

Chapitre 5.

Résultats de test

5.1. Comportement de cisaillement

Pour illustrer et décrire le comportement drainé et non drainé des matériaux testés sous une compression triaxiale monotonique, les résultats des matériaux du filtre et de transition pour le rapport de taille de 3,2 et 10 respectivement, sont présentés ici comme des résultats typiques. Les résultats de tous les tests effectués sont donnés à l'annexe A.

5.1.1. Comportement de cisaillement drainé

Les figures 5-1 et 5-2 montrent le comportement de cisaillement drainé pour les matériaux du filtre pour le rapport de taille de 3,2 préparés respectivement du côté sec de l'optimum et à une teneur en eau optimale. Dans ces tests, les contraintes de confinement appliquées étaient de 100, 200 et 400 kPa pour les échantillons préparés du côté sec de l'optimum et 100, 200, 500 kPa pour les échantillons préparés à une teneur en eau optimale. Dans des essais menés sur les matériaux du filtre, il a essayé d'étudier l'effet de la teneur en eau sur les propriétés mécaniques. De plus, le comportement de cisaillement drainé pour les matériaux de transition pour le rapport de taille de 10, préparés à une teneur en eau optimale et sous des contraintes de confinement de 100, 200, et 400 kPa, est montré à la Figure 5-3.

Comme le montrent les figures 5-1.a, 5-2.a et 5-3.a, les échantillons résistent à la compression jusqu'à atteindre la résistance maximale. La réponse post-pic des échantillons se caractérise par une diminution de leur résistance jusqu'à atteindre la résistance résiduelle avec un ramollissement durant lequel ils subissent de grandes déformations.

Les figures 5-1.b, 5-2.b et 5-3.b, montrent le graphique du cheminement de contrainte dans l'espace de Cambridge (contrainte déviatrice, $q = \sigma_1 - \sigma_3$, par rapport à la contrainte effective moyenne, $p' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3}$), ainsi que les lignes d'état critique. Étant donné que le chargement est effectué en condition drainée, la contrainte de confinement reste constante et par conséquent les cheminements de contrainte sont droits dans l'espace p' - q , ayant une pente de 3. Les échantillons ont suivi un cheminement qui passe par un pic d'intensité, puis revient à une résistance plus faible, correspondante à leur résistance à la rupture ou à l'états critique. La pente (M) de la ligne, passant par la résistance critique, est utilisée pour définir l'angle de frottement de l'état critique (φ'_{cr}) comme suit:

$$\varphi'_{cr} = \sin^{-1} \left(\frac{3M}{6 + M} \right) \quad \mathbf{5-1}$$

Où :

$$M = \frac{q_{cs}}{p'_{cs}}$$

Puisque les valeurs de φ'_{cr} pour les matériaux du filtre préparés à la fois du côté sec de l'optimum et à humidité optimale sont égales à 40° (figures 5-1.b et 5-2.b), on peut dire que l'angle de frottement de l'état critique des matériaux du filtre ne dépendent pas de la teneur en eau.

Comme on peut s'y attendre, une plus grande contrainte déviatorique est mobilisée pour les contraintes de confinement supérieures. Selon les figures 5-1.c, 5-2.c et 5-3.c, les échantillons subissent une contraction initiale suivie d'une dilatation à des déformations plus élevées (c'est-à-dire un comportement dense). En général, plus la contrainte de confinement est élevée, plus le changement volumétrique est faible.

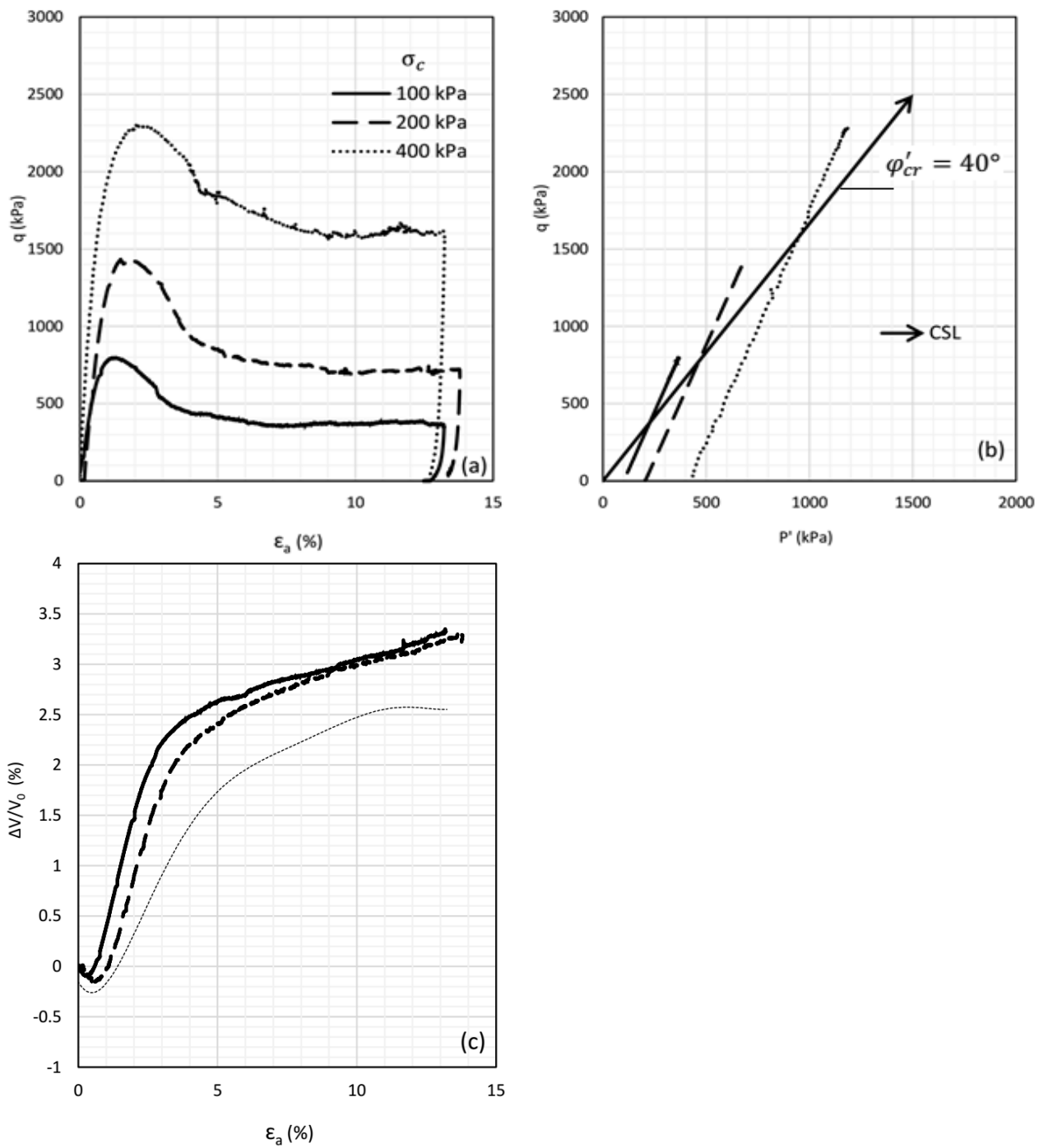


Figure 5-1 Réponses des matériaux du filtre avec le rapport de taille de 3,2 préparés du côté sec de l'optimum

