Comportement mécanique des joints soudés définition des essais et résultats expérimentaux

4.1 Choix des conditions d'essai sur éprouvettes entaillées

Afin de déterminer le comportement en fluage de chacune des zones du joint soudé, des essais de fluage sur éprouvettes entaillées ont été prévus et lancés.

L'idée est de concentrer la sollicitation dans une zone du joint afin de n'évaluer que le comportement de cette zone.

Un autre intérêt des éprouvettes entaillées est de tester uniquement une zone particulière de joint soudé, tout en gardant une géométrie globale d'éprouvette « standard » facile à utiliser de manière fiable au laboratoire de fluage (notamment en termes d'amarrage, d'extensométrie et de maîtrise de gradient thermique).

Au cours de l'essai de fluage, la présence de l'entaille entraîne une concentration de contraintes dans la section de l'éprouvette, modifiant ainsi l'état de contraintes vers un état multiaxial. La triaxialité des contraintes va donc fortement augmenter dans la section transversale de l'éprouvette et ainsi accélérer les mécanismes d'endommagement qui se produisent généralement après de longues durées. A titre d'exemple, Rice et Tracey ont établi des modèles de croissance de cavités et ont montré l'influence de la triaxialité des contraintes sur la croissance des cavités en rupture ductile [Rice et Tracey, 1969].

Par rapport à une éprouvette lisse (avec une hypothèse de matériau isotrope régi par la contrainte équivalente de von Mises), la contrainte de Von Mises dans la section de l'entaille est inférieure à la contrainte axiale. Cette augmentation de la triaxialité des contraintes est à l'origine de l'accélération des mécanismes d'endommagement dans la section entaillée [Gurson, 1977, Rice et Tracey, 1969, Gaffard et al., 2005].

Pour déterminer le comportement de la zone adoucie et de la zone fondue, des essais de fluage sur éprouvettes entaillées dans chacune de ces zones ont donc été lancés. L'objectif de cette partie est de décrire le dimensionnement et la préparation de ces essais. Des calculs par éléments finis ont été réalisés afin d'une part de valider les géométries des éprouvettes entaillées et d'autre part de calculer la charge à appliquer.

4.1.1 Dimensionnement des éprouvettes entaillées

Les géométries des deux entailles ont été prédéfinies en fonction des géométries des deux zones d'intérêt et à partir de travaux réalisés par Gaffard (Gaffard, 2004) et Panait (Panait, 2010).

Les éprouvettes de fluage lisses et entaillées en zone fondue ont été prélevées dans le sens travers du joint soudé.

La zone fondue étant large, le choix de la géométrie d'éprouvette lisse n'est pas contraint par le fait de tester uniquement la zone fondue. Une éprouvette de type MF11, dont le plan est donné sur la Figure 4-1, est choisie. Ce type d'éprouvette possède une géométrie standard souvent utilisée dans le laboratoire de fluage du CEA/SRMA.



Figure 4-1 : schéma de la géométrie de l'éprouvette de fluage MF11.

Pour les essais sur éprouvette entaillée, la zone fondue est suffisamment large (entre 9 et 12 mm) pour pouvoir imposer une entaille douce et ainsi limiter les difficultés d'usinage. En outre, cela permet de tester exclusivement le comportement de la zone fondue et ainsi de se rapprocher de la configuration sur éprouvette lisse avec uniquement de la zone fondue en partie utile. Le volume de matière testé est donc large et comporte une grande quantité d'anciens grains austénitiques. La géométrie d'entaille sera validée par la suite.

La largeur de la zone adoucie est estimée à 1,5 mm mais doit être précisément mesurée afin de définir les dimensions de l'entaille. Elle impose de réaliser une entaille sévère pour ne tester que cette zone. Elle a donc été évaluée grâce à des profils de microdureté réalisés dans le sens travers du joint (Figure 4-2).



Figure 4-2 : profil de microdureté sur une moitié du joint soudé.

Les éprouvettes de fluage entaillées en zone adoucie ont été prélevées différemment par rapport aux éprouvettes entaillées en zone fondue.

Afin de solliciter uniquement la zone adoucie, la zone au droit de l'entaille ne doit comprendre que celle-ci. Du fait de la géométrie de chanfrein en V, les bords du joint sont inclinés. L'ébauche de l'éprouvette a donc été prélevée en biais dans le joint (schéma de la Figure 4-3), de manière à positionner la zone adoucie perpendiculairement à l'axe de l'éprouvette.



