



PRESSIONMETRE® MODÈLE GAM-II

MODE OPERATOIRE
Version 2006

1 - DESCRIPTION.....	4
1.1. LE CONTROLEUR PRESSION VOLUME (CPV)	4
1.2. LA SONDE.....	4
1.3. LA TUBULURE SOUPLE.....	6
1.4. LES CIRCUITS.....	6
1.4.1. Gaz amont.....	6
1.4.2. Eau de la cellule centrale.....	6
1.4.3. Gaz des cellules de garde.....	6
2 - PREPARATION DE L'APPAREILLAGE.....	8
2.1. PREPARATION DU CONTROLEUR PRESSION VOLUME (CPV).....	8
2.1.1. Choix des manomètres	8
2.1.2. Choix des ressorts de détenteur et de clapet différentiel.....	8
2.2. REMPLISSAGE DES CIRCUITS	9
2.2.1. Remplissage du CPV (fig.1).....	9
2.2.2. Alimentation en gaz du CPV (fig.1).....	10
2.2.3. Remplissage de la tubulure et de la sonde (fig.2).....	10
3 - ETALONNAGES.....	11
3.1. RESISTANCE PROPRE DE L'HABILLAGES DE LA SONDE	11
3.1.2. Pré dilatation de la sonde	11
3.1.3. Etalonnage de la résistance propre de la sonde	12
3.2. DETERMINATION DU COEFFICIENT DE DILATATION DE L'APPAREILLAGE	12
4 - REALISATION D'UN ESSAI	14
4.1. REGLAGE DE LA PRESSION DIFFERENTIELLE P_{DIFF}	14
4.1.1 Pour un essai à moins de 10 m de profondeur, disons 5 m (fig. 1) :.....	16
4.2. REALISATION DE L'ESSAI.....	18
4.2.1. Vérifications préalables (autres que celles déjà données au chapitre 2).....	18
Descendre la sonde à la profondeur choisie.....	18
4.2.2. Essai.....	18
4.3. DEGONFLAGE DE LA SONDE	19
4.4. ESSAI CYCLIQUE	20
4.6. ESSAIS A GRANDE PROFONDEUR.....	21
5 - ENTRETIEN ET CHANGEMENTS DE CONFIGURATION	22
5.1. ENTRETIEN DU MATERIEL.....	22
5.2. DEPANNAGE SUR LE CPV.....	22
5.2.1. Changement de voyant de lecture (fig. 1).....	22
5.2.2. Fuite à la valve de purge (2).....	22
5.2.3. Manque de stabilité de la pression sur le circuit d'eau.....	22
5.2.4. Manque de stabilité de la pression différentielle-changement de ressort.....	23
5.2.5. Les cellules de garde se dégonflent lentement	24
5.2.6. Le détenteur ne fonctionne plus	24
5.3. REPARATION D'UNE SONDE	25
5.3.1. Démontage d'une sonde.....	25
5.3.2. - Montage de la membrane	25
5.3.3. Montage de la gaine.....	26
5.4. RACCORDEMENT DE 2 TUBULURES.....	27
5.4.2. Tubulures coaxiales	27
5.4.3. Réparation d'une tubulure coaxiale 10 MPa (100 bar).....	29
5.5. MODIFICATION DE LA PRECISION DU DETENDEUR	31

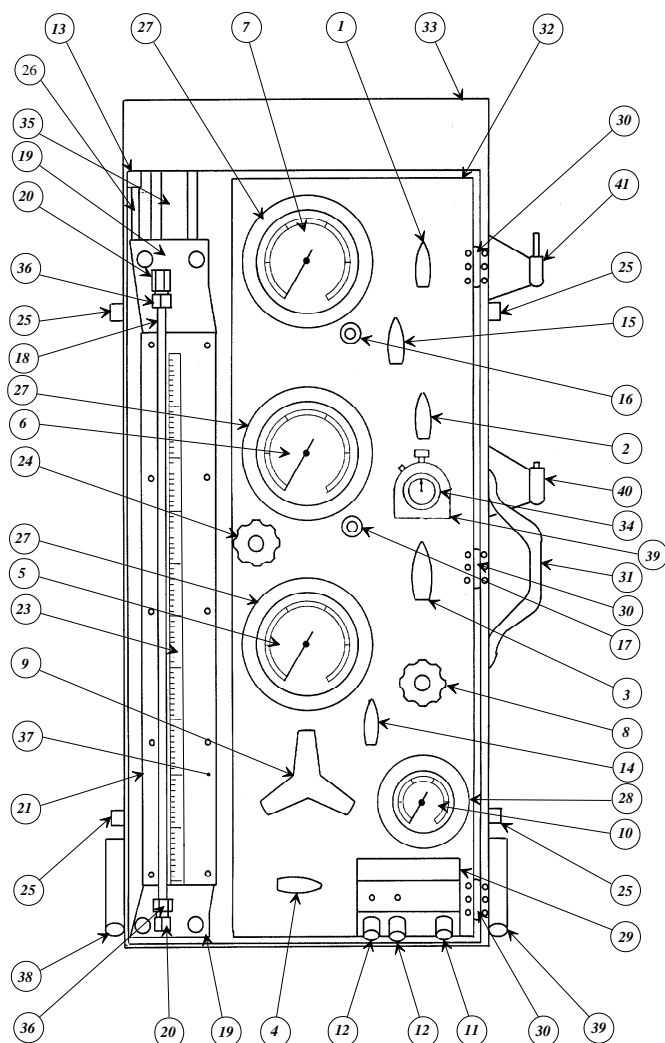


Figure 1 – Face avant du CPV

Indice	Description	Indice	Description
1	Valve d'arrêt du circuit d'air (complet)	19	Patte de fixation réglette de volumètre
2	Valve de purge (complet)	20	Raccord coudé de voyant de volumètre
3	Valve d'inversion 0-11 m (complet)	21	Support de réglette de volumètre 800 cm3
4	Valves d'arrêt du circuit d'eau	22	Réglette de volumètre 800 cm3
5	Manomètre 0-25 bar ø100 sortie verticale	23	Plaque alu graduée à filet pour voyant
6	Manomètre 0-60 bar ø100 sortie verticale	24	Volant de fermeture du panneau
7	Manomètre 0-25 bar ø100 sortie verticale	25	Attache capot
8	Clapet différentiel complet	26	Prolongateur du raccord rempl. volumètre
9	Détendeur principal complet	27	Collerette de manomètre ø100
10	Manomètre 0-250 bar ø60 sortie verticale	28	Collerette de manomètre ø 60
11	Raccord rapide femelle (alimentation air)	29	Support de prise
12	Raccord rapide femelle (départ air et eau)	30	Charnière
13	Raccord rapide femelle (rempl. volumètre)	31	Poignée de caisse
14	Valve de sélection (0-25 / 60 / 100 bar)	32	Panneau de face avant
15	Valve de sélection (0-25 / 60 / 100 bar)	33	Caisse
16	Raccord rapide femelle brancht manomètre	34	Chronomètre
17	Raccord rapide femelle brancht manomètre	36	Ecrou ø10 pour voyant de mesure
18	Voyant de mesure complet	37	Plaque polycarbonate de voyant

1 - DESCRIPTION

Le pressiomètre GAM-II comprend 3 éléments principaux :

- un contrôleur pression volume (CPV)
- une sonde cylindrique dilatable radialement
- un jeu de tubulures reliant le CPV à la sonde.

1.1. LE CONTROLEUR PRESSION VOLUME (CPV)

Il est contenu dans une boîte portable, munie d'un trépied amovible et d'un couvercle. Le panneau avant qui porte les valves et les manomètres est mobile pour permettre l'accès à la tuyauterie de liaison interne.

Ces valves et ces manomètres sont représentés sur la *figure 1*. Nous en verrons l'usage au chapitre 2. Les circuits sont détaillés au paragraphe 1.4.

Le CPV peut être dans une configuration 0-6 MPa (0-60 bar) ou 0-10 MPa (0-100 bar). Pour passer de l'une à l'autre, voir chapitre 5, paragraphe 5.5.

1.2. LA SONDE

Elle comprend

- un corps métallique cylindrique portant deux bossages symétriques limitant la cellule centrale et deux joints toriques limitant les cellules de garde.
- une membrane en caoutchouc formant la cellule centrale et serrée par les deux bagues de membrane venant s'appuyer sur les deux bossages.
- une gaine de protection dont les caractéristiques sont choisies dans le tableau n° 1 en annexe. Cette gaine s'applique sur les deux joints toriques par les deux bagues de gaine elles-mêmes bloquées par des écrous moletés.
- deux orifices à la partie supérieure : un pour la circulation de l'eau d'alimentation de la cellule centrale et un autre pour le gaz des cellules de garde ; ces deux orifices pouvant être ou non coaxiaux.
- un filetage supérieur pour le manchon de raccordement aux tiges de descente.

