

LE MOULAGE

Le document comprend également une partie sculpture et une partie production.

Création d'un moule

Le but de cette partie est d'expliquer dans le détail comment réaliser un moule en élastomère pour produire une petite série de figurines en résine polyuréthane. L'objet dont on va prendre l'empreinte sera appelé « original ». Il n'y a pas véritablement de limite de taille ou de géométrie pour l'original, les contraintes proviennent de problèmes de compatibilité chimique, de coût de revient et de durée de vie du moule. La technique est abordable par toute personne sachant calculer des volumes et ayant conscience des précautions relatives à l'emploi de produits nocifs.

1. Préparation de l'original

Absolument nécessaire, la préparation de l'original représente 80% de la réussite d'un moulage (les 20% restant étant la préparation du caoutchouc). Bien pensée cette phase permet de réaliser des moulages de qualité quasiment professionnelle sans matériel lourd.

La résine polyuréthane est très mouillante et fluide lors du mélange mais polymérise rapidement. La préparation de l'original vise à :

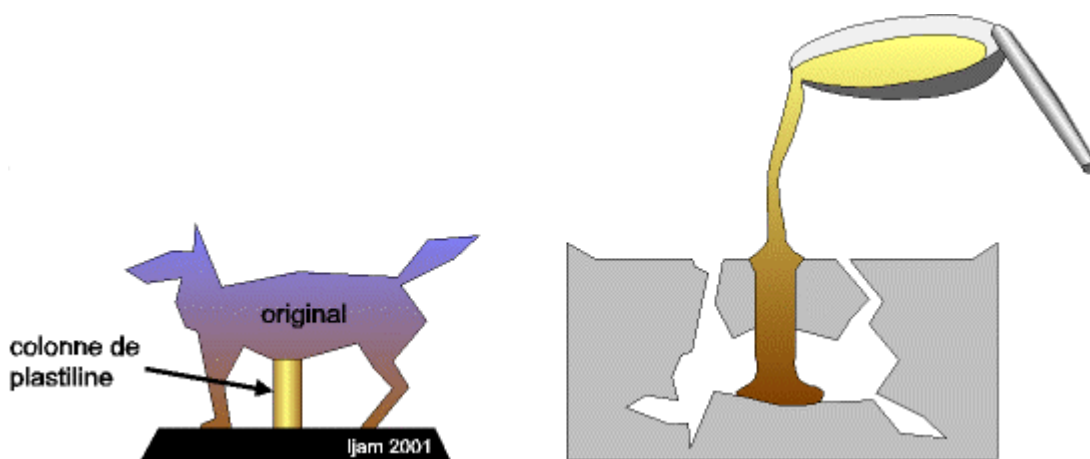
- permettre un débit de coulée suffisant pour remplir le moule avant le début de la polymérisation de la résine,
- permettre l'évacuation de l'air présent dans le moule lors de la coulée,

L'original doit être fixé sur une plaque lisse (verre ou plastique) rigide et de dimension suffisante.

1.1 Problème du débit de résine

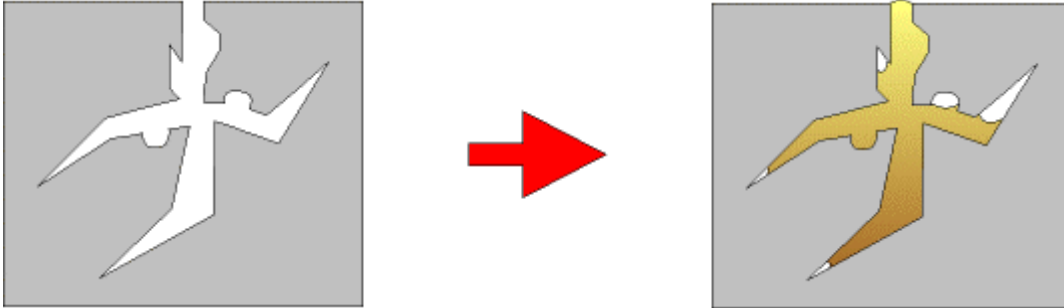
Un peu de mécanique des fluides : plus un orifice est petit, plus il est difficile d'y faire circuler un liquide à l'intérieur. Le moule est un bloc de caoutchouc avec juste deux petit trou correspondant à l'emplacement des jambes dans lequel on coule la résine. Si les jambes sont frêles et le corps important la résine va devenir trop visqueuse avant d'avoir rempli la totalité du volume intérieur. On dispose en effet de moins d'une minute si l'on veut que la résine envahisse les moindre détails du moule.

Ce phénomènes est particulièrement fréquent sur les chevaux, les loups, etc. La solution consiste à coller une colonne de Plastiline, sous le ventre de l'animal (voir fig. ci-dessous) qui deviendra, une fois ôtée, le conduit de remplissage du moule. Cette colonne se retrouvera sur les figurines lors de la production, il faut donc quelle soit facilement détachable tout en assurant un débit suffisant.

