

IV. Introduction

Ce chapitre présente les résultats des essais de cisaillement direct à la boîte de Casagrande sur des mélanges de sable-kaolin réalisés sur des échantillons reconstitués avec deux densités relatives initiales $D_r = 16\%$ et $D_r = 90\%$. L'objectif de cette étude est de voir l'influence de la fraction des fines argileuses (Kaolin) sur le comportement mécanique du sable de Chlef (Oued Chlef) (mélanges sable-kaolin) en terme de résistance au cisaillement en fonction des efforts sollicités (contraintes) en faisant varier les contraintes normales $\sigma_n = 100, 200$ et 300kPa .

IV.1. Résultats des essais de cisaillement

IV.1.1. Effet de la contrainte normale (Etat lâche: $D_r = 16\%$)

La figure IV.1 présente les résultats des essais de cisaillement direct à la boîte de Casagrande sur le sable propre de Chlef à l'état lâche ($D_r = 16\%$). Les échantillons ont été cisailés sous des contraintes normales de 100, 200 et 300kPa. Les résultats obtenus pour le sable propre, La figure IV.1a montre que la résistance au cisaillement augmente d'une manière continue avec l'augmentation du déplacement horizontal pour les trois contraintes normales appliquées. La figure IV.1b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ, σ_n) , on constate que cette ligne est droite qui passe par l'origine qui a pour équation: $\tau = \sigma_n \cdot \text{tg}\phi$.

Où:

τ : Contrainte de cisaillement maximale;

σ_n : Contrainte normale;

ϕ : L'angle de frottement interne.

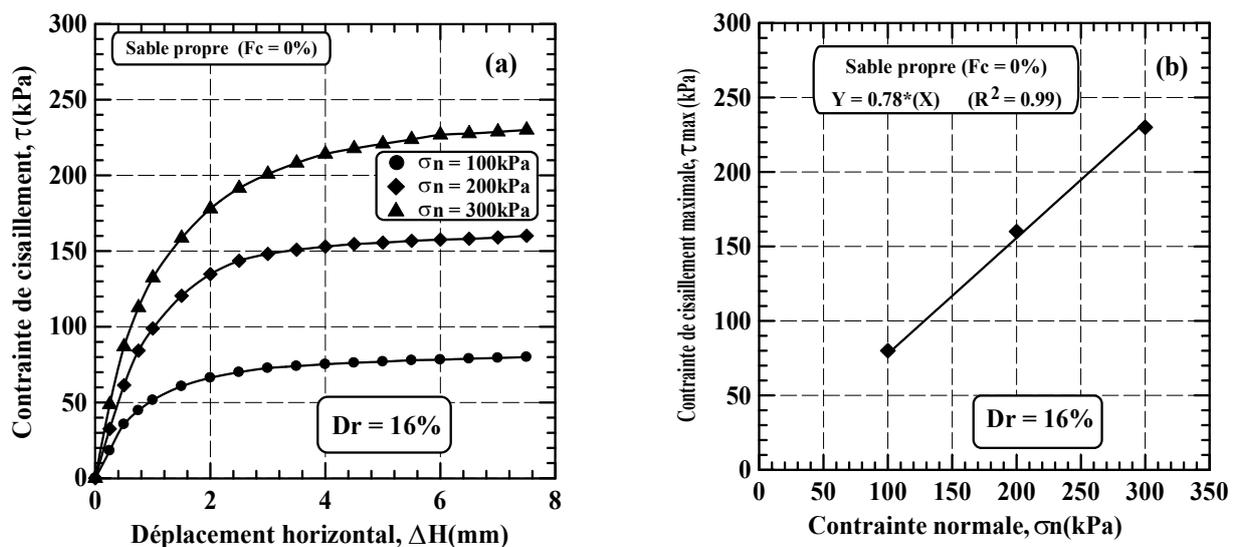


Figure IV.1: Résultats des essais de cisaillement direct sur le sable propre ($F_c = 0\%$)
 (a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,
 (b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300kPa).

Les résultats du sable avec 5% de kaolin sont illustrés sur la figure IV.2, on note que la résistance au cisaillement augmente d'une manière considérable avec l'augmentation de la contrainte normale (σ_n) cela est due à la bonne adhérence entre les grains de sable et les fines du kaolin. On note aussi une diminution de la résistance au cisaillement au fur et à mesure que le pourcentage des fines augmente. La figure IV.2b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ , σ_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:

τ : Contrainte de cisaillement maximale;

σ_n : Contrainte normale;

ϕ : Angle de frottement interne;

C: Cohésion (ordonnée à l'origine).

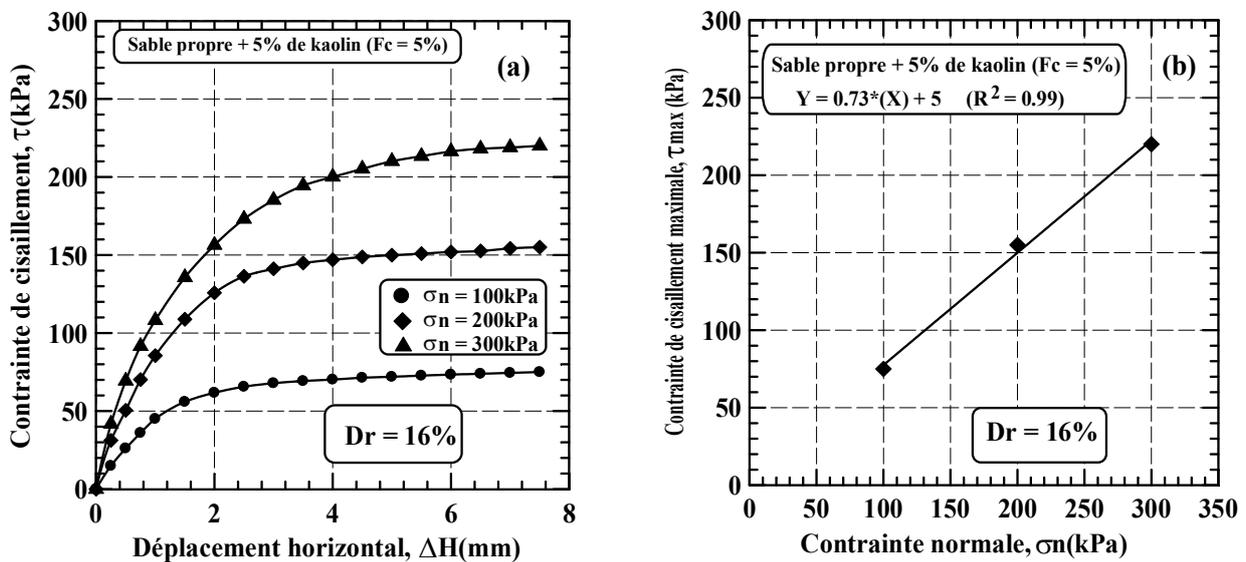


Figure IV.2: Résultats des essais de cisaillement direct du mélange sable-kaolin ($F_c = 5\%$).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

On remarque aussi que la figure IV.3b présente la même chose pour le mélange de 10% de fraction de fines, aussi on note une diminution de la résistance au cisaillement au fur et à mesure que le pourcentage des fines augmente. La figure IV.3b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ , σ_n), on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation: $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$.

