

## 5.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présente une interprétation détaillée de l'effet des fines (fines de Chlef et fines de Sidi Ameer) sur le comportement du sable de Chlef propre. Les échantillons sont préparés en mélangeant le sable propre de Chlef avec différents pourcentages de fines variant de 0, 5, 10, 15, et 20%. Les essais ont été réalisés à la boîte de cisaillement à deux densités relatives, état lâche pour une densité relative de  $D_r = 15\%$  et état dense pour une densité relative de  $D_r = 85\%$ . Les contraintes normales initiales appliquées au cours des essais sont respectivement: 100, 200 et 300kPa.

## 5.2. Présentation et discussion des résultats

Nous présentons dans ce paragraphe les différents courbes obtenus comportant l'évolution de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal, contraintes de cisaillement maximale en fonction du pourcentage des fines ainsi que l'obtention des droites de Coulomb traçant l'enveloppe des cercles de Mohr et qui donnent la variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale.

### 5.2.1. Essais effectués à l'état lâche ( $D_r = 15\%$ )

#### a. Sable non renforcé (0% de fines de Chlef)

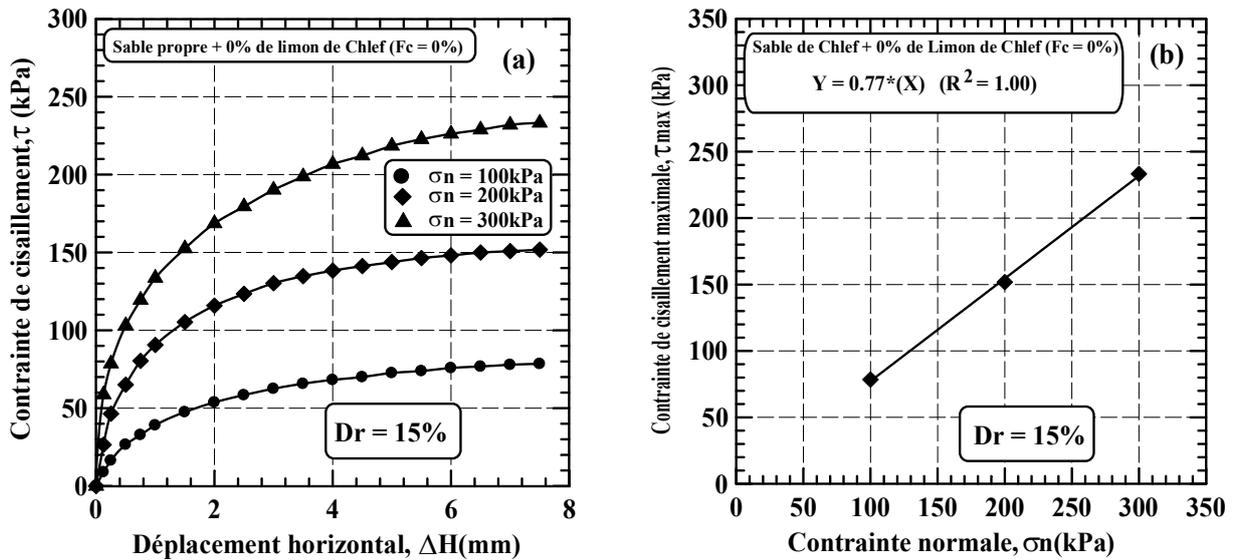
La figure 5.1 présente les résultats des essais effectués à l'état lâche, sur le sable de Chlef non renforcé pour différentes contraintes normales. On constate d'après la figure 5.1a que la résistance au cisaillement augmente avec l'augmentation de la contrainte normale avec une cohésion nulle. La figure 5.1b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne est droite qui passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi$ .

Où:

$\tau$ : Contrainte de cisaillement maximale;

$\sigma_n$ : Contrainte normale;

$\phi$ : L'angle de frottement interne.



**Figure 5.1:** Comportement du sable de Chlef non renforcé à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**5.2.2. Sable renforcé par des fines de Chlef (Limon de Chlef)**

**a. Sable renforcé par 5% de fines de Chlef**

La figure 5.2a montre la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour le mélange du sable de 5% de fines de Chlef pour les échantillons à l'état lâche et pour différentes contraintes normales. On remarque un comportement similaire à celui du sable pur, à savoir une augmentation de la résistance avec l'augmentation de la contrainte normale initiale, avec la différence que cette augmentation est supérieure au sable pur, en plus on remarque l'apparition d'une cohésion de 0.4bar, cela est du à l'effet de l'ajout des fines. La figure 5.2b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ, σn), on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

Où:

- τ: Contrainte de cisaillement maximale;
- σn: Contrainte normale;
- φ: Angle de frottement interne;
- C: Cohésion (ordonnée à l'origine).

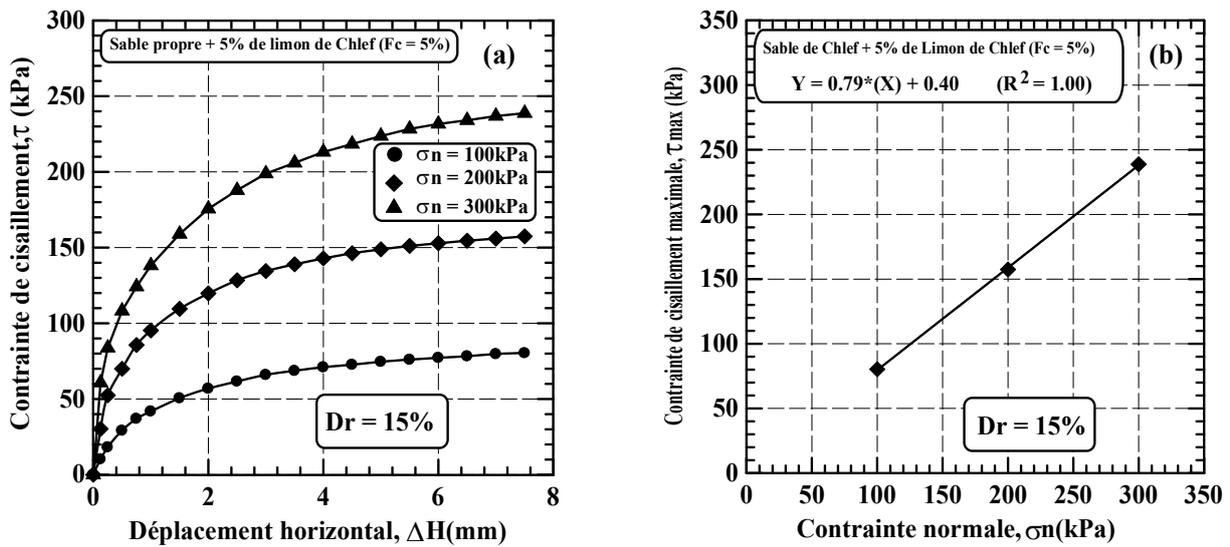


Figure 5.2: Comportement du sable de Chlef renforcé par 5% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**b. Sable renforcé par 10% de fines de Chlef**

La figure 5.3a montre l'évolution du comportement des échantillons préparés par un mélange du sable de Chlef propre et 10% de fines de Chlef. Les résultats portés dans cette figure permettent de mettre en évidence constatation, à savoir augmentation de la résistance au cisaillement (82.83, 161.27 et 246.12kPa) et de la cohésion (2.97 bars) avec l'augmentation de la contrainte normale. La figure 5.3b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n .tg\phi + C$ .

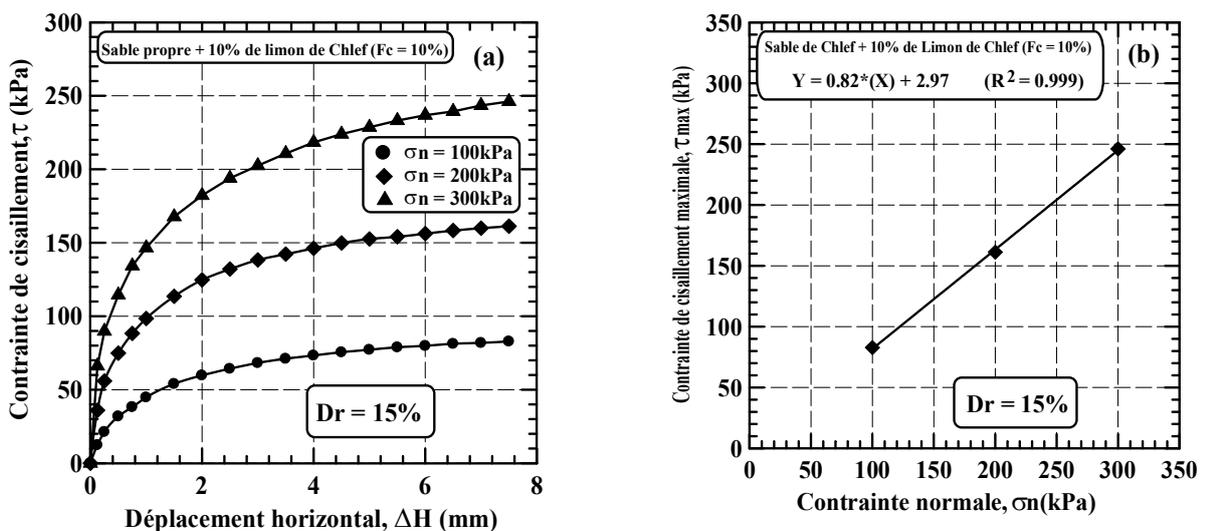
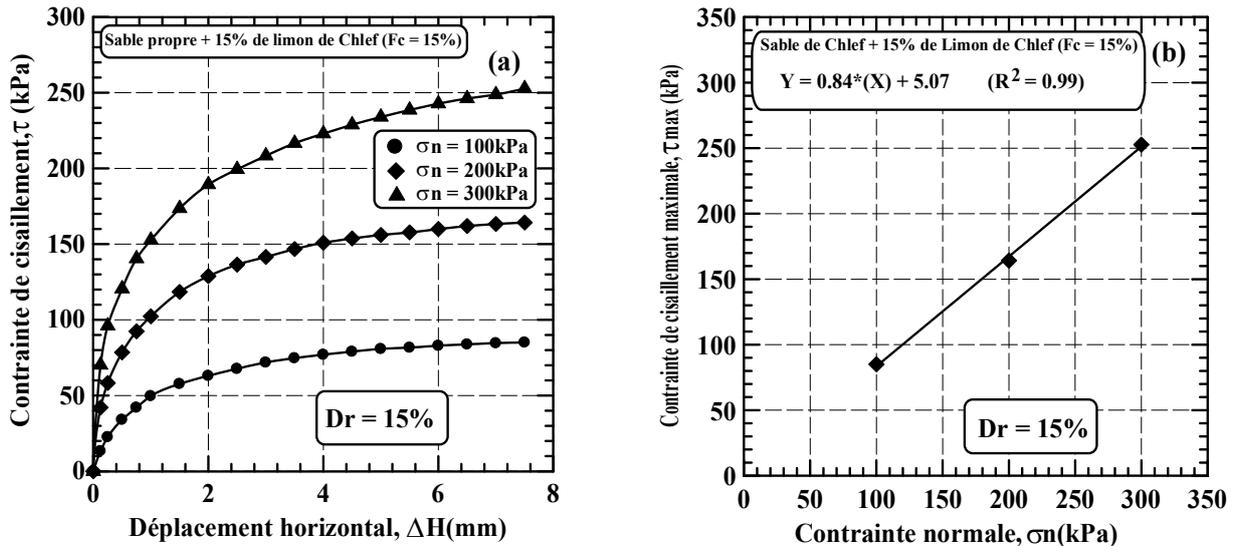


Figure 5.3: Comportement du sable de Chlef renforcé par 10% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

### c. Sable renforcé par 15% de fines de Chlef

La figure 5.4a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons constitués d'un mélange de sable et 15% de fines de Chlef. On peut noter d'après ces figures, une confirmation de la tendance à l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (5.07bars) en fonction de la contrainte normale et du pourcentage des fines. La figure 5.4.b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .



**Figure 5.4:** Comportement du sable de Chlef renforcé par 15% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

### d. Sable renforcé par 20% de fines de Chlef

La figure 5.5a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons constitués d'un mélange de sable et 20% de fines de Chlef. On peut noter d'après ces figures, une confirmation de la tendance à l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (9.64 bars) en fonction de la contrainte normale appliquée. La figure 5.5.b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

Les résultats des figures 5.1, 5.2, 5.3, 5.4 et 5.5, montrent l'existence d'une augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion des échantillons préparés à l'état lâche avec l'augmentation du pourcentage de fines de Chlef et de la contrainte normale appliquée (résistance au cisaillement et cohésion augmentées).

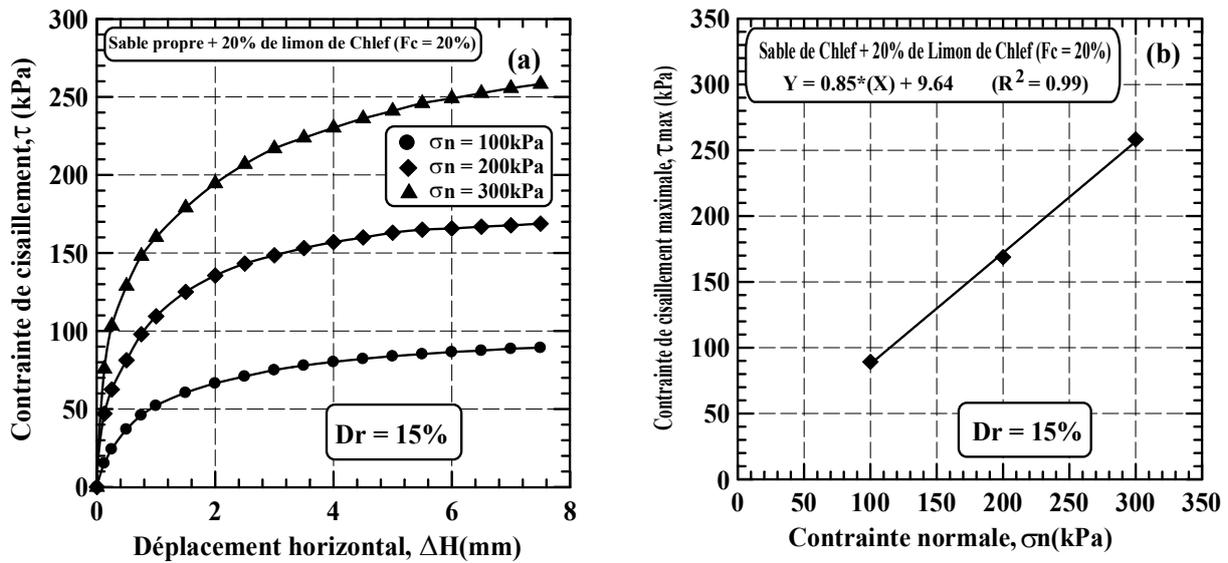


Figure 5.5: Comportement du sable de Chlef renforcé par 20% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;  
 (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

### 5.2.3. Essais effectués à l'état dense ( $D_r = 85\%$ )

#### a. Sable non renforcé (0% de fines de Chlef)

La figure 5.6 présente les résultats des essais effectués à l'état dense, sur le sable de Chlef non renforcé pour différentes contraintes normales. On constate d'après la figure.5.6a que la résistance au cisaillement augmente avec l'augmentation de la contrainte normale avec une cohésion nulle. On remarque aussi l'apparition d'un pic dans l'évolution des courbes de contrainte de cisaillement confirmant les propriétés de l'état dense des échantillons. La figure 5.6b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne est droite qui passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot \tan \phi$ .