Figure 4-3 : schéma du joint et zone de prélèvement des ébauches d'éprouvettes entaillées en zone adoucie.

La géométrie de l'éprouvette doit également prendre en compte la géométrie du joint.

En imposant une section d'entaille de 3 mm, un premier calcul a montré que la longueur de l'éprouvette devait être inférieure à 30 mm. La longueur de l'ébauche doit donc être légèrement supérieure.

Des ébauches d'éprouvettes de longueur 31 mm (longueur maximale prélevable) et de 7 mm de diamètre ont été prélevées dons le joint soudé. Le plan de l'ébauche d'éprouvette utilisée est rappelé sur la Figure 4-4.



Figure 4-4 : schéma de l'ébauche d'éprouvette utilisée pour les essais sur éprouvettes entaillées en zone adoucie.

Ces éprouvettes entaillées permettent d'accéder au comportement en fluage de la zone adoucie. Cette géométrie n'est pas standard au laboratoire et les machines de fluage ont été adaptées pour réaliser ces essais. Du fait du nombre limité de machines ainsi disponibles, le nombre d'essais et leurs durées sont donc limités.

Les géométries d'entaille doivent être choisies de manière précise. Grâce à des calculs par éléments finis, Jiang et al. (Jiang et al., 2007) ont montré que la forme et les dimensions de l'entaille ont une influence majeure sur le développement de l'endommagement et la durée de vie en fluage de l'éprouvette. Dans une éprouvette entaillée en V (entaille sévère), l'endommagement en fluage se développe en premier au niveau de la pointe de l'entaille. Le risque d'une fissuration précoce n'est pas à négliger.

La Figure 4-6 présente l'évolution des contraintes de von Mises et axiales au niveau de la section entaillée d'une éprouvette en acier P92 avec entaille sévère, pour une contrainte nominale au niveau de l'entaille de 190 MPa et pour différents niveaux d'ouverture de l'entaille [Panait, 2010]. La géométrie de l'éprouvette et de l'entaille utilisées par C. Panait sont illustrées sur la Figure 4-5.



Figure 4-5 : géométrie de a)l'éprouvette et b) de l'entaille, utilisées par Panait [Panait, 2010].



Figure 4-6 : distribution des contraintes de von Mises et principale σ_{22} au niveau de la section entaillée d'une éprouvette avec entaille sévère, pour une contrainte nominale au niveau de l'entaille de 190 MPa [Panait, 2010].

A travers ce résultat, on constate qu'à un stade avancé de l'essai, le maximum de contraintes axiales, ou contraintes principales σ_{22} , se situe à environ 0,1 mm de la pointe de l'entaille. Les mécanismes d'endommagement vont s'intensifier à cet endroit.

Par ailleurs, les observations de Panait des faciès de rupture des éprouvettes entaillées qui n'ont pas rompu, ont révélé la présence d'une fissure intergranulaire connectée au rayon des entailles des éprouvettes. Cela suggère la propagation stable de la fissure pendant l'essai. Ce type de géométrie, très confinée, permet donc d'accéder aux mécanismes de fissuration intergranulaires. L'endommagement est en revanche très localisé.

4.1.2 Analyse mécanique des éprouvettes entaillées par calculs par éléments finis

Des calculs par éléments finis ont au préalable permis de valider les géométries des deux types d'entailles (en zone fondue et en zone adoucie). Les calculs ont été réalisés à l'aide du logiciel ZeBuLoN.

Ces calculs de validation ont été faits à partir de la loi de comportement en fluage du métal de base à 600°C de Panait (Panait, 2010), présentée en annexe 7.3. Faute de données expérimentales, les effets de triaxialité à 550°C sont considérés comme proches de ceux à 600°C.

Les géométries des éprouvettes de fluage entaillées testées par calcul sont présentées sur les schémas des Figure 4-7 et 146.



Figure 4-7 : géométries préliminaires des éprouvettes de fluage entaillées a) en zone fondue, b) en zone adoucie. La zone fondue est hachurée sur le schéma.



Figure 4-8 : géométrie de l'entaille faite en zone adoucie.

L'éprouvette entaillée en zone fondue a été prélevée dans le sens travers du joint soudé. Elle est centrée à mi-épaisseur des tubes initiaux.

L'objectif de ces essais est de déterminer le comportement de la zone fondue. La zone fondue est large et sa microstructure est grossière à certains endroits. C'est pourquoi, une entaille douce a été choisie afin d'échantillonner un grand volume de matière.