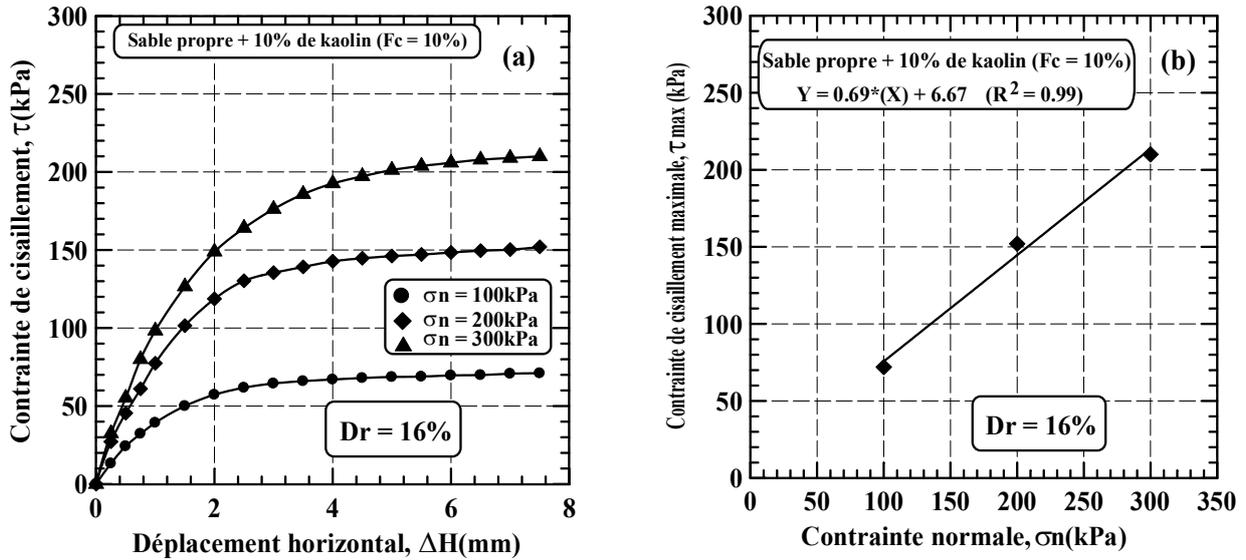


Figure IV.3: Résultats des essais de cisaillement direct du mélange sable-kaolin ($F_c = 10\%$).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

Pour les essais avec une teneur en kaolin de 15 et 20% (Figure IV.4a et IV.5a); on note une augmentation de la résistance on fonction de la contrainte normale, tandis que la résistance diminue au fur et à mesure que la teneur en argile (Kaolin) augmente. La figure IV.4b et IV.5b, montrent le chemin de contraintes dans le plan (τ, σ_n) , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation: $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$.

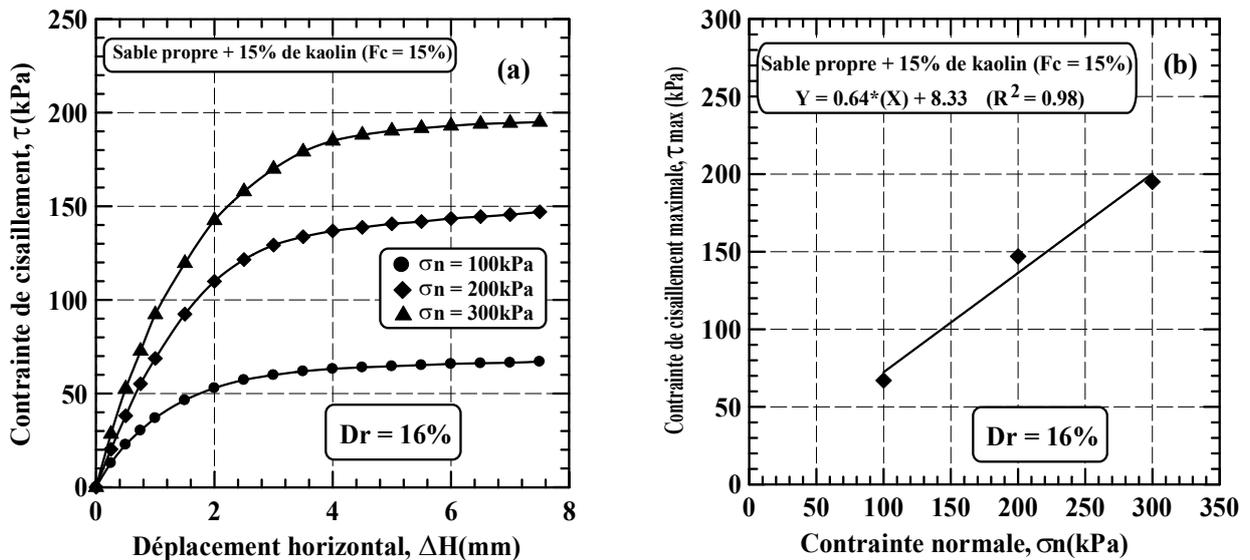


Figure IV.4: Résultats des essais de cisaillement direct du mélange sable-kaolin ($F_c = 15\%$).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