Où:

$\tau$ : Contrainte de cisaillement maximale;

$\sigma_n$ : Contrainte normale;

$\phi$ : L'angle de frottement interne.

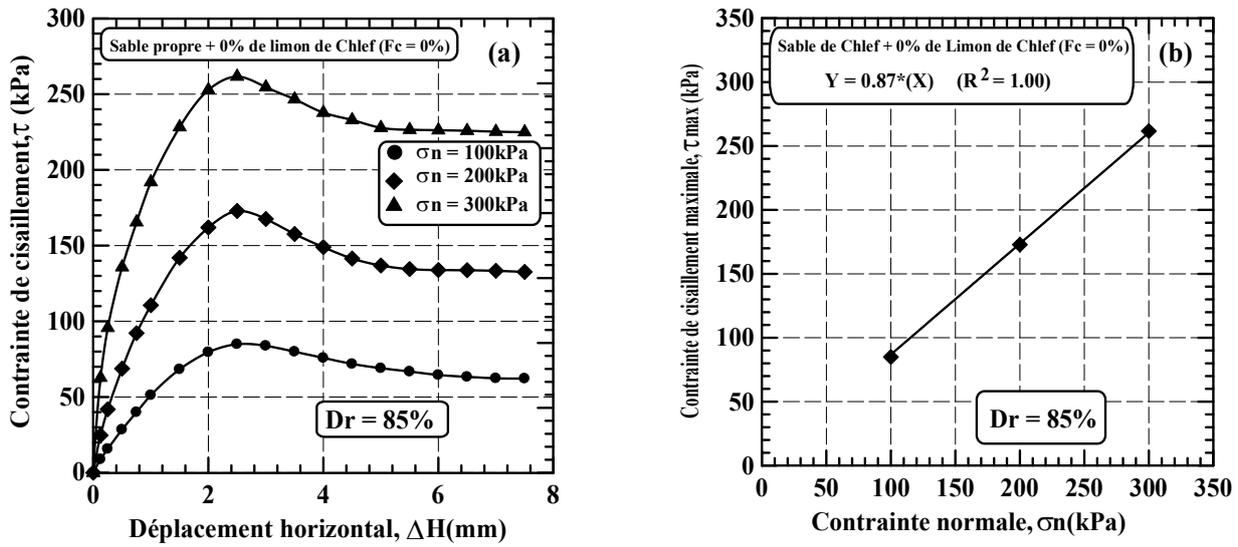


Figure 5.6: Comportement du sable de Chlef non renforcé à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

### 5.2.4. Sable renforcé par les fines de Chlef (Limon de Chlef)

#### a. Sable renforcé par 5% de fines de Chlef

La figure 5.7a illustre la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour les mélanges sable plus 5% de fines de Chlef pour les échantillons à l'état dense et pour différentes contraintes normales. On remarque un comportement similaire à celui du sable pur, à savoir une augmentation de la résistance avec l'augmentation de la contrainte normale, avec la différence que cette augmentation est supérieure au sable pur et en plus on remarque une amélioration de la cohésion qui passe à 3.66 bars. Cela est dû à l'effet de l'ajout des fines de Chlef qui procurent une plus grande cohésion au sol. La figure 5.7b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ, σn), on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot \tan \phi + C$ .

Où:

τ: Contrainte de cisaillement maximale;

σn: Contrainte normale;

φ: L'angle de frottement interne;

C: Cohésion (ordonnée à l'origine).

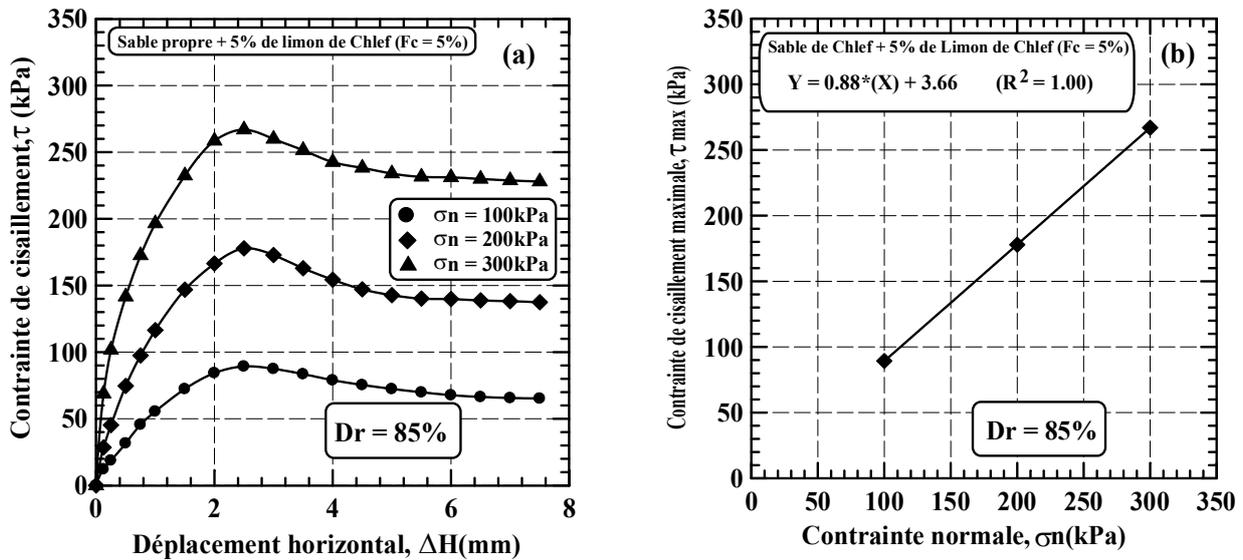


Figure 5.7: Comportement du sable de Chlef renforcé par 5% de fines à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**b. Sable renforcé par 10% de fines de Chlef**

La figure 5.8a montre l'évolution du comportement des échantillons denses préparés par un mélange du sable de Chlef propre et 10% de fines de Chlef. Les résultats portés dans ces figures permettent de mettre en évidence une augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (6.34 bars). La figure 5.8b montre le chemin de contraintes dans le plan ( $\tau$ ,  $\sigma_n$ ), on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

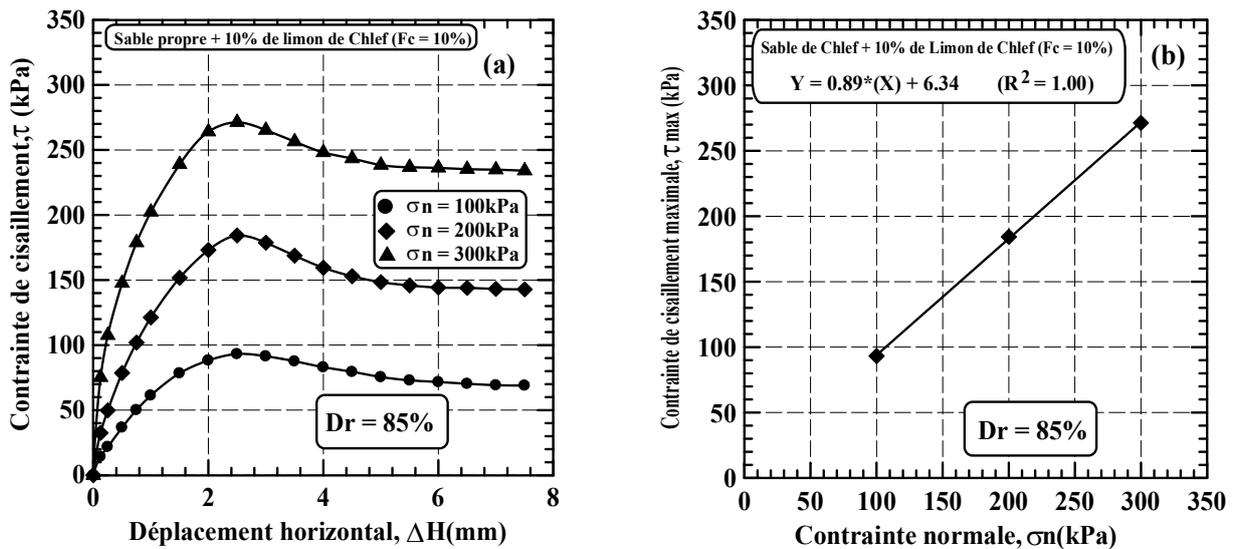
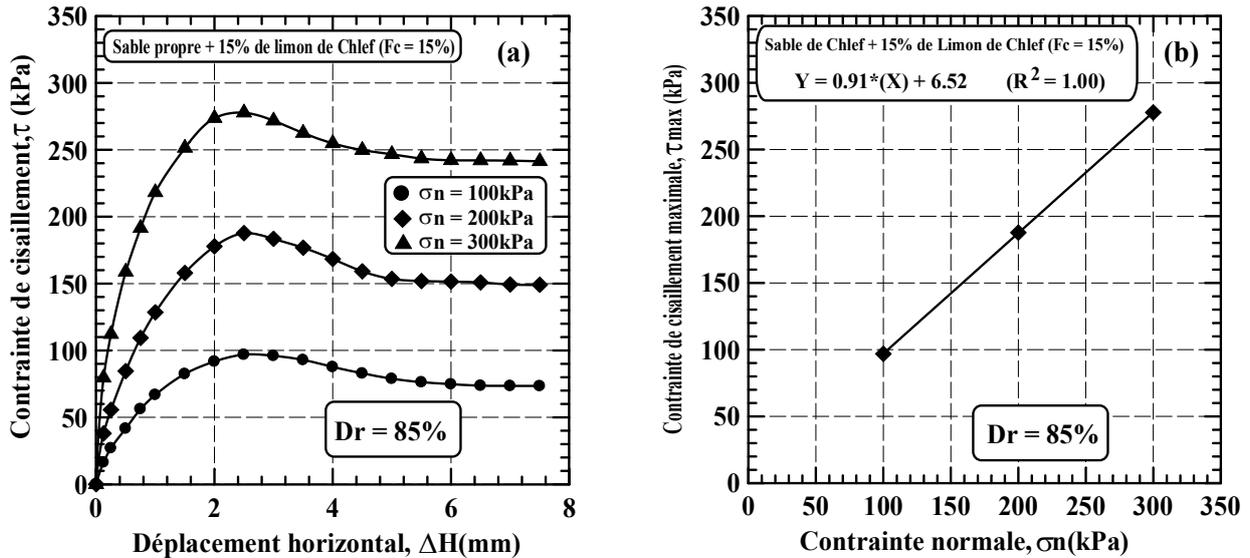


Figure 5.8: Comportement du sable de Chlef renforcé par 10% de fines à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**c. Sable renforcé par 15% de fines de Chlef**

La figure 5.9a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons denses constitués d'un mélange de sable et 15% de fines de Chlef. On peut noter d'après ces figures, une confirmation de la tendance à l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (6.52 bars) avec l'augmentation de la contrainte normale et du pourcentage des fines. La figure 5.9b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .



**Figure 5.9:** Comportement du sable de Chlef renforcé par 15% de fines à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**d. Sable renforcé par 20% de fines de Chlef**

La figure 5.10a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons denses constitués d'un mélange de sable et 20% de fines de Chlef. On peut noter d'après ces figures, une confirmation de la tendance à l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (7.67 bars). La figure 5.10b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

Les résultats des figures 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 et 5.9 montrent l'existence d'une augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion des échantillons préparés à l'état dense avec l'augmentation des pourcentages de fines de Chlef et de la contrainte normale (résistance au cisaillement et cohésion augmentées).