L'objectif des essais sur éprouvettes entaillées en zone adoucie est de caractériser l'écoulement viscoplastique et l'endommagement dans cette zone. La quantité de matière à tester est faible. Par ailleurs, la microstructure de cette zone est fine. Ainsi, une entaille sévère de type « Charpy » a été choisie, afin d'accélérer les mécanismes d'endommagement intergranulaire dans la zone testée. Le diamètre de l'éprouvette est cependant bien plus faible que celui utilisé par C. Panait, le confinement attendu est donc moins sévère et il n'est pas certain que la durée d'essais envisageables pourra déclencher les mécanismes d'endommagement intergranulaires.

Les éprouvettes sont axisymétriques et le matériau est considéré comme homogène et isotrope (cette hypothèse sera vérifiée *a posteriori* pour la zone fondue). Il est donc possible de faire l'étude sur un modèle en 2 dimensions incluant les conditions de symétrie.

Par ailleurs, ce même modèle présentant une symétrie selon le plan médian, il peut être réduit à un quart de l'éprouvette.

L'étude par éléments finis a été réalisée avec les conditions aux limites suivantes :

-blocage des déplacements selon l'axe de chargement,, le long de la section de l'éprouvette, au droit de l'entaille.

-blocage des déplacements radiaux, le long de l'axe vertical de l'éprouvette.

Les éléments du maillage sont parallélépipédiques et linéaires à intégration complète. Les différents bords de l'éprouvette ont été subdivisés en intervalles réguliers.

Pour le maillage de l'éprouvette entaillée en zone fondue, les intervalles entre les nœuds sont identiques sur chaque face opposée. Le découpage au niveau de la section d'entaille est donc plus petit et le maillage plus fin au niveau de l'entaille. Le maillage comporte 1109 nœuds.

Concernant le maillage de l'éprouvette entaillée en zone adoucie, l'espacement horizontal entre les nœuds a été choisi de manière à croître géométriquement d'une raison de 1,1, du bord extérieur de l'éprouvette jusqu'à son axe. Le maillage est ainsi affiné au niveau des congés et de l'entaille. Le maillage comporte 1889 nœuds.

Le modèle par éléments finis de l'éprouvette entaillée en zone adoucie est montré sur la Figure 4-9.





La force a été appliquée au nœud situé sur la face supérieure de l'éprouvette et le plus éloigné de l'axe de celle-ci. Le modèle impose à tous les nœuds de la face supérieure un déplacement identique à celui auquel la force est appliquée.

Le déplacement est mesuré au niveau de ce nœud, qui correspond à la position de l'extensomètre réel.

L'éprouvette entaillée en zone fondue n'est pas intégralement dessinée et maillée. En effet, la concentration de contraintes et les déformations au niveau des collerettes de fixation de l'extensomètre n'ont pas d'influence sur les champs de contraintes et de déformations au niveau de l'entaille.

4.1.3 Validation du confinement de la sollicitation

a)

Afin d'étudier uniquement le comportement de la zone concernée, il est néanmoins essentiel de vérifier que seule cette zone se déforme plastiquement.

Les calculs ont ensuite été réalisés afin de vérifier que la zone déformée plastiquement restait confinée à l'intérieur de l'entaille.

La démarche appliquée est identique pour les deux types d'éprouvettes. Elle est détaillée cidessous pour l'éprouvette entaillée en zone adoucie. Le calcul a été fait pour une contrainte nette appliquée de 390 MPa. Cette contrainte permet d'obtenir une contrainte de von Mises de 240 MPa dans la zone entaillée. Ce point sera détaillé au paragraphe 4.1.6.

La répartition des déformations viscoplastiques a été considérée à la fin du stade secondaire, à environ 30h d'essai, comme indiqué sur la courbe de fluage de la Figure 4-10. Le modèle de comportement utilisé pour le dimensionnement des éprouvettes est valable pour une température de 600°C, ce qui explique la durée d'essai très courte. L'essai sera nettement plus long à 550°C.



Figure 4-10 : courbe de fluage issue d'un calcul par éléments finis sur l'éprouvette entaillée en zone adoucie.



Figure 4-11 : cartographie des déformations viscoplastiques cumulées dans l'éprouvette entaillée en zone adoucie, en fin de stade secondaire.

La Figure 4-11 présente une cartographie des déformations viscoplastiques cumulées dans l'éprouvette avec entaille sévère, à 30h d'essai. A ce stade de l'essai, on constate que la déformation viscoplastique se localise à la pointe de l'entaille et ne s'est pas étendue au-delà de l'entaille.