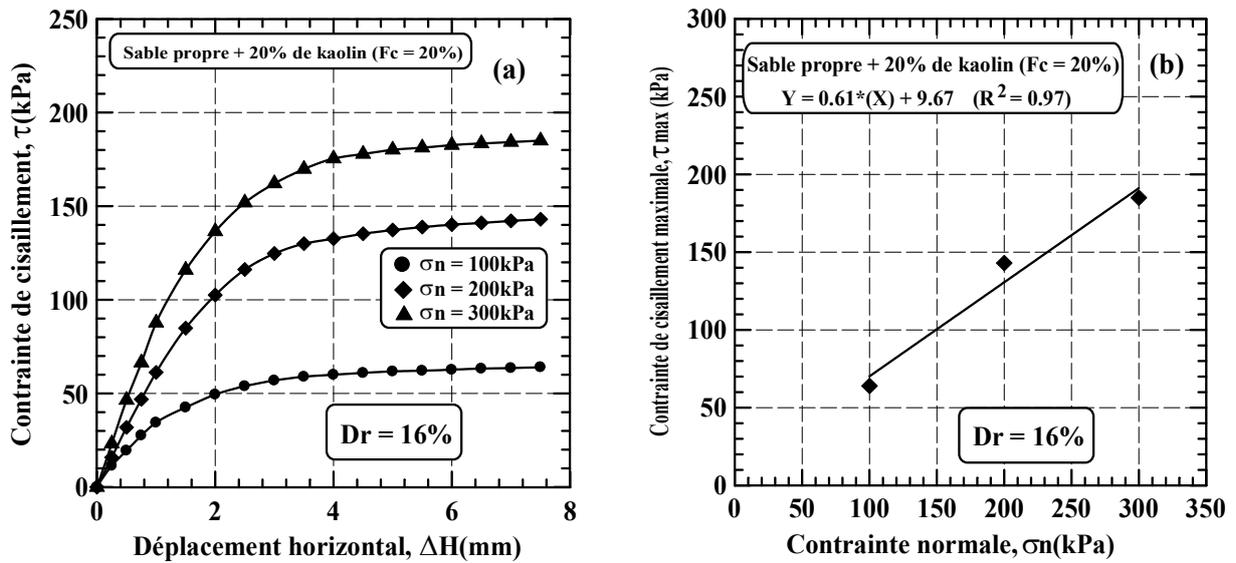


Figure IV.5: Résultats des essais de cisaillement direct du mélange sable-kaolin ($F_c = 20\%$).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

IV.1.2. Effet de contrainte normale (Etat dense: $D_r = 90\%$)

La figure IV.6 présente les résultats des essais de cisaillement sur le sable propre de Chlef à l'état dense ($D_r = 90\%$), pour le sable propre (Figure IV.6a), on note que la résistance au cisaillement augmente d'une manière considérable avec l'augmentation de la contrainte normale (σ_n). La figure IV.6b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ, σ_n), on constate que cette ligne est droite qui passe par l'origine qui a pour équation: $\tau = \sigma_n \cdot \text{tg} \phi$.

Où:

τ : Contrainte de cisaillement maximale;

σ_n : Contrainte normale;

ϕ : L'angle de frottement interne.

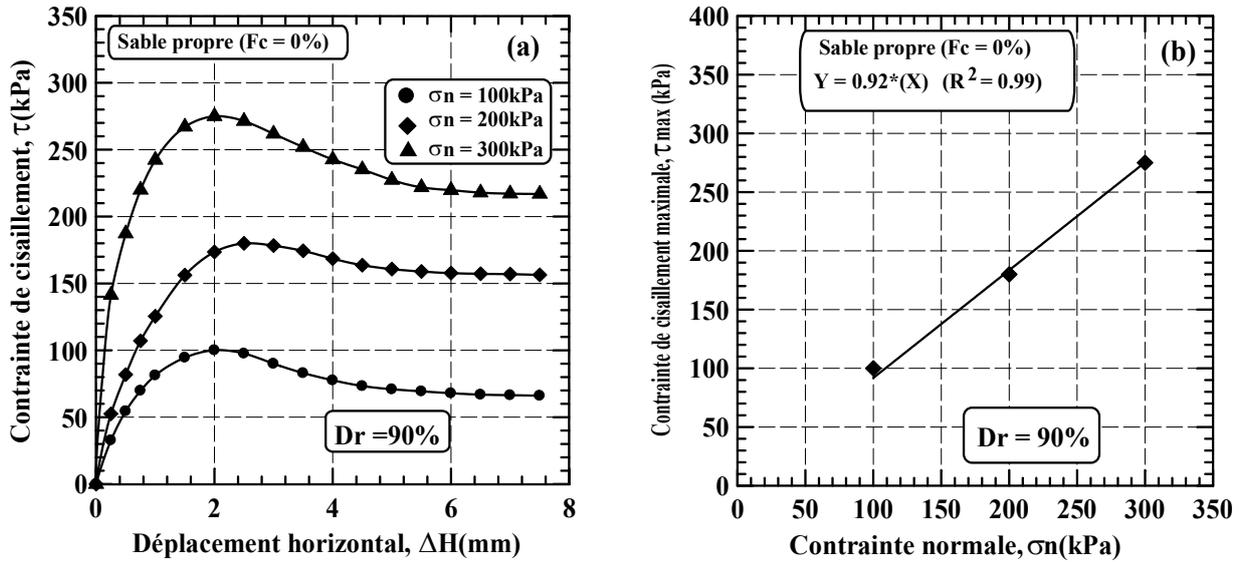


Figure IV.6: Résultats des essais de cisaillement direct du sable propre ($F_c = 0\%$).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

Les résultats du mélange de 5% de kaolin sont illustrés sur la figure IV.7a, on note que la résistance au cisaillement augmente d'une manière considérable avec l'augmentation de la contrainte normale (σ_n). On note aussi une diminution de la résistance au cisaillement au fur et à mesure que le pourcentage des fines augmente. La figure IV.7b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ , σ_n), 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;

σ_n : Contrainte normale;

ϕ : L'angle de frottement interne;

C: Cohésion (ordonnée à l'origine).