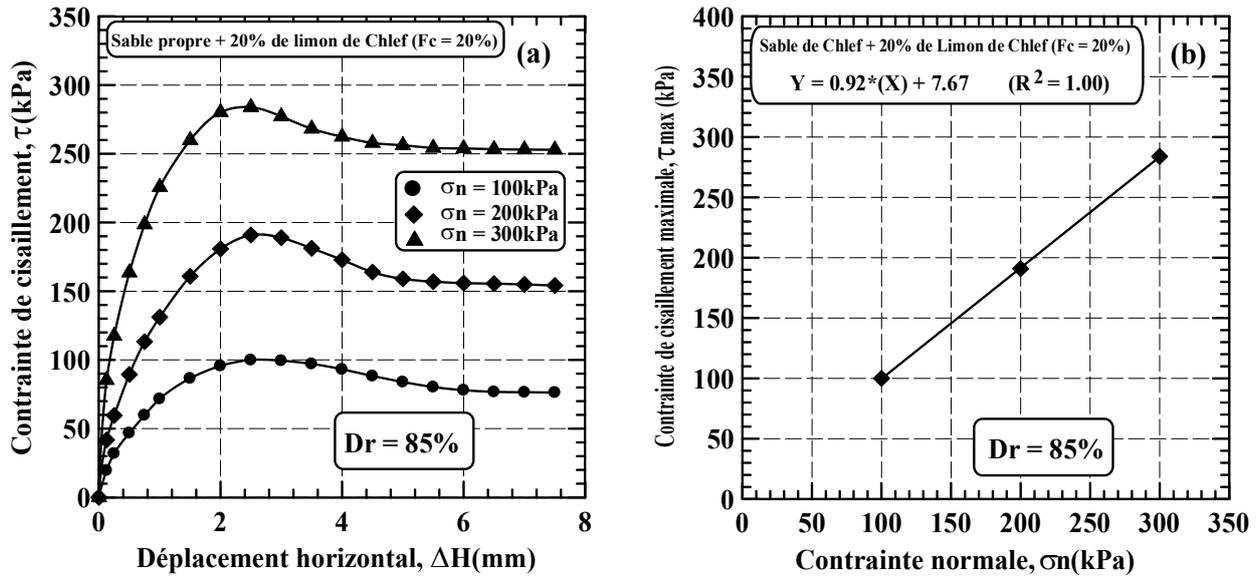


Figure 5.10: Comportement du sable de Chlef renforcé par 20% de fines à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

5.2.5. Sable renforcé par les fines de Sidi Ameur ( $D_r = 15\%$ )

a. Sable non renforcé (0% de fines de Sidi Ameur)

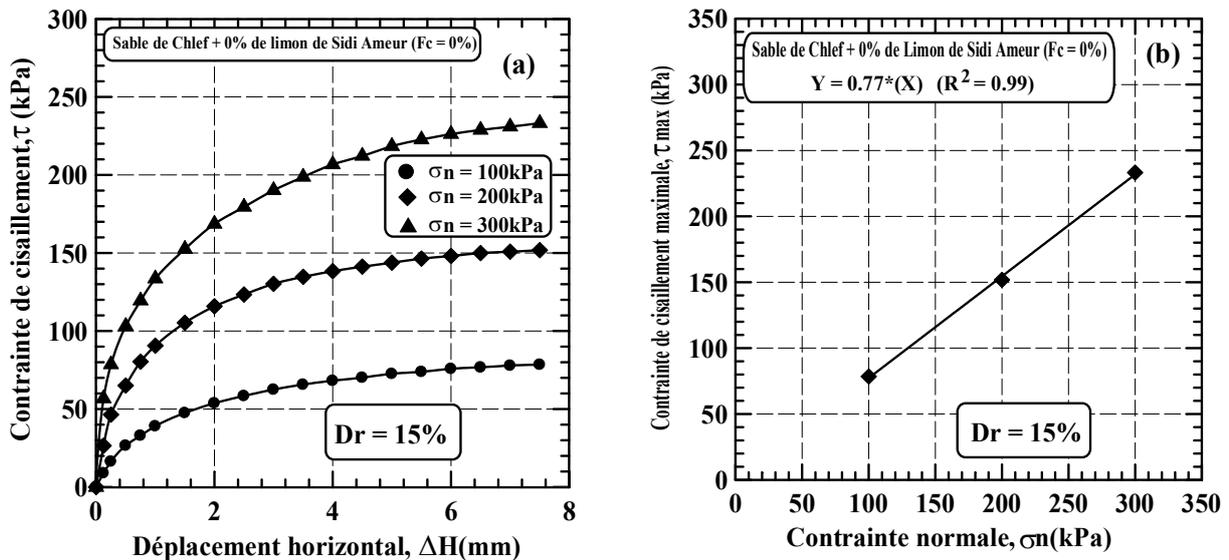
La figure 5.11 présente les résultats des essais effectués à l'état lâche, sur le sable de Chlef non renforcé pour différentes contraintes normales. On constate d'après la figure 5.11.a que la résistance au cisaillement augmente avec l'augmentation de la contrainte normale avec une cohésion nulle. La figure 5.11b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne est droite qui passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi$ .

Où:

$\tau$ : Contrainte de cisaillement maximale;

$\sigma_n$ : Contrainte normale;

$\phi$ : L'angle de frottement interne.



**Figure 5.11:** Comportement du sable de Chlef non renforcé à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;  
 (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

#### a. Sable renforcé par 5% de fines de Sidi Ameur

La figure 5.12a illustre la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour les mélanges sable + 5% de fines de Sidi Ameur pour les échantillons à l'état lâche et pour différents confinements. On remarque un comportement similaire à celui du sable propre, à savoir une augmentation de la résistance avec l'augmentation de la contrainte normale, avec la différence que cette augmentation est supérieure au sable propre et en plus on remarque l'apparition d'une cohésion de 3.86 bars. Cela est dû à l'effet de l'ajout des fines de Sidi Ameur (en mélange avec le sable). La figure 5.12b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot \text{tg}\phi + C$ .

Où:

$\tau$ : Contrainte de cisaillement maximale;

$\sigma_n$ : Contrainte normale;

$\phi$ : L'angle de frottement interne;

C: Cohésion (ordonnée à l'origine).

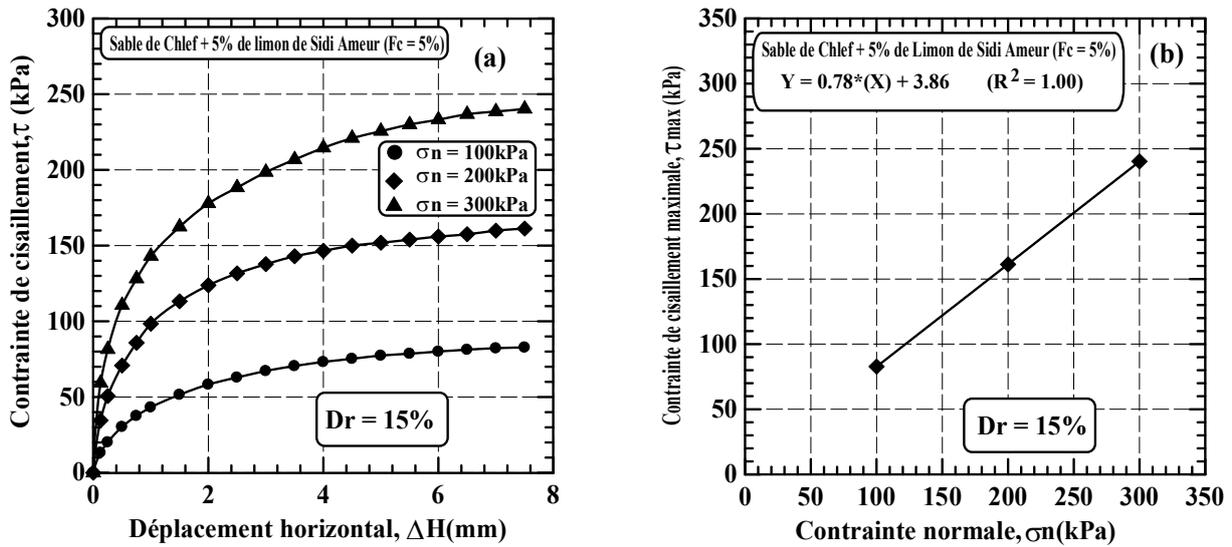


Figure 5.12: Comportement du sable de Chlef renforcé par 5% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**b. Sable renforcé par 10% de fines de Sidi Ameur**

La figure 5.13a montre l'évolution du comportement des échantillons préparés par un mélange du sable de Chlef propre et 10% de fines de Sidi Ameur. Les résultats portés dans cette figure permettent de mettre en évidence une augmentation de la résistance au cisaillement de (86.68, 168.84 et 246.98kPa) et de la cohésion (7.20 bars). La figure 5.13b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n.tg\phi + C$ .

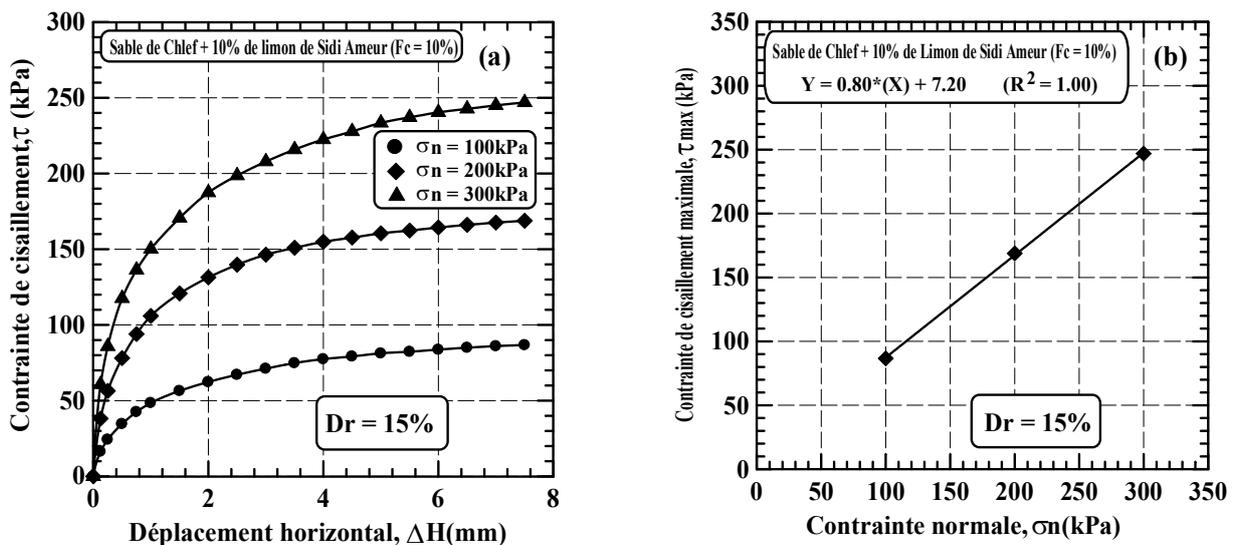
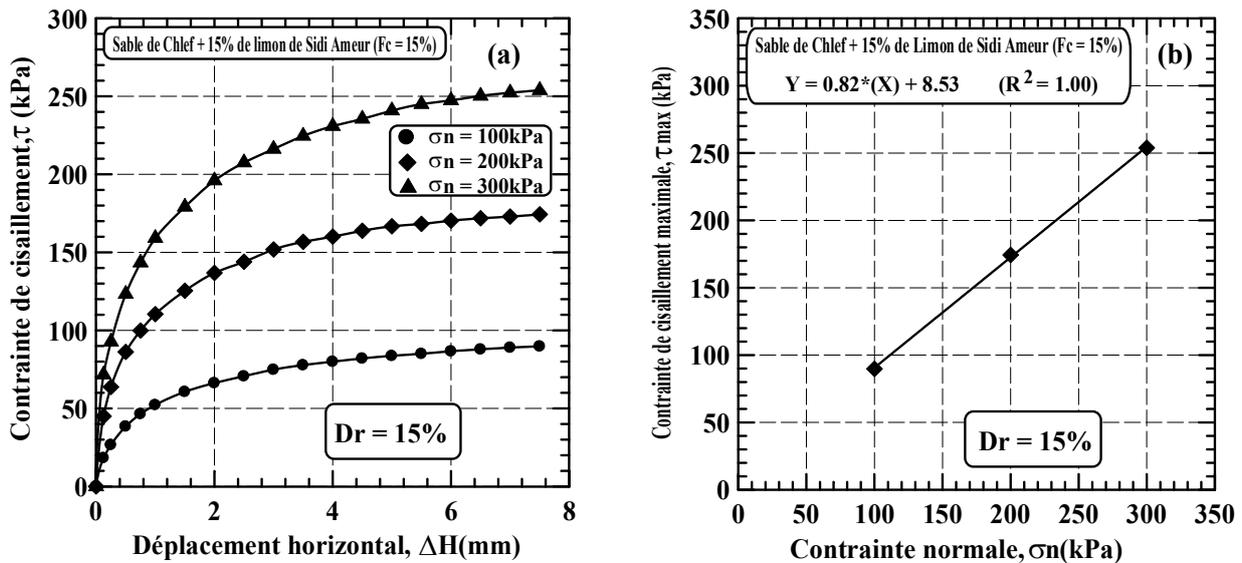


Figure 5.13: Comportement du sable de Chlef renforcé par 10% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

### c. Sable renforcé par 15% de fines de Sidi Ameer

La figure 5.14a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons constitués d'un mélange de sable et 15% de fines de Sidi Ameer. On peut noter d'après ces figures, une confirmation de l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (8.53 bars). La figure 5.14b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .



**Figure 5.14:** Comportement du sable de Chlef renforcé par 15% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

### d. Sable renforcé par 20% de fines de Sidi Ameer

La figure 5.15a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons constitués d'un mélange de sable et 20% de fines de Sidi Ameer. On peut noter d'après ces figures, une confirmation de la tendance à l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (8.90 bars) en fonction de la contrainte normale et du pourcentage des fines. La figure 5.15b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

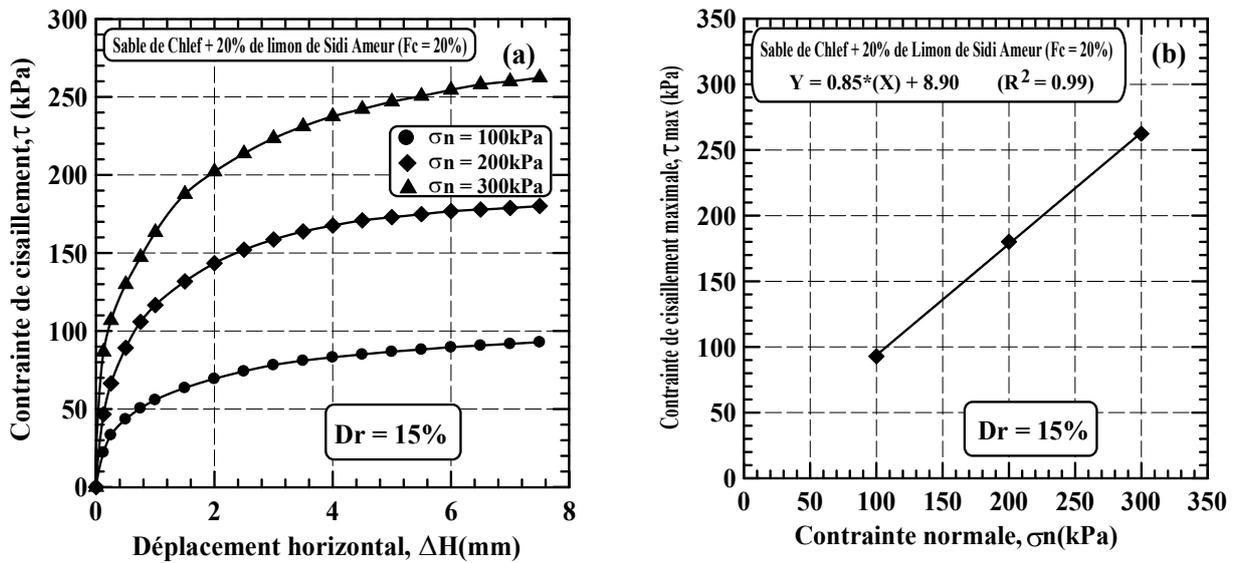


Figure 5.15: Comportement du sable de Chlef renforcé par 20% de fines à l'état lâche:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

Les résultats des figures 5.12, 5.13, 5.14 et 5.15 montrent l'existence d'une augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion des échantillons préparés à l'état lâche avec l'augmentation des pourcentages de fines de Sidi Ameur et du confinement (résistance au cisaillement et cohésion augmentés). On constate aussi que l'ajout des fines de Sidi Ameur a causé une augmentation supérieure de cohésion des échantillons par à l'ajout des fines de Chlef.