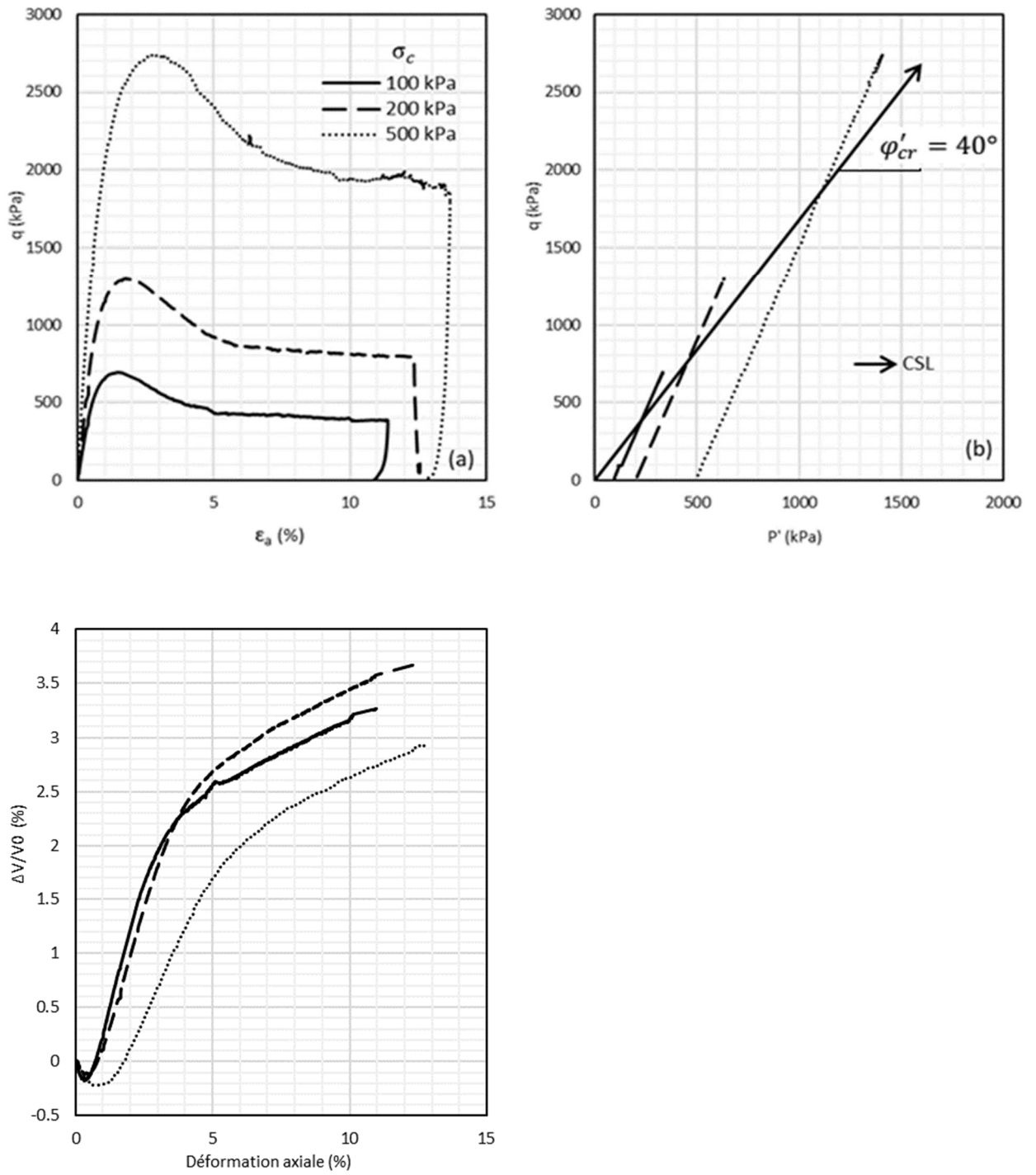


Figure 5-2 Réponses des matériaux du filtre avec le rapport de taille de 3,2 préparés à la teneur en eau optimale

