



HAL
open science

Assemblages haute pression

Gerard Hamel

► **To cite this version:**

Gerard Hamel. Assemblages haute pression. Mottin, Stéphane and Lelièvre, Gérard. Matériaux et joints d'étanchéité pour les hautes pressions, 18, MRCT-CNRS, pp.202-210, 2011, Intégrations des savoirs et des savoir-faire, 978-2-918701-04-0. 10.5281/zenodo.400494 . hal-01472116

HAL Id: hal-01472116

<https://hal.science/hal-01472116>

Submitted on 30 Mar 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Cliquer sur le sommaire pour parcourir plus vite ce document.

<u>Assemblages haute pression</u>	202
<u>1 – Montage des raccords de pressions</u>	202
<u>1 – 1. Le raccord cône sur cône</u>	202
<u>1 – 2. Raccord cône sur cône des tubes capillaires</u>	203
<u>1 – 3. Raccord de pression 700 MPa à 2 GPa</u>	203
<u>2 – Montage de quelques passages électriques</u>	204
<u>3 – Les passages de thermocouple</u>	206
<u>4 – Les passages optiques, montage des fenêtres</u>	206
<u>4 – 1. Les fenêtres coniques</u>	206
<u>4 – 2. Les fenêtres plan sur plan</u>	207
<u>5 – Montage des joints et des obturateurs sur une cellule haute pression</u>	208
<u>5 – 1. Montage des joints de Bridgman</u>	208
<u>5 – 2. Montage des joints encastrés</u>	209

Liens : <https://doi.org/10.5281/zenodo.400494>

<http://www.sudoc.fr/155436619>

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01472116>

<https://hal.archives-ouvertes.fr/INTEGRATIONS/page/materiaux-et-joints-etancheite-pour-les-hautes-pressions>

<https://zenodo.org/communities/integrations>

Référence au format BibTeX :

@inbook{14materiaux18_2011,

location = {Meudon},

edition = {{3e éd.}},

title = {Assemblages haute pression},

isbn = {978-2-918701-04-0},

url = {http://www.sudoc.fr/155436619},

series = {Intégrations [des savoirs et des savoir-faire]},

abstract = {Préface / Dominique Leguillon P. 17. Introduction générale / Patrick Boissinot, Patrick Langlois, Agilio A.H. Pádua P. 21. Introduction au dimensionnement / Agilio A.H. Pádua 1 — Définition du problème 2 — Dimensionnement 3 — Obturateurs 4 — Conclusion P. 31. Frettage et autofrettage / Patrick Langlois 1 — Considérations préliminaires au frettage 2 — Frettage d'une enceinte bloc 3 — Frettage d'une enceinte multibloc 4 — Formulation de l'autofrettage 5 — Modes de réalisation de l'autofrettage 6 — Conclusion P. 55. Méthodes d'éléments finis en calcul de structures élastiques / Joël Frelat 1 — Introduction 2 — Rappel de la formule théorique 3 — Formulation variationnelle 4 — Formulation numérique 5 — Etapes d'une mise en œuvre pratique 6 — Conclusion — Extension aux problèmes non linéaires P. 65. Les matériaux sidérurgiques et les hautes pressions / Jean-Paul Dichtel 1 — Caractérisation mécanique des aciers 2 — Métallurgie des aciers et superalliages 3 — Commentaires : la Directive Européenne Appareils à Pression P. 77. Les métaux non ferreux – Alliage cuivre-béryllium et titane / Jean-Pierre Petitot 1 — Introduction 2 — Le cuivre-béryllium 3 — Le titane P. 85. Les Carbures cémentés (WC)-Co / Emmanuel Pauty 1 — Les procédés de fabrication 2 — Les propriétés des carbures cémentés 3 — Conclusions P. 99. Choix et usinage des carbures de tungstène / Jacques Calzas 1 — Choix des carbures de tungstène 2 — Usinage du carbure de tungstène P. 111. Céramiques et matériaux pour l'optique / Jean-Claude Chervin 1 — Céramiques 2 — Matériaux pour l'optique P. 141. Types de joints et de montage / Roger Argoud et Jacques Roux 1 — Introduction 2 — Généralités 3 — Joints à basse pression 4 — Joints cône sur cône 5 — Joints Bridgman Champignon 6 — Joints annulaires auto-serrés 7 — Joints coniques d'Amagat 8 — Autres joints 9 — Conclusion P. 161. Joints hautes pressions pour la compression de gros volumes solides / Sylvie Le Floch 1 — Joints solides utilisés dans les différents types d'enceintes hautes pressions 2 — Matières premières des joints 3 — Assemblages {HP}-{HT} P. 173. Le matériel standard / Jean-Pierre Petitot 1 — Tubes, conduites et raccords 2 — Les vannes 3 — Quelques types d'enceintes commercialisées 4 — Les générateurs de pression 5 — Le matériel moins standard P. 187. Assemblages haute pression / Gérard Hamel 1 — Montage des raccords de pressions 2 — Montage de quelques passages électriques 3 — Les passages de thermocouple 4 — Les passages optiques, montage des fenêtres 5 — Montage des joints et des obturateurs sur une cellule haute pression P. 197. Usinage / Jean-Pierre Michel 1 — Introduction 2 — Les joints de faible épaisseur 3 — Les bagues anti-extrusion à 45° 4 — Les joints à 45° 5 — Les joints « double Bridgman » 6 — Les joints plats en élastomères 7 — Les joints en indium (étanchéité en hélium et azote liquide 8 — Joints métal-métal type Lens ring 9 — Les passages du courant 10 — Usinage de matériaux exotiques P. 211. Les règles de sécurité / Patrick Boissinot 1 — Dangers présentés par les appareils à pression 2 — Appareils à pression rencontrés dans les laboratoires et facteurs de risques 3 — Principes généraux de prévention et réglementation 4 — Moyens de protection 5 — Conclusion},

