir à un moule permanent en acier (coquille). Cependant, l'usage d'un moule permanent pour mouler l'aluminium réduit le degré de liberté de la conception de sorte que le moule au sable reste parfois la seule option possible.

3.2. Marchés du moulage en sable à vert

En résumé, le procédé offre les caractéristiques suivantes :

- Faibles coûts
- Tolérances dimensionnelles larges, fini de surface le plus rugueux, plan de joint visible
- Optimisé pour les faibles à moyennes séries
- Usinage requis après le moulage pour presque toutes les surfaces fonctionnelles
- Pièces simples à complexes avec un fort degré de liberté de conception et au niveau des alliages

Le marché du moulage sable à vert est concentré sur les pièces commerciales : attaches, quincaillerie, pièce de fixation et pièces d'équipement électriques.

4. Moulage en sable à prise chimique (ou durci à froid ou «no bake»)

Pour ce procédé, le sable de silice est mélangé à un polymère durcissant par prise à froid, le sable est mélangé directement dans une vis sans fin à une résine et un catalyseur durcissant (figure 6). Après un temps de prise suffisant pour permettre le moulage sur le modèle, la résine est réticulée par le durcisseur et sert de liant aux grains de sable. Le procédé permet d'obtenir un meilleur fini de surface et des tolérances dimensionnelles plus serrées que pour le moulage en sable à vert et qui s'approche de celles offertes par le procédé à moule permanent. Il est possible de fabriquer de grosses pièces de formes complexes en combinaison avec des noyaux. Le procédé demande un surcoût par rapport

au moulage en sable à vert dû au coût de résine et de recyclage du sable. Le sable à prise chimique peut-être facilement recyclé par attrition (usure du polymère) ou par combustion du liant. Le procédé est toujours en évolution pour limiter les émissions atmosphériques, dont les seuils sont en constante diminution.

Plusieurs procédés existent pour l'aluminium :

- Résines furaniques largement utilisées pour mouler l'aluminium
- Résines phénoliques
- Polyuréthanes
- En développement, on note les résines à faible contenu en composés organiques volatils ou inorganiques (silicate de soude)



Figure 6. Mélangeur à sable à prise chimique

La ligne de préparation des moules est plus simple que celle du moulage en sable à vert. Elle est composée d'un mélangeur à vis (sable et résine) qui alimente un poste de moulage manuel ou une machine à mouler, une station de compression et de retournement du moule. On trouve aussi un poste de travail muni d'une pince pour retourner le châssis supérieur et refermer le moule une fois l'inspection faite; suivent l'installation d'un filtre à métal, des noyaux et l'application d'un enduit. Après la coulée et le démoulage, le sable est régénéré mécaniquement ou thermiquement pour être réutilisé en y ajoutant un peu de sable neuf. La fonderie effectue aussi des tests sur les sables comme la demande acide ou le pH qui affectent la prise par le catalyseur.

En moule à prise chimique on utilise plutôt des boîtes à mouler intégrales de type caisson avec modèle au fond de la boîte (figure 7). Ces boîtes sont placées directement sous le mélangeur ou montées sur une machine à mouler. On

produit ainsi des moules sans boîte à mouler en place pour passer à l'étape de la coulée (voir figure 3).

La conception du moulage est sensiblement la même que pour le moule en sable à vert, c'est-à-dire l'utilisation des principes de solidification dirigée et du système d'alimentation.



Figure 7. Outillage de type caisson pour moule au sable à prise chimique avec descente de coulée en place; châssis supérieur

4.1. Avantages et capacités du moulage au sable avec prise chimique

La plus grande résistance du moule permet de couler de très grosses pièces. Sa plus forte rigidité permet une nette amélioration des tolérances (par exemple : plus ou moins 1,3 mm sur 300 mm au lieu de 1,6 pour les moules en sable à vert). On parle souvent de moulage au sable de précision. Le fini de surface est assuré par l'usage d'une granulométrie de sable fine et l'utilisation d'enduit. On conserve la liberté totale de la conception en trois dimensions avec ou sans cavités. L'usage de noyaux rend le moulage plus cher dû aux outillages et manipulations supplémentaires, mais peut éliminer certaines opérations d'évidement de matière par usinage ou encore permet un allègement du moulage.