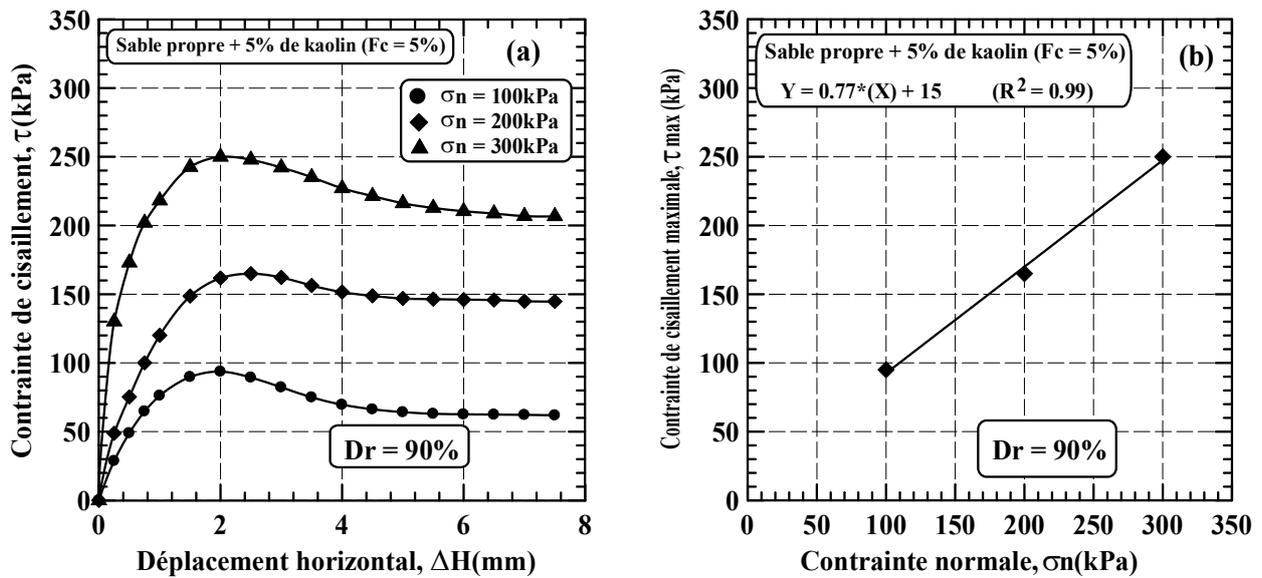


Figure IV.7: Résultats des essais de cisaillement direct du sable et kaolin (Fc = 5%).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

Pour le mélange de 10% de fraction des fines (Figure IV.8), on note une diminution de la résistance au cisaillement d'une manière significative avec l'augmentation de la fraction des fines (Figure IV.8a). La figure IV.8b montre le chemin de contraintes dans le plan (τ, σ_n) , on constate que cette ligne droite qui ne passe par l'origine qui a pour équation: $\tau = \sigma_n \cdot tg\phi + C$.

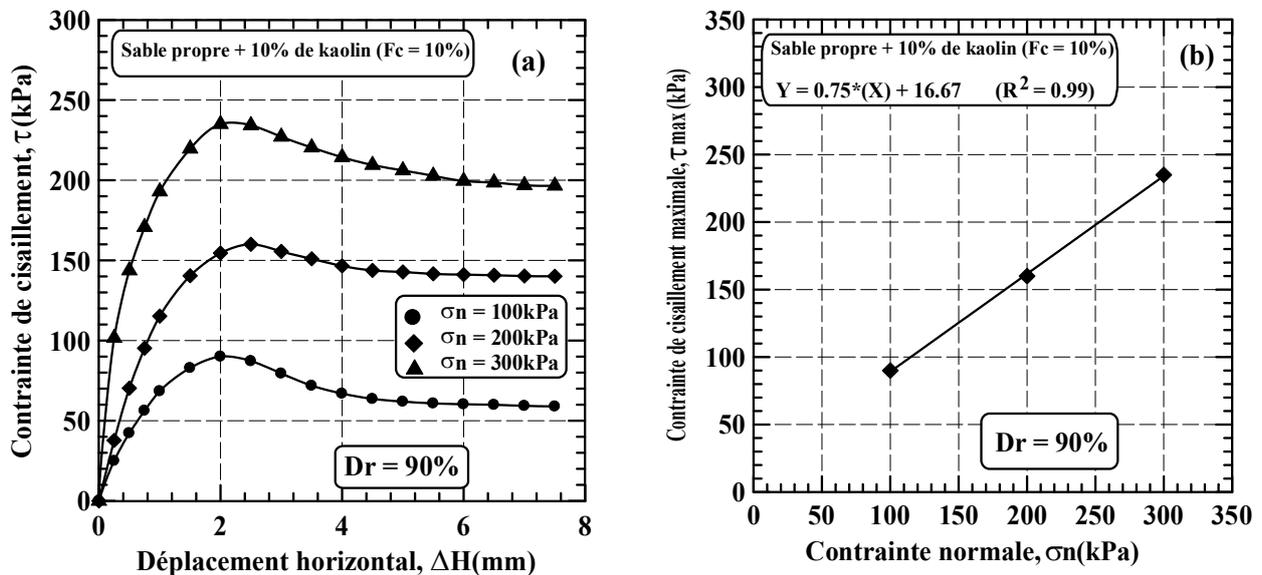


Figure IV.8: Résultats des essais de cisaillement direct du sable et kaolin (Fc = 10%).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

Pour les essais avec une teneur en kaolin de 15 et 20% (Figure IV.9 et IV.10). On note une amélioration de la résistance avec l'évolution de la contrainte normale, tandis qu'elle diminue avec l'augmentation de la teneur en argile.

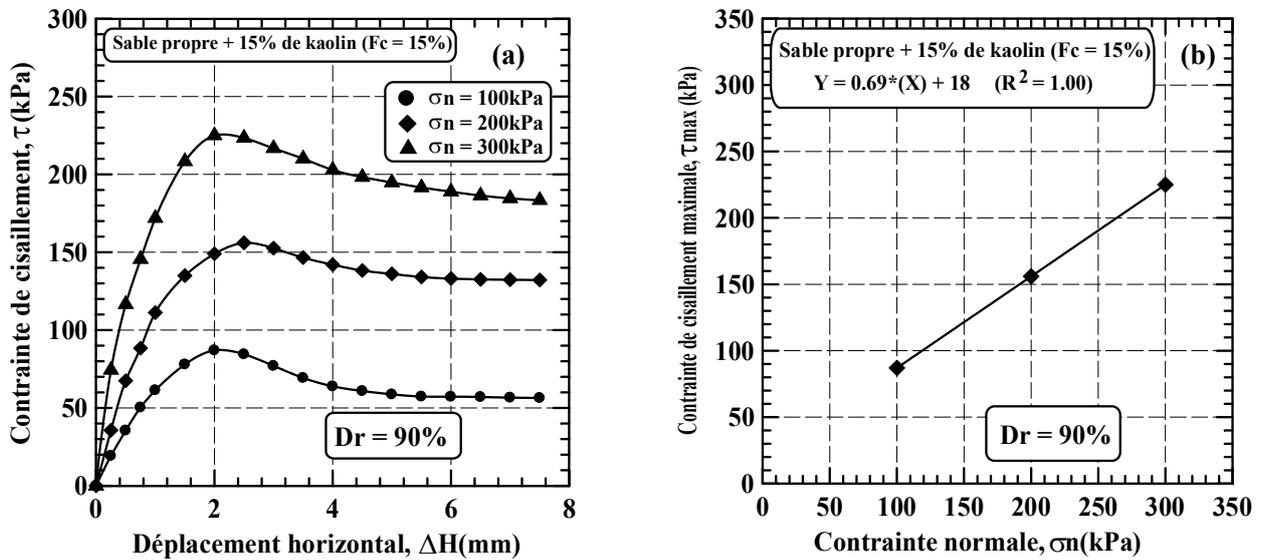


Figure IV.9: Résultats des essais de cisaillement direct du sable et kaolin ($F_c = 15\%$).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