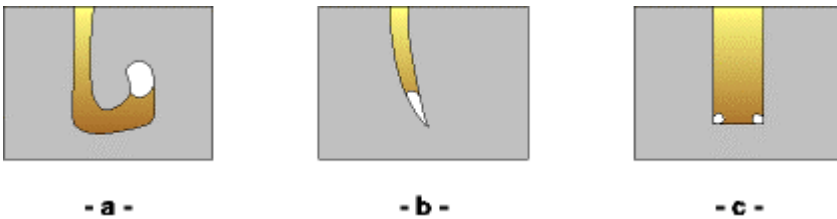


1.2 Problème de l'air captif

C'est le principal problème. Pour réussir la préparation de l'original il vaut imaginer le parcours de la résine liquide durant la coulée. Celle-ci s'accumule d'abord au fond du moule, puis le niveau monte progressivement dans la cavité. L'air doit pouvoir quitter le moule si l'on veut un moulage complet. Dans le cas contraire des bulles, voire des poches d'air, se forment aux endroits critiques. Dans ce cas, lors du démoulage, on constate qu'il manque un bras, une épée ou un détail, et que la résine, très brillante à ces endroits, forme une calotte sphérique (voir figure).



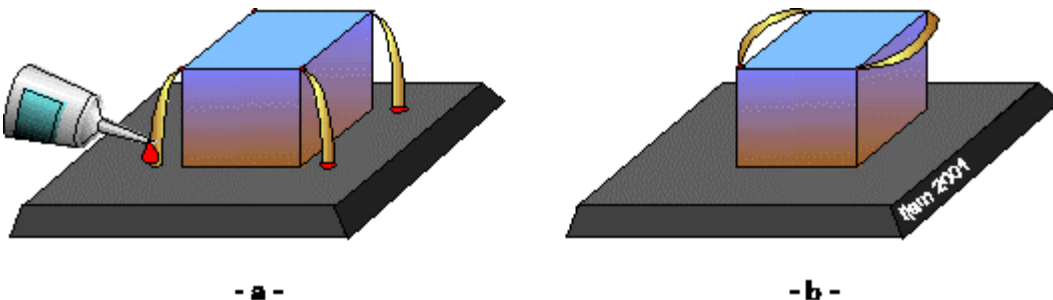
Si l'on considère les diverses cavités verticales représentées sur la figure suivante, des bulles d'air restent coincées aux extrémités lors de la coulée. Ce phénomène est dû aux forces de tensions superficielles qui empêchent la bulle de se détacher.



De même, si vous essayez de mouler un cube parfait, les quatre coins seront tronqués (fig. précédente, partie C). Paradoxalement un cube est plus délicat à mouler qu'une sphère. Une pompe à vide ou des vibrations peuvent éventuellement palier au problème. La technique exposée ici consiste à éliminer ces bulles grâce à des canaux d'évacuation.

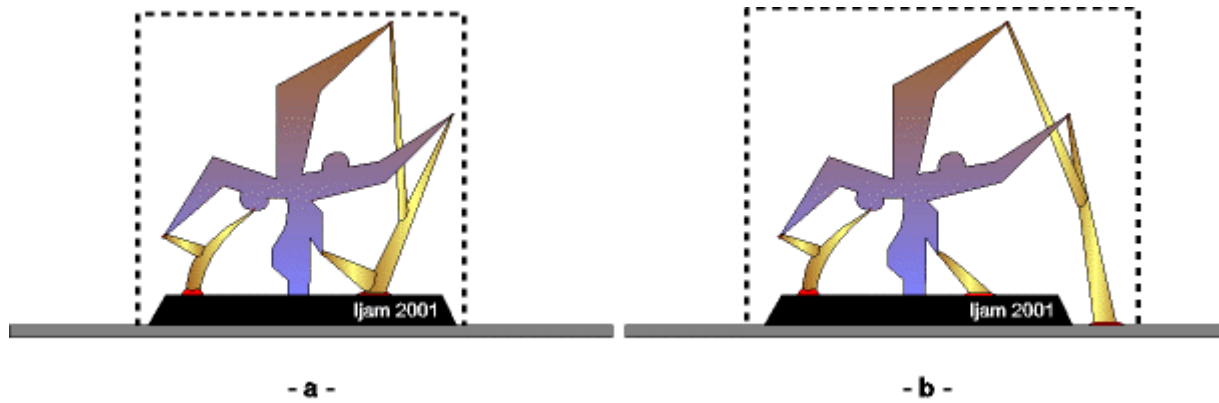
1.3 Canaux d'évacuation

Les canaux d'évacuation sont donc destinés à éviter la formation de bulles ou de poches d'air. La figure suivante représente les canaux d'évacuation nécessaires au moulage du cube. On peut soit réaliser un canal par coin (a) : la résine remonte alors jusqu'au socle. Soit relier les coins (b) et dans ce cas une bulle d'air va se former au centre de chacune des liaisons. Cette dernière méthode permet de simplifier la découpe du moule en diminuant le nombre de liaison avec le socle.



La figure suivante représente la préparation d'un original plus complexe. Les canaux sont regroupés comme les branches d'un arbre. La jonction canal/figurine doit être la plus fine possible de manière à faciliter le démoulage, l'ébavurage et diminuer le volume de résine perdu. Il faut également veiller à réduire au maximum

le volume engendré par la présence des canaux (optimisation du volume d'élastomère). La solution (a) est meilleure que la (b).



Si l'on désire mouler une forme à l'horizontale, dont la section est faible il suffit de créer simplement un canal à l'extrémité plutôt qu'une série de canaux sur toute la longueur (figure suivante). Par contre si la section est importante il peut y avoir stratification de l'écoulement de résine au moment de l'invasion ce qui complique les choses.



De manière pratique, les canaux sont confectionnés sous forme de cônes fins, en Plastiline (roulée avec un doigt) qui est une pâte à modeler compatible avec l'élastomère. Après avoir sélectionné l'emplacement et la longueur adéquate, la base du cône est collée, avec une goutte de cyanocrylate, sur le socle et le sommet est collé au niveau de l'endroit critique (figure précédente, partie A). La cyanocrylate n'est pas indispensable mais permet d'obtenir un réseau « solide » et évite d'inutiles pertes de temps.