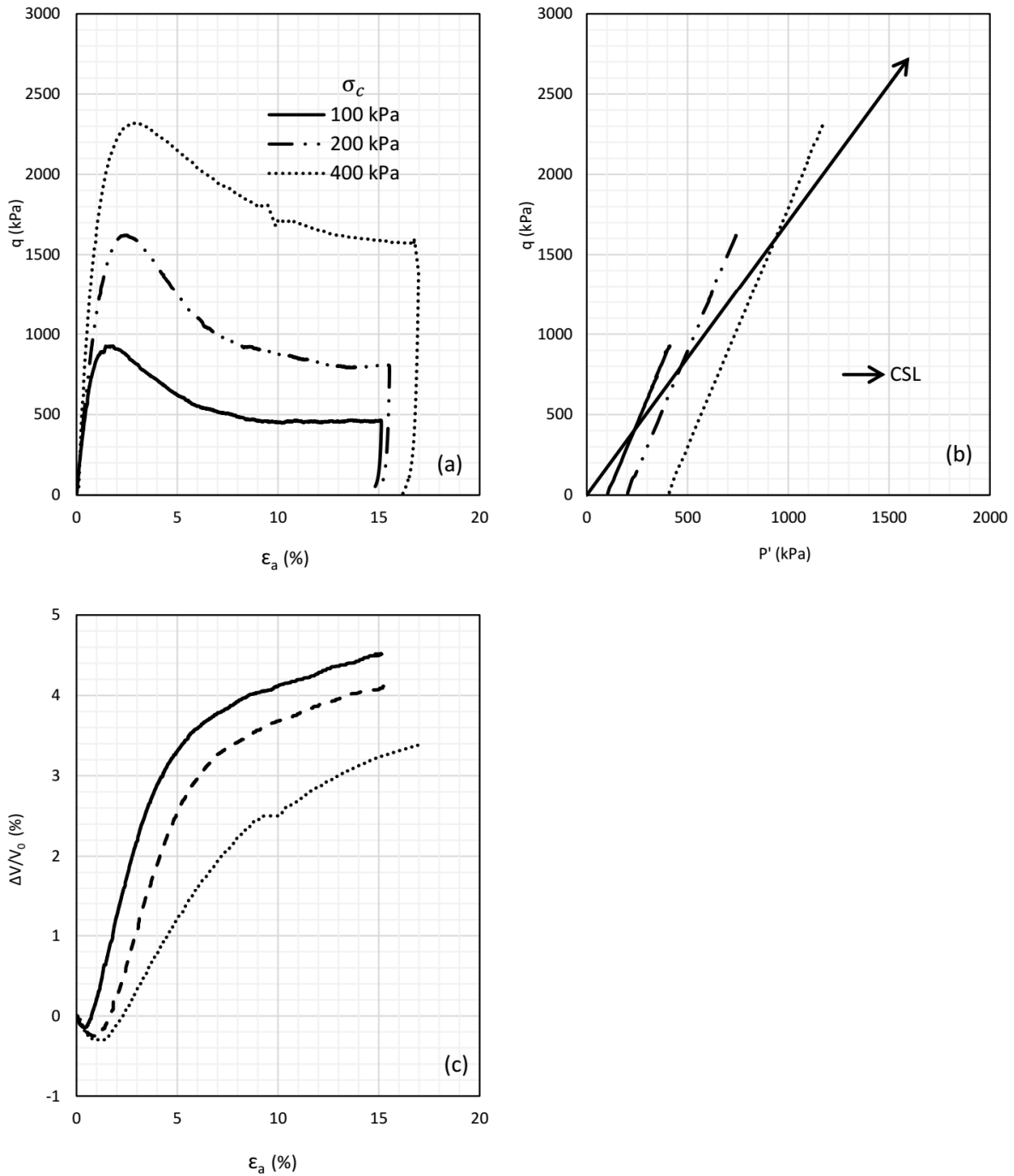


Figure 5-3 Réponses des matériaux de transition avec le rapport de taille de 10

Comme le montrent les figures 5-2.c et 5-3.c, les deux matériaux, filtre et transition, à l'état drainé présentent un comportement dense. Bolton (1986) a montré que la différence entre l'angle de frottement de pic (φ'_p) et l'angle de frottement de l'état (φ'_{cr}) peut être une

mesure utile pour la composante supplémentaire de la résistance en raison de la dilatance dans les sols denses.

La Figure 5-4 montre la variation de la composante de dilatation par rapport à la contrainte de confinement. Comme on peut le voir, l'angle de dilatation diminue avec l'augmentation de la pression de confinement.

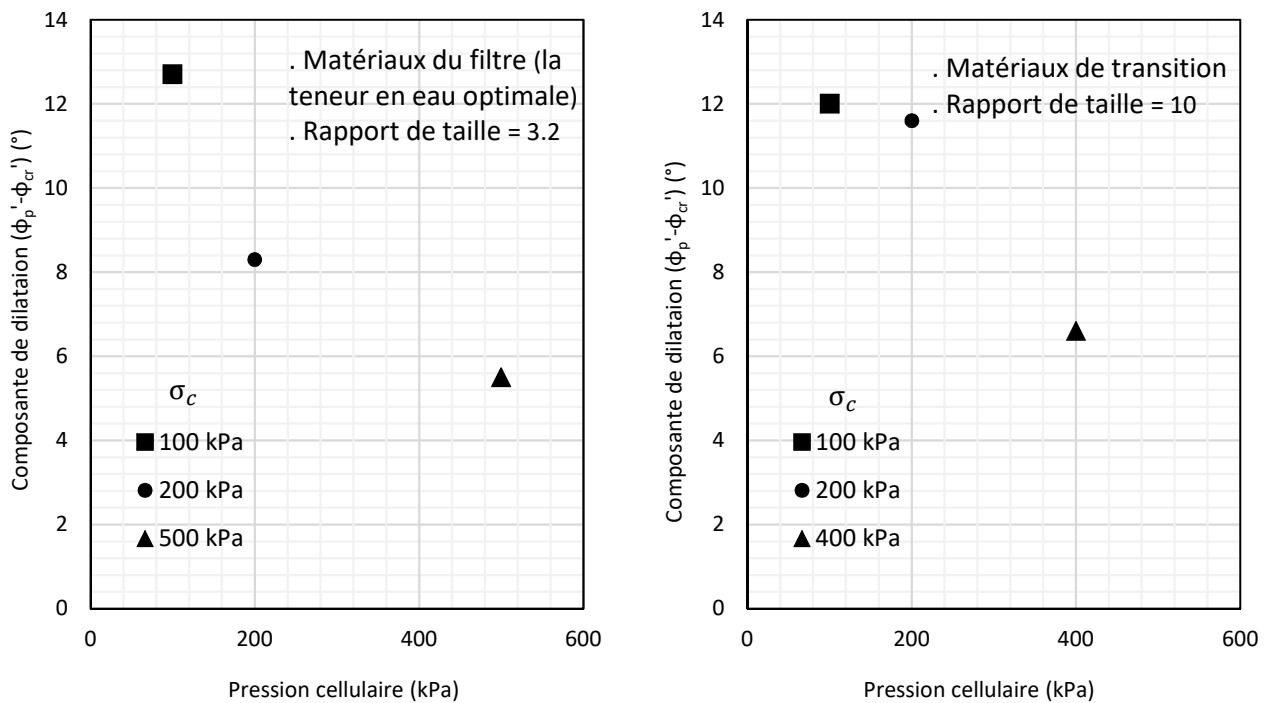


Figure 5-4 La variation de l'angle de dilatation par rapport à la contrainte de confinement

5.1.2. Comportement de cisaillement non drainé

Les figures 5-5, 5-6, et 5-7 montrent le comportement de cisaillement non drainé typique des matériaux du filtre et de transition. Selon les figures 5-5.c, 5-6.c et 5-7.c, lorsque le cisaillement non drainé commence, les deux matériaux présentent initialement un comportement en contraction. La résistance au cisaillement mobilisée génère une pression interstitielle positive en excès jusqu'à l'atteinte de déformations d'environ 0,5 %. Cependant,

lorsque les contraintes augmentent, l'excès de pression interstitielle diminue considérablement. C'est le changement de comportement des échantillons, de la contraction vers la dilatation. Le comportement de dilatation continue alors que la résistance au cisaillement se mobilise jusqu'à son pic dans les courbes $q-\varepsilon_a$ (figures 5-5.a, 5-6.a et 5-7.a). Ensuite, l'échantillon subit l'adoucissement des déformations qui est suivi par les déformations en régime permanent.

Les courbes du cheminement de contrainte sont représentées aux figures 5-5.b, 5-6.b, et 5-7.b. En connectant le point final des cheminements de contrainte effective, qui correspondent à la contrainte du déviateur aux déformations en régime permanent (état final), on peut obtenir le CSL. Ainsi, le CSL, passant par l'origine, est tracé en définissant les lignes les mieux ajustées à partir des points spécifiés lors de trois pressions de confinement différentes.