Le procédé de moulage génère moins d'inclusions dans la pièce que le procédé en sable à vert, en conséquence l'allongement à la rupture est augmenté et on peut envisager l'utilisation d'un alliage A356.1 ou A356.2 à plus faible teneur en fer. Bien entendu, les alliages les plus résistants comme ceux de la série 200 ou

le 535 peuvent être moulés, car le sable du moule se comprime lors de la solidification réduisant le risque de fissuration à chaud.

4.2. Marchés du moulage au sable avec prise chimique

En résumé, le procédé de moulage à prise chimique offre les caractéristiques suivantes :

- Possibilité de couler de très grosses pièces
- Bonnes tolérances dimensionnelles pour le moulage de détails fonctionnels sans besoin d'usinage, bon fini de surface le plus rugueux, plan de joint visible
- Usinage requis après le moulage, mais certains détails fonctionnels comme des hauteurs ou longueurs hors tout et des détails fonctionnels peuvent être moulés sans usinage
- Optimisé pour les faibles à moyennes séries
- Propriétés mécaniques améliorées, car il y a moins de sable entraîné dans les pièces
- Pièces simples à complexes avec un fort degré de liberté de conception et au niveau des alliages

Le marché du moulage à prise chimique est concentré sur les grosses pièces, les pièces commerciales structurales et les pièces aéronautiques de faibles et moyennes séries pour lesquelles la précision dimensionnelle est requise : boîtiers, pièces de moteurs d'avion, attaches avec détails fonctionnels externes.

4.3. Moulage au sable basse pression

Cette variation du moulage au sable à prise chimique a pour but de réduire la turbulence au remplissage et de réduire la quantité d'inclusions d'oxydes par un remplissage contrôlé du moule par le bas. Le moule au sable à prise chimique est placé au-dessus d'un four et relié par un tube de transfert immergé dans le bain d'aluminium liquide. Pendant la phase de coulée, une pression d'air inférieure à 0,6 bar est appliquée pour remplir le moule par le bas. La méthode est la même que pour le moulage en moule permanent basse pression, mais offre l'avantage d'alimenter le moule à plusieurs endroits. Celui-ci étant en sable se démoule facilement après la solidification.

4.4. Ablation

Ce procédé très peu utilisé coule le métal dans un moule en sable au liant soluble dans l'eau. Avant la solidification complète de l'aluminium, des jets d'eau

dissolvent le sable et refroidissent rapidement la pièce, lui conférant d'excellentes propriétés mécaniques. Quelques pièces structurales du secteur automobile ont été réalisées avec succès. Le procédé se heurte au surcoût du traitement de l'eau et du séchage du sable après l'ablation.

4.5 Fabrication additive (impression de moules et de noyaux)

Il est maintenant possible d'imprimer un moule à prise chimique ou des noyaux par impression 3D sur lit de sable. Le procédé utilise une résine durcissant à chaud en étuve. Le procédé est utilisé commercialement par des fonderies pour la production de noyaux complexes pour la coulée de séries. La liberté de conception des noyaux est améliorée puisqu'ils sont faits sans outillage à retirer. En ce qui concerne la fabrication de moule, on en est plutôt au stade du prototypage.

5. Alliages pour le moulage au sable

Le marché est largement dominé par la série 356 (356, A356, 357, C355). La présence de silicium permet d'abaisser le point de fusion à 577°C. Pour un alliage à 7 % silicium, la solidification débute cependant autour de 620°C et se termine à 577°C. L'alliage possède donc un intervalle de solidification (il passe par un état pâteux solide-liquide). Le faible point de fusion combiné à une résistance mécanique faible de l'alliage permet de refermer toute fissure en formation lors de la solidification; l'alliage est donc peu sujet à la fissuration à chaud. Cet intervalle de solidification combinée à la présence d'hydrogène dissout dans le liquide provoque la formation de microporosité dans toute pièce moulée en 356 et peut causer des pertes d'étanchéité et aussi la baisse des propriétés mécaniques. La fonderie effectue donc un dégazage au rotor avec argon pour capter l'hydrogène dissout et l'évacuer du bain de fusion avant la coulée. Dans le cas de petites pièces non critiques, la fonderie peut couler en continu sans dégazage ce qui abaisse le coût et facilite l'opération. Pour les pièces critiques, la série de moules sera fabriquée, puis un bain de métal fondu sera dégazé et entièrement coulé dans la série de moules. L'alliage 356/A356 peut se traiter thermiquement à l'état T6 pour les propriétés maximales ou à l'état T5 pour obtenir un compromis entre propriétés mécaniques et la distorsion consécutive à la trempe pour les pièces minces. L'alliage 356/A356 offre une bonne soudabilité ce qui permet les réparations après entente avec le client. Les pièces sont généralement utilisées non peintes ou peintes; l'anodisation sortira de couleur grise à cause du silicium.