Le choix de l'emplacement et du nombre de canaux est une question d'expérience. Comme toujours il faut débiter par des figurines simples afin d'acquiescer la maîtrise technique, ensuite rien ne vous empêchera de mouler un hérissé du Chaos géant !

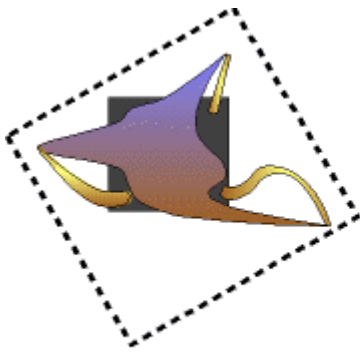
2. Choix de l'élastomère

Dans la partie consacrée à la production, nous verrons que lors de la phase de polymérisation la température de la résine peut dépasser 80 °C. C'est pourquoi il faut privilégier un élastomère, compatible avec le polyuréthane, capable de résister aux températures moyennes. La propriété essentielle du moule reste son élasticité. Si l'élastomère est trop souple, il est facilement déchirable, s'il est trop dur les pièces extraites peuvent être brisées. Il faut également vérifier la compatibilité chimique de l'original avec l'élastomère. Certains types de pâte à modeler, par exemple, inhibent la vulcanisation du caoutchouc. Il faut donc faire des tentatives rapides pour tester cette compatibilité.

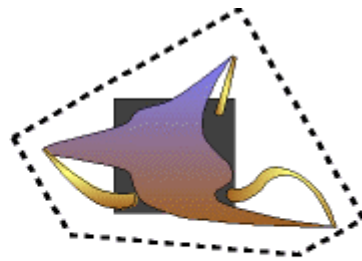
Pour ma part j'utilise un caoutchouc silicone Waker RTV-2 EL M4502 avec son durcisseur T14. Sa couleur est grise.

3. Boîte de moulage

La boîte de moulage remplit deux fonctions. Premièrement, elle permet de créer le volume dans lequel va être coulé l'élastomère. Deuxièmement, lors de la production, la boîte de moulage permet de maintenir le moule fermé de manière étanche. Un mot d'ordre : simplicité ! Le moule une fois fini se composera d'une pièce unique. Pas question de prévoir des plots de centrage ou un coffrage. Dans un premier temps on fera des boîtes rectangulaires, puis on pourra accroître le nombre de faces afin de diminuer le volume d'élastomère (figure suivante).



- a -



- b -

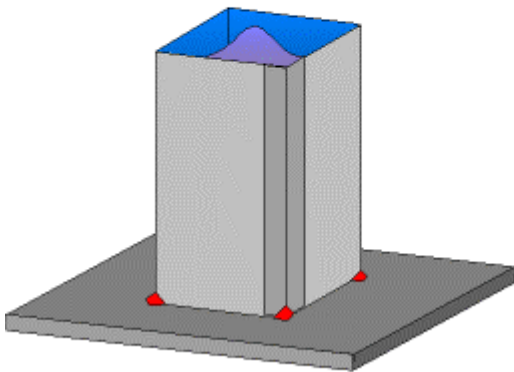
A l'aide d'un pied à coulisse et d'un réglet , mesurer l, L et h. On ajoute 1 mm de part et d'autre pour éviter les problèmes de fuites et de tenue mécanique. En effet, si le caoutchouc forme une membrane il a tendance à se déformer et à se dégrader plus vite. Dans une bande de carton souple (boite de CD-R) marquer au cutter les 4 faces de la boîte (figure suivante partie A). Fermer le tout avec un bout d'adhésif (partie B). Attention la face brillante sera placée vers l'intérieur, la face papier à l'extérieur permettra de noter la référence du moule et la quantité de résine à employer.



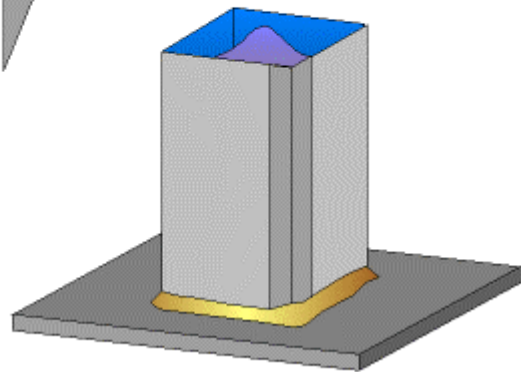
- a -



- b -



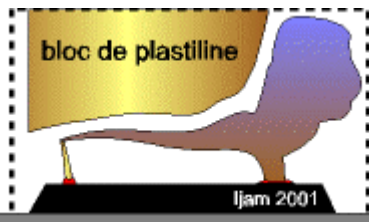
- c -



- d -

Après avoir vérifié le positionnement, mettre 4 points de colle cyanocrylate pour coller la boîte sur le support (partie C). A l'aide de boudins de pâte à modeler (moins chère que la Plastiline) sceller tout le périmètre de la jonction (partie D). On peut utiliser la cyano sur la pâte à modeler. Lisser avec un couteau pour parfaire l'étanchéité. Cette étape est très importante : si une partie de la figurine touche les parois de carton ou la base est mal scellée cela créera des problèmes lors de la coulée du RTV-2.