### 5.2.6. Sable renforcé par des fines de Sidi Amer à l'état dense (Dr = 85%)

#### a. Sable non renforcé (0% de fines de Sidi Ameur)

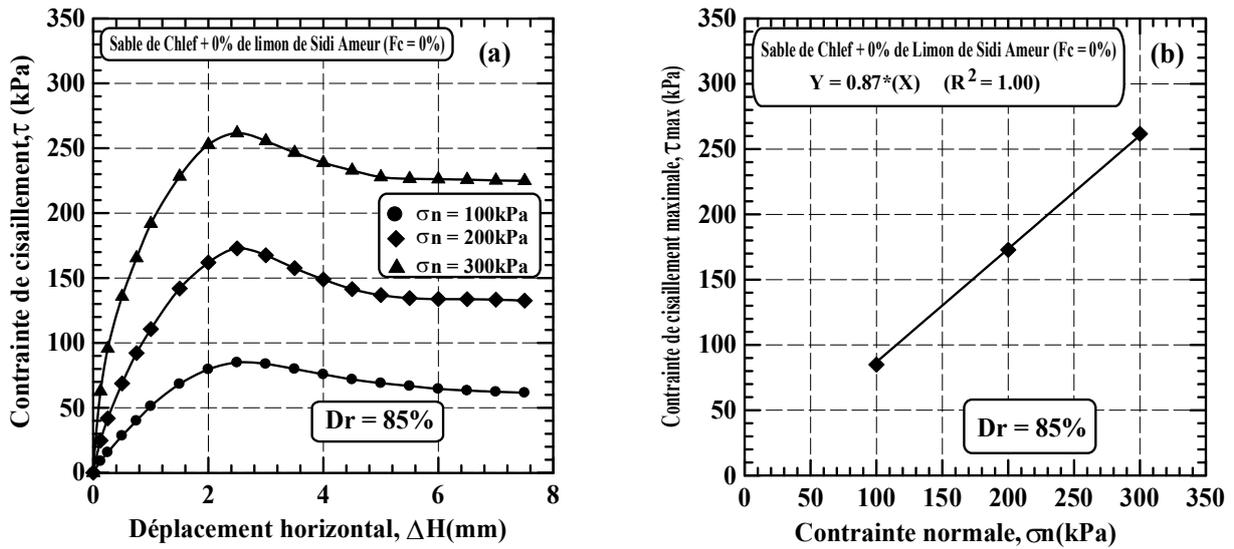
La figure 5.16 présente les résultats des essais effectués à l'état dense, sur le sable de Sidi Ameur non renforcé pour différentes contraintes normales. On constate d'après les figures.5.16a que la résistance au cisaillement augmente avec l'augmentation de la contrainte normale avec une cohésion nulle. Aussi on remarque l'apparition d'un pic dans l'évolution des courbes de contrainte de cisaillement confirmant les propriétés de l'état dense des échantillons. La figure 5.16b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne est droite qui passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi$ .

Où:

$\tau$ : Contrainte de cisaillement maximale;

$\sigma_n$ : Contrainte normale;

$\phi$ : L'angle de frottement interne.



**Figure 5.16:** Comportement du sable de Chlef non renforcé à l'état dense (0% de fines):

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**b. Sable renforcé par 5% de fines de Sidi Ameur**

La figure 5.17a montre la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour les mélanges sable plus 5% de fines de Sidi Ameur pour les échantillons à l'état dense et pour différentes contraintes normales. On remarque un comportement similaire à celui du sable pure, à savoir une augmentation de la résistance avec l'augmentation de la contrainte normale, avec la différence que cette augmentation est supérieure au sable pure ( $\tau_{max} = 94,184$  et  $275$  kPa contre  $86,180$  et  $262$  kPa pour le sable pure), en plus on remarque l'amélioration de la cohésion qui passe à  $1.85$  bar. Cela est du à l'effet de l'ajout des fines de Sidi Ameur qui procurent une plus grande cohésion au sol. La figure 5.17b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

Où:

- $\tau$ : Contrainte de cisaillement maximale;
- $\sigma_n$ : Contrainte normale;
- $\phi$ : L'angle de frottement interne;
- C: Cohésion (ordonnée à l'origine).

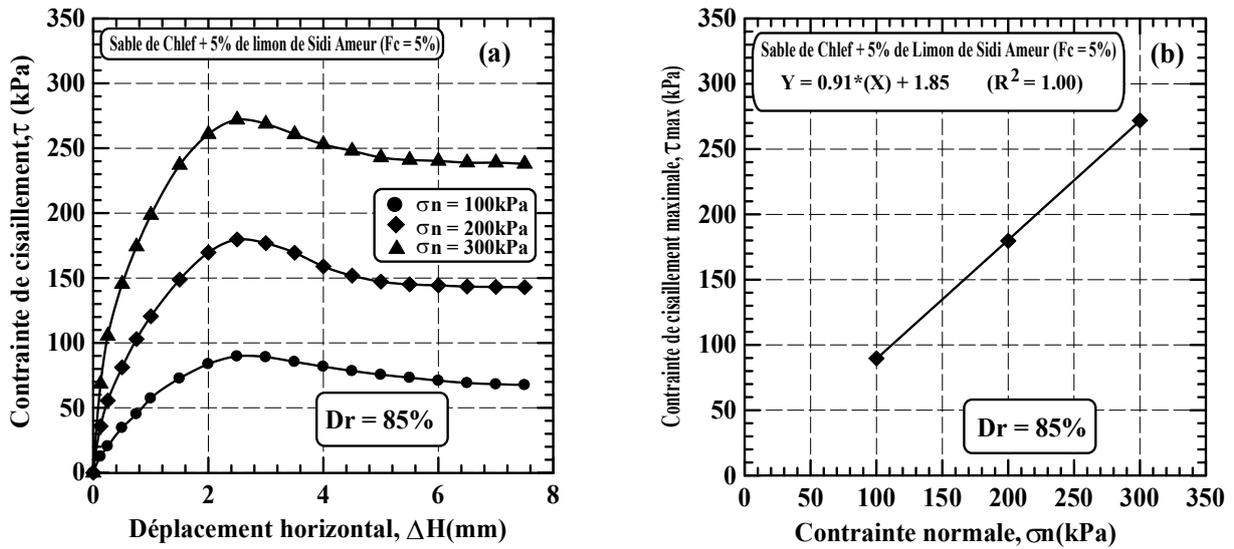


Figure 5.17: Comportement du sable de Chlef renforcé par 5% de fines à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**c. Sable renforcé par 10% de fines de Sidi Ameur**

La figure 5.18a montre l'évolution du comportement des échantillons denses préparés par un mélange du sable de Chlef propre et 10% de fines de Sidi Ameur. Les résultats portés dans ces figures permettent de mettre en évidence une augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (4.92 bars). La figure 5.18b montre le chemin de contraintes dans le plan  $(\tau, \sigma_n)$ , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

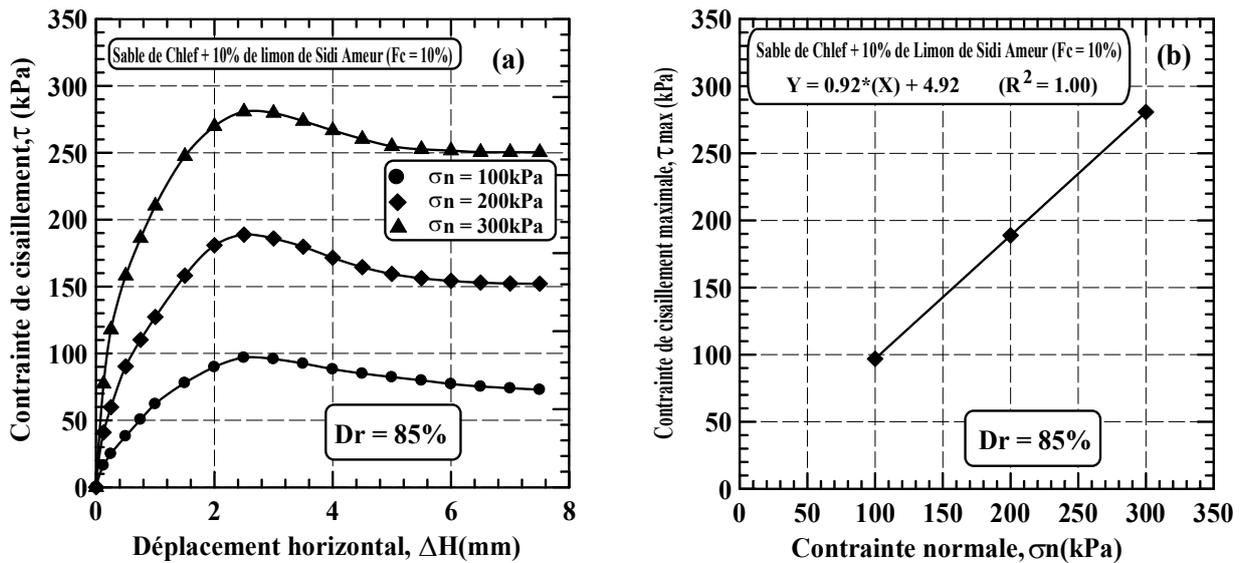
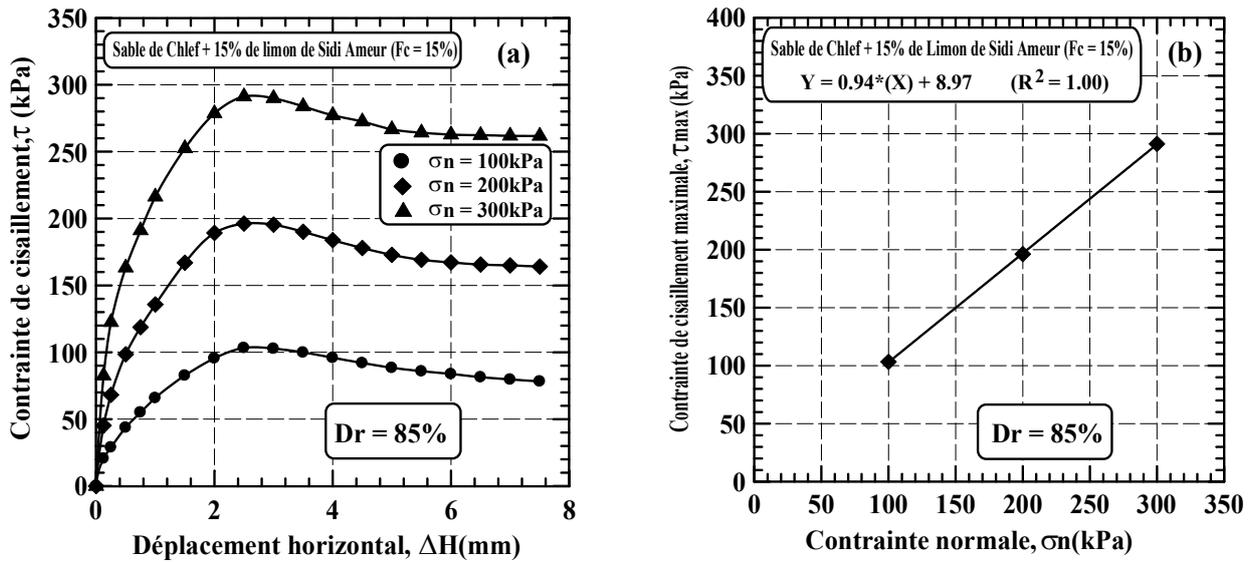


Figure 5.18: Comportement du sable de Chlef renforcé par 10% de fines à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**d. Sable renforcé par 15% de fines de Sidi Ameer**

La figure 5.19a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons denses constitués d'un mélange de sable et 15% de fines de Sidi Ameer. On peut noter d'après ces figures, une confirmation de l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (8.97 bars). La figure 5.19b montre le chemin de contraintes dans le plan ( $\tau$ ,  $\sigma_n$ ), on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .



**Figure 5.19:** Comportement du sable de Chlef renforcé par 15% de fines à l'état dense:

- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

**e. Sable renforcé par 20% de fines de Sidi Ameer**

La figure 5.20a présente les résultats des essais de cisaillement effectués sur des échantillons constitués d'un mélange de sable et 20% de fines de Sidi Ameer. On peut noter d'après ces figures, permettent de mettre en évidence l'augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion (12.47 bars). ). La figure 5.20b montre le chemin de contraintes dans le plan ( $\tau$ ,  $\sigma_n$ ), on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation:  $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$ .