SONDES					
Sonde - Diametre(mm)	Sonde - Volume théo- rique Vo (cc)	Forage standard	Diamètre de forage (mm)		
			Min.	Max.	
44	535	A	46	52	
58	535	B	60	66	
70	790	N	74	80	

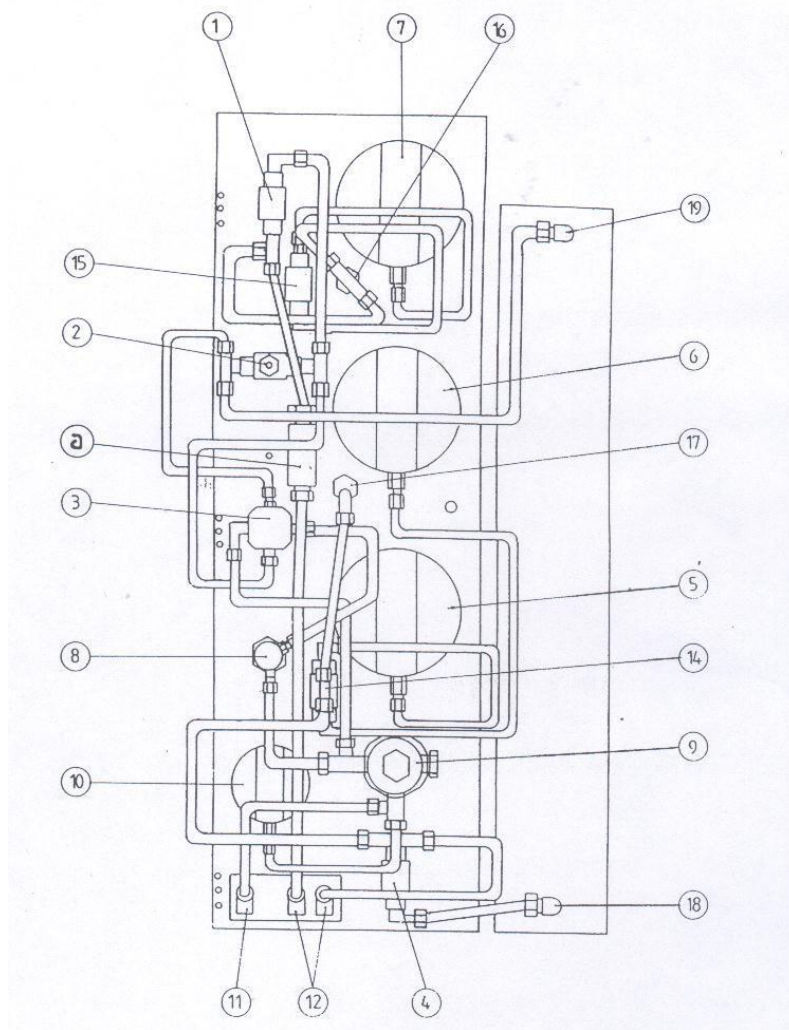


Figure 2 - Face arrière du CPV.
(a) porte-filtre

1.3. LA TUBULURE SOUPLE

Les tubes plastiques l'un pour l'eau, l'autre pour le gaz sont coaxiaux.

1.4. LES CIRCUITS

On peut les visualiser soit sur la *figure 1*, soit mieux sur la *figure 2* associée à la *figure 3*.

1.4.1. Gaz amont

Ce gaz arrivant par l'entrée (11) est réduit en pression par le détendeur principal (9), et suit 2 circuits : par le clapet (8), le robinet à 4 voies (3), la valve (1) et le branchement de sortie (12g) d'une part ; par le robinet à 4 voies (3) vers le volumètre (20) et le voyant de lecture (21) d'autre part - configuration de la figure 4 -. En basculant le robinet à 4 voies on change le circuit sur lequel se trouve le clapet (8). Ce gaz peut être mis à la pression atmosphérique au passage par la valve (2) ce qui met également le circuit d'eau à la pression atmosphérique.

1.4.2. Eau de la cellule centrale

L'eau du volumètre (20) et du voyant de lecture (21) à travers la valve (4) de fermeture du circuit est en liaison directe avec les manomètres (5) ou (6) selon la position de la valve (14) à 3 voies, l'accès à la prise femelle (17) étant indépendant.

L'eau circule de la valve (4) à l'une des prises femelle (12e) à partir de laquelle elle accède à la tuyauterie souple vers la cellule centrale de la sonde.

1.4.3. Gaz des cellules de garde

Le gaz en provenance de la valve (3) est également dirigé vers la valve (1) de fermeture du circuit gaz et ensuite vers la prise femelle (12g) d'où il circulera dans la tuyauterie souple alimentant les cellules de garde de la sonde. Avant la valve (1), le circuit peut être mis à la pression atmosphérique par la valve (2). Après la valve (1) sa pression est captée soit par le manomètre (7), soit par la prise femelle (16) selon la position de la valve (15).

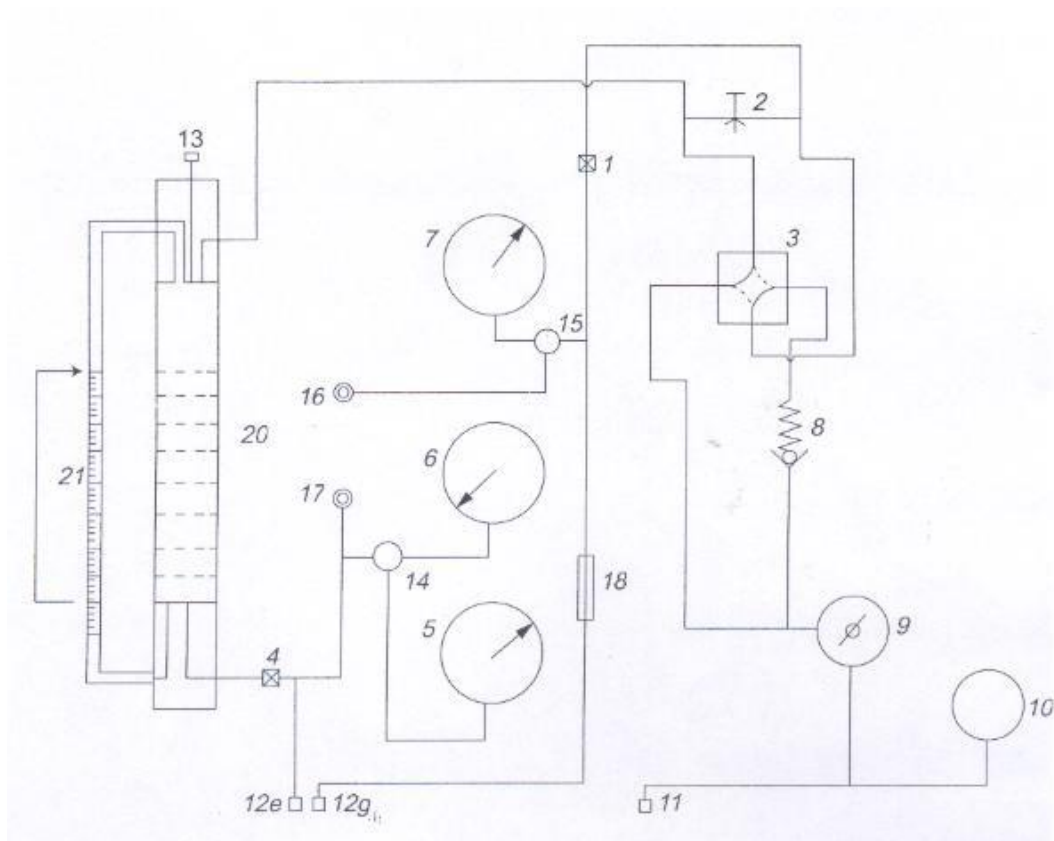


Figure 3 - Schéma des circulations.

Repères :

1	valve d'arrêt alimentation gaz	12 e	branchement sortie eau
2	valve de purge air des deux circuits eau et gaz	12 g	branchement sortie eau
3	valve d'inversion	13	raccord auto-obturant remplissage volumétrique
4	valve d'arrêt alimentation eau	14	valve de sélection du manomètre cellule centrale
5	manomètre 0-25 bar - cellule centrale	15	valve d'isolement du manomètre cellule de garde
6	manomètre 0-60 bar - cellule centrale	16	prise femelle branchement d'un manomètre supplémentaire sur circuit gaz (cellules de garde)
7	manomètre 0-25 bar - cellule de garde	17	dito sur circuit eau
8	clapet différentiel	18	filtre de protection des valves
9	détendeur principal	20	volumètre
10	manomètre pression d'alimentation de l'appareil	21	voyant de mesure
11	branchement arrivée d'air à l'appareil		

2 - PREPARATION DE L'APPAREILLAGE

2.1. PREPARATION DU CONTROLEUR PRESSION VOLUME (CPV)

- Visser l'axe M20 du trépied sous la caisse, écartier les pieds .
- Mettre la boîte du CPV en position verticale.
- Retirer le couvercle.
- Vérifier que les manomètres et le détendeur sont adaptés à la plage de pression qui va être utilisée, comme indiqué ci-après.

2.1.1. Choix des manomètres

Le CPV est livré avec les manomètres suivants :

- sur le circuit eau : un manomètre 0-2,5 MPa (0-25 bar) et un manomètre 0-6 MPa (0-60 bar); on peut aussi placer sur la prise femelle (17) soit un manomètre de plus petite capacité par exemple (0-0,6 MPa, soit 0-6 bars) qui donnera une meilleure précision ⁽¹⁾ pour les essais dans des terrains de faibles caractéristiques mécaniques, soit au contraire un manomètre 0-10 MPa (0-100 bar) si on doit monter au-delà de 6 MPa (60 bar). Ces manomètres, de diamètre 10 cm, sont à prise arrière (alors que les manomètres fixes sur le panneau du CPV sont à prise verticale).
- sur le circuit gaz : un manomètre 0-2,5 MPa (0-25 bar) ; en utilisant la prise femelle (16) on peut de la même façon travailler avec un manomètre soit de plus faible gamme, soit de plus grande gamme. Ce sont des manomètres à prise arrière.

Attention : Les manomètres branchés sur les prises (16) et (17) fonctionnent quelle que soit la position des valves (14) et (15). Attention à fermer ces valves ou à retirer les manomètres de petite capacité au bon moment.

Une fois les manomètres choisis, vérifier qu'ils sont bien calés à zéro, sinon agir sur les boutons moletés ou les vis des manomètres concernés. Il est important de s'assurer aussi que les manomètres ont bien été raccordés à un étalon depuis moins de 6 mois.