Cette boîte, tel un sarcophage, doit coller au plus près de l'original et du réseau de canaux. Il faut faire là un compromis entre économie d'élastomère et solidité. Le silicone représentant le coût le plus lourd, on peu faire des inclusions de Plastiline pour en réduire le volume (figure suivante). On prendra cependant la précaution de retirer la Plastiline une fois le RTV-2 vulcanisé car elle se déforme avec la chaleur dégagée par la polymérisation de la résine.



Une fois cette technique maîtrisée vous pouvez faire des moulages contenant plusieurs figurines. Cela permet de diminuer le volume d'élastomère et d'accélérer la production. Il faut cependant éviter les communications entre modèles pour pouvoir faire le tirage d'un seul modèle.

4. Vulcanisation

Le caoutchouc est stocké dans un récipient en acier, à l'air libre il ne sèche pas. Très visqueux et collant il est difficile de s'en débarrasser et plus généralement de le manipuler. Pour le faire durcir il faut le mélanger à un catalyseur : c'est le processus de vulcanisation. Dans le cas du RTV-2, la vulcanisation est hydrophile ; la présence d'eau favorise la réaction. Attention cependant ce n'est pas le cas de tous les caoutchoucs silicones, il convient bien entendu de lire la notice technique que vous pouvez obtenir auprès du distributeur. Cette propriété va nous permettre de booster la vulcanisation par adjonction d'une ou deux gouttes d'eau (le secret du chef).

4.1 Détermination du volume de caoutchouc

C'est la phase critique de la fabrication du moule. Si la vulcanisation ne se fait pas totalement l'original est quasiment perdu, le nettoyage du RTV-2 étant pénible (acétone ou n-pentane éventuellement). La première étape consiste à déterminer le volume de caoutchouc nécessaire :

Vol RTV-2 = Vol boîte - Vol original

Il est pratique de raisonner en cm³. La difficulté à ce niveau consiste à évaluer le volume de la figurine, question d'expérience. Voici quelques valeurs moyennes, socle compris :

- Nain : 3 cm³
- Orc : 3.6 cm³
- Cheval : 5 cm³

En matière de moule, il vaut mieux trop en faire que pas assez - toujours prévoir quelques petits moulages supplémentaires (socle, bouclier, mur,) pour ne pas gâcher le précieux caoutchouc.

4.2 Dosage du durcisseur

La notice indique 4 % de T14 à mélanger au RTV-2 de manière virile. Par exemple, pour un nain dont la boîte fait 40 cm³, il faudra 1.6 cm³ de catalyseur. Pour les allergiques des conversions 1 cm³ = 1 ml. On utilisera une seringue de 5 ml en plastique classique, disponible dans toutes les bonnes pharmacies. Nous avons vu que la vulcanisation du RTV-2 est hydrophile, je vous conseille de rajouter 2 gouttes d'eau par 50 cm³.

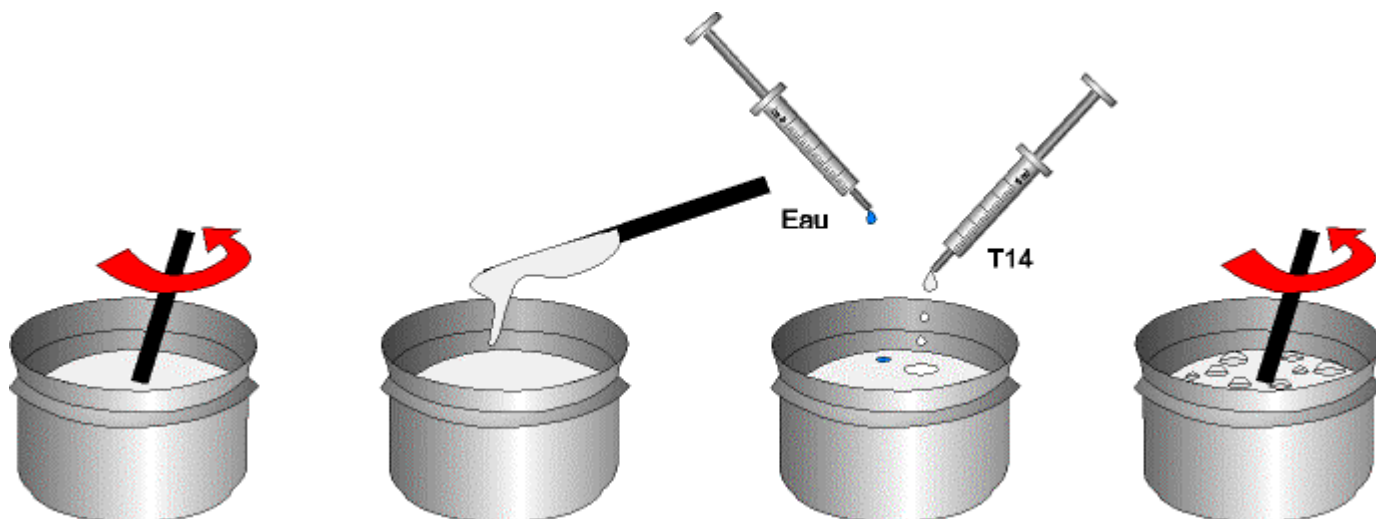
4.3 Mélange du caoutchouc avec le durcisseur

Pour faire le mélange proprement dit, j'utilise un petit Tupperware (4 FF en supermarché) en polypropylène au fond arrondi, qui permet un mélange complet et limite les déchets. Pour déterminer la hauteur de RTV-2 à verser dans le récipient de mélange, on fait l'hypothèse que le récipient est cylindrique : sa section est $S = \pi D^2/4$ pour $D = 6 \text{ cm}$: $S = 12.6 \text{ cm}^2$. Il faudra donc 3 mm de caoutchouc pour avoir 40 cm³.