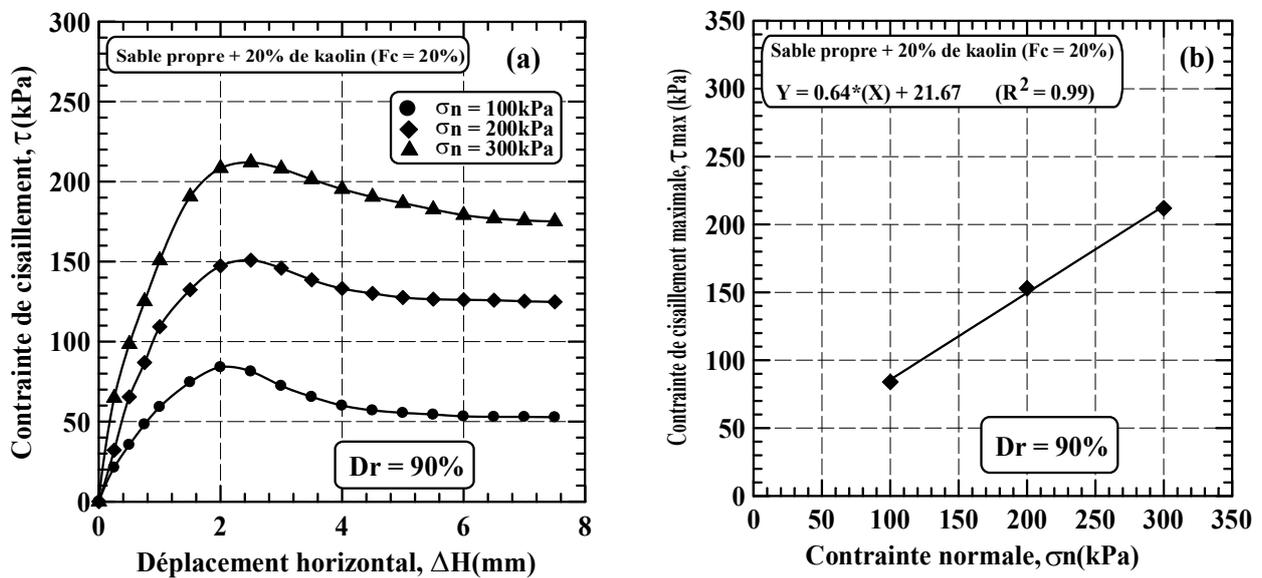


Figure IV.10: Résultats des essais de cisaillement direct du sable et kaolin ($F_c = 20\%$).

(a) Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal,

(b) Contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale ($\sigma_n = 100, 200$ et 300 kPa).

IV.2. Influence de la fraction des fines (F_c)

IV.2.1. Résultats des essais de cisaillement à l'état lâche ($D_r = 16\%$)

Les figures IV.11a, IV.11b et IV.11c, on constate que la résistance au cisaillement diminue avec l'augmentation de la fraction des fines pour les trois contraintes normales de 100, 200 et 300 kPa.

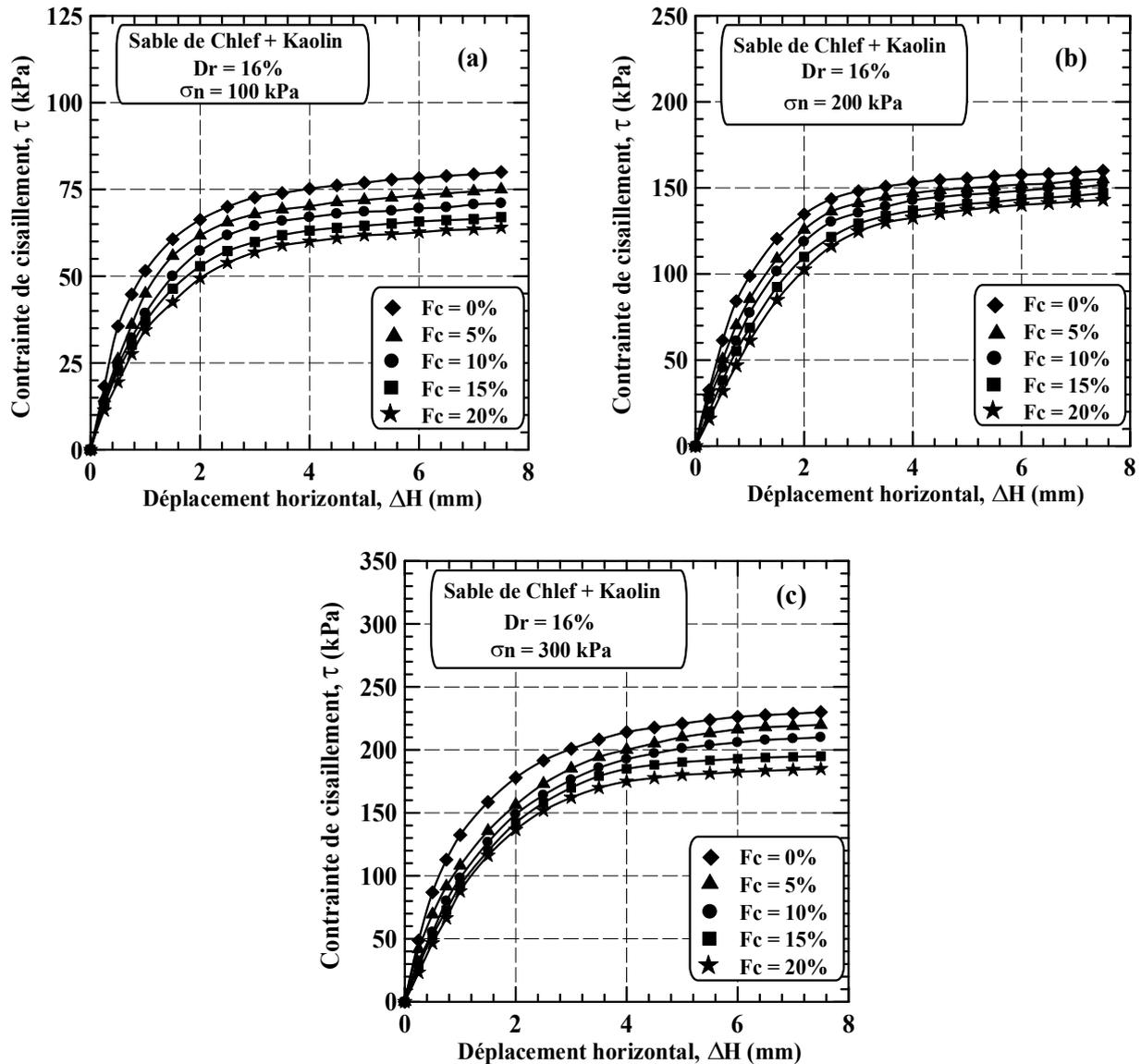


Figure IV.11: Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal ($D_r = 16\%$)

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

IV.2.2. Résultats des essais de cisaillement à l'état dense ($D_r = 90\%$)

Les figures IV.12a, IV.12b et IV.12c, on constate que la résistance au cisaillement diminue avec l'augmentation de la fraction des fines pour les trois contraintes normales de 100, 200 et 300 kPa.