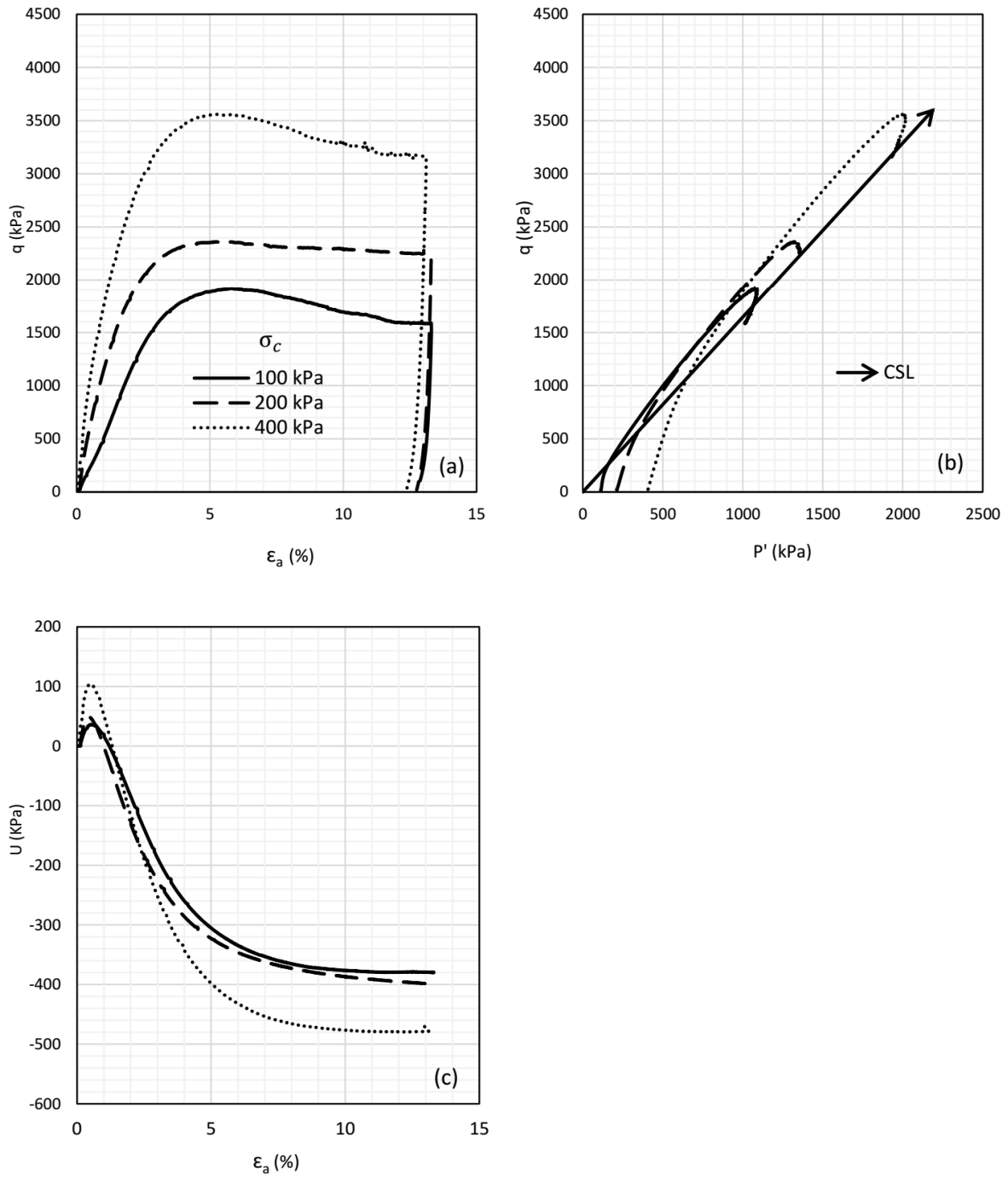


Figure 5-5 Le comportement de cisaillement non drainé des matériaux du filtre avec le rapport de taille de 3,2 préparés à l'état sec

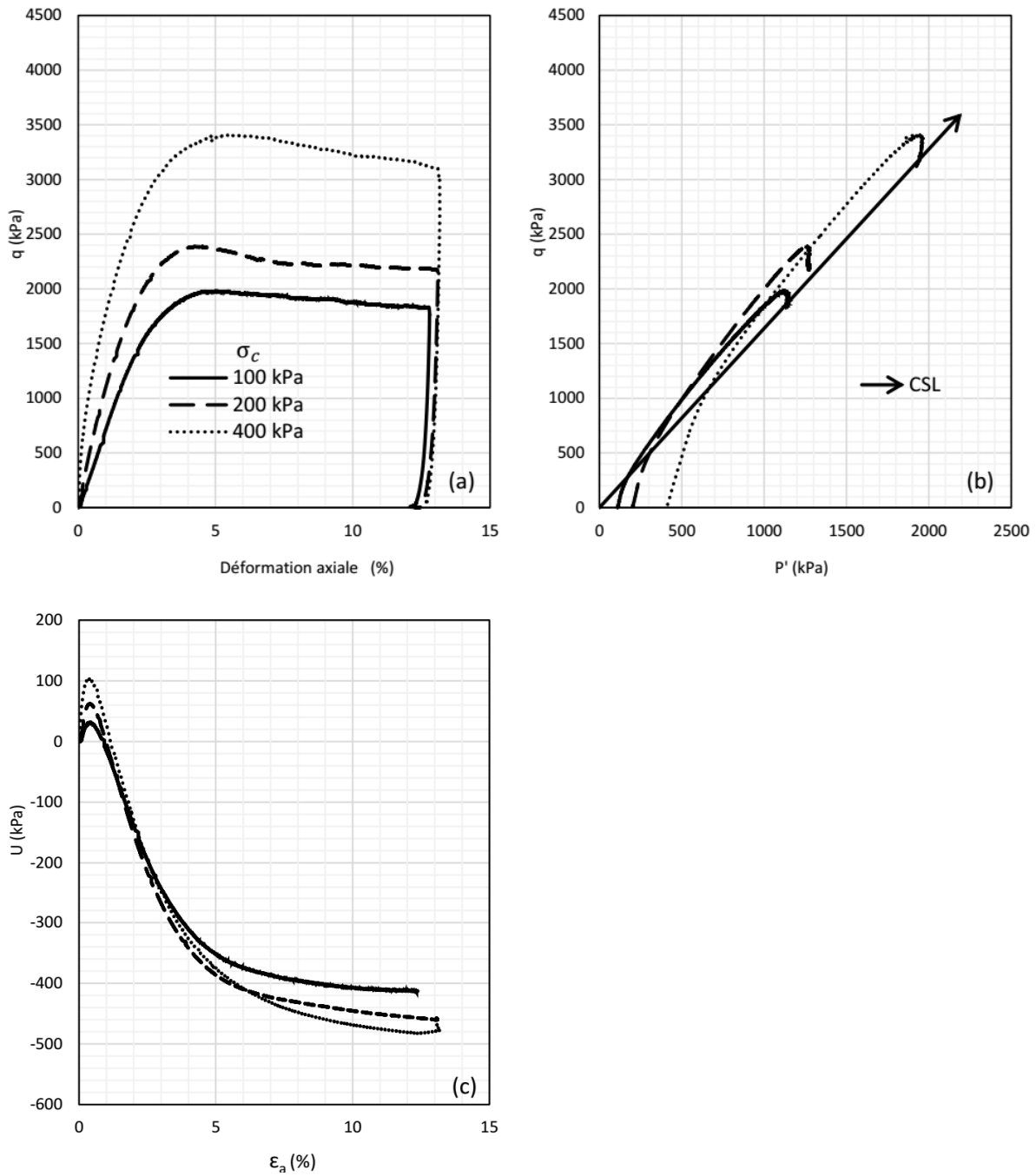


Figure 5-6 Le comportement de cisaillement non drainé des matériaux du filtre avec le rapport de taille de 3,2 préparés à une teneur en eau optimale