À l'aide du réglet faire une marque au crayon (à l'extérieur du récipient) pour marquer le niveau.

Toujours prévoir de couler plusieurs moules à la fois, on gagne du temps dans le mélange, on limite les erreurs de quantité de durcisseur ou de volume de caoutchouc.

Le RTV-2 est un fluide très visqueux, il ressemble à du lait concentré et a tendance à former un filet lorsqu'on le verse. C'est une vraie poisse, dont il faut limiter la manipulation au maximum. Pour toutes ces opérations de mélange et de coulage j'utilise une baguette en carbone (la classe!) bien rigide de 3 mm de diamètre (figure suivante). On mélange doucement au départ, pour ne pas perdre de T14, et très vigoureusement durant 5 mn de manière à répartir la charge dans l'ensemble du volume de RTV-2, le mélange doit être homogène si l'on ne veut pas avoir de zones non vulcanisées dans le moule (dans ce cas la partie haute du bloc de caoutchouc ne sèche jamais).



Vous constatez alors la présence d'un grand nombre de bulles. Ces bulles sont très gênantes, il faut donc laisser reposer la masse durant 5 mn. La vulcanisation entraîne le gonflement des bulles c'est pourquoi le récipient de mélange ne doit être rempli qu'aux 2/3. L'utilisation d'une pompe à vide ou d'une trompe à eau permet d'obtenir un meilleur dégazage (technique non testée).

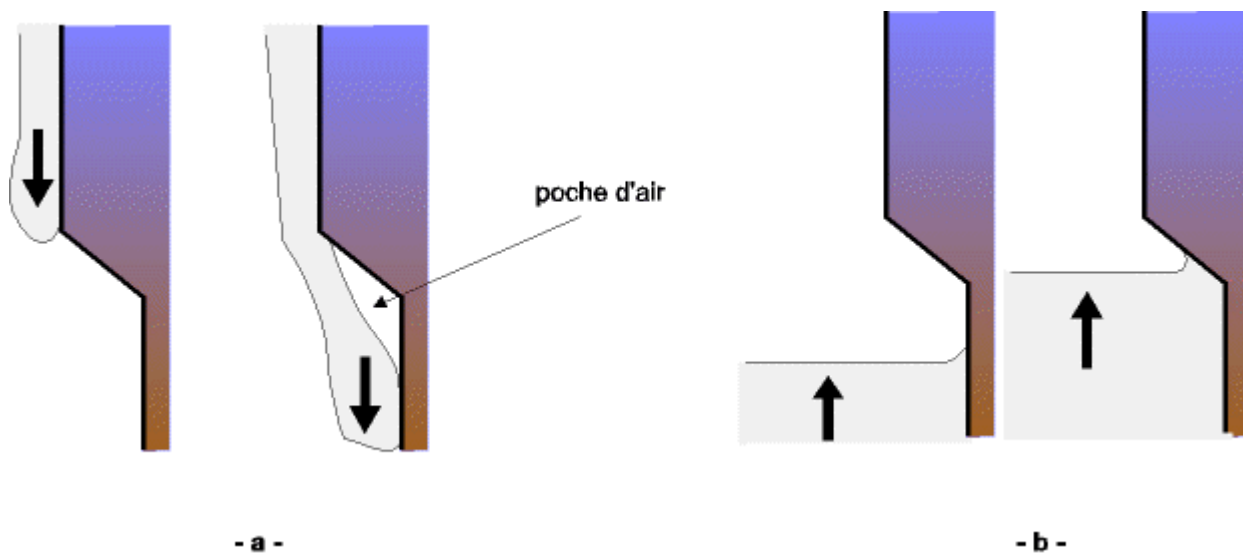
La préparation du caoutchouc dure 10 mn.