2.1.2. Choix des ressorts de détendeur et de clapet différentiel

2.1.2.1. Ressort de détendeur

La pression maximale du détendeur habituellement utilisé sur les CPV est obtenue par la raideur du ressort (11) de la *figure 5*. Selon le type de ressort, la pression maximale que peut distribuer le détendeur sera de 1 , 2 , 4 , 8 ou 10 MPa (10 , 20 , 40 , 80 ou 100 bar).

Mais plus la pression maximale est importante, moins la précision sur la pression maintenue par le détendeur sera importante. Pour tester les terrains de faibles caractéristiques mécaniques, il est impératif d'installer dans le détendeur un ressort pour 1 MPa (10 bar). Voir chapitre 5, § 5.5.

2.1.2.2. Ressort de clapet différentiel

A la livraison les CPV sont équipés avec un clapet différentiel dont le ressort est de 400 à 500 kPa (4 à 5 bar). Ce ressort permet de réaliser des essais pressiométriques jusqu'à 50-60 m de profondeur. Pour changer ce ressort voir § 5.2.4.

⁽¹⁾ La précision d'un manomètre est 1/100 de la "pleine échelle" c'est-à-dire qu'un manomètre 0-6 MPa (0-60 bar) n'a une précision que de 0,06 MPa (0,6 bar).

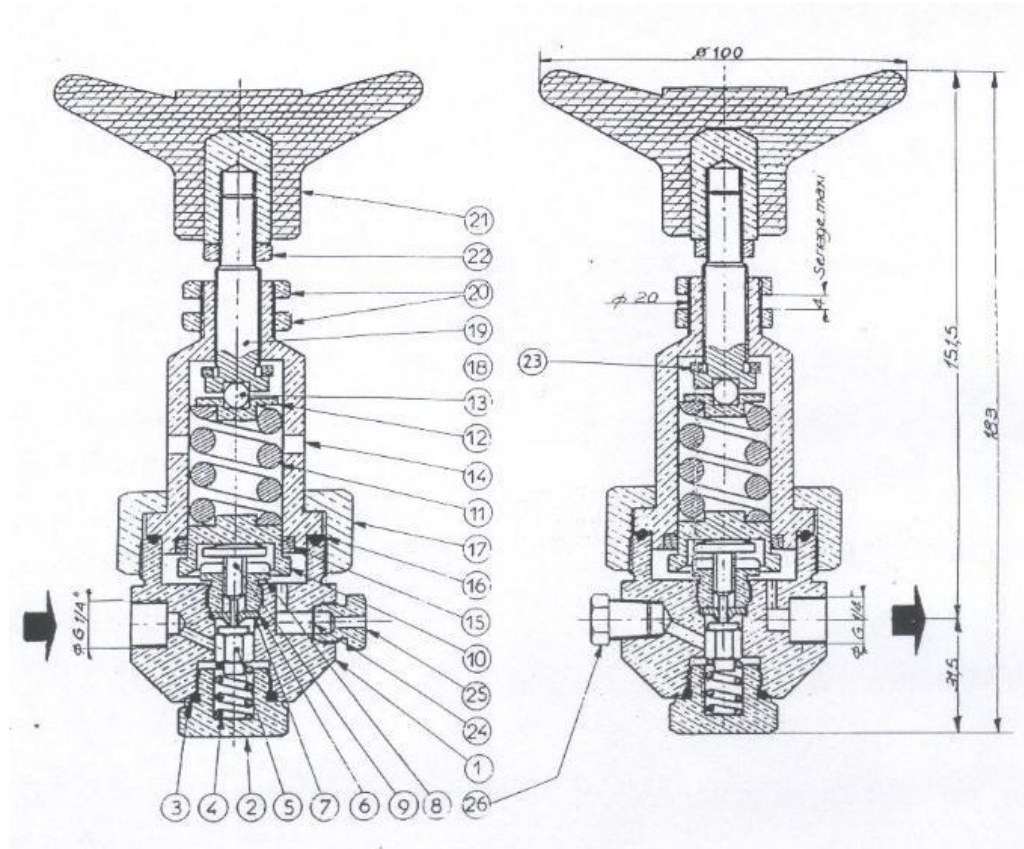


Figure 4 - Coupe du détendeur principal.

2.2. REMPLISSAGE DES CIRCUITS

2.2.1. Remplissage du CPV (fig.1)

Introduire le petit entonnoir dans la prise femelle (13) en haut de la boîte du CPV, au-dessus du volumètre, tourner la valve (2) sur la position "eau" puis remplir d'eau le volumètre jusqu'à ce que le niveau atteigne la zone colorée de l'échelle de lecture. Eviter de laisser le niveau monter plus haut pour ne pas introduire de l'eau dans le circuit du gaz. Retirer l'entonnoir et tourner la valve (2) sur la position "essai". Pour le remplissage utiliser une eau propre pour éviter d'encrasser les tubulures et aussi le tube de lecture. Une eau dégazée est préférable pour des essais dans le rocher altéré. Par temps de gel, utiliser le liquide de refroidissement permanent pour automobile qui permet de travailler jusqu'à $- 27^{\circ}\text{C}$. Ne jamais utiliser de glycol, même dilué, parce que trop visqueux.

Si l'on veut vidanger le CPV, introduire un raccord rapide mâle dans la prise femelle inférieure (12 e) (la plus à gauche des 3 prises). Ce peut être avec raccord de l'entonnoir. Tourner la valve (2) sur la position "eau". La vidange se fait par gravité.

2.2.2. Alimentation en gaz du CPV (fig.1)

Placer un détendeur primaire sur la bouteille de gaz comprimé (l'azote est recommandé, l'oxygène est interdit) et raccorder ce détendeur primaire à l'aide d'un tube souple terminé par un raccord rapide mâle à la prise (11) en bas du CPV. Avant d'ouvrir la bouteille de gaz, s'assurer que le détendeur primaire est bien fermé (c'est-à-dire que sa clé est dévissée et libre).

Vérifier aussi que le détendeur principal (9) du CPV est bien fermé (clé dévissée). On peut alors tester le CPV non raccordé aux tubulures de la sonde jusqu'à la pression d'utilisation maximale en actionnant la clé du détendeur sur la bouteille - la pression maximale utilisable au CPV s'affiche sur le petit manomètre (10) -, mais dans ce cas, on doit visser à fond le volant du détendeur principal.

Attention : Selon la configuration de livraison du CPV, la pastille de sécurité (24) du détendeur principal est soit de 6 MPa (60 bar), soit 10 MPa (100 bar). Pour le changement de configuration, voir chapitre 5, paragraphe 5.5. Noter aussi que la pastille de sécurité du détendeur de la bouteille est généralement conçue pour une pression aval maximale de 80 bar. La changer pour une pastille de 10 MPa ou 100 bar (15/100 mm) si nécessaire.

2.2.3. Remplissage de la tubulure et de la sonde (fig.2)

Connecter la tubulure coaxiale d'un côté à la sonde déjà préparée et de l'autre côté aux prises rapides (12e) et (12g) à la partie inférieure du CPV. En cas de tubulures coaxiales, les 2 prises rapides étant décalées, on ne peut inverser les circuits d'air et d'eau. Attention : les écrous de raccordement côté sonde doivent être modérément serrés, simplement pour écraser les olives d'étanchéité.

Fermer la valve (1) pour éviter que les cellules de garde ne se dilatent en même temps.

Prendre la sonde d'une main, la retourner, enlever la pointe de protection (10), desserrer l'écrou de la purge (9) - 2 tours environ - et la tenir dans cette position pendant qu'on applique une pression d'environ 25 kPa (0,25 bar) au circuit à l'aide du détendeur principal du CPV (9 - sur fig. 1-). La pression est lue sur les manomètres (5) et (6) de la figure 1. Pendant que le niveau de l'eau descend dans le volumètre, maintenir un doigt appuyé sur le pointeau de la purge de la sonde en position retournée. Quand l'eau s'écoule sans bulles d'air, refermer la purge et revisser la pointe (10). Attention, tourner la valve (4) du CPV sur la position fermée quand le niveau d'eau dans le volumètre atteint 750 cm³.

En effet, si le niveau d'eau dans le volumètre venait à n'être plus visible, il faudrait recommencer le remplissage car des bulles de gaz se seraient introduites à l'amont du circuit d'eau. Pour rajouter de l'eau dans le volumètre, dévisser la clé du détendeur (9), remettre les valves (4) sur "essai" et (2) sur "eau" et recommencer les opérations 2.2.1 et 2.2.3 dans l'ordre.

Quand la purge du circuit est complète et que le bouchon de purge de la sonde est bien refermé, dévisser à nouveau la clé du détendeur (9) et supprimer la pression dans les circuits en tournant la valve (2) sur "eau" pendant quelques instants. Revenir ensuite sur "essai".

Compléter le niveau d'eau dans le volumètre si nécessaire, toujours par la procédure 2.2.1.

3 - ETALONNAGES

Les étalonnages sont nécessaires pour connaître :

- la pression de réaction que l'ensemble gaine + membrane oppose à la dilatation de la sonde en fonction de son expansion, c'est-à-dire du volume mesuré.
- l'augmentation parasite de volume de l'ensemble de l'appareillage en fonction de la pression appliquée et qui ne correspond donc pas à une dilatation du forage.

3.1. RESISTANCE PROPRE DE L'HABILLAGE DE LA SONDE

L'expérience montre que cette résistance décroît en fonction du nombre d'essais réalisés. Avant tout étalonnage de ce type il est recommandé de procéder à une pré dilatation de la membrane et de la gaine.

3.1.2. Pré dilatation de la sonde

Cette opération est réalisée sur le chantier chaque fois qu'on utilise une nouvelle sonde (repères de la figure 1). Elle se réalise comme un essai dans le terrain, toutes les valves étant sur la position "essai", le clapet différentiel étant réglé pour la profondeur 0 m (tableau § 4.1).