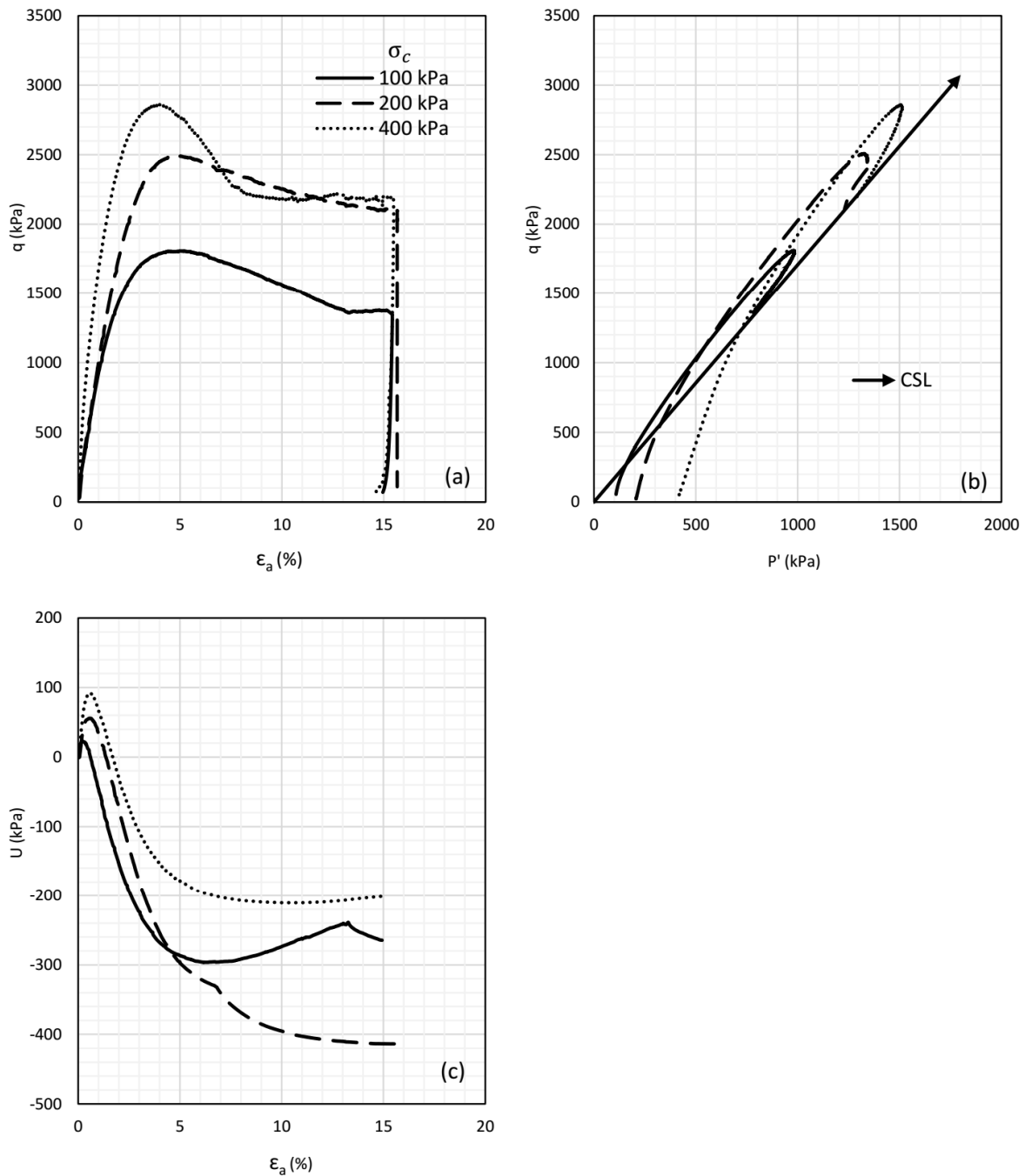


Figure 5-7 Le comportement de cisaillement non drainé des matériaux de transition avec le rapport de taille de 10

5.2. Comportement des petites déformations

Trois courbes de contrainte-déformation pour chacun des cycles de chargement-déchargement ont été obtenues en utilisant trois LVDT internes. Cependant, des problèmes

sont survenus lors du test. Lors de l'installation du LVDT, on a parfois constaté que l'un d'entre eux ne fonctionnait pas. Par conséquent, le test a inévitablement continué avec seulement deux LVDT installés sur l'échantillon à un écart de 180°. De plus, les LVDT ont pu parfois être placés sur une irrégularité de la surface de l'échantillon ou d'un caillou. De ce fait, la courbe contrainte-déformation enregistrée ne représente pas le comportement macroscopique de l'échantillon. Ainsi, les courbes de contrainte-déformation anormales ont été éliminées de la moyenne des courbes utilisées pour calculer le module de chargement-déchargement. Dans ce qui suit, les courbes contrainte-déformation résultantes des données enregistrées provenant de LVDT des deux tests sont présentées. Les courbes contrainte-déformation obtenues pour tous les essais effectués sont données à l'annexe B.

La Figure 5-8 montre les courbes contrainte-déformation de trois cycles de chargement-déchargement sur l'échantillon du filtre pour le rapport de taille de 3 sous une contrainte de consolidation effective isotrope de 400 kPa. Dans le premier cycle, l'échantillon est chargé jusqu'à atteindre la contrainte maximale du déviateur de 400 kPa. Par la suite, l'échantillon est à nouveau rechargé pour deux cycles similaires au premier. On observe sur la Figure 5-8 que la déformation axiale à la charge maximale varie entre 0,055 % et 0,073 %.

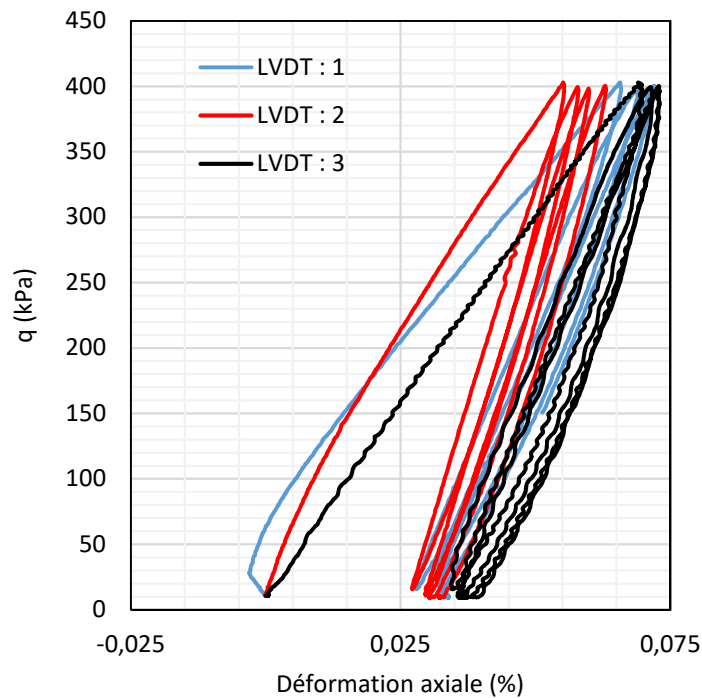


Figure 5-8 Courbes de contrainte-déformation de l'échantillon 12 (voir Tableau 4-4) obtenues à partir des LVDT 1, 2, et 3 (LVDT 1 : rouge; LVDT 2 : bleu; LVDT 3 : noir)