pages = {183--193},

number = {18},

booktitle = {Matériaux et joints d'étanchéité pour les hautes pressions},

publisher = {{MRCT}-{CNRS}},

author = {Hamel, Gérard},

bookauthor = {Boissinot, Patrick and Langlois, Patrick and Pádua, Agilio},

editor = {Mottin, Stéphane and Lelièvre, Gérard},

editorb = {Mottin, Stéphane},

editorbtype = {redactor},

date = {2011},

langid = {french},

keywords = {Hautes pressions -- Matériaux, Joints d'étanchéité, Matériaux -- Effets des hautes pressions}, doi = {10.5281/zenodo.400494},

}

Assemblages haute pression

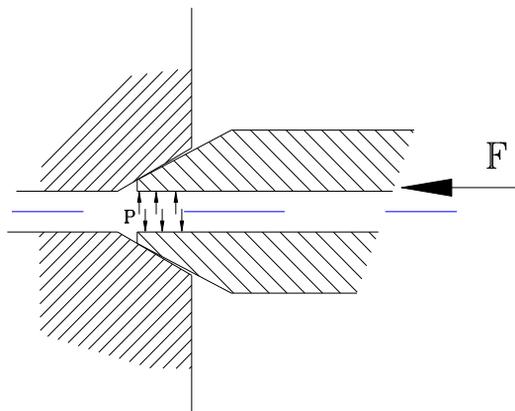
Gérard Hamel

Département des Hautes Pressions
Université Paris 6
4 place Jussieu -75252 Paris Cedex 05

1 – Montage des raccords de pressions.

1 – 1. Le raccord cône sur cône.

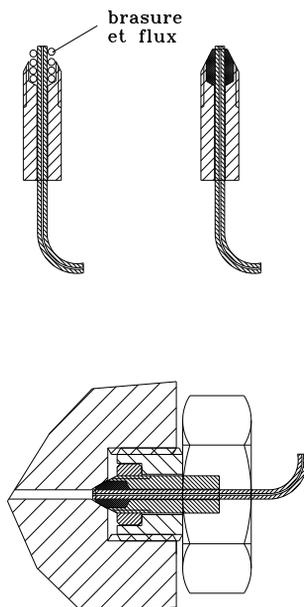
Il est le plus courant, facile d'utilisation, fabriqué industriellement et on peut l'utiliser jusqu'à 700 MPa, « serrer très fort l'écrou » n'est pas la garantie de l'étanchéité.