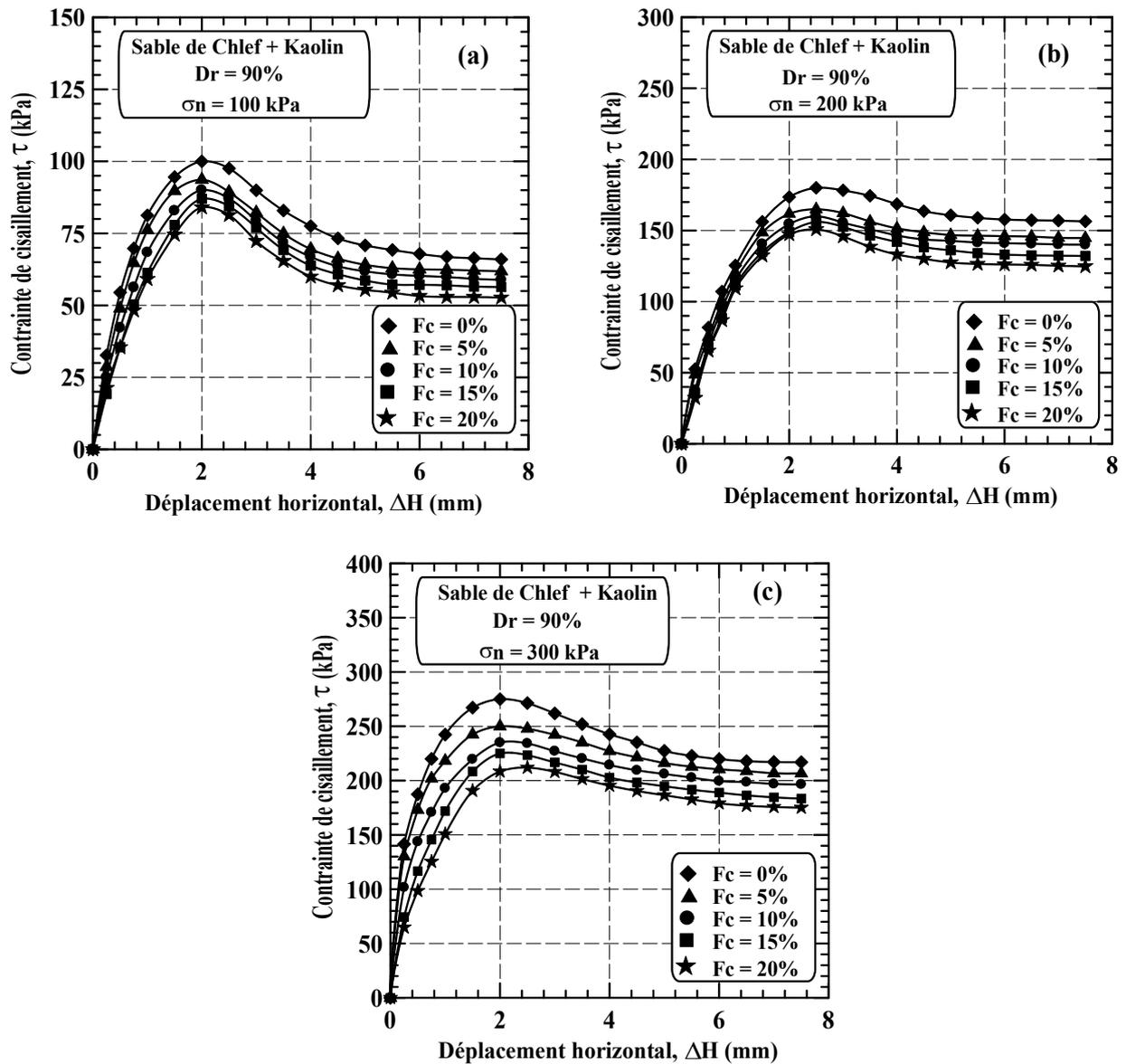


Figure IV.12: Contrainte de cisaillement en fonction du déplacement horizontal ($D_r = 90\%$)

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

La figure IV.13 et IV.14 illustrent l'évolution de la contrainte de cisaillement en fonction de la contrainte normale. On note que la contrainte de cisaillement du mélange sable-kaolin augmente d'une manière linéaire avec l'augmentation de la contrainte normale, et diminue avec l'augmentation de la fraction du kaolin.

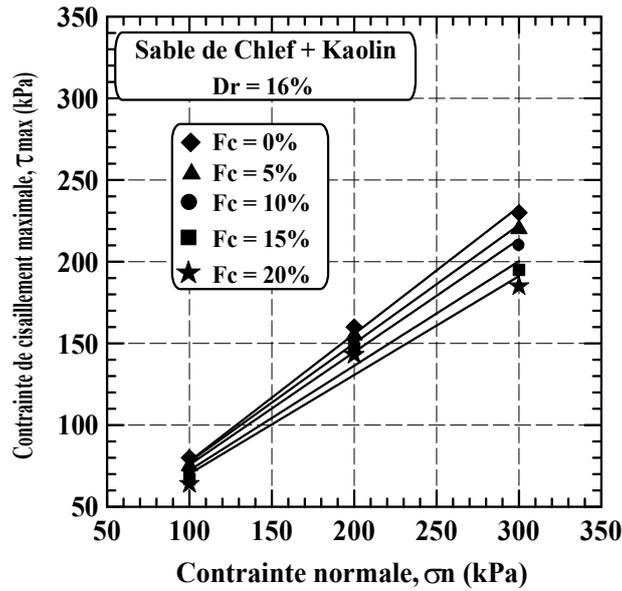


Figure IV.13: Evolution de la résistance au cisaillement en fonction de la contrainte normale ($D_r = 16\%$)