Dans cette étude, la courbe moyenne qui a été utilisée pour calculer les modules de chargement-déchargement a été déterminée basée sur une comparaison des résultats obtenus ensemble et ceux rapportés par Jamin (2014). À la Figure 5-9, étant donné que les courbes de contrainte-déformation ne montrent aucune différence significative dans le niveau d'inclinaison et de déformation, trois courbes ont été considérées pour définir la courbe moyenne. Selon les résultats, le comportement du sol est initialement linéaire avant d'atteindre une déformation axiale moyenne d'environ 0,004 %. Ensuite, comme illustré à la Figure 2-6, le comportement du sol devient non-linéaire, mais reste dans le domaine élastique. En outre, il convient de mentionner que les déformations axiales sous une contrainte déviatorique constante augmentent à mesure que le nombre de cycles augmente. Cependant, la plupart des déformations axiales se produisent dans le premier cycle.

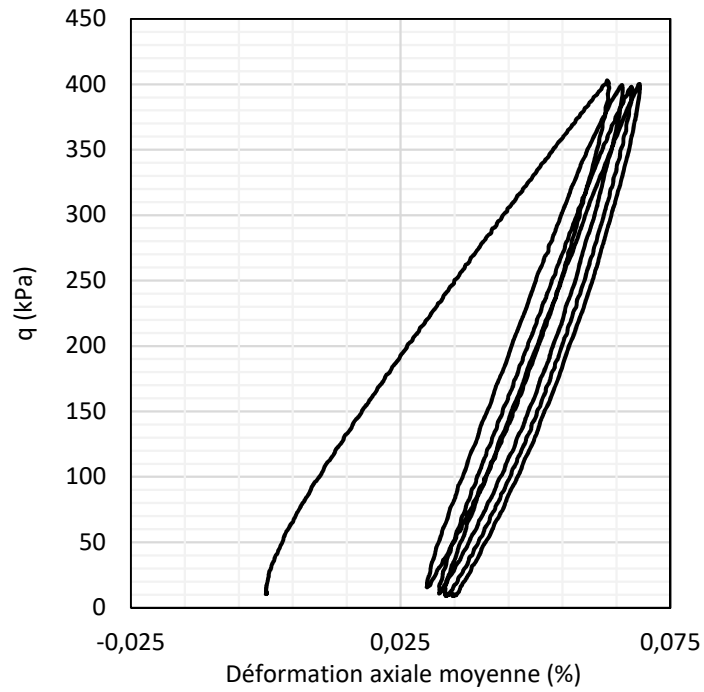


Figure 5-9 Contrainte déviatorique en fonction de la déformation axiale moyenne par les LVDT 1, 2, et 3

Le comportement contrainte-déformation des échantillons de transition avec un rapport de taille de 3 est montré à la Figure 5-10. Les échantillons ont été consolidés sous une contrainte de confinement constante de 200 kPa et chargés sous une contrainte déviatorique de 200 kPa pour trois cycles de chargement-déchargement. Les déformations associées aux contraintes maximales varient entre 0,022 % et 0,054 %.

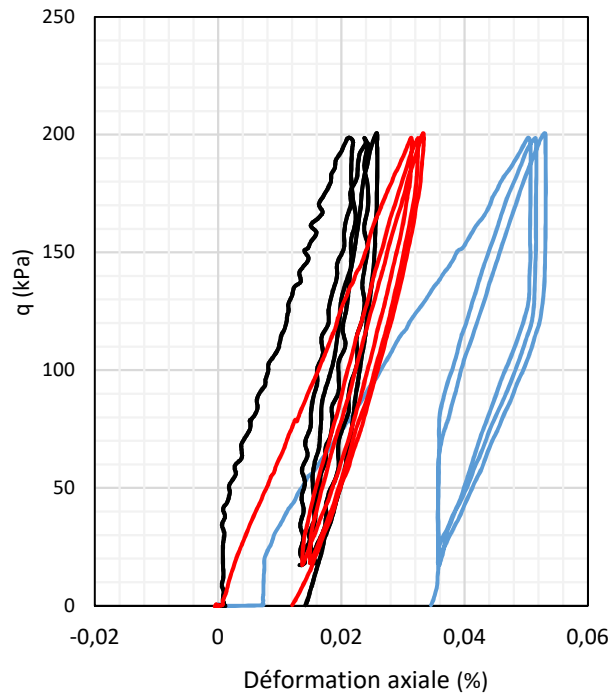


Figure 5-10 Courbes de contrainte-déformation de l'échantillon 20 (voir Tableau 4-4) obtenues à partir des LVDT 1, 2, et 3 (LVDT 1 : rouge; LVDT 2 : bleu; LVDT 3 : noir)

Comme on peut le voir à la Figure 5-10, la courbe contrainte-déformation de LVDT 2 est significativement différente de celles de LVDT 1 et de LVDT 3 en raison de son inclinaison plus faible et de plus grandes déformations. Il semble que LVDT 2 a été placé sur une zone plus fragile de l'échantillon, ce qui explique cette différence. Ainsi, cette courbe a été ignorée pour calculer la courbe moyenne (Figure 5-11).

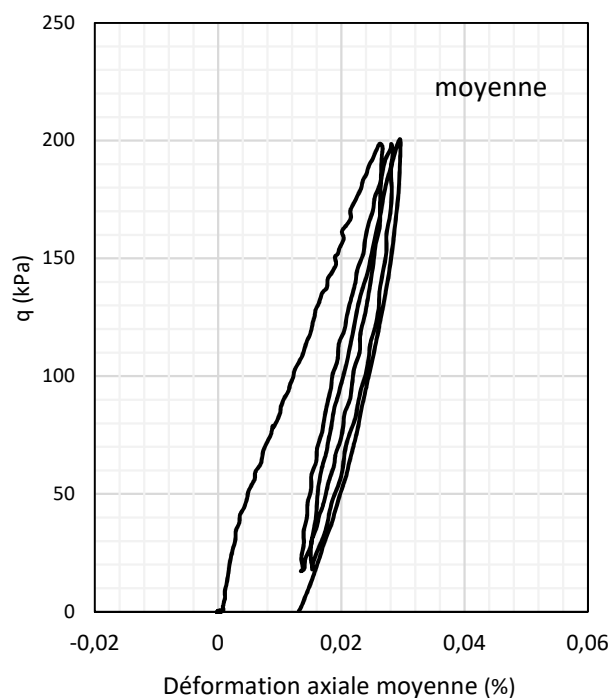


Figure 5-11 Contrainte déviatorique en fonction de la déformation axiale moyenne par les LVDT 1, 2, et 3

Dans les sections suivantes, le processus d'analyse des propriétés mécaniques des matériaux du filtre et de transition avec le rapport de taille de 3,2 dans le domaine des petites déformations sera décrit comme des résultats typiques.