NOTE : On peut pré dilater la membrane seule, avant de monter la gaine, de la façon suivante (fig. 1) : tourner la valve du circuit de gaz (1) sur "fermé". Toutes les autres valves sont sur "essai".

Tourner doucement le détendeur (9) de manière à dilater la cellule centrale jusqu'à lire 600 cm^3 sur le volumètre. Si l'eau descend trop vite, tourner la valve (4) sur la position "fermé". Noter la pression atteinte de préférence sur un manomètre 0-600 kPa (0-6 bar) fiché en (17). Pour dégonfler la cellule centrale, dévisser la clé du détendeur (9) et ramener doucement la valve (2) sur la position "eau".

Répéter l'opération 2 à 3 fois et vérifier que la pression notée au manomètre (17) tend à se stabiliser. Sinon recommencer encore une fois l'opération.

Tourner doucement le détendeur (9) de manière à gonfler la sonde jusqu'à un volume de 600 cm³. Noter la pression atteinte au manomètre (5). Pour dégonfler la sonde, dévisser la clé du détendeur et tourner doucement la valve (2) sur "purge".

Répéter l'opération 2 ou 3 fois et vérifier que la pression notée au manomètre (7) tend à se stabiliser. Sinon recommencer encore une fois.

3.1.3. Etalonnage de la résistance propre de la sonde

Placer la sonde à côté du CPV, tourner toutes les valves sur "essai" et la valve (3) sur 0-11 m. Réaliser un essai selon les instructions du chapitre 4, le clapet différentiel étant réglé pour la profondeur 0 m (tableau § 4.1). Utiliser de préférence un manomètre 0-600 kPa (0-6 bar) fiché dans la prise femelle (17). Utiliser des pas de pression de 25 kPa (0,25 bar) à 50 kPa (0,5 bar) selon qu'il s'agit respectivement de sondes avec simple habillage caoutchouc (avec ou sans lamelles métalliques) ou dans un tube fendu métallique.

Revenir à zéro.

En fin d'essai, tracer la courbe donnant les volumes lus à 60 secondes en fonction des pressions appliquées. C'est la courbe d'étalonnage cherchée.

3.2. DETERMINATION DU COEFFICIENT DE DILATATION DE L'APPAREILLAGE

Cette opération se faisant dans un tube de calibration. Elle permet, de plus, de connaître le volume de la cellule centrale pour la lecture zéro au volumètre.

La sonde montée avec l'habillage choisi est introduite dans un tube de calibration en acier.

On réalise dans le tube un essai selon les instructions du chapitre 4 avec des pas de pression 500 kPa. La valve haute sensibilité (laquelle accroît par 50 la résolution des lectures sur le voyant) doit être utilisée.

Attention : Pour une parfaite mise en place de la sonde contre la paroi du tube de calibration, les premiers pas de pression devront être réduits à 100 kPa (1 bar), comme on le voit sur la *figure 6*.

On trace la courbe des volumes à 60 secondes en fonction des pressions appliquées.

Selon les conventions :

- le volume initial de la cellule centrale de la sonde a pour valeur :

$$V_s = \left(\frac{\pi d_i^2}{4} \times l_s \right) - V_c$$

où l_s est la distance entre les 2 bords intérieurs de la bague de membrane (habituellement 210 mm environ),

d_i le diamètre intérieur du tube de calibration,

et V_c l'ordonnée à l'origine de la droite qui donne le meilleur ajustement avec la deuxième partie de la courbe d'expansion de la *figure 6*.

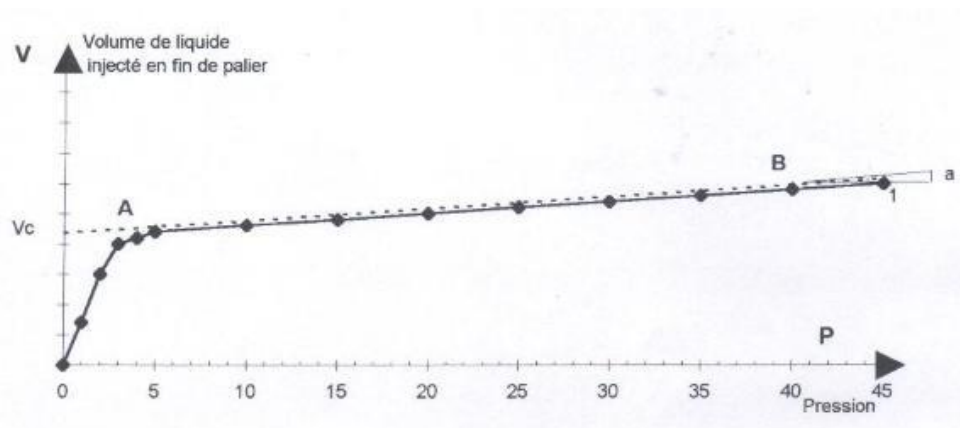


Figure 5 - Courbe d'expansion d'une sonde pressiométrique dans un tube de calibration (dans le cas où la pression différentielle est de 100 kPa - 1 bar -).

On notera que V_s peut ne pas atteindre les valeurs théoriques V_0 . Ceci provient du fait que le montage actuel est tel qu'à vide il n'y a pas de contact entre la surface extérieure de la membrane et la surface intérieure de la gaine. L'essai réalisé permet de connaître le volume de l'anneau vide au droit de la cellule de mesure, il peut donc atteindre $535 - 480 = 55 \text{ cm}^3$ (avec une sonde B).

- le coefficient de dilatation de l'appareillage a (tubulure, mais aussi système de mesure des manomètres, etc...) est :

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

C'est donc la pente de la droite AB.

a doit être inférieur à $6 \text{ cm}^3/\text{MPa}$ ($0,6 \text{ cm}^3/\text{bar}$) dans le cas d'un appareil équipé avec 50 m de tubulures.

4 - REALISATION D'UN ESSAI

Une fois le forage réalisé, la sonde est descendue doucement au moyen du train de tiges de la machine grâce à un raccord sonde tige qui se visse en haut de la sonde. On conseille d'attacher fermement (par exemple avec un ruban adhésif) et à intervalles réguliers la tubulure au train de tiges de manière à éviter qu'à la remontée de la sonde la tubulure ne se mette en bouchon et ne coince la sonde dans le forage.

Si le forage est sec, aucune contre pression hydrostatique ne s'oppose au gonflement de la sonde qui augmente avec la profondeur. On conseille dans ce cas de tourner la valve (4) sur "fermé" ce qui limite le gonflement au volume d'eau dans la tubulure.

Avant de descendre la sonde ou lorsque celle-ci est en place il faut régler la pression différentielle à sa valeur exacte. L'essai pressiométrique se fera ensuite.

4.1. REGLAGE DE LA PRESSION DIFFERENTIELLE P_{diff}

La notion de pression différentielle résulte des deux conditions ci-dessous :

A - Pour que la cellule centrale emboîtée dans les cellules de garde puisse se dilater, il faut une pression additionnelle *dans la cellule centrale* par rapport à la pression *dans les cellules de garde*. Comme de plus il faut maintenir la longueur de la cellule centrale constante, on doit mettre en jeu une pression additionnelle bien définie dans la cellule centrale.

B - En raison de la pression hydrostatique que subit en plus la cellule centrale seule, pour des pressions égales dans les deux circuits *au niveau du contrôleur pression volume (CPV)*, la différence de la pression entre la cellule centrale et les cellules de garde croît en fonction de la profondeur.

On appelle pression différentielle P_{diff} la différence de pression qu'il faut maintenir *au niveau du CPV* pour tenir compte de ces deux faits.

Pour des essais à une profondeur inférieure à 10 m, il faut réduire la pression dans le circuit de gaz au niveau du CPV. A 0 m de profondeur, la pression lue au manomètre des cellules de garde doit être inférieure à celle du manomètre de la cellule de mesure de 100 kPa (1 bar).

Pour des essais à une profondeur supérieure à 11 m, il faut compenser l'augmentation linéaire de la pression hydrostatique en fonction de la profondeur en accroissant dans la même proportion la pression du circuit gaz au niveau du CPV.

On donne ci-après le tableau qui précise cette différence de lecture entre le manomètre des cellules de garde et celui de la cellule centrale.

*Pression différentielle P_{diff} en fonction de la profondeur de la sonde
(pour une membrane normalisée)*

Profondeur de la sonde	Différence entre la lecture du manomètre des cellules de garde et celle du manomètre de la cellule centrale
0 m *	- 1,0 bar
1 m	- 0,9 bar
2 m	- 0,8 bar
3 m	- 0,7 bar
4 m	- 0,6 bar
5 m	- 0,5 bar
6 m	- 0,4 bar
7 m	- 0,3 bar
8 m	- 0,2 bar
9 m	- 0,1 bar
10 m	Pressions égales
11 m	+ 0,1 bar
12 m	+ 0,2 bar
20 m	+ 1,0 bar
25 m	+ 1,5 bar
30 m	+ 2,0 bar

* cas des essais d'étalonnage

(Pour tenir compte du poids du gaz à plus grande profondeur ou pour des pressions supérieures à 6 MPa - 60 bar -, on renvoie au chapitre 4).