Pour les deux modèles d'éprouvettes entaillées, la zone qui se déforme viscoplastiquement reste confinée entre les deux bords de l'entaille au cours de la sollicitation en fluage.

4.1.4 Vérification du volume testé

Il est important de vérifier que le volume de matière à tester est suffisamment large. Il faut en effet que la zone endommagée soit large et comporte suffisamment de matière pour pouvoir considérer un matériau homogène et isotrope et également pour faciliter l'expertise des éprouvettes.

L'entaille douce possède des dimensions nettement plus larges et ne présente pas les inconvénients de l'entaille sévère. Cependant, les tailles d'anciens grains austénitiques dans la zone fondue sont beaucoup plus grandes qu'en zone adoucie. Il est donc essentiel de considérer la taille de ces grains par rapport au volume de microstructure testée.

La taille des anciens grains austénitiques dans le métal fondu est variable.

Sur une soudure réalisée par soudage manuel à l'arc (MMA, la tension de soudage est de 20V et l'intensité de l'arc entre 100 et 130A), Mythili et al. [Mythili et al., 2003] ont mesuré la taille moyenne des grains colonnaires en zone fondue d'un acier 9Cr-1Mo⁸, grâce à des observations en Microscopie Electronique à Balayage (MEB), par la méthode dite des « intercepts linéaires ». Ils estiment la longueur moyenne de ces grains à 180 µm et la largeur à 44 µm.

Kim et Lim [Kim et Lim, 2008] ont estimé à environ 5,5 μm la taille moyenne des anciens grains austénitiques dans l'ICHAZ pour un acier Grade 92.

Compte-tenu des tailles d'anciens grains austénitiques dans chacune des zones du joint et des dimensions de la zone en fond d'entaille, on considère que le volume de matière testé comporte

⁸ Composition : 0,356Mn, 0,072C, 0,021P, 0,265Si, 0,008S

suffisamment d'anciens grains austénitiques pour être représentatif de la microstructure obtenue après un essai de fluage sur éprouvette lisse pendant de longues durées.

En effet, dans la section entaillée sévèrement, la zone dont la déformation viscoplastique cumulée est supérieure à 0,02 en fin de stade secondaire (0,02 étant une valeur courante de fin de fluage secondaire sur éprouvettes lisses) comporte environ 36 millions d'anciens grains austénitiques.

Néanmoins, pour l'éprouvette avec entaille sévère, la zone d'étude sera petite et l'examen de la microstructure endommagée sera plus délicat.

4.1.5 Préparation des ébauches d'éprouvettes

Chaque ébauche d'éprouvette prélevée a été attaquée chimiquement au réactif de Villela (5 mL d'acide chlorhydrique, 1g d'acide picrique et 100 ml d'éthanol) afin de révéler la microstructure des différentes zones du joint soudé.

Des mesures de microdureté ont été réalisées pour pouvoir localiser précisément la zone adoucie sur chacune des ébauches prélevées dans le joint soudé, ainsi que son épaisseur. La zone à entailler a été repérée et délimitée, puis l'entaille a été réalisée à l'aide d'un outil à pastilles rapportées et affûtées.

4.1.6 Calcul des charges à appliquer

4.1.6.1 Principe et mise en œuvre

En dernier lieu, il a été nécessaire de déterminer les contraintes nettes à appliquer aux éprouvettes pour réaliser les essais de fluage, à une contrainte de von Mises déterminée en un lieu et en un stade de l'essai à déterminer également.

Panait (Panait, 2010) a montré que pour une valeur donnée de la contrainte équivalente de Von Mises, les durées de vie des éprouvettes lisses et entaillées sont comparables, et ce quelles que soient les durées de vie en fluage. Les graphiques de la Figure 4-12 et de la Figure 4-13 illustrent ce point.



Figure V.22 : Creep rupture data of all tests conducted at 600°C as a function of engineering stress, σ_n

Figure 4-12 : données de fluage à 600 °C de C. Panait, sur éprouvettes lisses et entaillées, présentées en contraintes nettes (force divisée par la section minimale initiale) (Panait, 2010).



Figure V.23 : Creep rupture data of the smooth and notched specimens as a function von Mises equivalent stress, σ_{VM}

Figure 4-13 : données de fluage à 600 °C de C. Panait, sur éprouvettes lisses et entaillées, présentées en contraintes de von Mises (Panait, 2010).