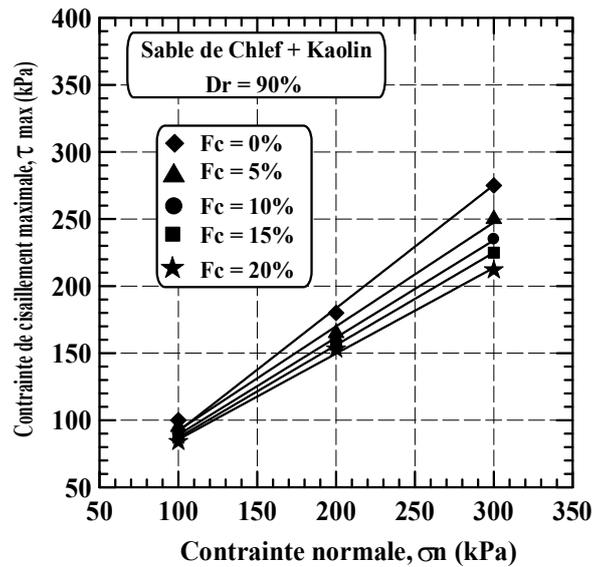


Figure IV.14: Evolution de la contrainte tangentielle (τ_{max}) en fonction de la contrainte normale ($D_r = 90\%$)

IV.3. Influence de la densité relative sur résistance au cisaillement

La figure IV.15 illustre l'évolution de la contrainte tangentielle maximale (τ_{max}) en fonction de la contrainte normale (σ_n) pour les échantillons avec une teneur en kaolin ($F_c = 0, 5, 10, 15$ et 20%) pour les deux densités relatives ($D_r = 16\%$ et 90%). On constate que la résistance augmente en fonction de la contrainte normale initiale, on note aussi une nette influence de la densité relative sur la résistance de cisaillement, la résistance de cisaillement maximale de la densité forte ($D_r = 90\%$) est importante à celle de la densité lâche ($D_r = 16\%$).

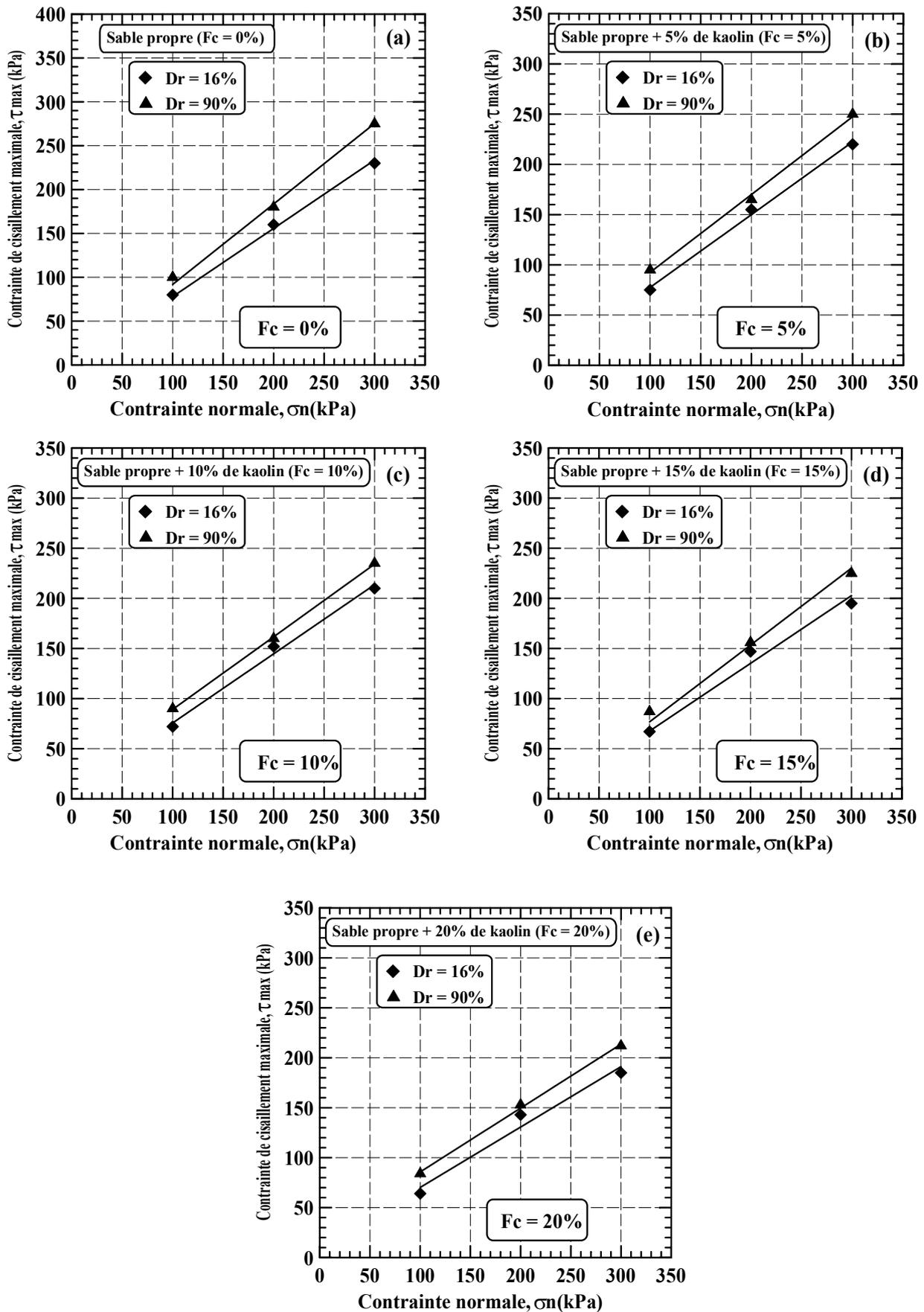


Figure IV.15: Evolution de la contrainte tangentielle (τ_{max}) en fonction de la contrainte normale ($D_r = 16\%$ et 90% , $F_c = 0, 5, 10, 15$ et 20%).

IV.4. Effet de l'ajout des fines (Kaolin) sur la résistance au cisaillement

La figure IV.16 représente l'évolution de la résistance au cisaillement du mélange sable-kaolin en fonction de la fraction des fines (F_c) pour les trois contraintes normales initiales appliquées de 100, 200 et 300 kPa. On note que la résistance augmente avec l'augmentation de la contrainte pour les trois contraintes normales appliquées. Par contre, la résistance au cisaillement diminue avec l'augmentation de la fraction des fines (F_c) ou du kaolin de 0% à 20% pour les deux états de densité à savoir l'état lâche ($D_r = 16\%$) (Figure IV.16a) et l'état dense ($D_r = 90\%$) (Figure IV.16b).