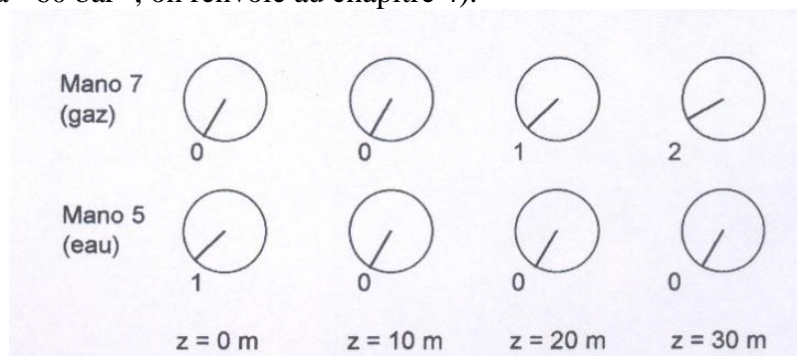


Figure 6 - Schéma de la disposition des aiguilles des manomètres sur le CPV au début d'un essai en fonction de la profondeur z de la sonde **comptée à partir du CPV**. Lectures en bar.

Pour régler correctement la pression différentielle (P_{diff}), procéder ainsi :

4.1.1 Pour un essai à moins de 10 m de profondeur, disons 5 m (fig. 1) :

Quand on ne sait pas pour quelle pression différentielle est réglée le CPV :

- 1) Débrancher la tubulure de la sonde du CPV.
- 2) Tourner la valve (3) sur "0-11" m
- 3) Actionner le détendeur principal (9) pour monter à 100 kPa (1 bar) sur les manomètres (5) et (6).
- 4) Lire la pression indiquée par le manomètre (7)
- 5) Si $P_{diff} < -0,5$ bar ($-0,7$ par exemple), passer au point 6.
 Si $P_{diff} = -0,5$ bar, le réglage est terminé.
 Si $P_{diff} > -0,5$ bar ($-0,3$ par exemple), passer au paragraphe 10.
- 6) Dévisser légèrement le bouton du clapet différentiel (8) (vers la gauche, ↙).
- 7) Actionner à nouveau le détendeur principal (9) de manière à afficher 200 kPa (2 bar) sur le manomètre (6).
- 8) Lire la nouvelle pression sur le manomètre (7).
- 9) Si la pression affichée est supérieure à 150 kPa, revenir au paragraphe 6.
 Si la pression affichée est inférieure à 150 kPa, passer au paragraphe 10.
- 10) Revisser légèrement le bouton du clapet différentiel (8) (vers la droite, ↘).
- 11) Actionner le détendeur principal (9) pour afficher sur le manomètre (6) soit 200 kPa (si on vient du paragraphe 5, soit 300 kPa (si on vient du paragraphe 9).
- 12) Lire la pression affichée sur le manomètre (7).
- 13) Procéder comme au point 5, en changeant ce qu'il faut changer.

On peut transposer les opérations réalisées sur un organigramme.

En fin de manipulation, purger la pression de chaque circuit par la valve (2) puis rebrancher la tubulure sur le CPV. En raison de la conception des raccords rapides aucune bulle d'air n'a été introduite dans la tubulure.

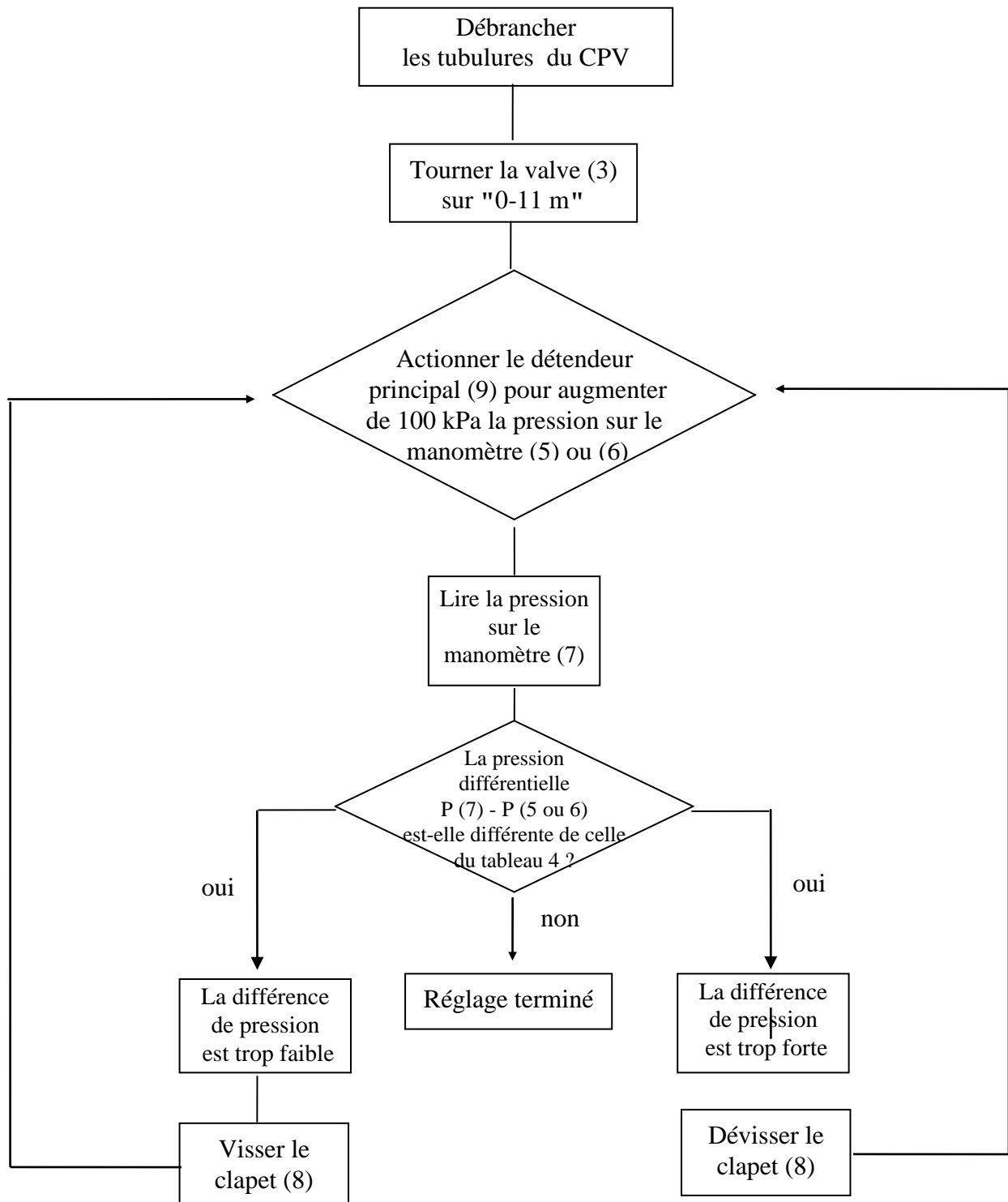
Essai à z mètres ($z < 10$ mètres)

Figure 7 - Organigramme pour régler la pression différentielle (essai entre 1 et 10 m de profondeur)

4.2. REALISATION DE L'ESSAI

Un essai pressiométrique est réalisé en appliquant au sol des paliers de pression maintenus chacun pendant 1 minute, les lectures de volume étant prises à 30 et 60 secondes après stabilisation de la pression. Le pas de pression entre chaque palier est généralement maintenu constant pendant tout l'essai, par exemple 100 kPa (1 bar) pour un terrain dans lequel la pression limite est estimée à 1 MPa (10 bar).

L'essai est arrêté quand la dernière lecture est voisine de 600 cm³. À noter que le risque de rupture croît avec le volume injecté et la pression atteint. Le test doit être arrêté plus tôt en cas de tests à plus haute pression. Près de 10000 kPa, le volume injecté ne doit pas excéder 300 à 350 cm³.

4.2.1. Vérifications préalables (autres que celles déjà données au chapitre 2)

S'assurer que le clapet différentiel (8) permet d'assurer la pression différentielle requise en fonction de la profondeur sinon revenir en 4.1 et que la valve (4) est en position fermée.

Mettre la valve (3) sur la position convenable ("moins de 11 m" ou "plus de 11 m" de profondeur).

Mettre les valves (1) et (2) et sur la position "essai".

Choisir entre les manomètres (5) et (6) en mettant la valve (14) vers le bas ou vers le haut, à moins que des manomètres de plus faible gamme ou de plus forte gamme soient fichés en (17). Dans ce cas, la valve (14) doit être mise à l'horizontale.

De même si on n'utilise pas le manomètre (7) et qu'on a fiché un autre manomètre en (16), mettre la valve (15) à l'horizontale.

Descendre la sonde à la profondeur choisie.

4.2.2. Essai

Mettre la valve (4) sur la position "essai".

Avant d'appliquer une pression quelconque, lire le volume de stabilisation dans le volumètre sous la charge hydrostatique.

Ensuite tourner doucement la clé du détendeur (9) jusqu'à afficher la pression du premier palier à l'un des manomètres (5) ou (6) ou encore à celui fiché en (17). Vérifier que la différence entre la pression lue au manomètre (7) ou à celui fiché en (16) et la première pression lue aux manomètres (5) ou (6) ou fiché en (17) est bien égale à la pression différentielle que l'on souhaitait. Sinon ajuster cette pression différentielle à l'aide du clapet (8).

Attention : La nouvelle pression différentielle ne peut apparaître que si elle est diminuée (en comparant les lectures aux manomètres 5 ou 6 et 7). Si l'on cherche à augmenter la pression différentielle, le résultat ne sera connu qu'au palier suivant. Si l'essai est exécuté à plus de 10 m, en vissant le clapet on augmente directement la pression dans la cellule centrale.

Faire les lectures de volume à 30 secondes et 1 minute après la stabilisation des 2 pressions.

Attention : Si on a tourné trop vite la clé du détenteur et que la pression se stabilise à une valeur plus élevée que prévue, ne pas revenir en arrière. En effet, le clapet régulateur ne fonctionnant que dans un sens, la pression maximale lue dans le circuit des cellules de garde a déjà été appliquée.