5.2.1. Matériaux du filtre

La Figure 5-12 montre la réponse contrainte-déformation des échantillons du filtre, préparés à la teneur en eau optimale, selon le rapport de taille de 3,2 (échantillons 1, 2, et 3 dans le Tableau 4-4). Le comportement contrainte-déformation de ceux préparés à l'état sec, c'est-à-dire les échantillons 4, 5, et 6 dans le Tableau 4-4, est représenté à la Figure 5-13. La teneur en eau des échantillons était respectivement de 7 % et de 5 % dans des conditions optimales et à l'état sec. Les essais ont été menés sous trois contraintes de confinement différentes de 100, 200, et 400 kPa. On peut observer, à partir des résultats,

que l'inclinaison des cycles chargement-déchargement augmente avec la contrainte de confinement.

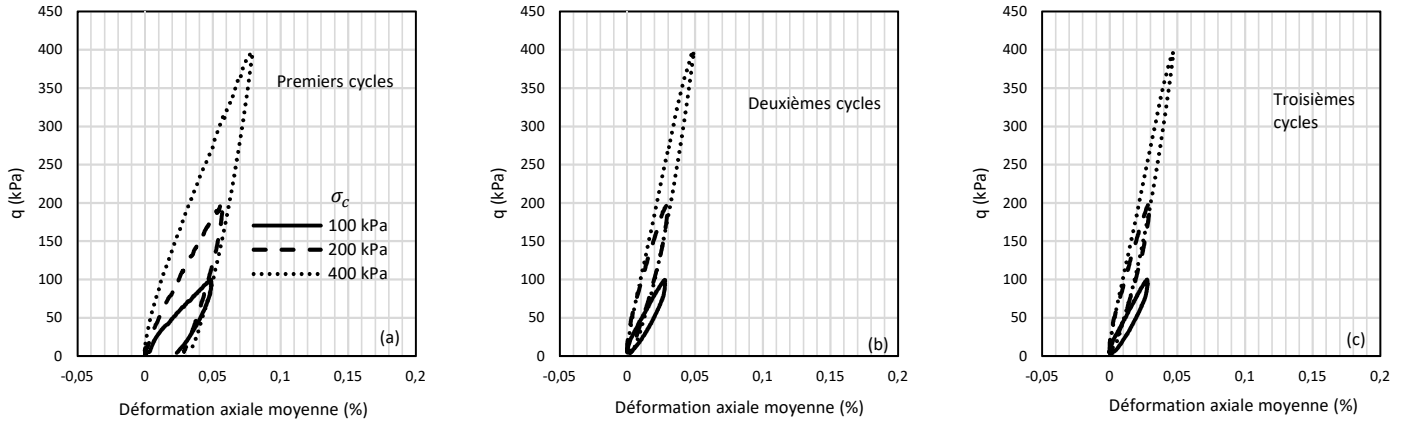


Figure 5-12 Réponses contrainte-déformation aux tests RLT des matériaux du filtre, préparés à une teneur en eau optimale, avec le rapport de taille de 3,2

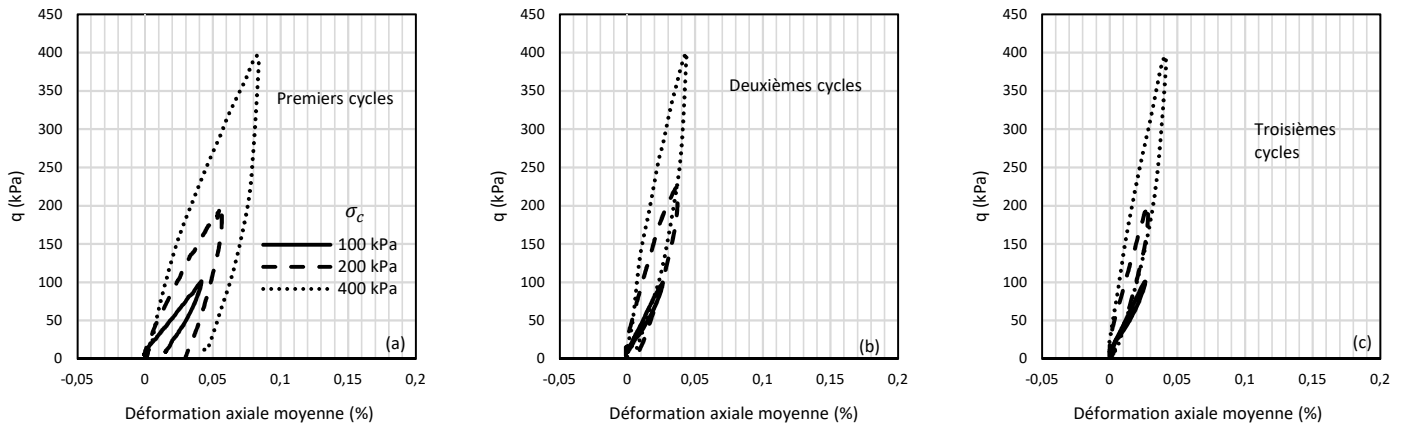


Figure 5-13 Réponses contrainte-déformation aux tests RLT des matériaux du filtre, préparés à l'état sec, avec le rapport de taille de 3,2

Comme mentionné précédemment, la rigidité du sol peut être indiquée par le module de chargement-déchargement (E_c). Selon la Figure 5-14 schéma, E_c est le module de Young sécant qui est défini comme le rapport de la contrainte déviatorique maximale (σ_d) à la déformation réversible (ε_r).

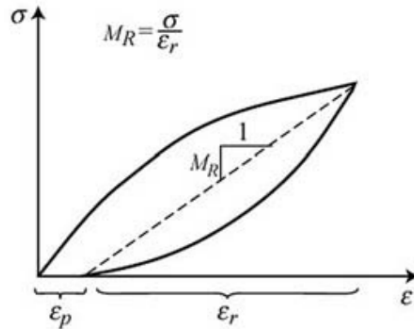


Figure 5-14 Définition du module élastique (Doré and Zubeck 2009)

La Figure 5-15 montre l'effet de la contrainte de confinement sur E_c pour les matériaux du filtre préparés du côté sec de l'optimum et à une teneur en eau optimale avec le rapport de taille de 3,2. On remarque que ce module augmente avec l'augmentation de la contrainte de confinement. La comparaison entre les figures 5-15. a, b, et c indique que, pour la même contrainte de confinement, il existe une différence insignifiante entre les valeurs du module chargement-déchargement de chaque cycle. En outre, il ressort également de cette figure que le changement de la teneur en humidité n'influence pas le module chargement-déchargement.