4.4 Coulée du RTV-2

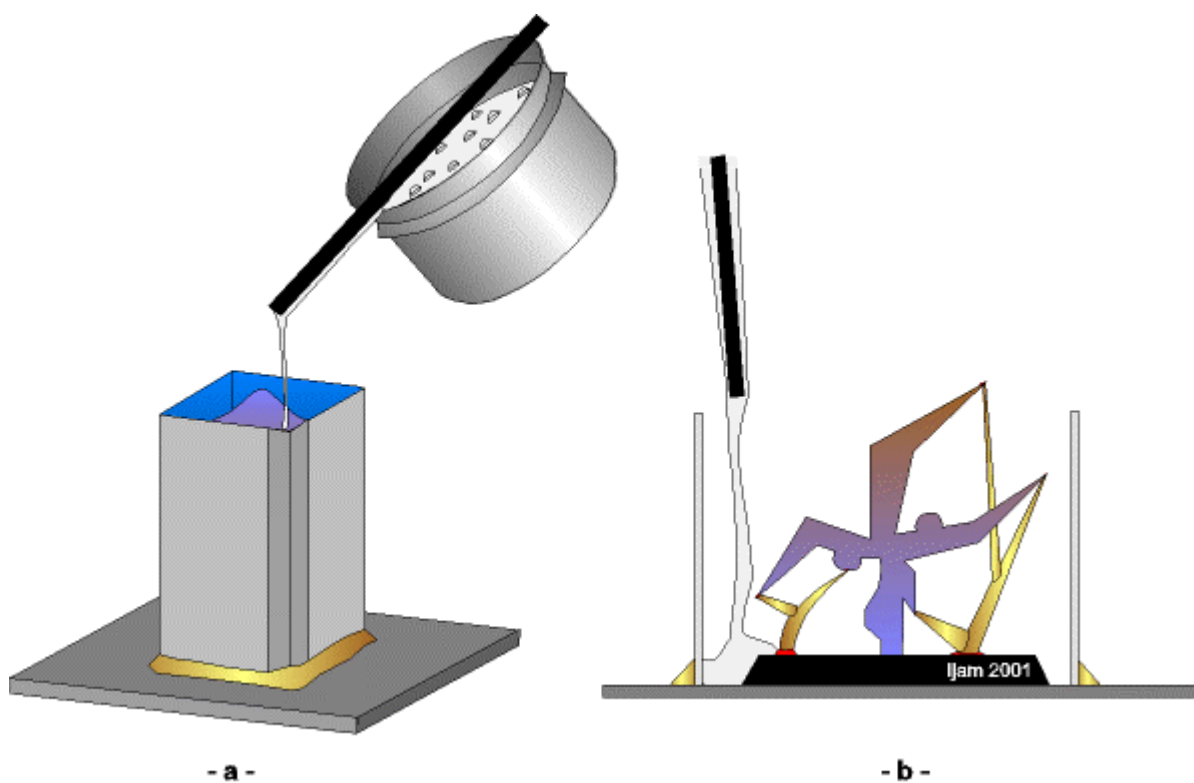
Rapidement, surtout si la température ambiante est importante, la viscosité du RTV-2 augmente. Il ne faut donc pas traîner, on dispose d'environ 15 à 30 mn pour verser notre caoutchouc dans la boîte. Tout précipitation est à exclure dans cette phase : isolez-vous et mettez le répondeur !

Un certain nombre de pièges sont à éviter :

- ne pas remplir la boîte en quelques secondes, vous risquez de créer des poches d'air qui auront du mal à s'évacuer du fait de la viscosité du caoutchouc.
- ne pas verser le RTV-2 directement sur l'original (figure suivante partie A) car là encore il est facile de former des bulles sur le modèle. Pour un moulage efficace il faut que le niveau monte gentiment vers le haut en laissant au RTV-2 le temps de mouiller la surface est d'envahir les moindres détails (partie B).



- ne pas former de bulles au point de rencontre du filet avec le niveau de RTV-2 dans la boîte : cela arrive lorsque le filet décrit une spirale. Le filet doit arriver dans un coin de la boîte, le plus loin possible de l'original.
- limiter au maximum le transport des bulles formées lors du mélange. Il est possible d'éliminer une partie de ces bulles, en créant un filet de caoutchouc à l'aide de la baguette (figure suivante). Si le diamètre du filet est assez petit (1 mm), les plus grosses bulles se crèvent avant d'arriver en bas.

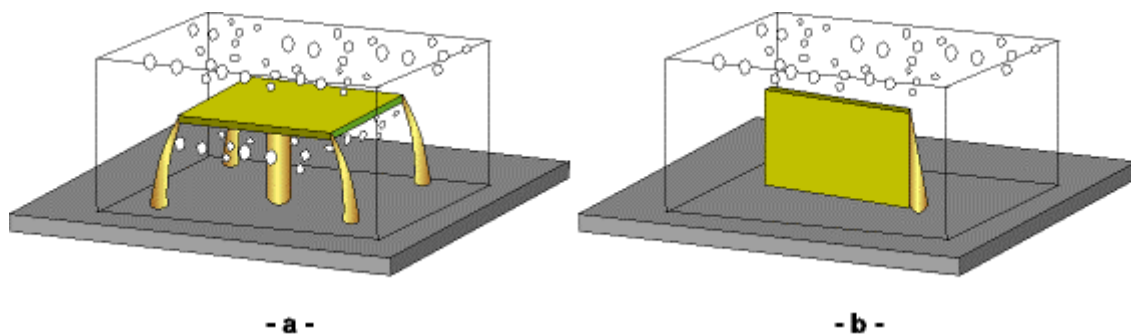


4.5 Disposition de l'original lors de la préparation

Cette partie pourrait être incluse dans le paragraphe consacré à la préparation de l'original. En effet jusqu'à présent la disposition de l'original n'a été dictée que par des considérations d'optimisation de volume. La présence ou la formation de bulles dans la coulée est également déterminante.