Étant donné que le procédé à prise chimique génère moins d'inclusions que le procédé en sable à vert, il devient avantageux d'utiliser un alliage faible en fer (A356.1, A356.2, C355). Le fer forme des cristaux sous forme acérée dans la structure ce qui favorise la formation de concentration de contrainte et abaisse l'allongement à la rupture. On peut aussi traiter le bain de métal au strontium afin

d'arrondir les cristaux de silicium, mais ce traitement rend le métal plus sensible à la présence de porosité. Certaines fonderies à vert rencontrent quand même les requis des normes ASTM pour le A356.

Les autres alliages moulés utilisés sont: le 535 utilisé pour des pièces résistant à la corrosion marine, les alliages de la série 700 qui répondent bien au brasage et plus rarement les alliages les plus résistants de la série 200. Mis à part la série 356, les alliages sont difficiles à couler ce qui s'accompagne de coûts additionnels. Le tableau 1 donne la liste des principaux alliages moulés en sable. La liste complète des alliages, une description des propriétés mécaniques et une classification complète des caractéristiques comme : résistance à la corrosion, usinabilité et aptitude aux traitements de surface sont disponibles dans la norme ASTM B26/B26M.

En ce qui concerne les alliages du tableau 1, les propriétés mécaniques sont données pour les barreaux coulés à part. De bonnes pratiques de fonderie permettent souvent de dépasser de valeurs minimum spécifiées par 10 à 20 %.

6. Noyautage à prise chimique

Ces procédés permettent la fabrication de noyaux résistant au passage de l'aluminium liquide. Le but est d'éviter la génération de gaz dans le métal liquide en contact avec le noyau. On peut utiliser ces noyaux pour le procédé en sable à vert ou en sable à prise chimique et aussi en moule permanent (coquille).

On distingue :

- Sable à prise chimique
- Procédés à chambre chaude
- Procédés à chambre froide

Pour le procédé à sable chimique, on peut fabriquer les noyaux dans un outillage à part avec le même sable utilisé pour fabriquer les moules. Le procédé est utilisé pour la fabrication de noyaux latéraux pour mouler des formes qui s'arracheraient lors de l'extraction du modèle (contre dépouille). Pour les noyaux internes, cette méthode a ses limites (résistance mécanique et dégagement de gaz).

Le procédé de noyautage à chambre chaude a été mis en marché vers 1950 et est encore utilisé. On utilise un sable enrobé de résine thermodurcissable qui est soufflé dans la boîte à noyaux. Celle-ci est constituée de deux parties chauffées puis fermées pour le remplissage du sable enrobé. Après la prise à chaud, la boîte à noyau est retournée pour vidanger l'excédent de sable. Les noyaux

fabriqués en chambre chaude ayant été pris à chaud sont compatibles pour le moule permanent.

Le procédé à chambre froide (figure 9) remplace de plus en plus le procédé à chambre chaude dans la fonderie de sable, car il génère moins de composés volatils et de gaz pouvant rester emprisonnés dans la pièce moulée. Le procédé est beaucoup plus rapide que le procédé à chambre chaude. Il utilise un outillage en acier dans lequel est soufflé un sable mélangé à une résine polyuréthane. Le durcissement par réticulation de la résine se produit par un passage d'un gaz amine réactif au travers du sable confiné dans l'outillage. Le gaz est entreposé à l'état liquide dans un réservoir de la machine à noyauter, mais sous un léger chauffage il se vaporise. Un gaz porteur comme l'azote permet l'injection et le transport du gaz amine au travers du sable. Après un temps de prise déterminé, la boîte à noyaux est ouverte et le noyau est retiré. On applique habituellement un enduit sur les noyaux pour améliorer le fini de surface et garder les gaz dans le noyau.