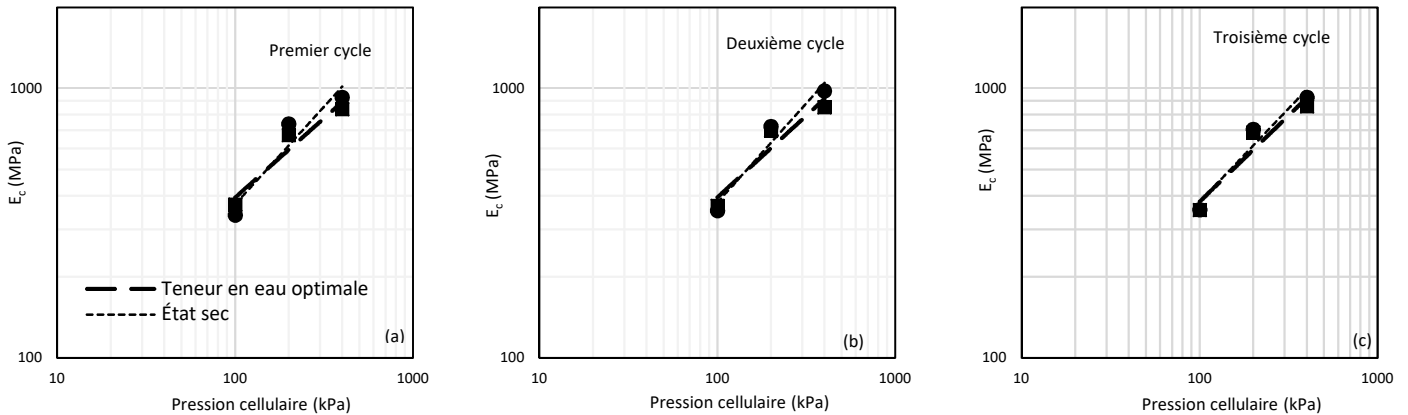


Figure 5-15 Le module chargement-déchargement (E_c) par rapport à la contrainte de confinement pour les matériaux du filtre avec le rapport de taille de 3,2 préparés du côté sec de l'optimum et à une teneur en eau optimale obtenue a) premier cycle, b) deuxième cycle et c) troisième cycle

5.2.2. Matériaux de transition

La Figure 5-16 montre les cycles de contrainte-déformation pour les matériaux de transition avec le rapport de taille de 3,2 (échantillons 13, 14, et 15 dans le Tableau 4-4). Les échantillons ont été compactés dans des conditions optimales à une teneur en eau de 5,3 %. Dans cette figure, les courbes de la contrainte déviatorique pour les trois cycles, sous trois contraintes de confinement différentes de 100, 200 et 400 kPa, par rapport à la déformation verticale moyenne, qui a été obtenue à partir des LVDT, sont présentées. Comme pour les résultats obtenus pour les matériaux du filtre, l'inclinaison des cycles chargement-déchargement augmente à la suite de l'augmentation de la contrainte de confinement.

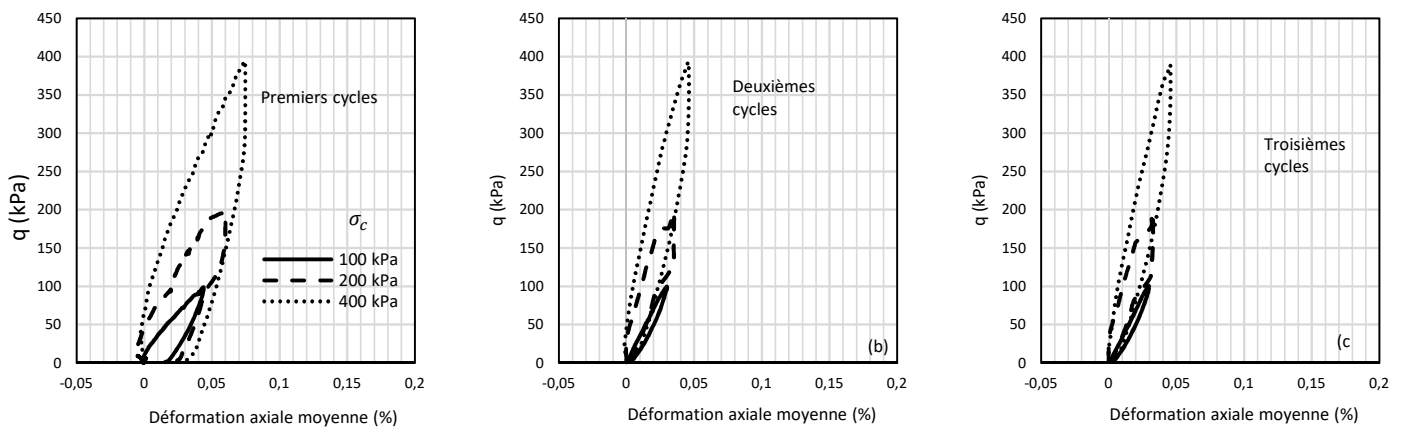


Figure 5-16 Réponses contrainte-déformation aux tests RLT des matériaux de transition avec le rapport de taille de 3,2

La variation du module chargement-déchargement par rapport à la contrainte de confinement pour chaque cycle est illustrée à la Figure 5-17. Comme pour les résultats pour les matériaux du filtre, les modules de chargement-déchargement de deuxième et troisième cycles ne sont pas significativement différents de ceux du premier cycle.

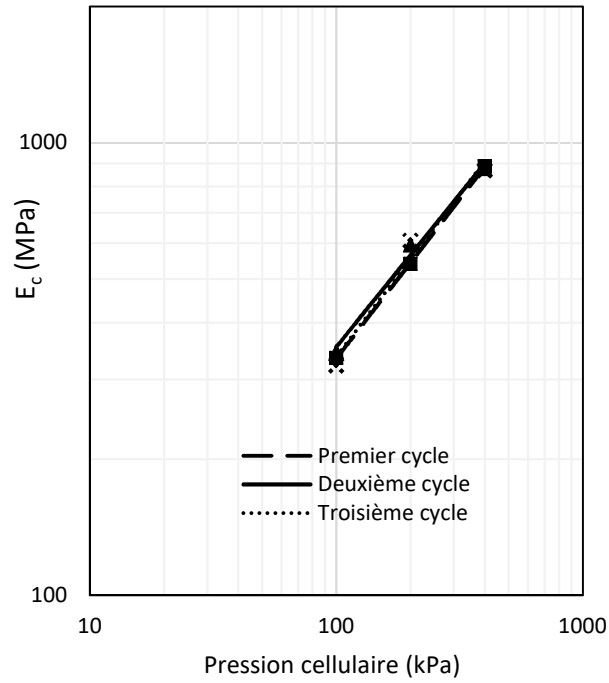


Figure 5-17 Le module chargement-déchargement (E_c) par rapport à la contrainte de confinement pour les matériaux de transition avec le rapport de taille de 3,2