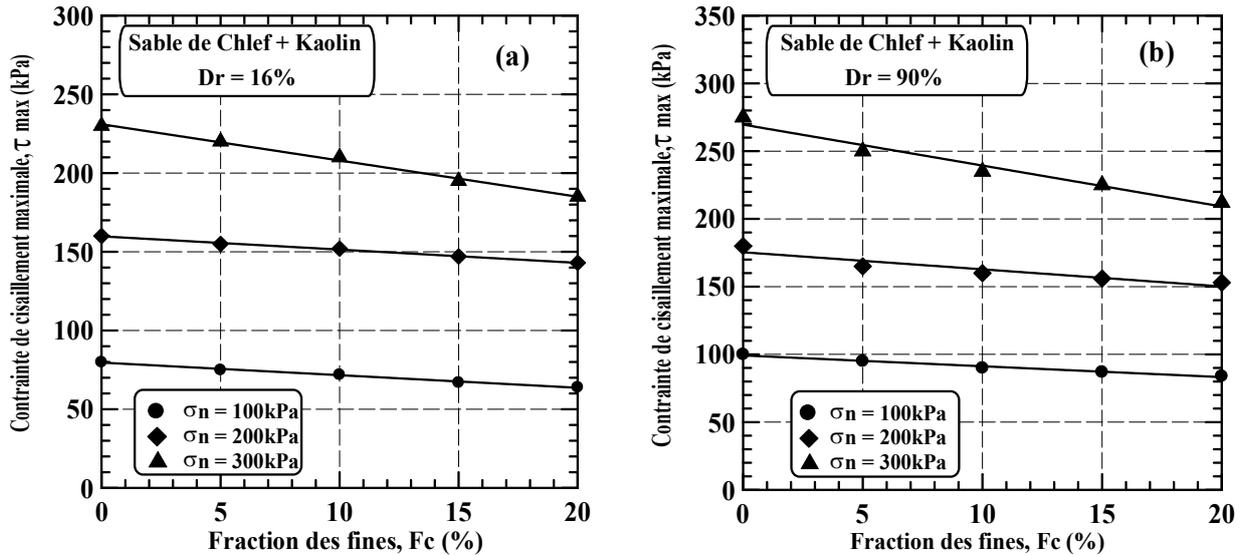


Figure IV.16: Effet de la fraction des fines (Kaolin) sur la résistance au cisaillement.

(a) $D_r = 16\%$, (b) $D_r = 90\%$,

IV.5. Effet du kaolin sur la cohésion (C)

La figure IV.17 présente l'évolution de la cohésion (C) de mélange sable d'Oued Chlef en fonction de la fraction des différentes fines argileuses (Kaolin) pour les deux densités relatives ($D_r = 16\%$ et 90%). On constate que la cohésion augmente d'une manière significative avec l'augmentation du pourcentage du kaolin pour les deux densités relatives. On note que cette cohésion est plus importante pour la densité forte de 90% que la densité lâche de 16% .

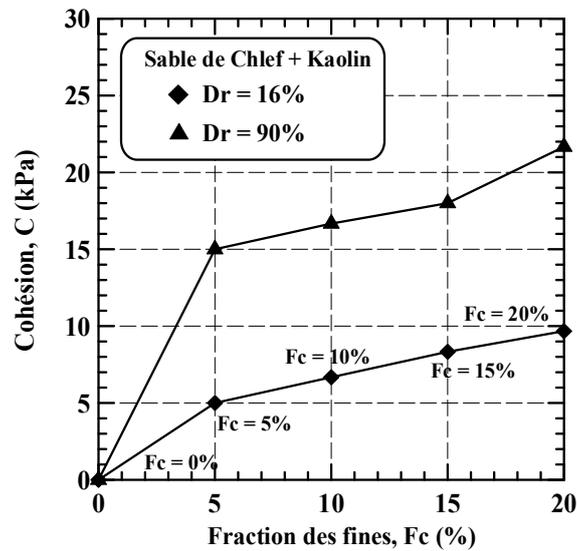


Figure IV.17: Evolution de la cohésion (C) en fonction de la fraction des fines (F_c)

IV.6. Effet du kaolin sur l'angle de frottement (ϕ)

La figure IV.18 illustre l'évolution de l'angle de frottement interne (ϕ) en fonction de la fraction de kaolin pour les deux densités relatives ($D_r = 16\%$ et 90%). On remarque que l'angle de frottement diminue avec l'augmentation de la fraction du kaolin pour les deux cas de densité relative. On note aussi que cet angle est plus important pour la densité forte de 90% que la densité lâche de 16% .

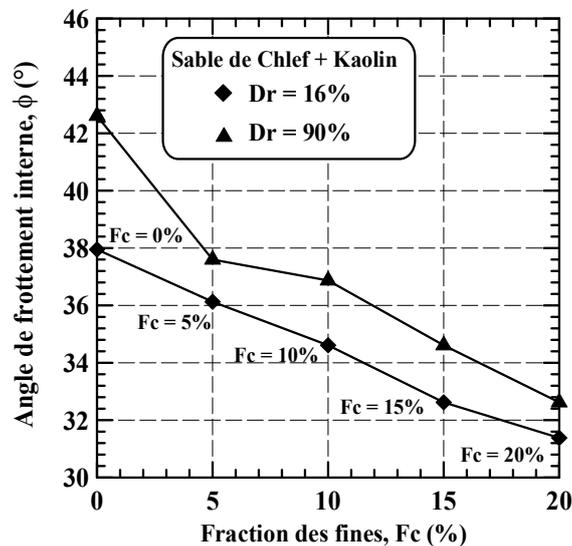


Figure IV.18: Evolution de l'angle de frottement interne (ϕ) en fonction de la fraction des fines (F_c)

IV.7. Conclusion

Ce chapitre présente une série d'essais de cisaillement à la boîte de Casagrande avec mélange de sable-kaolin pour évaluer les performances des fines dans l'amélioration de la résistance au cisaillement, et cela à partir de la variation de la teneur en fines du kaolin, la contrainte normale et

la densité relative. Les résultats trouvés montrent que la résistance au cisaillement diminue avec l'augmentation de la teneur en fines pour les trois contraintes normales appliquées. L'augmentation de la densité relative influe d'une manière significative sur la résistance au cisaillement. L'angle de frottement interne mobilisé diminue avec l'augmentation des fines par contre la cohésion augmente d'une manière significative avec l'augmentation du pourcentage des fines.