On peut noter qu'à tout moment on peut avoir connaissance de la pression réelle dans la cellule de mesure (moins la pression hydrostatique due à la hauteur d'eau), en tournant la valve (4) sur la position "fermé". On peut alors apprécier la différence avec la pression dans les cellules de garde qui est en équilibre avec le manomètre (7) - ou celui fiché en (16) - dès les premières secondes après avoir cessé de manipuler le détenteur (9).

4.3. DEGONFLAGE DE LA SONDÉ

Quand la lecture de volume est aux environs de 600 cm³ l'essai est terminé.

Le dégonflage de la sonde est facilité par le fait que l'emboîtement des cellules de garde permet de comprimer la cellule de mesure pour en expulser l'eau quand bien même le forage serait sec.

Dévisser la clé du détenteur (9), basculer la valve 4 voies (3) en position horizontale sur "purge" (si l'essai est réalisé à plus de 11 m de profondeur, c'est déjà la position de la valve), basculer lentement la valve (2) sur la position "eau". Fermer la valve (1) lorsque le manomètre (7) ou celui fiché en (16) indique environ 500 kPa (5 bar) dans les cellules de garde. Quand toute l'eau est remontée dans le volumètre tourner la valve (4) sur "fermé", et la valve (2) sur "gaz", en même temps qu'on place la valve (1) sur "essai".

Le dégonflage doit se faire lentement pour éviter de crever la membrane. Après dégonflage, remettre éventuellement la valve (3) dans la position souhaitée.

4.4. ESSAI CYCLIQUE

Un essai cyclique comprend une phase de déchargement suivie d'une phase de rechargement.

En raison de la conception de l'appareil, il faut réaliser le déchargement en agissant sur le circuit le moins pressurisé :

- . le circuit de gaz lorsque la sonde est entre 1 et 10 m de profondeur (valve (3) sur 0 -11 m)
- . le circuit d'eau lorsque la sonde est à plus de 10 m de profondeur (valve (3) sur plus de 11 m)

En conséquence, tourner lentement la valve (2) selon la profondeur soit vers la position "gaz", soit vers la position "eau", tout en surveillant soit le manomètre (7) - ou celui fiché en (16) - , soit les manomètres (5) ou (6) - ou celui fiché en (17) - pour atteindre le premier palier inférieur. Le clapet agit alors sur l'autre circuit pour conserver entre les deux circuits la pression différentielle choisie.

Faire les lectures à 30 et 60 secondes.

Recommencer la même opération pour décharger jusqu'au deuxième palier, etc...

Le rechargement se fait comme pendant l'essai.

4.6. ESSAIS A GRANDE PROFONDEUR

Les instructions qui suivent concernent les essais exécutés entre 80 et 120 m de profondeur. On a déjà indiqué que pour des essais à plus de 50-60 m de profondeur il faut changer le ressort du clapet différentiel (cf. § 5.2.4.).

Il sera impératif que le forage soit rempli de boue de forage pour limiter la dilatation de la sonde avant le début de l'essai.

Le Contrôleur Pression Volume sera équipé de deux clapets différentiels montés en série, avec ressorts 0-800 kPa (0-8 bar), pour assurer une pression différentielle entre la cellule centrale et les cellules de garde qui soit convenable.

Dans ce cas, le clapet différentiel supplémentaire sera placé entre le détenteur et le clapet différentiel du CPV. Il sera vissé à fond. On obtiendra alors un écart de pression de 800 kPa (8 bar). L'écart supplémentaire sera obtenu en manœuvrant le clapet d'origine du CPV.

Une solution plus simple est de remplacer le ressort d'origine par un ressort de 10 bars minimum (permettant de descendre à 110 mètres) mais le réglage sera moins précis du fait de la raideur du nouveau ressort.

La tubulure et la sonde devront être parfaitement purgées avec de l'eau spécialement dégazée pour éviter la remontée de bulles d'air dans la tubulure, ce qui perturberait la valeur de la pression hydrostatique au niveau de la sonde.

En raison de l'augmentation du poids volumique du gaz dans le circuit des cellules de garde, la pression différentielle au niveau du CPV devra être ajustée en fonction de la pression appliquée pendant l'essai selon le tableau suivant :

*Valeurs de la pression différentielle P_{diff}
en fonction de la profondeur et de la pression lue au manomètre*

Profondeur (m)	Pression lue au manomètre (5) ou (6) ou (17) (bar)					
	0	20	40	60	80	100
10	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1
60	4,9	4,8	4,6	4,4	4,2	4,1
80	6,9	6,7	6,4	6,2	6,0	5,7
100	8,9	8,6	8,3	8,0	7,7	7,4
120	10,9	10,5	10,1	9,8	9,4	9,0

La pression différentielle pour la pression 0 au manomètre (5), (6) ou (17) doit être réglée sur le CPV avant de descendre la sonde dans le forage, la tubulure étant déconnectée. Elle sera ensuite ajustée selon le tableau ci-dessus lorsque l'on augmente la pression pendant l'essai.

La sonde est descendue dans le forage, la valve (4) d'arrêt du circuit eau étant fermée pour éviter tout gonflement intempestif qui risquerait de bloquer la sonde au-dessus du niveau de l'essai. Cette valve est rouverte au moment de commencer l'essai. Les mises en pression doivent se faire lentement. Pendant cette montée en pression, vérifier la pression dans la cellule centrale en fermant le circuit eau par la valve d'arrêt (4). Le manomètre de la cellule centrale

(5), (6) ou (17) fonctionne alors en capteur. Les mesures à 30 secondes et 1 minute ne doivent commencer que lorsque la pression au capteur reste constante. Si elle est plus élevée que ce que l'on souhaiterait, ne pas revenir en arrière, en aucun cas.

5 - ENTRETIEN ET CHANGEMENTS DE CONFIGURATION

5.1. ENTRETIEN DU MATERIEL

Le pressiomètre, c'est-à-dire CPV, tubulure et sondes, n'exige aucun entretien à l'exception d'un graissage régulier des filetages des clefs du détendeur et du clapet de régulation.

Pour éviter de rayer l'intérieur des robinets, il convient d'utiliser une eau propre. Pour la même raison, il a été placé un filtre (18) sur le circuit des cellules de garde entre (1) et (12) pour éviter qu'en cas d'éclatement des impuretés remontent par ce circuit et polluent le circuit d'eau. Ce filtre peut être démonté pour échange (le porte-filtre **a** apparaît sur la figure 2).

5.2 DEPANNAGE SUR LE CPV

5.2.1. Changement de voyant de lecture (fig. 1)

Démonter la plaque de protection en poly carbonate qui est devant le voyant (21), dévisser les 2 écrous (36), retirer le voyant (21) supposé défectueux et le remplacer par celui qui est en rechange dans la boîte du CPV.

Procéder aux opérations inverses. Ne pas trop serrer les écrous (36), et surtout ne pas torsader le voyant.

5.2.2. Fuite à la valve de purge (2)

Enlever la poignée de la valve avec une clé BTR 5/64 et resserrer la bague avec une clé plate de 8 mm.

5.2.3. Manque de stabilité de la pression sur le circuit d'eau

Si la pression du palier ne peut être stabilisée, cela peut venir d'une mauvaise configuration du détendeur (ressort principal trop fort) mais aussi d'un clapet usé (*fig. 5*).

Dans ce dernier cas : démonter le détendeur du panneau du CPV, enlever l'écrou (2), ôter le clapet (5) puis procéder aux opérations inverses avec un nouveau clapet.

5.2.4. Manque de stabilité de la pression différentielle-changement de ressort

Déconnecter la tubulure d'arrivée au raccord d'entrée (7). Dévisser le siège de clapet différentiel (15) à l'arrière du clapet régulateur (8), enlever le clapet (4) avec une pince plate (noter son sens de montage) et le nettoyer car de fines particules de poussières peuvent adhérer ce qui ne permet pas l'étanchéité sur le joint (5). Changer l'ensemble clapet (4) joint (5) si usure prononcée (joint aplati ou abîmé).

Si besoin changer le ressort d'origine (6) par un plus raide (10 bars par exemple pour des essais à 100mètres). Replacer le clapet dans le bon sens (joint vers l'extérieur). Revisser le siège de clapet (7) et reconnecter la tubulure.

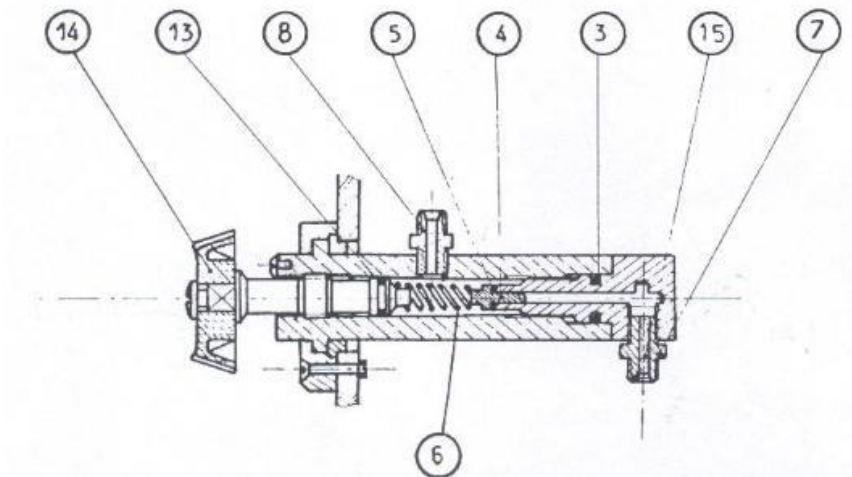


Fig. 8 - Coupe du clapet régulateur.