Figure 9. Procédé de noyautage à chambre chaude à gauche et à chambre froide à droite (robertsinfo.com).

Une variante du noyautage à chambre froide est l'utilisation d'une résine inorganique (exemple : silicate de soude) durcie par du gaz carbonique. Ce procédé est utilisé par les plus petites fonderies ou les courtes séries. L'extraction du sable durci au CO_2 au démoulage peut devenir ardue surtout si le noyau a été fortement chauffé par exemple, lorsqu'entouré d'une bonne épaisseur de métal liquide. D'autres procédés de noyautage à chambre froide utilisent le SO_2 comme gaz durcisseur. Mis à part le besoin de mitigation pour la sécurité, les noyaux sont de bonne qualité.

Les noyaux aux huiles siccatives qui demandaient un séchage prolongé de plusieurs jours en étuve ont disparus du marché dans les pays industrialisés.

Tableau 1 - Principaux alliages pour le moulage au sable

Alliages et état	Propriétés mécaniques selon ASTM B26M pour les barreaux à part			Commentaires et utilisations
	Résistance mécanique MPa	Limite élastique MPa	All. %	
356.0 F	130	65	2	Alliage d'usage général pour des pièces non sollicitées. À l'état brut de coulée, il offre le coût minimum et les propriétés mécaniques les plus faibles.
356.0T6	205	140	3	
A356.0 T6	235	165	3,5	Alliage d'usage général. À l'état durci, il offre le coût minimum et les propriétés mécaniques les meilleures.
A319.0 F	160	90	1,5	Alliage de résistance moyenne qui conserve ses propriétés mécaniques à chaud à coût minimum. Il peut se traiter thermiquement à l'état T5 et T6.
A319.0 T6	215	140	1.5	
355.0 T6	220	145	2	Alliage de résistance légèrement supérieure au 356, il contient un peu de cuivre qui permet de conserver ses propriétés mécaniques à chaud.
C355.0 T5	250	170	2.5	Cette nuance faible en fer du 355.0 sera choisie pour le moulage à prise chimique.
535.0 F	240	125	9	Alliage pour applications maritimes Contient 7 % de magnésium, le bain de fusion est plus difficile à traiter et il est sensible à la formation d'oxydes à la coulée. L'alliage présente des difficultés au niveau de la fissuration à chaud, l'étanchéité et la soudabilité.
713.0 T5	220	150	3	Cet alliage présente des difficultés au niveau de l'étanchéité des pièces et leur soudabilité. Il s'usine très bien, peut se braser et répond bien aux traitements de surface d'anodisation ou de conversion chimique.
201.0 T7	415	345	3	Alliages les plus résistants, mais difficiles à mouler dû leur tendance à la fissuration à chaud. Utilisés surtout en aérospatiale et pour des pièces de machinerie.
206.0 T71	420*	340*	4*	

7. Fonderies québécoises offrant les procédés de moulage au sable

Entreprise	Site Internet	Localisation
Alu Fonte	https://alu-fonte.com	Waterloo
Fondalco	www.fondalco.com	Plessisville
Fonderie Benoit Marcoux	www.fonderiemarcoux.com	Laurierville
Fonderie le bronzier Création le bronzier Inc.	www.fonderielebronzier.ca	Cowansville
Fonderie Pelletier Inc.		Saint-Aubert
Fonderie St Romuald Inc.		Lévis
Fondremy Inc.	www.fondremy.com	Chambly
Métallurgie Syca Inc.	www.syca-inc.com	Saint-Dominique
Mitchell Aerospace	www.aeromontreal.ca/mitchell-aerospace-en	Montréal
Paber Aluminium Inc.	https://paber-alu.com	Cap-St-Ignace
Technologie du magnésium et de l'aluminium	www.tma-casting.com	Trois-Rivières

Références

- *AFS Aluminum casting technology 3rd edition American Foundry Society Schaumburg Il 2017*
- *ASM Handbook Volume 15 Casting, ASM International, Metals park Oh 1998*
- *ASTM B26/B26M-14 Standard Specification for Aluminum-Alloy Sand Casting, ASTM International bar Harbour, PA 2014*