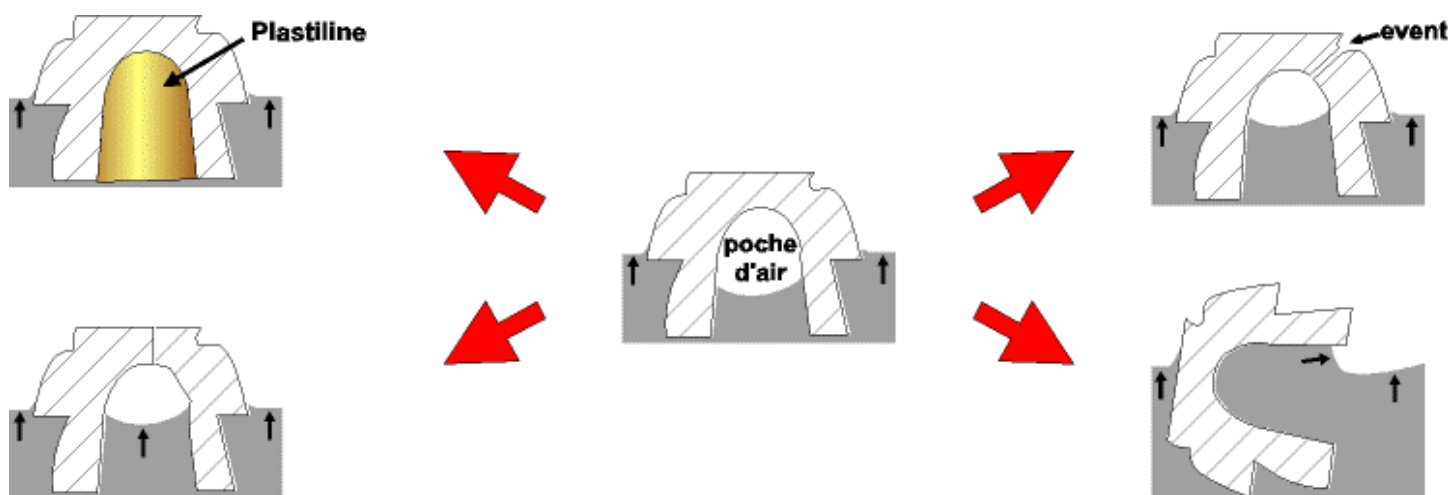
Par exemple, un original plat (plaque de blindage, porte, étendard...) peut être disposé horizontalement (figure suivante partie A) ou verticalement (partie B). Une fois la coulée terminée, les bulles présentes dans la masse de caoutchouc montent du fait de la poussée d'Archimède. Dans le premier cas, elles s'accumulent sous

l'original et entraîne un effet inesthétique lors du tirage des figurines. Dans le cas B, les bulles s'accumulent dans la partie supérieure non-stratégique du moule.



Certaines parties de l'original, peuvent être capables de piéger des poches d'air lors de la coulée du RTV-2. C'est le cas des entrejambe, bouches des gros monstres, etc. Pour remédier à cela plusieurs solutions (figure suivante) :

- ne rien faire : la bulle n'est pas dans une partie visible de la figurine et n'affectera pas le tirage ,
- boucher le volume incriminé avec de la Plastiline,
- percer un évent dans l'original (trou d'épingle), de manière à permettre l'évacuation de l'air,
- mouler la pièce en deux parties,
- incliner la boîte de moulage jusqu'à l'envahissement complet de la zone à problème.



La durée de réticulation est d'environ 12 heures, ce délai peut être raccourci en élevant la température : on coule le soir et on démoule le lendemain matin.

4.6 Problèmes divers

Mauvais calcul : vous avez mal calculé le volume de RTV-2... Si l'erreur n'est pas trop importante vous pouvez rajouter des volumes de Plastiline maintenus par des aiguilles, dans les zones inutiles, de manière à faire monter le niveau. Attention au contact avec l'original ou les canaux.

Réticulation partielle : vous n'avez pas assez mélangé (la charge est au fond de la boîte), vous n'avez pas assez mis de T-14, et la zone supérieure du moule n'en fini pas d'en finir' Une solution consiste à piquer la surface à l'aide d'une aiguille trempée dans le T-14, en crevant d'éventuels abcès.

Fuite dans le moule : on découpe une lamelle de RTV-2 de 0.5 mm d'épaisseur sur une autre partie du moule et on le colle sur le trou à la cyano... l'efficacité est limitée dans le temps.

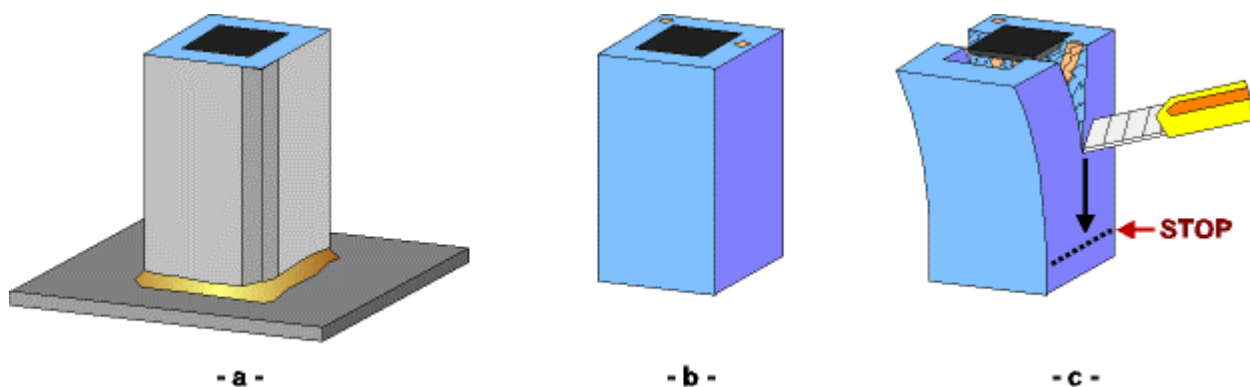
5. Découpe du moule

Une fois la réticulation accomplie, nous avons un bloc de RTV-2 dans lequel est enserré l'original. Il faut dégager ce dernier en pensant que chaque coup de cutter va avoir son importance. Pour découper le caoutchouc silicone il faut opérer à la manière d'un chirurgien. On écarte avec deux doigts et on appuie légèrement avec la cutter. Attention de cette manière la découpe est très facile. Une fois l'original dégagé je laisse le moule se dégazer, jusqu'à disparition de l'odeur de T-14 avant de faire le premier tirage. Cela augmente la durée de vie de ce dernier.