3	joint de siège	7	raccord d'entrée complet avec filtre
4	clapet	8	raccord de sortie *
5	joint de clapet	13	joint de la vis de réglage
6	ressort	14	volant de manœuvre

5.2.5. Les cellules de garde se dégonflent lentement

Changer le filtre dans le porte-filtre (a) sur la face arrière du panneau du CPV.

5.2.6. Le détendeur ne fonctionne plus

Dévisser l'écrou éclateur (25), enlever la pastille en cuivre (24) qui a été perforée et la remplacer - épaisseur de la pastille 15/100 mm pour des essais jusqu'à 10 Mpa (100 bar) et 10/100 mm pour des essais ne dépassant pas 6 Mpa (60 bar) -

5.3. REPARATION D'UNE SONDE

Quand une sonde est crevée, elle sera échangée pour une sonde en état. Déconnecter les prises rapides (12) de la tubulure et changer de sonde, reconnecter et terminer le remplissage selon le paragraphe 2.2.3. On pourra ensuite procéder au démontage et au remontage de la sonde endommagée en temps masqué.

Noter que l'utilisation d'une nouvelle sonde impose de procéder à nouveau aux essais d'étalonnages.

5.3.1. Démontage d'une sonde

On s'aidera du support de sonde faisant partie du lot pressiométrique.

Dégager d'abord la gaine :

- enlever la pointe de protection et le raccord de tige vissé,
- dévisser un écrou et enlever la bague de gaine correspondante. S'il s'agit d'une bague plastique, la tourner légèrement en s'aidant de la clé spéciale à ergot, tout en maintenant avec une clé à lanière la gaine (pour les gaines métalliques, tourner dans le sens où le frottement a tendance à coucher les lamelles),
- dévisser le deuxième écrou et enlever la deuxième bague,
- enlever la gaine en la tournant alternativement dans les deux sens.

Dégager ensuite la membrane de la cellule centrale : déplacer les deux bagues (5) vers le centre de la sonde pour sortir la membrane que l'on glisse entre le corps de sonde et les bagues maintenues au centre.

5.3.2. - Montage de la membrane

Le montage s'effectue avec le support faisant partie du lot pressiométrique. Serrer ce support dans un étau. Sur le corps métallique de la sonde mettre en place un joint de gaine et visser un écrou de gaine de manière à dégager le filetage de l'extrémité de la sonde. Visser ce côté sur le support jusqu'à bloquer l'écrou sur le support.

- a) Placer les deux bagues de membrane au centre de la sonde, le grand diamètre du cône intérieur des bagues vers les extrémités de la sonde, en les couissant par le côté.
- b) Enfiler la membrane, la glisser sous les bagues, de part et d'autre, et la positionner symétriquement par rapport aux deux bossages d'étanchéité.

- c) Ecarter manuellement les deux bagues au maximum, la cote définitive entre bagues étant de 210 mm. Si le montage paraît lâche, placer sur la membrane un tour de ruban adhésif au niveau du bossage pour augmenter le serrage de la bague.
- d) Compléter l'immobilisation des deux bagues en les recouvrant de ruban adhésif en commençant côté cellule centrale sur 5 mm et terminer par 10 mm sur le corps métallique de la sonde.
- e) La membrane ne doit pas être montée tendue.

5.3.3. Montage de la gaine

On choisira la gaine selon le type de terrain à tester.

- a) Enduire de graisse le corps de la sonde ainsi que l'extérieur de la membrane. Mettre le deuxième joint sur le corps de sonde côté B.
- b) Monter la gaine sur la membrane et la positionner au centre du corps de la sonde de manière que les joints toriques soient à 2 cm de chaque extrémité de la gaine. Veiller à ne pas déplacer les bagues de membrane et à ne pas sortir les joints toriques de leur gorge.
- c) Recouvrir l'extrémité B de la gaine de ruban adhésif largeur 38 mm sur environ 60 mm (ce ruban existe déjà à la livraison pour les gaines métalliques).
- d) Enduire de graisse la partie revêtue de ruban adhésif.
- e) Placer une bague de gaine préalablement enduite intérieurement de graisse, sur l'extrémité B de la gaine puis, à l'aide de l'écrou, positionner le tout en butée sur le corps de la sonde (laisser 4 à 5 filetages côté haut pour le raccord de tiges).
- f) Dévisser l'extrémité A de la sonde de son support et visser l'extrémité B, faire sur l'extrémité A les opérations c, d et e.
- g) Après montage, la gaine ne doit pas être plissée. Dans ce dernier cas, vérifier si la gaine ne bute pas au fond des bagues ; si oui raccourcir légèrement la gaine (5 mm environ).

5.4. RACCORDEMENT DE 2 TUBULURES

5.4.2. Tubulures coaxiales

Le tube extérieur est généralement en Técalan. Il existe cependant quelques appareils en service (pour des essais à 250 kPa) avec un tube extérieur en Rilsan. Dans ce dernier cas, le raccordement des 2 tubulures se fait avec un raccord 4-4 mm muni d'un anneau central formant butée (*fig. 11*) et de 3 joints toriques de chaque côté.

Dans le cas d'un tube extérieur en Técalan, le schéma de l'extrémité d'une tubulure est donné par la *figure 12 a*. Pour raccorder deux tubulures on utilisera un mamelon double prévu pour ce faire et un petit tube intérieur (*fig. 12 b*).

Coulisser dans le petit tube les extrémités des 2 aiguilles 4 x 3 mm puis visser les écrous de 10 mm sur le mamelon double.

S'assurer que les joints toriques des aiguilles et les bicônes de 10 mm sont en état avant de procéder au raccordement.

Coulisser dans le petit tube les extrémités des 2 aiguilles 4 x 3 mm puis visser les écrous de 10 mm sur le mamelon double. S'assurer que les joints toriques des aiguilles et les bicônes de 10 mm sont en état avant de procéder au raccordement.

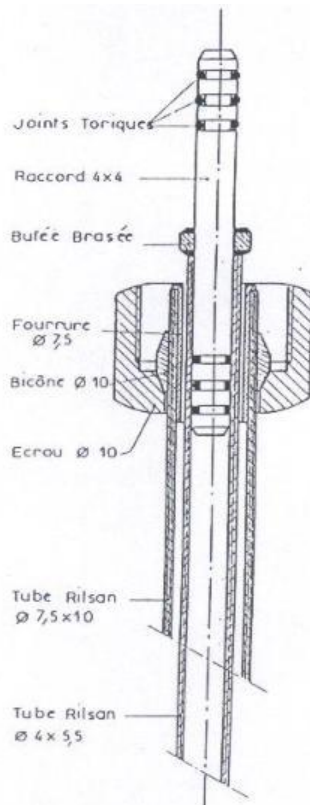


Figure 11 - Raccordement de 2 tubulures coaxiales avec tube Rilsan.

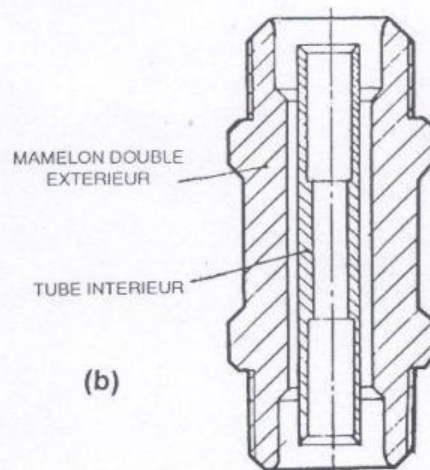
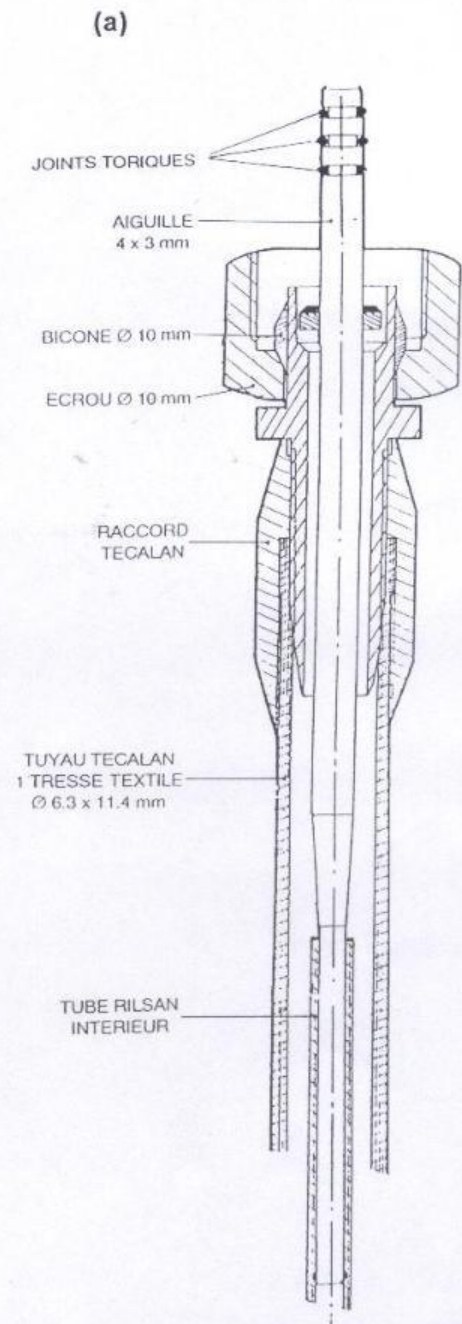


Figure 10 - Raccordement de 2 tubulures coaxiales avec tube en Técalan.