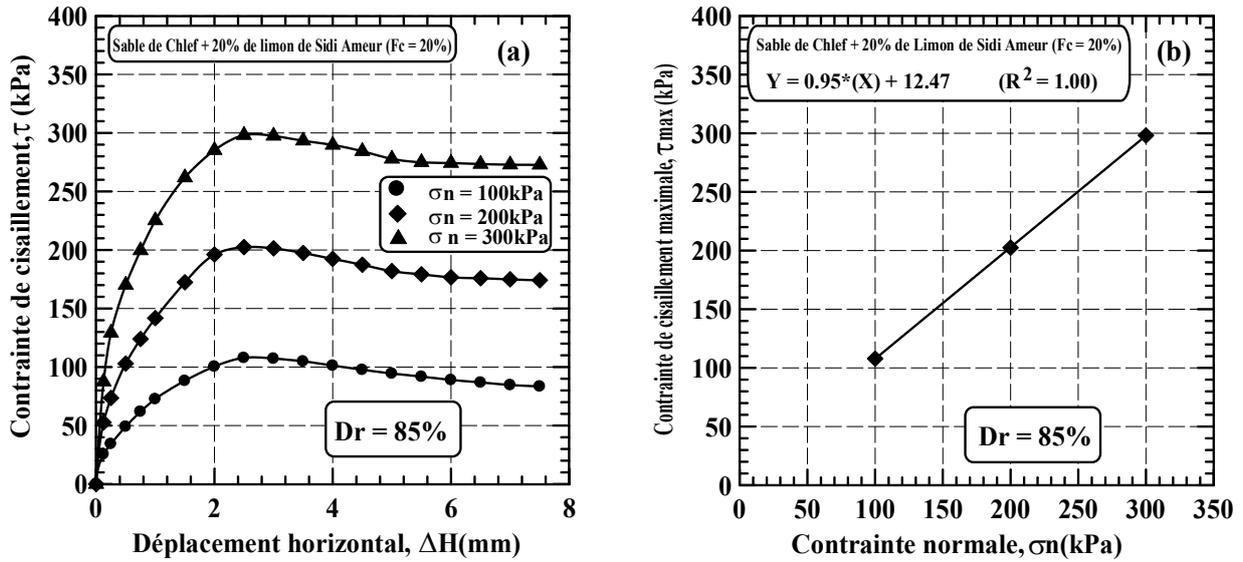


Figure 5.20: Comportement du sable de Chlef renforcé par 20% de fines à l'état dense:

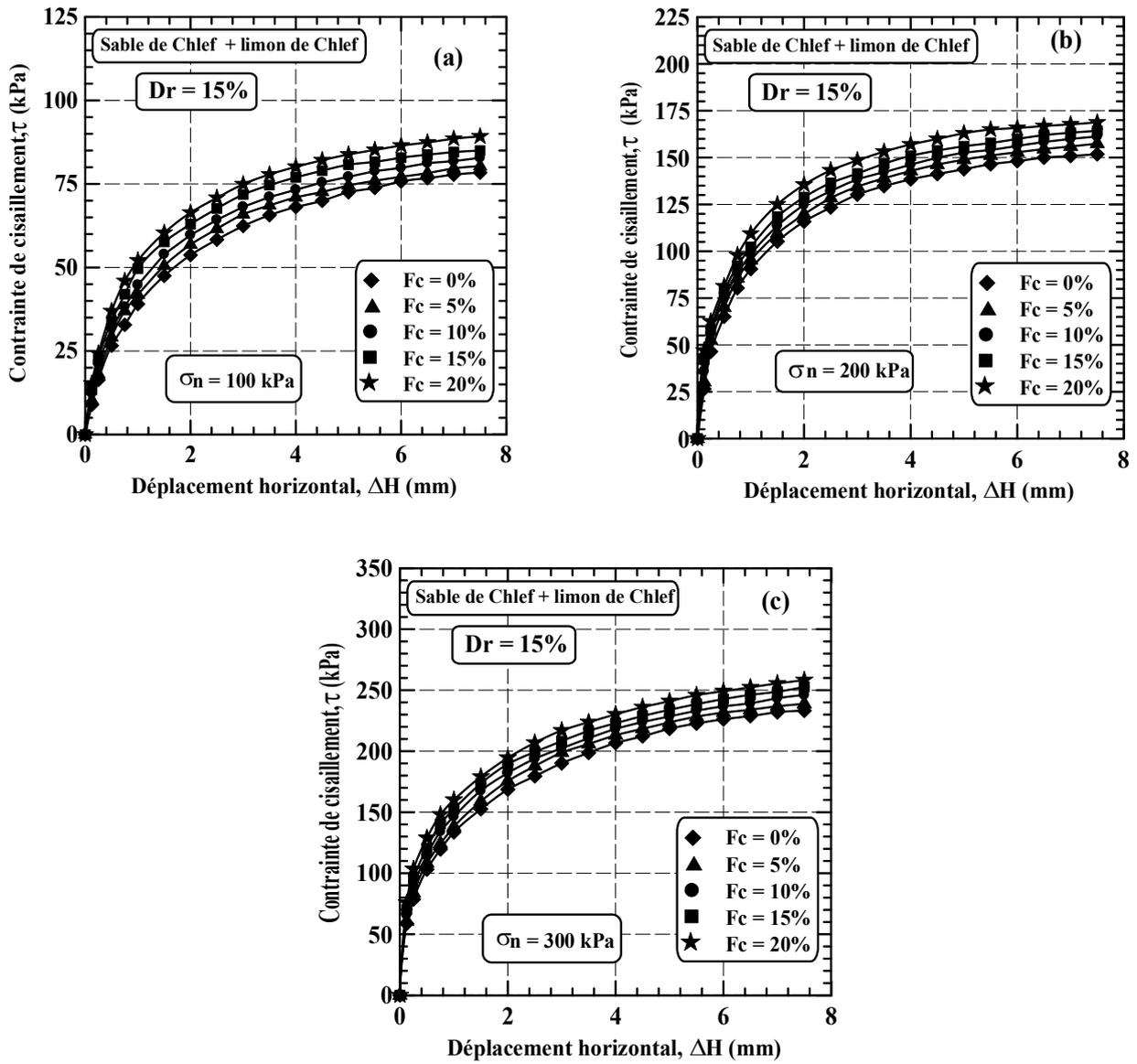
- (a) Variation de la contrainte tangentielle en fonction du déplacement horizontal;
- (b) Variation de la contrainte tangentielle maximale en fonction de la contrainte normale.

En résumé, les résultats des figures 5.17, 5.18, 5.19 et 5.20 montrent l'existence d'une augmentation de la résistance au cisaillement et de la cohésion des échantillons préparés à l'état dense avec l'augmentation des pourcentages de fines de Sidi Ameur et de la contrainte normale (résistance au cisaillement et cohésion augmentées) plus qu'à l'état lâche

### 5.3. Effet des fines de Chlef

#### 5.3.1. Effet des fines à l'état lâche ( $D_r = 15\%$ )

Les figure 5.21a, 5.21b et 5.21c illustrent la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour les mélanges lâches sable - fines de Chlef variant de 0, 5, 10, 15 et 20% de fines, soumis à des contraintes normales variant de 100kPa (Figure 5.21a), 200kPa (Figure 5.21b) et 300kPa (Figure 5.21c). On constate une nette amélioration de la résistance pour les échantillons lâches.



**Figure 5.21:** Effet du pourcentage de fines de Chlef sur le comportement des échantillons lâches:

(a)  $\sigma_n = 100$  kPa, (b)  $\sigma_n = 200$  kPa, (c)  $\sigma_n = 300$  kPa

Les figure 5.22a, 5.22b et 5.22c illustrent la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour les mélanges lâches sable-fines de Sidi Ameur variant de 0, 5, 10, 15 et 20% soumis à des contraintes normales variant de 100kPa (Figure 5.22a), 200kPa (Figure 5.22b) et 300kPa (Figure 5.22c). On constate une nette amélioration de la résistance pour les échantillons denses avec l'augmentation de la contrainte normale.

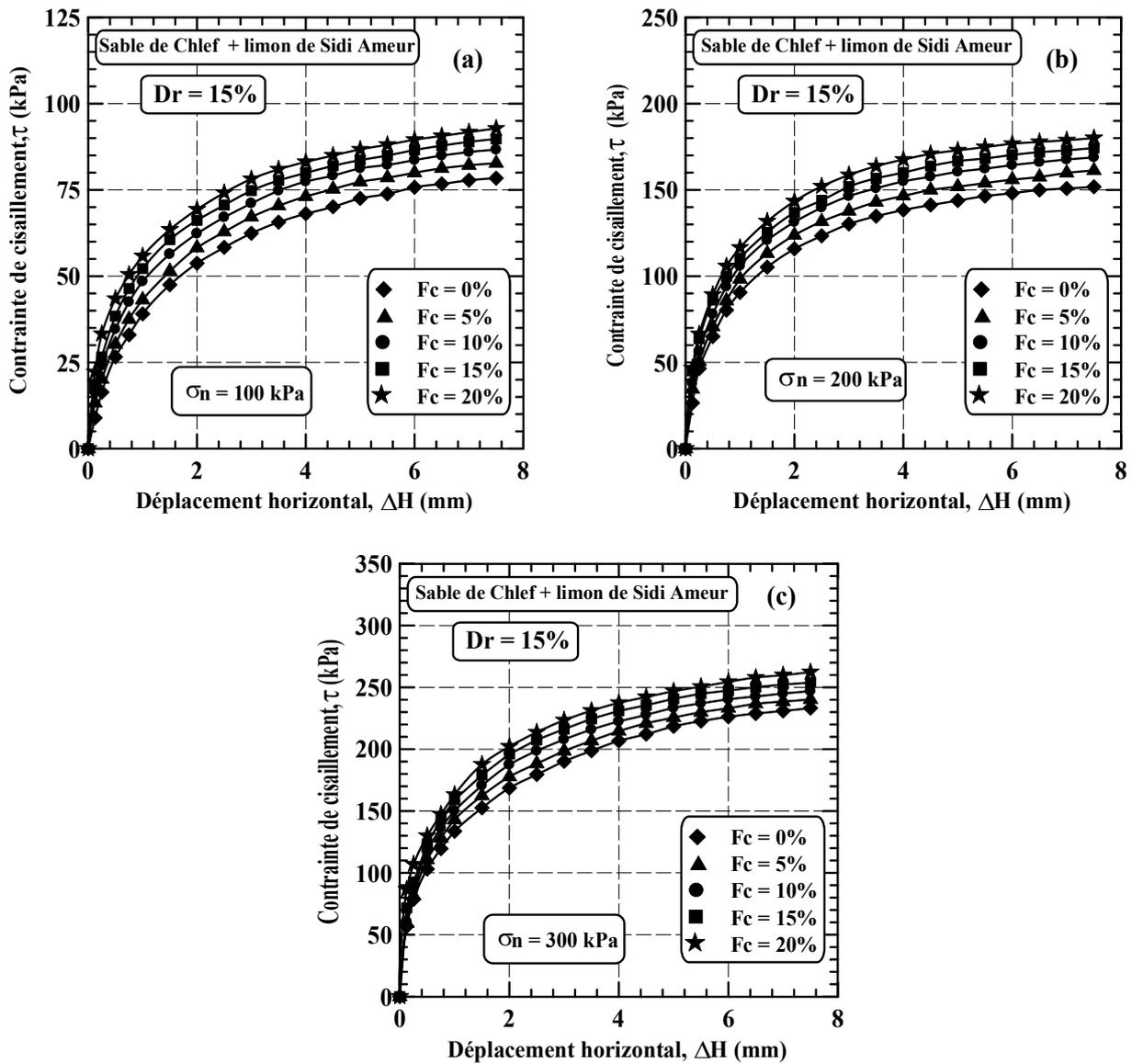
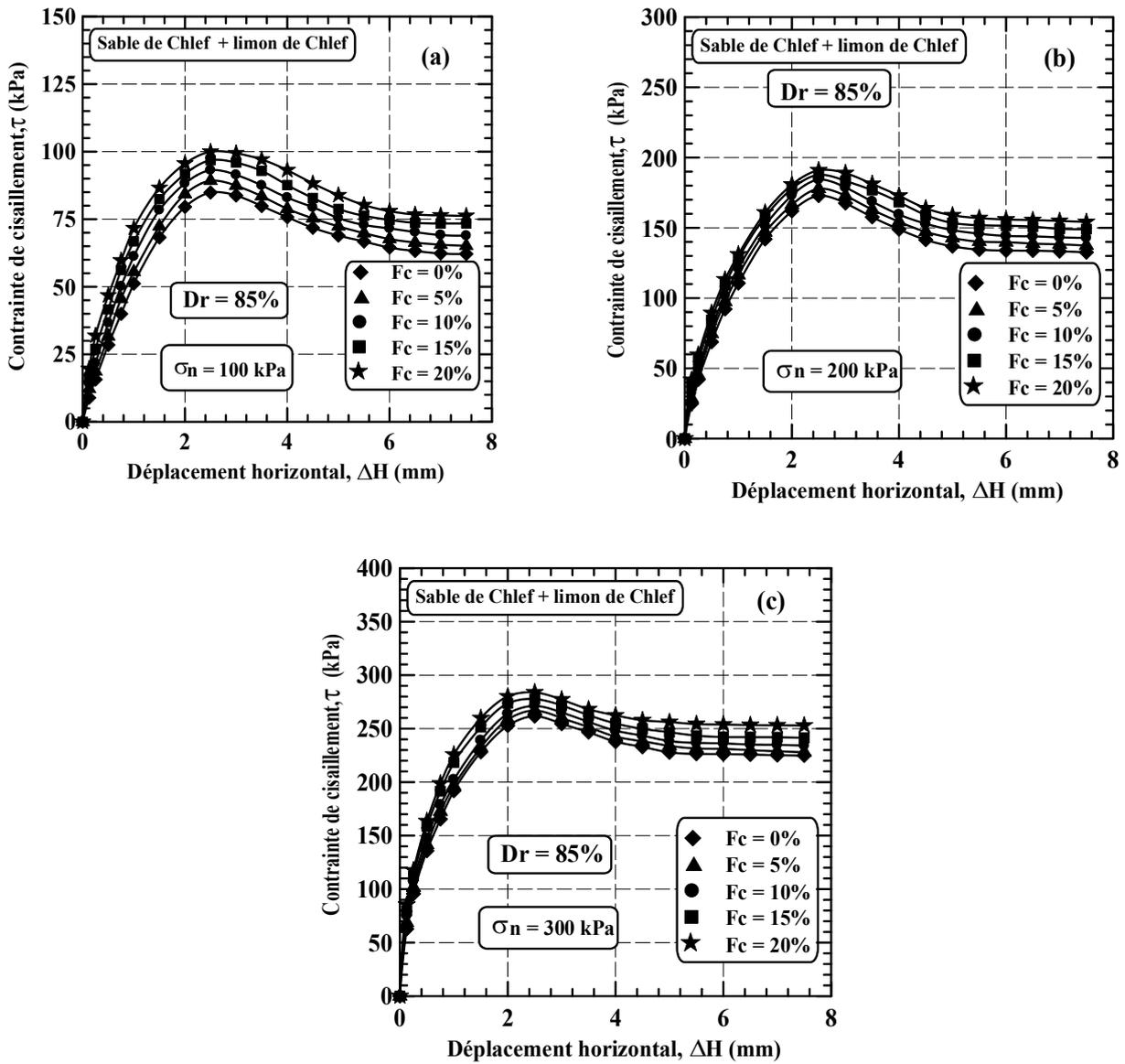


Figure 5.22: Effet du pourcentage de fines de Sidi Ameur sur le comportement échantillons lâches: (a)  $\sigma_n = 100$ kPa; (b)  $\sigma_n = 200$ kPa; (c)  $\sigma_n = 300$ kPa.