Avec un raccord du type Nova Swiss, diamètre 16, pas de 1,5, un couple de serrage de 1 m/kg donne une force F de 418 Kg. Si la limite élastique de l'acier est de 100 kg/mm², le cône mâle à 59° porte déjà sur 4 mm². La pression sur le cône femelle est de 1 GPa, surpression largement suffisante pour tenir 700 MPa. La pression interne tend à ouvrir les lèvres du tube.

1 – 2. Raccord cône sur cône des tubes capillaires.

Il existe dans le commerce plusieurs systèmes de raccords utilisant des olives qui se serrent sur le capillaire, mais ils ne sont guère efficaces au-delà de 100 ou 150 MPa. Pour des pressions allant jusqu'à 700 MPa, on peut utiliser des raccords brasés.



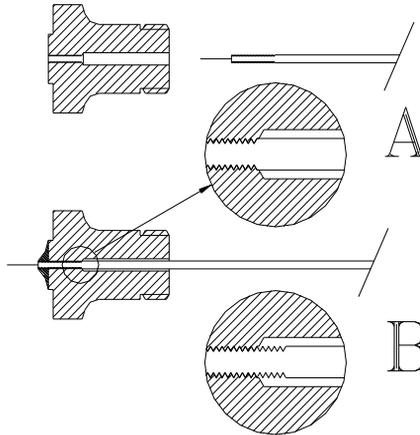
Ces raccords, avec du tube 6,35 mm et du capillaire de 1,6 extérieur 0,25 intérieur, en acier inox, sont brasés en utilisant de la brasure Castolin 1802 (température de fusion 780°C) et le flux 1802. La brasure est comprimée dans le cône et fait une bonne étanchéité. Ce type de raccord peut être réalisé en bronze au béryllium mais, dans ce cas, le traitement thermique du Cu-Be doit être fait après la soudure et il faut être très prudent avec la transition du Cu-Be à 315°C. Il est possible de braser à l'arrière du tube pour des pressions assez faibles, mais il est déconseillé de faire travailler la brasure en traction. Dans l'exemple ci-dessus, la section du capillaire est de 2mm². A 500 MPa, la traction sur la brasure serait de 100 kg !

1 – 3. Raccord de pression 700 MPa à 2 GPa

Au delà de 700 MPa, il faut utiliser soit des obturateurs encastrés, soit des obturateurs de Bridgman. On peut utiliser du capillaire inox de 1,6 ou 3,17 fileté et étamé. L'alliage étain-plomb 50/50 (température de fusion 180°C) colle bien sur les aciers, seulement si les pièces sont parfaitement propres et trempées dans de l'acide ortho-phosphorique

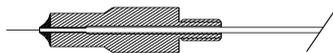
Pour ne pas boucher le capillaire, il faut engager 20 ou 30 mm de fil de tungstène au bout du tube. L'obturateur est fileté au même pas que le capillaire. On étame à chaud le filetage de l'obturateur en prenant la précaution de ne pas dépasser les températures de vieillissement ou de revenu de l'acier, puis on visse à chaud le capillaire sur l'obturateur jusqu'à ce qu'il dépasse

de 2 ou 3 mm. Le vissage terminé, on ajoute une goutte d'acide et de l'alliage; il doit alors se former un ménisque entre le capillaire et l'obturateur.



Le capillaire doit être vissé dans l'obturateur jusqu'au bout comme dans l'agrandissement A. S'il ne l'est pas, comme dans l'agrandissement B, une partie du filet n'est pas supportée et le capillaire est fragilisé, ce qui peut être extrêmement dangereux.

Ce type de raccord est un peu délicat à réaliser. Dans le cas présent d'un obturateur de Bridgman, il présente un inconvénient: il faut recommencer la soudure à chaque fois que l'on change les joints. Mais ce montage permet une grande quantité de cycles de pression.

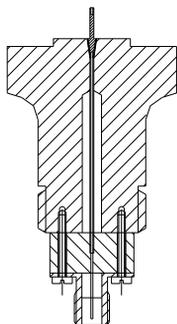


Les obturateurs à joints encastrés ont l'avantage de comporter les joints sur le devant de l'obturateur, donc on peut conserver la soudure du capillaire à chaque changement de joints.