5.4.3. Réparation d'une tubulure coaxiale 10 MPa (100 bar)

- a) Dérouler et allonger la tubulure.
- b) Couper les deux tubulures sur un même plan (fig. 13a).
- c) Serrer dans un étau la tubulure extérieure (1) à 8 cm de l'extrémité - serrage modéré destiné à immobiliser la tubulure intérieure (2) - (fig. 13b).
- d) Mouiller l'extrémité de l'aiguille 4 x 3 mm (3), puis l'engager dans la tubulure (2) sur 15 mm environ.
- e) Desserrer légèrement l'étau pour libérer la tubulure (2)
- f) Tirer avec l'aide de l'aiguille 4 x 3 mm (3) la tubulure (2) pour la faire dépasser de 30 mm de la tubulure extérieure.
- g) Resserrer l'étau pour immobiliser de nouveau la tubulure (2) puis retirer l'aiguille 4 x 3 (3) (fig. 13c).

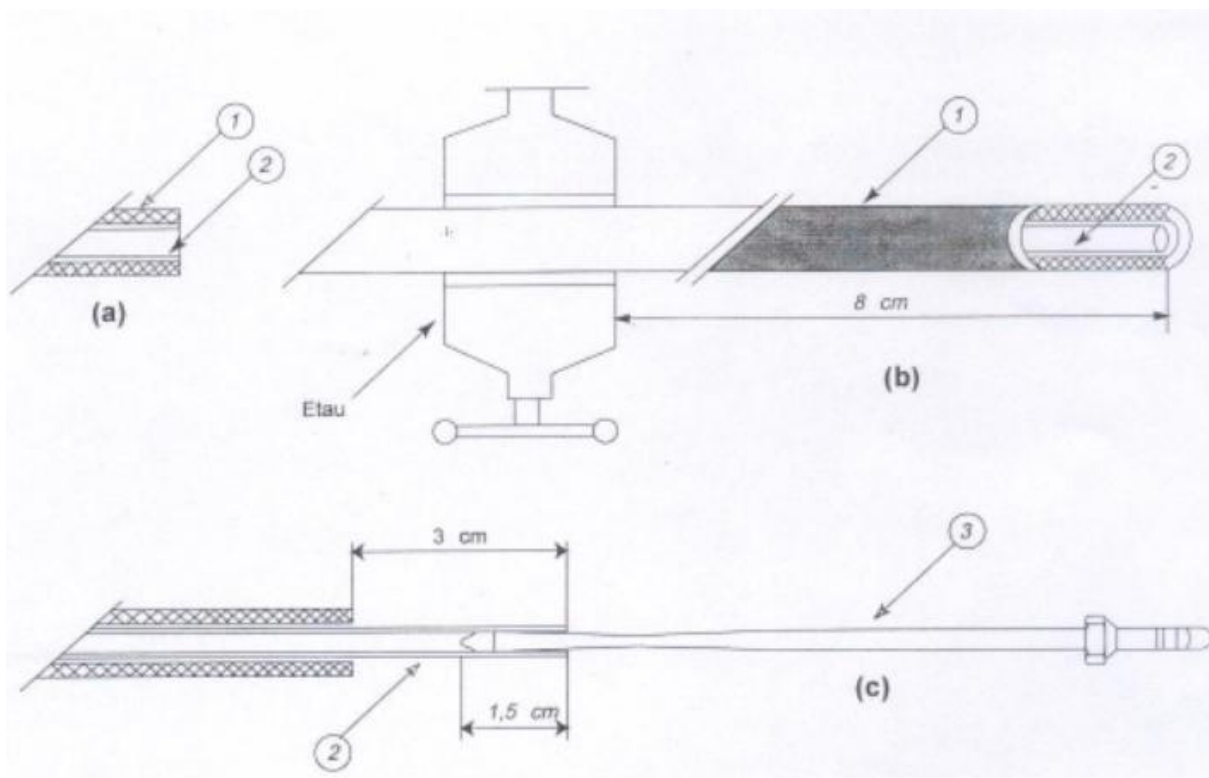


Figure 11 (a) à (c) - Réparation d'une tubulure coaxiale.

- h) Visser la douille (4) (filetage gauche) jusqu'en butée et dévisser d'un quart de tour (très important - *fig. 13d* -)
- i) Couper la tubulure (2) à 1 mm de la face avant de la douille (4) (*fig. 13e*)
- j) Placer le raccord (3) dans l'embout (5) puis engager le raccord dans la tubulure (2) jusqu'à la base du cône (*fig. 13f*)
- k) Desserrer l'étau, la tubulure (2) reprend sa place d'origine, l'embout (5) vient en contact avec la douille (4).
Serrer la douille (4) dans l'étau, modérément, afin d'éviter les déformations.
Graisser l'extrémité de l'embout puis le visser dans la douille (4), sans bloquer : un jeu de 0,2 mm environ est nécessaire (*fig. 13g*)
- l) S'assurer que la tubulure intérieure (2) navigue librement sur quelques millimètres dans ces conditions la tubulure est prête à l'emploi.

Dans le cas où la tubulure intérieure (2) serait solidaire de la tubulure extérieure (1) recommencer le montage : l'embout (5) a refoulé le revêtement intérieur de la tubulure (1) au lieu de pénétrer par glissement.

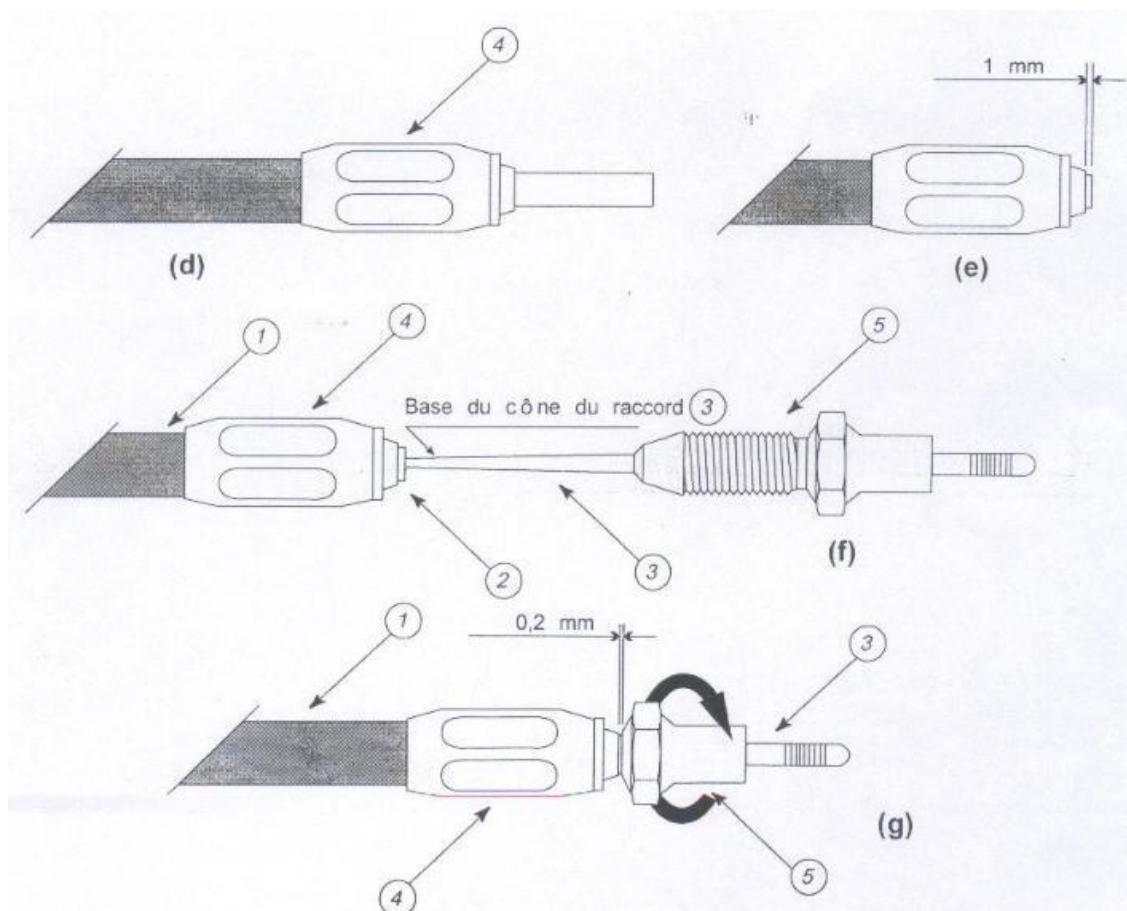


Figure 11 (d) à (g) - Réparation d'une tubulure coaxiale.

5.5. MODIFICATION DE LA PRECISION DU DETENDEUR

On a déjà indiqué que la précision du détendeur principal est fonction de la raideur du ressort (11). On dispose de ressorts pour des pressions maximales de 1, 2, 4, 8 ou 10 MPa (10, 20, 40, 80 ou 100 bar).

Lorsque le pressiomètre est livré pour travailler à 6 MPa (60 bar) seulement, la pastille de sécurité (24) est en 10/100 mm d'épaisseur. Sur les pressiomètres livrés pour travailler à 10 MPa (100 bar), la pastille fait 15/100 mm d'épaisseur.

Quand on veut changer de ressort :

- . Démontez le détendeur de la face avant du CPV,
- . Desserrer l'écrou (17),
- . Sortir le piston chromé (10) et le joint (15),
- . Changer le ressort (11),
- . Remonter l'ensemble.

En profiter pour :

- a) Changer la pastille de sécurité (24) en desserrant l'éclateur (25). Cette opération sera nécessaire si on veut convertir le CPV de la configuration 0-6 MPa (0-60 bar) à la configuration 0-10 MPa (0-100 bar), l'épaisseur de la pastille devant passer de 10/100 à 15/100 mm.
- b) Graisser la bille (13) nettoyer le piston (10), son logement et le joint (15), et huiler légèrement.