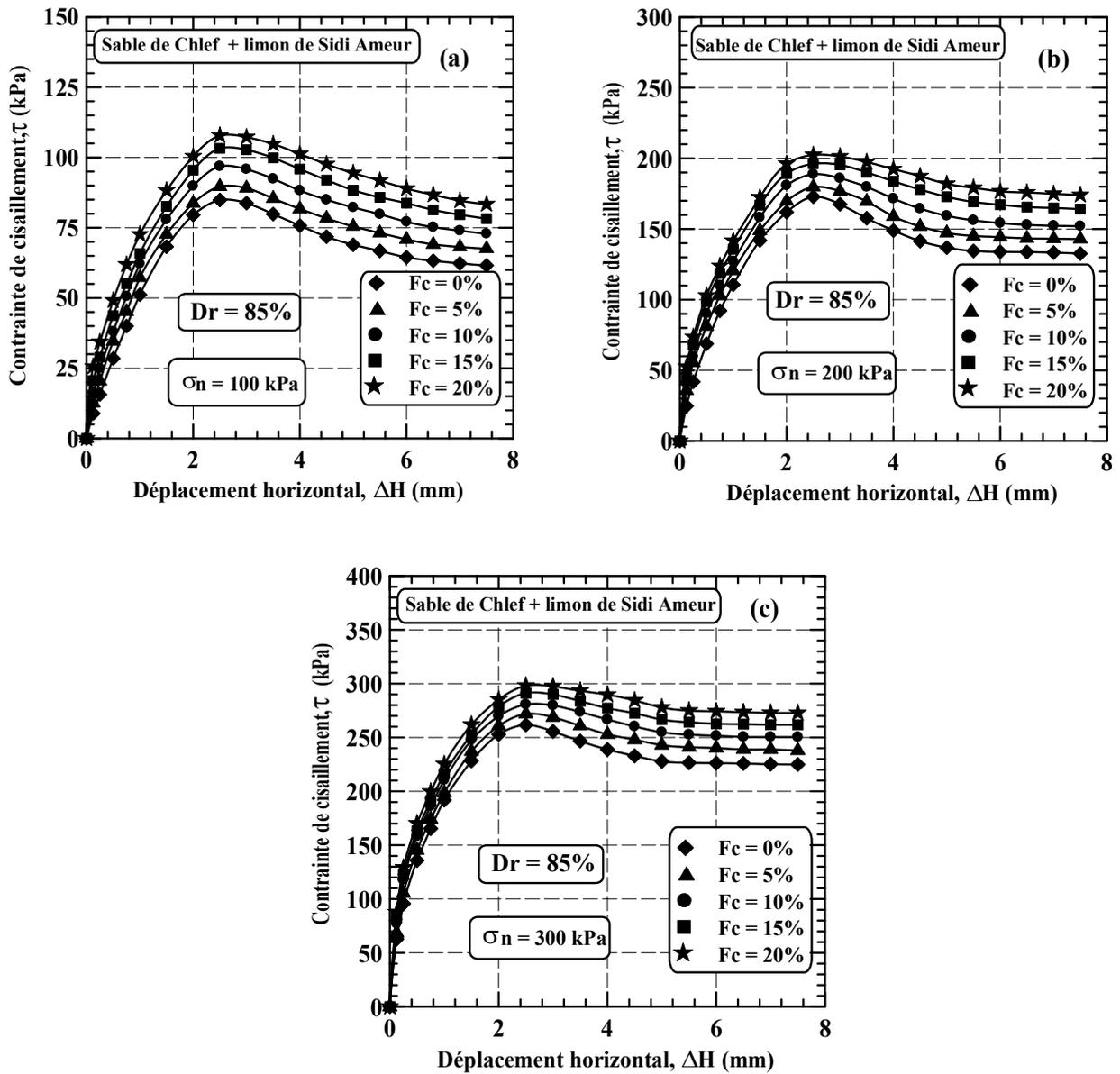
5.3.2. Effet des fines à l'état dense ( $D_r = 85\%$ )

La figure 5.23a, 5.23b et 5.23c illustrent la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour les mélanges denses sable-fines de Chlef variant de 0, 5, 10, 15 et 20% de fines de Chlef soumis à des contraintes normales variant de 100kPa (Figure 5.23a), 200kPa (Figure 5.23b) et 300kPa (Figure 5.23c). On constate une nette amélioration de la résistance au cisaillement pour les échantillons avec l'augmentation de la contrainte normale appliquée et de pourcentage des fines.



**Figure 5.23:** Effet du pourcentage des fines de Chlef sur comportement des échantillons denses:  
 (a)  $\sigma_n = 100$  kPa; (b)  $\sigma_n = 200$  kPa; (c)  $\sigma_n = 300$  kPa.

La figure 5.24a, 5.24b et 5.24c illustrent la variation de la contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal pour les mélanges denses sable-fines de Sidi Ameur variant de 0, 5, 10, 15 et 20% de fines de Sidi Ameur soumis à des contraintes normales variant entre 100 kPa (figure 5.24a), 200 kPa (figure 5.24b) et 300 kPa (figure 5.24c). On constate une nette amélioration de la résistance pour tous les échantillons. On note aussi une amélioration de la résistance au cisaillement avec l'augmentation de la contrainte normale.



**Figure 5.24:** Effet du pourcentage de fines de Sidi Ameer sur comportement des échantillons denses: (a)  $\sigma_n = 100$  kPa; (b)  $\sigma_n = 200$  kPa; (c)  $\sigma_n = 300$  kPa.

La figure 5.25 et 5.26 montrent l'évolution des droites de Mohr-Coulomb en fonction de la teneur en fines de Chlef pour l'état lâche et dense. On peut remarquer à partir de ces figures, que pour les deux états de densité, une nette amélioration des caractéristiques mécaniques des échantillons pour les mélanges variant de 0 à 20% de fines avec l'augmentation de la teneur en fines.

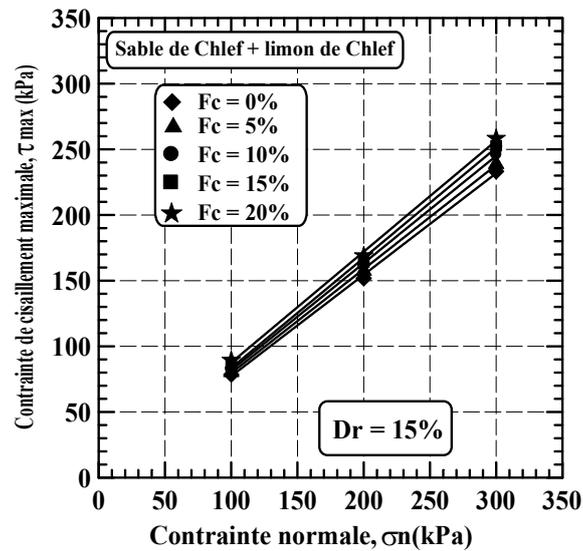


Figure 5.25: Effet du pourcentage des fines de Chlef:

Droites de Coulomb de type ( $\tau = \sigma_n \cdot \tan \phi + C$ ) pour des échantillons lâches.

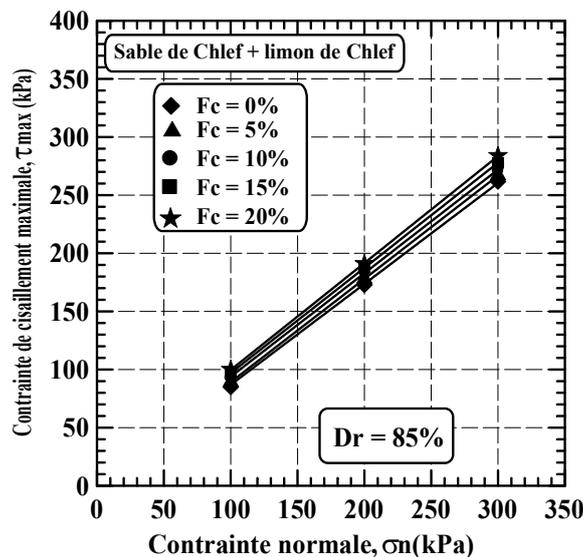
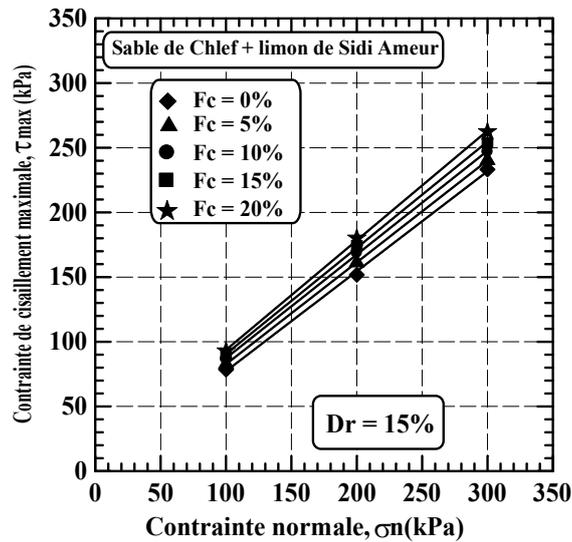


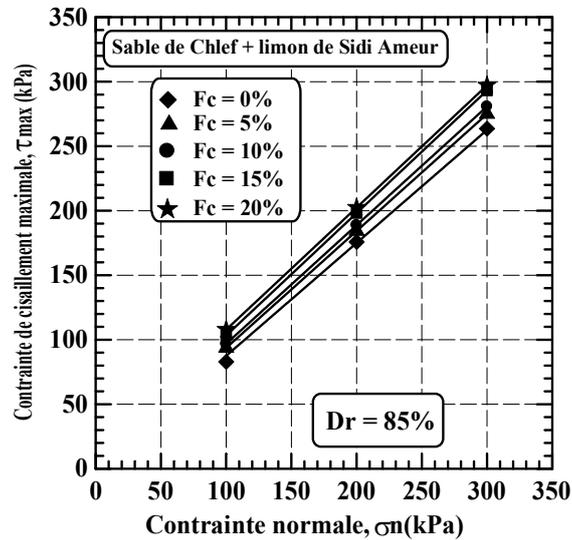
Figure 5.26: Effet du pourcentage des fines de Chlef:

Droites de Coulomb de type ( $\tau = \sigma_n \cdot \tan \phi + C$ ) pour des échantillons denses.

La figure 5.27 et 5.28 montrent l'évolution des droites de Mohr-Coulomb en fonction de la teneur en fines de Sidi Ameur pour l'état lâche et dense. On peut remarquer à partir de ces figures, que pour les deux états de densité, une nette amélioration des caractéristiques mécaniques des échantillons pour tous les mélanges variant de 0 à 20%, pour l'état lâche et l'état dense avec l'augmentation de la teneur en fines.



**Figure 5.27:** Effet du pourcentage des fines de Sidi Ameur: Droites de Coulomb de type  $(\tau = \sigma_n \cdot \text{tg}\phi + C)$  pour des échantillons lâches.



**Figure 5.28:** Effet du pourcentage des fines de Sidi Ameur: Droites de Coulomb de type  $(\tau = \sigma_n \cdot \text{tg}\phi + C)$  pour des échantillons denses.

**5.3.3. Effet des fines de Chlef sur la résistance maximale**

La figure 5.29 et 5.30 montrent l'évolution de la résistance au cisaillement en fonction de la teneur en fines pour les états lâche et dense. On peut remarquer à partir de ces figures, une amélioration du comportement du sol avec l'augmentation de la densité relative pour les trois contraintes normales initiales de 100, 200 et 300 kPa. On peut constater aussi que pour tous les états de densité, une nette amélioration de l'évolution de la résistance au cisaillement pour les mélanges variant de 0% à 20% de fines. Cette augmentation de la résistance au cisaillement est beaucoup plus prononcée pour les fortes contraintes normales et pour la densité forte de 85%.