2 – Montage de quelques passages électriques

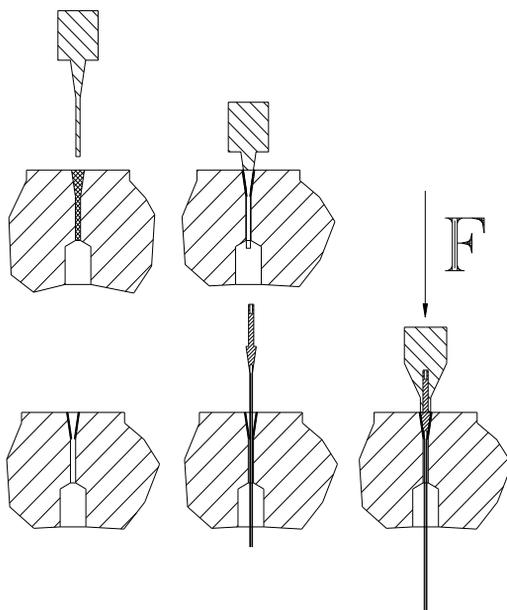
Il existe une multitude de types de passages électriques répondant aux besoins des utilisateurs. Le choix sera déterminé par le courant que l'on veut faire passer, le fluide utilisé, la pression et la température de service de la cellule.

Nous n'examinerons donc que quelques passages électriques, dont le plus courant est le passage conique destiné à mesurer la pression avec une jauge au manganin.



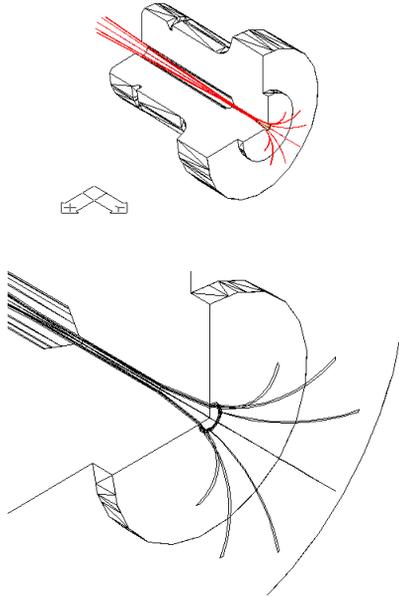
Dans un obturateur, comme celui ci-dessus, on usine un cône à 17° , débouchant dans un trou de 0,9 mm de 8 mm de long.

On prépare un cône en acier ou en CuBe à 17° . Un fil est brasé à la pointe du cône puis il est gainé d'un tube de Nylon de diamètre 0.8 mm. Reste à isoler le cône de l'obturateur. Plusieurs méthodes sont possibles: usiner un cône de pyrophyllite dans la masse, ce qui est très difficile à réaliser, ou utiliser de la poudre de pyrophyllite tamisée que l'on tassera avec un outil de la même forme que le cône, ou bien encore usiner un cône en Macrolon (signalons que les passages en macrolon ne sont pas très efficaces pour l'étanchéité de gaz et qu'ils sont très mauvais à basse et à haute température). Les schémas montrés ci-dessus indiquent le montage avec de la poudre de pyrophyllite. Pour finir, le cône est engagé à la presse avec une force équivalente à la pression de service ; dans le cas montré le cône est de 3 mm^2 .



On appliquera 300 kg pour 1 GPa. Un coup de marteau peut suffire. Pour une bonne étanchéité électrique, il conviendra de passer la pièce à l'étuve pour éliminer toute humidité.

Un autre type de montage multi-fils peut être réalisé, mais il est délicat à réussir et est très fragile à manipuler. Une première couche de poudre de pyrophyllite est tassée dans le cône de l'obturateur.



Des fils émaillés sont tendus à l'aide d'un outil comme montré ci-dessus puis une deuxième couche de pyrophyllite est tassée sur les fils, enfin un cône d'acier est enfoncé à la presse pour bloquer l'assemblage.

Jusqu'à 400 MPa, des passages électriques réalisés en epoxy bloqué dans le cône de l'obturateur peuvent être plus facilement réalisés.

3 – Les passages de thermocouple.

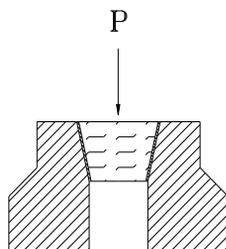
Ils peuvent être réalisés soit comme des raccords brasés, s'il s'agit de thermocoaxes gainés d'acier inox, soit comme des passages électriques à la colle epoxy.