Ainsi, les contraintes à appliquer à l'éprouvette entaillée ont été déterminées à partir de la contrainte de Von Mises souhaitée dans la section minimale de l'éprouvette, au droit de l'entaille, au cours de stade secondaire de l'essai de fluage.

Les niveaux de contraintes ont été choisis à partir des durées de vie visées, ici 1000h et 5000h. Les données de fluage sur éprouvettes lisses indiquent que ces durées de vie sont atteintes pour des contraintes appliquées respectivement de 205 et 240 MPa. Les contraintes de Von Mises visées pour chacun des deux types d'éprouvettes sont donc de 205 et 240 MPa.

Des calculs par éléments finis ont donc été réalisés pour déterminer les contraintes nettes à appliquer. Les paragraphes suivants présentent la démarche utilisée pour déterminer les contraintes à appliquer dans les deux types d'éprouvettes pour obtenir une contrainte de von Mises de 240 MPa dans la section minimale des éprouvettes. La même démarche est appliquée pour obtenir une contrainte de von Mises de 205 MPa et est présentée en annexe, dans la partie 7.4.

La loi de fluage de Panait (Panait, 2010) sur du métal de base à 600°C a de nouveau été utilisée. Les contraintes réellement appliquées seront recalculées dans la suite de la thèse, une fois les lois de comportement en fluage à 550°C obtenues.

Plusieurs valeurs de contrainte nette ont été testées pour chaque éprouvette.

4.1.6.2 Détermination de la contrainte nette à appliquer pour obtenir une contrainte de von Mises de 240 MPa dans la section entaillée en zone adoucie (entaille sévère).

L'évolution des contraintes axiales et de Von Mises le long de la section minimale de l'éprouvette au droit de l'entaille sévère a été tracée pour les différents niveaux de contraintes appliquées.

L'évolution de ces contraintes a été tracée à trois moments du stade secondaire de fluage de l'essai « numérique », indiqués sur la courbe de fluage de la Figure 4-14, prédite par le modèle.



Figure 4-14 : courbe de fluage issue d'un calcul par éléments finis sur l'éprouvette entaillée en zone adoucie.

Pour chaque contrainte macroscopique appliquée, la distribution spatiale de la contrainte axiale a été considérée. En effet, l'endommagement se développe dans les zones où la contrainte axiale est maximale, là où le taux de triaxialité est le plus élevé.

A la distance de l'axe correspondant au maximum de contrainte axiale, la valeur de contrainte de von Mises est lue. Le choix de la contrainte nette est arrêté lorsque la valeur de von Mises lue à cet endroit correspond à celle visée.

Pour l'éprouvette entaillée en zone adoucie, la contrainte axiale est maximale au niveau de l'axe de l'éprouvette et sur une région de rayon de 3 mm, comme l'illustre la Figure 4-15, qui présente l'évolution de ces valeurs pour une contrainte nette de 390MPa. Le palier de contrainte axiale se situe autour de 490 MPa. La contrainte de von Mises est de l'ordre de 240 MPa à cet endroit et n'évolue que de quelques MPa (environ 5 MPa) le long du palier.

Le maximum de contrainte axiale a été choisi à environ 0,15 mm de l'axe de l'éprouvette au droit de l'entaille (ellipse rouge sur le graphique de la Figure 4-15), au centre du palier. Cette valeur a été choisie en milieu de stade secondaire.

Une contrainte nette de 390 MPa permet donc d'obtenir une valeur de contrainte de von Mises de 240 MPa au droit de l'entaille sévère, comme le montre le graphique de la Figure 4-15.



Figure 4-15 : évolution de la contrainte de von Mises (VM : échelle à gauche) et de la contrainte axiale (Sigaxiale : échelle à droite) le long de la section au droit de l'entaille, à partir de l'axe, à différents stade du fluage secondaire, pour une contrainte nette appliquée de 390MPa. Les flèches indiquent l'évolution des courbes avec le temps, soit avec l'augmentation de la déformation viscoplastique.

Le graphique de la Figure 4-16 présente le champ de contraintes de von Mises calculées dans l'éprouvette entaillée en zone adoucie, après 20h d'essai, en milieu de stade secondaire. On observe que le niveau de contraintes de von Mises est supérieur à 220 MPa.



Figure 4-16 : cartographie des contraintes de von Mises calculées dans l'éprouvette entaillée en zone adoucie, au bout de 20h d'essai.