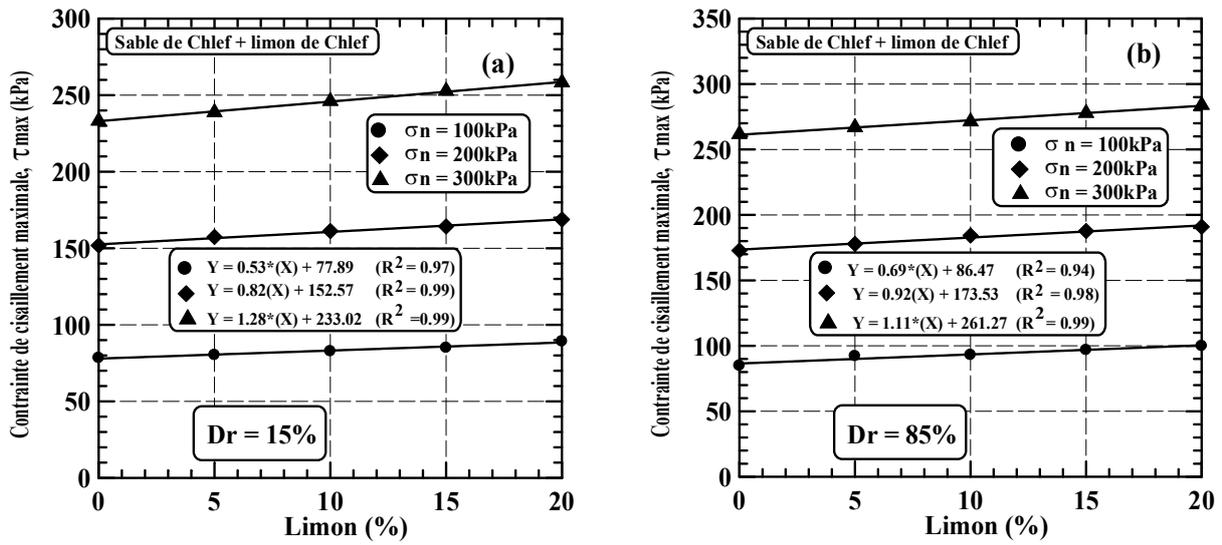


Figure 5.29: Variation de la résistance maximale en fonction du pourcentage des fines de Chlef: (a) Etat lâche ( $D_r = 15\%$ ), (b) Etat dense ( $D_r = 85\%$ ).

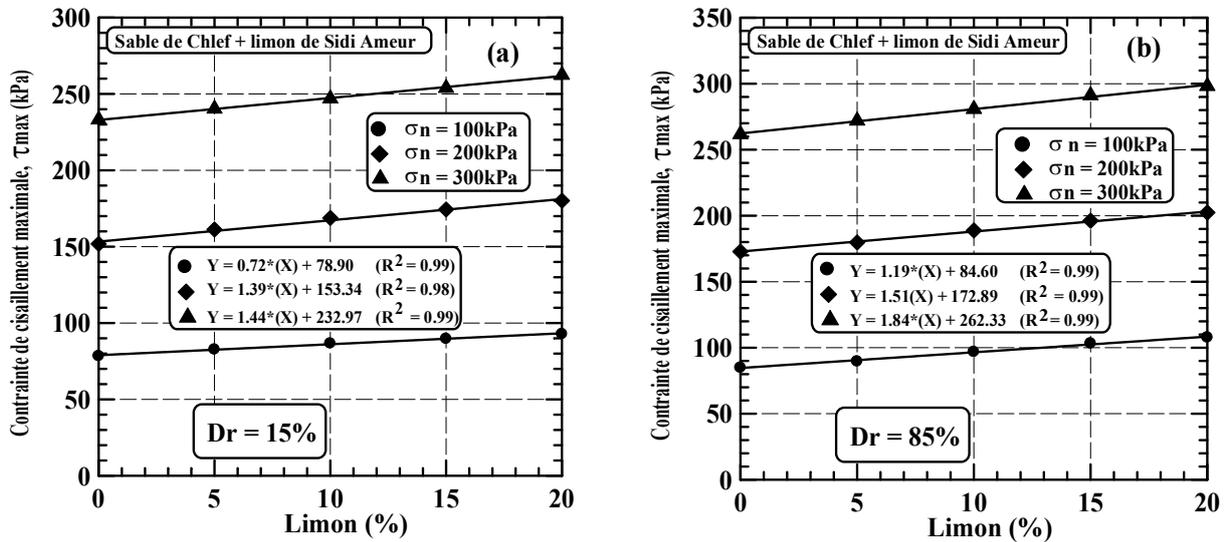


Figure 5.30: Variation de la résistance maximale en fonction du pourcentage des fines de Sidi Ameur: (a) Etat lâche ( $D_r = 15\%$ ), (b) Etat dense ( $D_r = 85\%$ ).

### 5.3.4. Effet des fines de Chlef sur les caractéristiques mécaniques

La figure 5.31a montre la variation de l'angle de frottement interne ( $\phi$ ) en fonction de la teneur en fines et la figure 5.31b illustre la variation de la cohésion ( $C$ ) en fonction de la teneur en fines pour les deux densités lâche ( $D_r = 15\%$ ) et fortes ( $D_r = 85\%$ ). On peut remarquer à partir de ces figures, une amélioration du comportement du sol avec l'augmentation de la densité relative. On peut constater aussi que pour tous les états de densité, une nette amélioration des caractéristiques mécaniques des échantillons pour les mélanges variant de 0 à 20% de fines de Chlef avec l'augmentation de la teneur en fines.

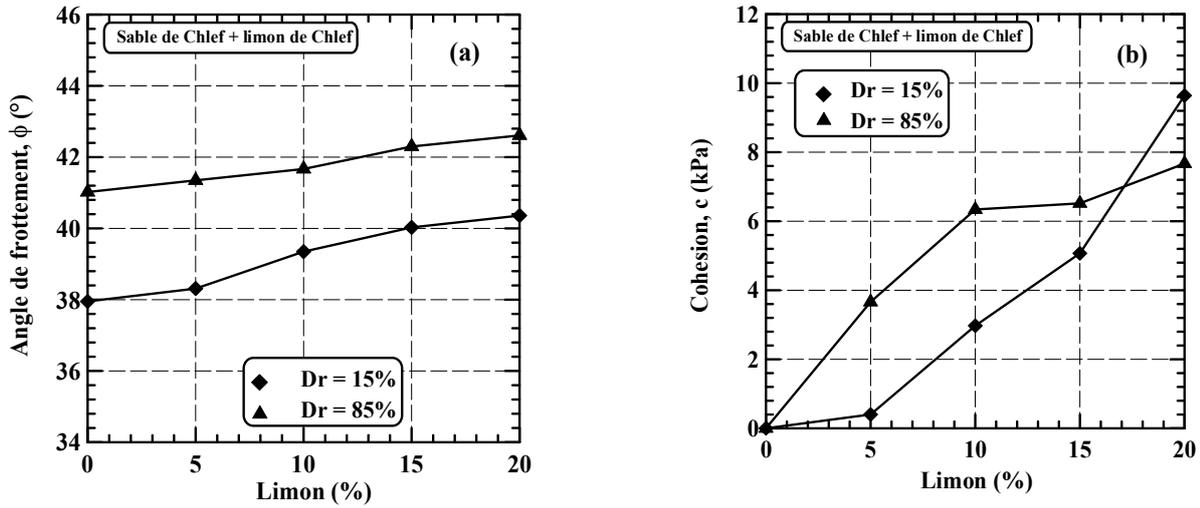


Figure 5.31: Evolution des caractéristiques mécaniques des mélanges sable-limon de Chlef:

(a) Variation de l'angle de frottement  $\phi$ ; (b) Variation de la cohésion C.

### 5.3.5. Effet des fines de Sidi Ameur sur les caractéristiques mécaniques

Les figures 5.32a et 5.32b illustrent la variation des caractéristiques mécaniques du sol (angle de frottement interne  $\phi$  et la cohésion C) en fonction de la teneur en fines pour les états lâche et dense. On peut remarquer à partir de ces figures, une amélioration du comportement du sol avec l'augmentation de la densité relative. On constate aussi que pour tous les états de densité, une nette amélioration des caractéristiques mécaniques des échantillons pour les mélanges variant de 0 à 20% de fines de Sidi Ameur, avec l'augmentation de la teneur en fines.

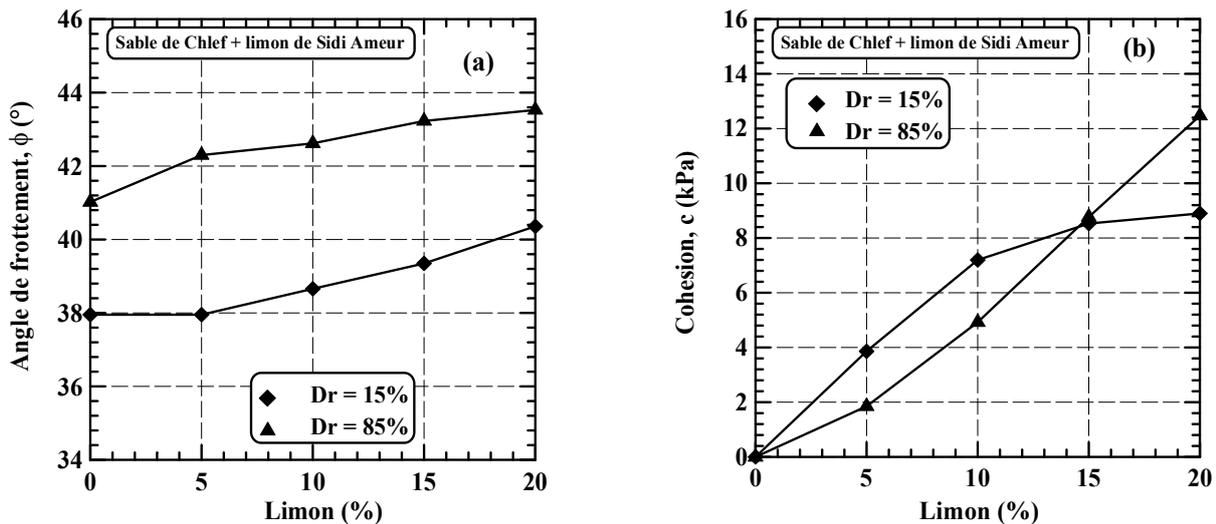


Figure 5.32: Evolution des caractéristiques mécaniques des mélanges sable-limon de Sidi Ameur:

(a) Variation de l'angle de frottement  $\phi$ ; (b) Variation de la cohésion C.

### 5.3.6. Influence de la densité relative sur la résistance maximale des deux mélanges

#### a. Sable-limon de Chlef

La figure 5.33 montre l'évolution de la résistance au cisaillement en fonction de la contrainte normale initiale appliquée de 100, 200 et 300 kPa pour les deux densités relatives de 15% (état lâche) et 85% (état dense) et pour différents teneurs en fines de Chlef. Cette figure montre clairement que cette résistance au cisaillement est nettement supérieure pour la densité de 85% (densité forte) que celle de la densité de 15% (densité lâche) pour les trois contraintes normales et pour les différents teneurs en fines.

#### b. Sable-limon de Sidi Ameer

La figure 5.34 montre l'évolution de la résistance au cisaillement en fonction de la contrainte normale initiale appliquée de 100, 200 et 300 kPa pour les deux densités relatives de 15% (état lâche) et 85% (état dense) et pour différents teneurs en fines de Sidi Ameer. Cette figure montre clairement que cette résistance au cisaillement est nettement supérieure pour la densité de 85% (densité forte) que celle de la densité de 15% (densité lâche) pour les trois contraintes normales et pour les différents teneurs en fines.

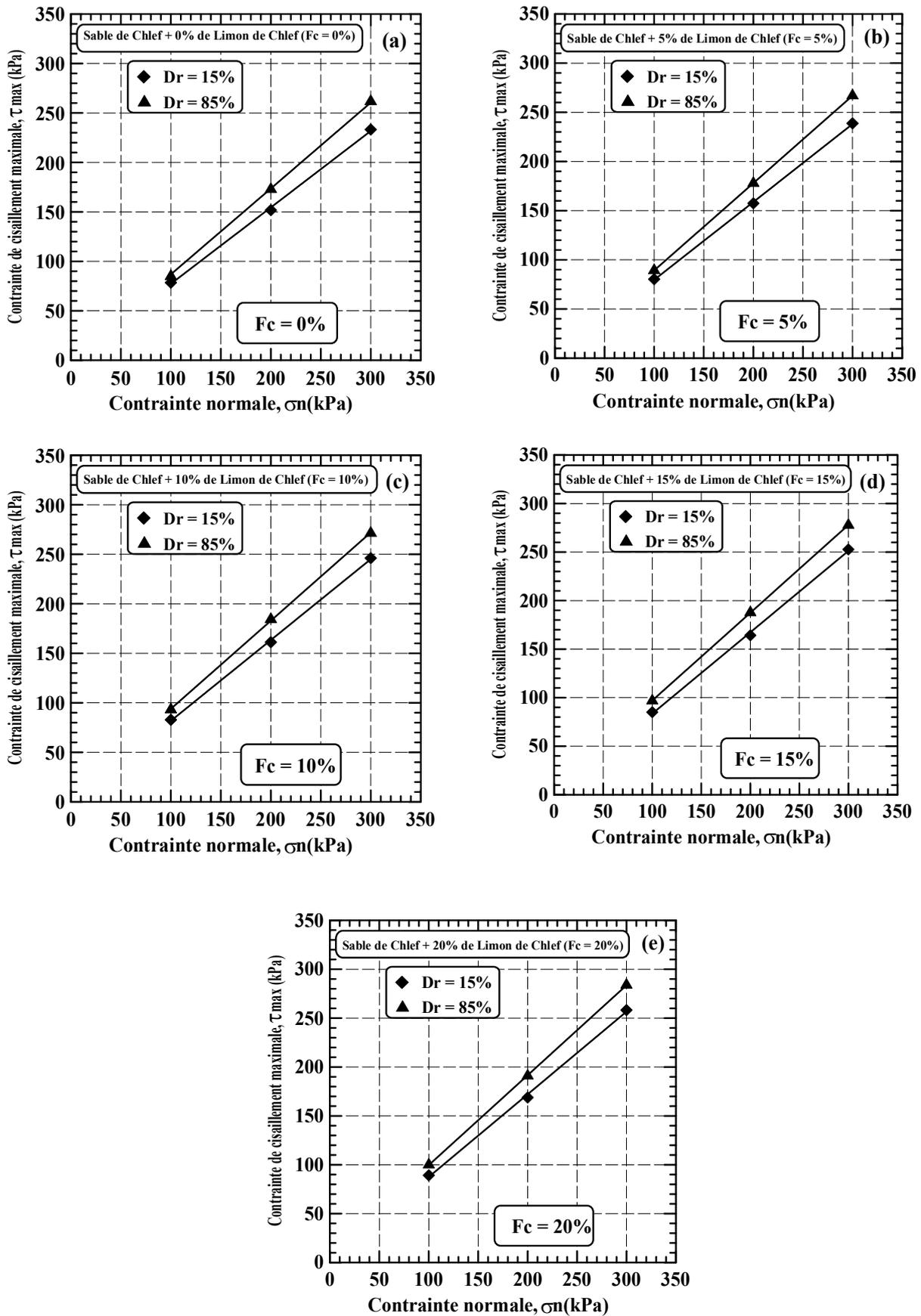


Figure 5.33: Effet du pourcentage des fines de Sidi Ameur:

Droites de Coulomb de type ( $\tau = \sigma_n.tg\phi + C$ ) pour des échantillons denses.