4 – Les passages optiques, montage des fenêtres

Nous ne citerons que les montages de saphir pour travailler dans le visible.

4 – 1. Les fenêtres coniques.

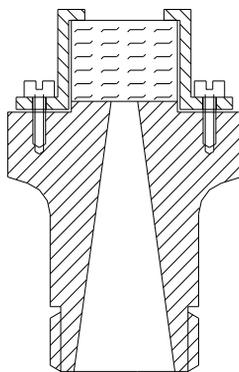
Elles sont les plus faciles à monter. On peut couramment les utiliser jusqu'à 4 ou 500 MPa voire plus, avec des choix judicieux de l'angle et de la surface non supportée de la fenêtre.



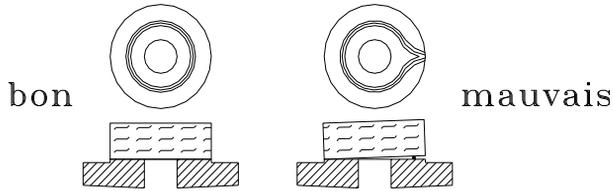
Les forces radiales sont très importantes. Cela entraîne souvent à la fabrication des obturateurs de fort diamètre, sinon les déformations importantes des obturateurs constitueraient un facteur de fuites. Le polissage de la surface latérale du cône serait trop coûteux et son contrôle difficile. Ils sont rarement utilisés sans joints. Un joint de métal mou ou d'indium donne de bons résultats.

4 – 2. Les fenêtres plan sur plan.

C'est le plus fiable des montages. Bien monté, il peut tenir des dizaines de montées en pression, même avec de l'hélium.



L'obturateur est poli à une frange d'interférence, sans aucune rayure. Le saphir est posé sans poussière sur l'obturateur. Le petit chapeau retient le saphir dans cette position. Les vis de serrage du chapeau servent à régler l'appui du saphir sur la face de l'obturateur, de manière à centrer la frange d'interférence autour du trou de passage de la lumière (voir illustrations ci-dessous). La pression exercée sur le saphir fera alors une parfaite étanchéité. Le polissage de l'obturateur dépend du matériau utilisé. Les aciers Maraging se polissent bien mais le polissage du Cuivre Béryllium est très difficile. Par réflexion il donne un aspect « pelure d'orange » inévitable.

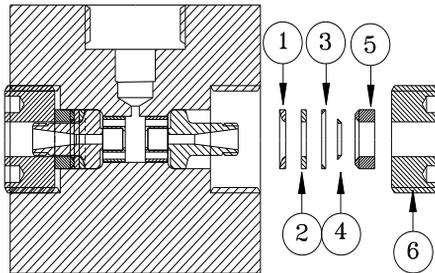


5 – Montage des joints et des obturateurs sur une cellule haute pression

Il existe une multitude de types de fermetures de cellule adaptées à chaque utilisation et une multitude de variantes et d'astuces pour améliorer les performances des bouchons. Les techniques de l'hydraulique industrielle sont parfois suffisantes; elle sont conçues pour des pressions de l'ordre de 70 à 200 MPa. La base de ce type de fermeture est le joint torique monté avec des combinaisons de joints anti-extrusion. Les tolérances des dimensions des pièces sont fournies par les fabricants de joints et sont en générales fiables.

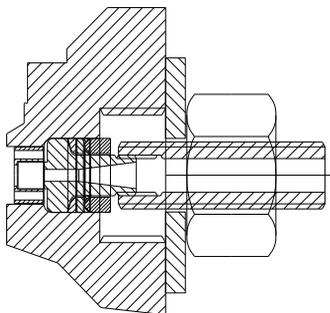
Au-delà de 200 ou 250 MPa, il faut prévoir des combinaisons de joints métalliques. La règle générale consiste à monter des joints de plus en plus dur, les joints travaillant successivement au fur et à mesure que l'on augmente la pression, et les joints les plus mous assurant l'étanchéité à basse pression.

5 – 1. Montage des joints de Bridgman.