Figure 4-17 : cartographie des déformations plastiques cumulées calculées dans l'éprouvette entaillée en zone adoucie après 25h d'essai.

La Figure 4-17 présente une cartographie des déformations viscoplastiques cumulées calculées dans l'éprouvette entaillée en zone adoucie, après 25h d'essai, en fin de stade secondaire. On constate que la déformation viscoplastique se localise au niveau de la pointe de l'entaille.

Le graphique de la Figure 4-18 présente l'évolution de la triaxialité des contraintes au niveau de la section au droit de l'entaille, à trois moments du stade secondaire.

Le taux de triaxialité est maximal au niveau du centre de la section entaillée. Il vaut 1,37 au niveau de l'axe de l'éprouvette, après 20h d'essai. L'endommagement se développera probablement en premier et majoritairement au centre de l'éprouvette, malgré la sévérité de l'entaille. Le faible diamètre de cette éprouvette, imposé par le prélèvement perpendiculaire à la ligne de fusion, ne

permet probablement pas de confiner suffisamment le chargement pour accéder à la fissuration intergranulaire.



Figure 4-18 : évolution du taux de triaxialité le long de la section au droit de l'entaille sévère.

4.1.6.3 Détermination de la contrainte nette à appliquer pour obtenir une contrainte de von Mises de 240 MPa dans la section entaillée en zone fondue (entaille douce).

Les champs de contraintes et de déformation dans une éprouvette avec entaille douce sont différents de ceux estimés dans une éprouvette avec entaille sévère.

L'évolution des contraintes axiale et de von Mises au droit de l'entaille est tracée sur le graphique de la Figure 4-20 à trois instants du stade secondaire, indiqués sur la courbe de fluage de la Figure 4-19.



Figure 4-19 : courbe de fluage simulée, pour une contrainte nette de 250 MPa, à 600°C.



Figure 4-20 : évolution des contraintes axiales (Sigaxiale) et de von Mises (VM) au niveau de la section d'entaille douce, à trois instants de l'essai de fluage, pour une contrainte nette appliquée de 250MPa. Les flèches indiquent l'évolution avec le temps.

La contrainte axiale le long de la section minimale est maximale au niveau de l'axe de l'éprouvette.

La contrainte de von Mises est quasiment constante le long de la section minimale. En milieu de stade secondaire, à 58h d'essai, elle vaut en moyenne 242 MPa, et varie d'environ 5 MPa autour de cette valeur moyenne.

Le graphique de la Figure 4-20 montre qu'une contrainte nette de 250 MPa permet d'obtenir une contrainte de von Mises de 240 MPa au droit de l'entaille au milieu du stade secondaire.

La Figure 4-21 est une cartographie des déformations viscoplastiques cumulées dans l'éprouvette entaillée en zone fondue, à 68h. On observe que la déformation viscoplastique se localise au centre de la section entaillée. La viscoplasticité est centrée sur l'axe de l'éprouvette au droit de l'entaille.



Figure 4-21 : cartographie des déformations plastiques cumulées calculées dans l'éprouvette entaillée en zone fondue, à 68h d'essai.

La Figure 4-22 montre l'évolution du taux de triaxialité des contraintes le long de la section entaillée, aux trois instants du stade secondaire, pour une contrainte nette de 250 MPa. La triaxialité est maximale aux bords de l'entaille. Comme cela était attendu compte-tenu de la géométrie « douce » de l'entaille, les valeurs de triaxialité restent faibles (≤ 0,7) et évoluent très peu au cours du stade secondaire.





4.1.7 Conclusion

Les contraintes nettes de fluage appliquées aux éprouvettes entaillées en zone adoucie et en zone fondue sont résumées dans le Tableau 4-1.

Contrainte de von Mises visée (MPa)	Contrainte nette appliquée ($\frac{F}{S_0}$) (MPa)	
	Eprouvette entaillée en zone	Eprouvette entaillée en zone
	adoucie (entaille sévère)	fondue (entaille douce)
205	335	215
240	390	250

Tableau 4-1 : contraintes nettes appliquées aux éprouvettes entaillées.

Le chargement est confiné au niveau de l'entaille. En particulier, les éprouvettes entaillées avec entaille sévère ont été réalisées de manière à positionner la zone adoucie au droit de l'entaille. Le taux de triaxialité des contraintes dans cette zone est, par conséquent, élevé et sans doute éloigné de celui rencontré sur les éprouvettes lisses travers joint.