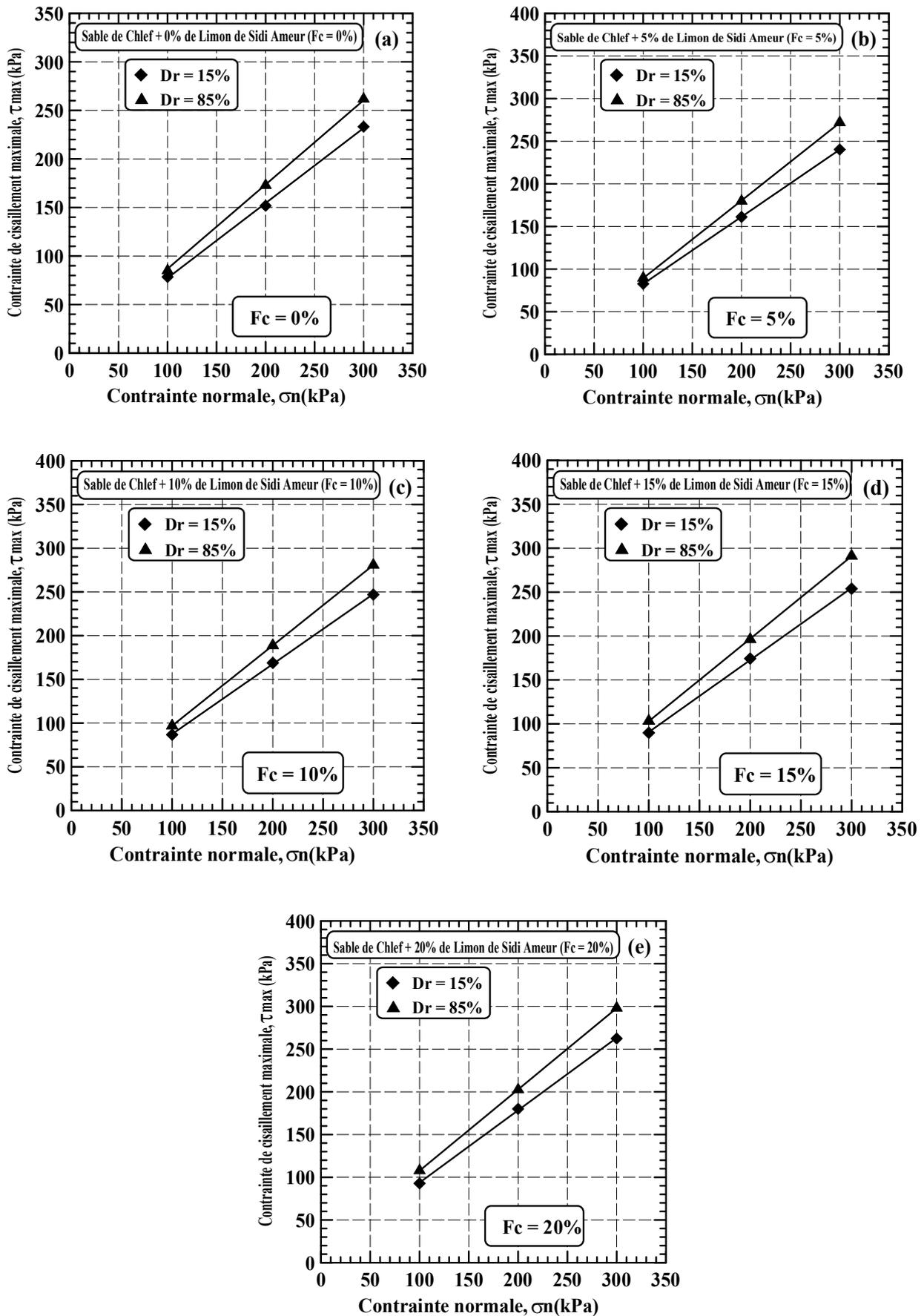


Figure 5.34: Effet du pourcentage des fines de Sidi Ameur:

Droites de Coulomb de type ( $\tau = \sigma_n \cdot \tan \phi + C$ ) pour des échantillons denses.

5.3.7. Comparaison entre les effets des deux types de fines (fines de Chlef et de Sid Ameer)

a. Etat lâche ( $D_r = 15\%$ )

La figure 5.35 montre une comparaison entre les effets des deux types des fines à l'état lâche et pour les différentes contraintes normales. On remarque que l'ajout des fines de Sidi Ameer améliore nettement la résistance au cisaillement comparativement à l'ajout des fines de Chlef.

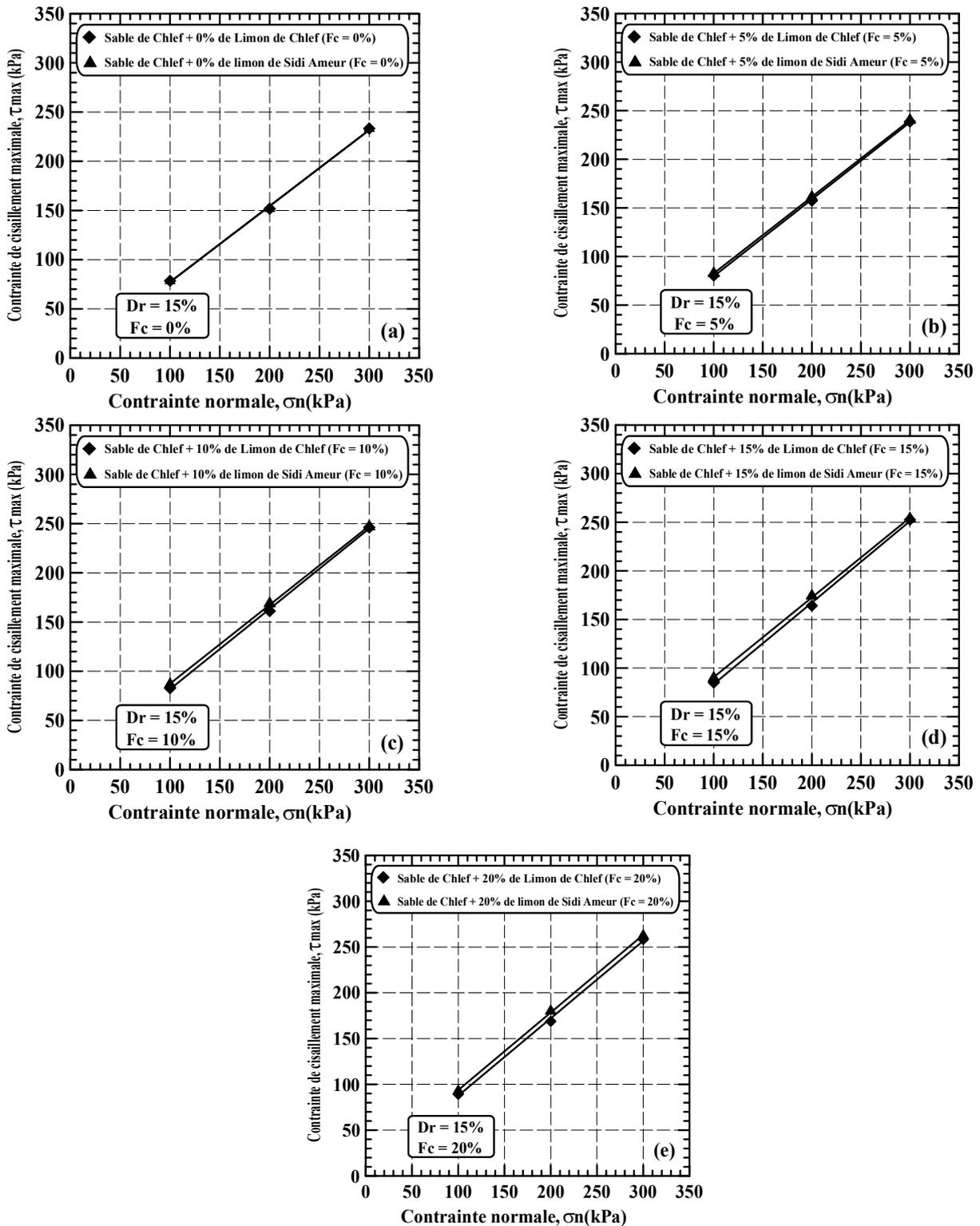
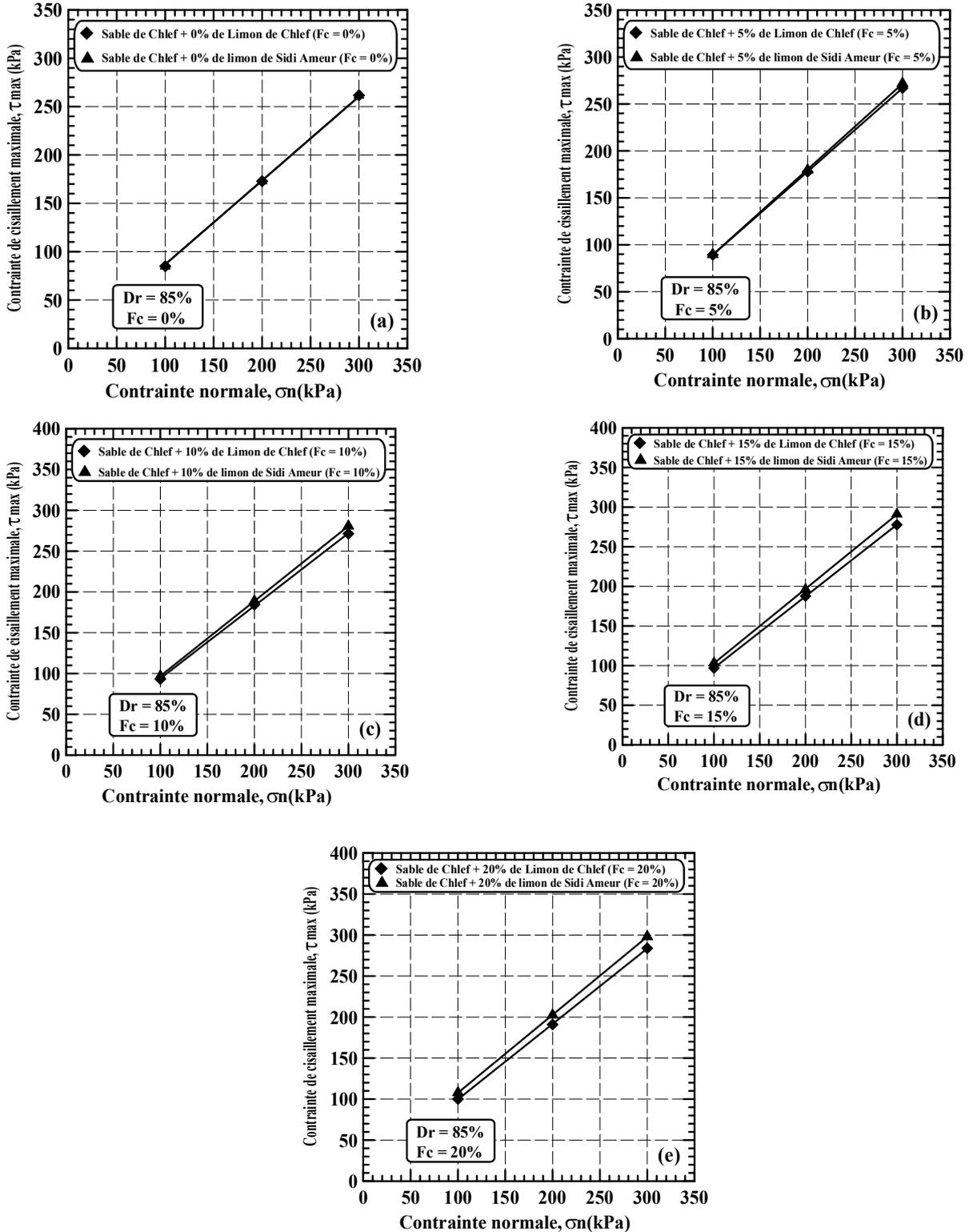


Figure 5.35: Comparaison entre les deux fines (limon de Chlef et Sidi Ameer) à l'état lâche:

**b. Etat dense ( $D_r = 85\%$ )**

Les figures 5.36 montre une comparaison entre les effets des deux types des fines pour les échantillons à l'état dense et pour différentes contraintes normales. Dans ces figures les mêmes tendances que l'état lâche sont observées, c'est-à-dire que l'ajout des fines de Sidi Ameer a un effet nettement améliorant que l'ajout des fines de Chlef, sur le comportement au cisaillement.



**Figure 5.36:** Comparaison entre les deux fines (limon de Chlef et Sidi Ameer) à l'état dense

#### 5.4. Conclusion

Ce chapitre a comporté une présentation des résultats d'une étude en laboratoire de l'influence de l'état initial comprenant la densité relative, la contrainte normale et la variation des types et des teneurs en fines sur le comportement du sable de Chlef. Le programme expérimental a comporté des essais de cisaillement à la boîte de Casagrande.

Les essais de cisaillement direct à la boîte ont été réalisés pour trois contraintes de confinement (100, 200 et 300kPa) avec deux densités relatives  $D_r = 15\%$  et  $D_r = 85\%$  représentant les états lâche et dense.

A la lumière des différents résultats obtenus à partir des essais de cisaillement, on peut émettre les conclusions suivantes:

- L'augmentation de la densité relative induit une augmentation de la résistance du sol. En effet, il a été constaté que les échantillons denses sont plus résistants que les échantillons lâches;
- L'accroissement de la contrainte de confinement aboutit à une amélioration du comportement des échantillons;
- L'ajout des pourcentages de fines améliore la résistance au cisaillement du sable ainsi que ces caractéristiques mécaniques;
- L'augmentation de la teneur en fines de Sidi Ameur améliore nettement le comportement au cisaillement et les caractéristiques mécaniques (la cohésion et l'angle de frottement interne) du sable comparativement à la teneur en fines de Chlef.