Conformément au dessin ci-dessus, l'obturateur est d'abord mis en place puis la rondelle à 17° en CuBe (1) destinée à corriger l'angle de l'obturateur. Ensuite, le joint en teflon (2) est positionné à l'aide de baguettes de métal mou. Il doit être bien ajusté car c'est lui qui assurera l'étanchéité à basse pression. Les bagues de bronze à section triangulaire (3 et 4) sont consécutivement poussées à leur place avec les mêmes baguettes. Enfin, on engage la pièce d'appui (5) en acier dur qui supportera les joints triangulaires. La pièce d'appui doit légèrement dépasser de l'alésage, car la culasse (6) doit venir avec un léger serrage pré-comprimer le joint de teflon. Il est fortement déconseillé de monter tous les joints sur l'obturateur et de les pousser tous ensemble avec la culasse. L'obturateur est automatique: plus la pression interne augmentera, plus les joints se déformeront. Il est donc inutile de serrer très fortement la

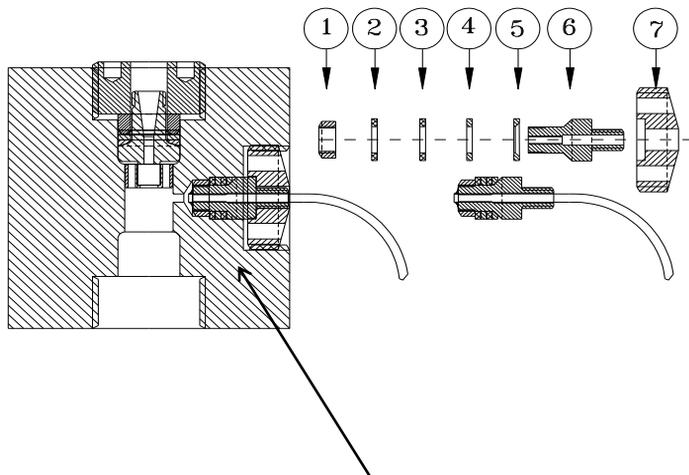
culasse. Ainsi au démontage, la culasse doit être facile à dévisser. Attention : si la culasse est dure à dévisser soit le filetage s'est déformé, soit il y a encore de la pression dans la cellule !



L'extraction des joints ne pose aucun problème. En tirant la queue du champignon avec une tige filetée intérieurement, les joints sortent tous ensemble.

Après démontage il faudra s'assurer qu'il n'y a pas de rayures sur la génératrice de l'alésage, au niveau de la portée de joint.

5 – 2. Montage des joints encastrés.



Les obturateurs montés avec des joints encastrés peuvent se monter de deux manières:

- On peut engager successivement les joints dans l'alésage, pour ensuite positionner l'obturateur, mais le démontage est difficile. Le frottement des joints étant plus grand sur le corps de la cellule que sur l'obturateur, les joints ne sortent pas au moment de l'extraction de l'obturateur. Il faut alors extraire les joints, ce qui est une opération très délicate.
- On peut aussi engager les joints sur l'obturateur et visser devant les joints une bague d'extraction. Cette bague servira à entraîner tous les joints au moment du démontage.

Ce montage oblige à engager dans l'alésage tous les joints montés sur l'obturateur, c'est-à-dire à réaliser l'opération que nous déconseillons dans le paragraphe concernant le montage des obturateurs de Bridgman.

Dans l'exemple que nous montrons ci-dessus les joints 5 (inox), 4 (bronze) 3 (cuivre recuit et 2 hostalen gur) sont montés sur l'obturateur et maintenus par l'extracteur 1. L'hostalen gur est utilisé pour ses qualités plastiques jusqu'à 100 K. Les joints sont très ajustés sur l'alésage, il faut donc une force importante pour les engager. Nous utiliserons la culasse 7 pour les pousser, mais on vérifiera en retirant la culasse qu'aucune trace de joint cisaillé n'apparaisse.

Contrairement au montage de Bridgman, ce système exige un fort pré-serrage des joints, surtout en cas de fuite à basse pression. C'est le serrage de la culasse qui comprime les joints sur l'épaulement marqué d'une flèche.

L'extraction se pratique de la même manière que pour les obturateurs de Bridgman. Sur le schéma, il s'agit d'une arrivée de pression, il conviendra donc d'utiliser un extracteur fendu si l'on n'a pas pris la précaution d'enfiler l'extracteur avant de réaliser la soudure du capillaire.