5.1 Découpe principale

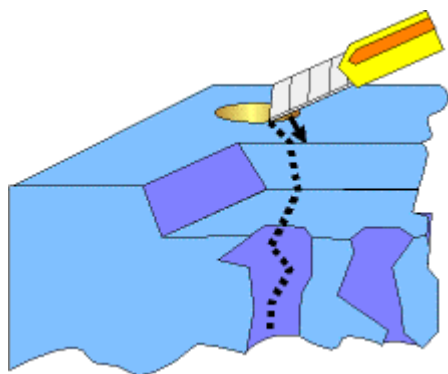
Ces coupes débouchent sur les faces latérales du bloc (figure suivante). En général, le plan de découpe passe par les jambes dans le cas d'un humanoïde, ou par le plan tête - ventre dans le cas d'un quadrupède. La découpe doit être franche et doit permettre de dégager la figurine produite par la suite. Lorsque l'original est en Plastiline, il est détruit dans cette phase. L'épaisseur de la paroi doit être suffisante à l'endroit de la découpe, il faut également éviter les lignes droites, afin de faciliter la mise en contact par la suite et diminuer ainsi le risque de fuite. Il est important de stopper la découpe à 1 mm du fond du bloc. Le moule est suffisamment souple pour éviter de le séparer en plusieurs blocs. Ce bloc unique est à la base de la facilité de ma méthode de moulage.

Limiter au maximum les coupes principales, 2 idéalement.

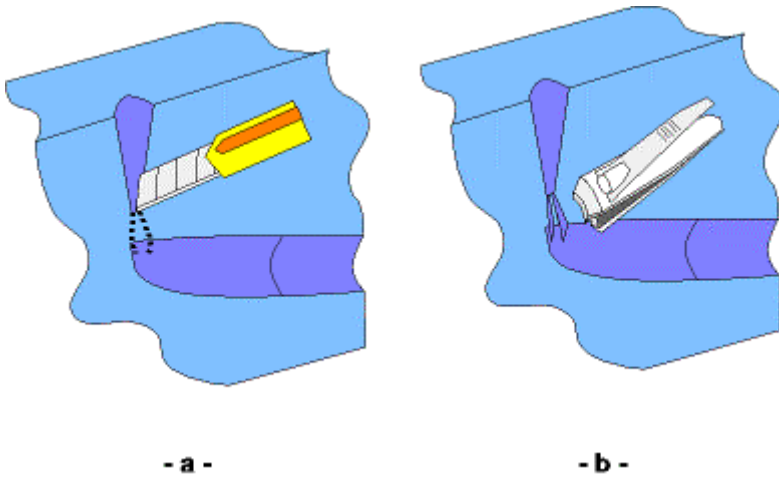


5.2 Découpe interne

Une fois l'original dégagé il faut préparer le moule en créant des coupes au niveau des canaux d'évacuation (figure suivante).

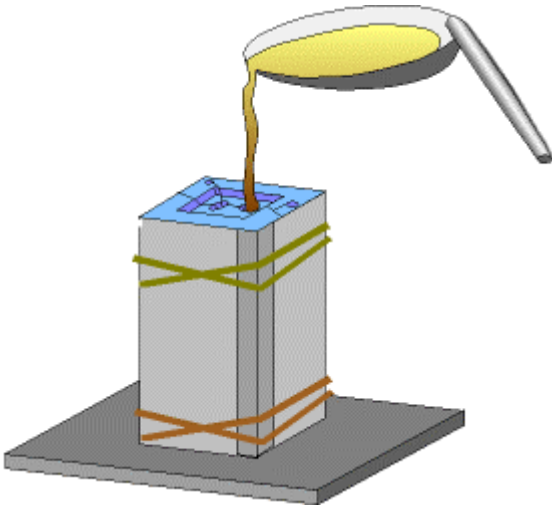


Vérifier que ces derniers sont tous débouchants. Il ne faut pas laisser de Plastiline dans le bloc. C'est dans cette phase que peuvent être découpés les petits canaux d'évacuation au niveau des détails (boucle de ceinture, rivet, nez, ...) qui ne peuvent être traités avec la technique décrite dans la partie dédiée à la préparation de l'original. Comme le décrit la figure suivante on fait deux entailles parallèles puis un coup de coupe-ongle, efficacité garantie !



5.3 Le premier tirage

Le grand moment ! On récupère le carton de la boîte de moulage, et l'on découpe 0.5 mm sur la jonction pour permettre le serrage à l'aide d'élastiques. La technique de coulée est abordée dans la partie « production ».



La première figurine étant toujours ratée, observez la avec attention, elle va vous indiquer les corrections à apporter au moule. Il faudra en particulier agrandir, modifier ou créer les canaux d'évacuations aux endroits qui ne sont pas sortis, en découpant directement dans la masse de caoutchouc. Là encore ces découpes additionnelles doivent être faites de manière rationnelle et ne pas être trop complexes et nombreuses.

Au début 4 ou 5 tirages sont nécessaire à la préparation d'un moule, par la suite, un ou deux suffisent.

Il restera toujours quelques petit trous sur la figurine qu'il est tout à fait possible de boucher avec du mastic : toute technique à ses limites...

Que le RTV-2 coule fluide et sans bulles dans vos moules !