

Rapport d'activités

Viet Anh QUACH

16 juin 2025

Table des matières

1	Introduction de la thèse	2
2	Étude bibliographique	4
2.1	MPM	4
2.2	DEM	4
2.3	Couplage MPMxDEM	4
2.4	Compétences soutenues	4
3	L'étude pratique	5
3.1	Simulation MPM	5
3.1.1	Étude sur le cas statique - Déformation d'une poutre console	5
3.1.2	Étude sur le cas dynamique	5
3.2	Simulation DEM : Compression triaxiale	5
3.2.1	Le processus et les paramètres	5
3.2.2	Les caractéristiques mécaniques générales du sol	5
3.2.3	Recherche sur l'impact dynamique	7
3.3	Couplage...	7
3.3.1	How to add Tables	7
3.3.2	How to add Lists	7
4	Conclusion	8
4.1	Comparaison des équations utilisées	8
4.2	Rhéologie $\mu(I)$ résiduel	8
4.2.1	Première méthode	8
4.2.2	Deuxième méthode	12

Chapitre 1

Introduction de la thèse

À cause du changement climatique, les risques naturels concernant l'écoulement gravitaire sur les zones montagneuses sont déclenchés de plus en plus fréquent à notre époque. Récemment, Le village de Blatten, dans les Alpes suisses est rayé de la carte sous l'effet de L'éboulement du glacier le 29 mai 2025. Malheureusement, la caractéristique mécanique de ces écoulements gravitaires, reste mal comprise. Donc, mon projet de thèse, " Homogénéisation numérique à double échelle pour la modélisation demouvements gravitaires liés aux changements climatiques", se porte sur le développement d'une modélisation mécanique numérique pour l'écoulement de matériaux complexes. La méthodologie numérique pour réaliser ce simulation est basé sur La modélisation en intégrer 2 échelle simultané, qui consiste 2 processus hiérarchiques de each other. Pour cette homogénéisation, LA Méthode lagrangienne de Points Matériels (MPM) est choisie à gérer la macroscopie, handle la mobilité du l'écoulement. meanwhile la microscopie, assuré par Méthode des éléments discrets (DEM) jou la role de Loi Constitutive Homogénéisée Numériquement (LCHN). Effectivement, La couplage entre 2 méthodes différents has been used prevelantly est efficacely, sans peut pas ignorer comme FEm x DEM [2]. Mais pour résoudre ce problème du écoulement granulaire, les 2 adopté méthodes bright shinely et apporte des avantages significatifs. For instance, comme indiqué dans [figure 2.1](#), la MPM prends en charge de la computation du gradient de déformation, envoyant au DEM à calculer la tensor du contrainte selon la formulation de LOVE,WEBER et la cycle continue. Grace à l'accès du DEM, la résolution intergranulaire important du petit échelle est accessible et manipulé liberté afin de s'adapter au complexité du matériaux modelisé. One peut changer la taille, shape, rigidité, ou bien quelle indice qui s'adapté au matériau d'étude le plus précis. En meme temps, MPM réduit la complexité du prix chère du calcul en le considérant comme un objet total mais sans facer à la subis de grand déformation qui distorte la maillage comme FEM.

Au laboratoire 3SR, deux programmes de calcul en C++ pour la MPM et la DEM s'appellent respectivement "MPMbox" et "3D_sandstone" et leur intégration est bien implémentée [4]. La modélisation est aussi réalisée et prouvée précise, mais il reste des verrous à surmonter :

- Équivalence des inerties aux deux échelles : Indeed, MPM qui a été développé pour handle des problèmes contact des objets [?], porte bien l'effet dynamique. En revanche, DEM censure les réponses mécaniques dynamiques en attendant une stabilisation statique systématique [3]. Leur couplage fait émerger des Diverses nouvelles interrogations théoriques sur l'équivalence des inerties aux deux échelles together en meme temps, when it comes to com-

putational calcul for a granular flow which is highly dynamic.

- Conditions aux limites et initiales : spécifiquement, dans la simulation DEM, la partie de condition aux limites périodiques n'est pas réalisée de manière pleinement satisfaisante, ce qui pose des pics anormaux de contrainte.

Le détail est bien illustré dans les sections suivante

Chapitre 2

Étude bibliographique

2.1 MPM

- Thèse : Application de la Méthode des Points Matériels aux phénomènes gravitaires - Fabio GRACIA DANIES
- A multi-scale, MPMxDEM, numerical modelling approach for geotechnical structures under severe loading - Sacha Duverger
- Material Point Method – Vinh Phu NGUYEN, Alban de Vaucorbeil, Stéphane Bordas

2.2 DEM

- [1]
- Thèse : Modélisation multi-échelle des matériaux granulaires frottant-cohésifs : Trung Kien NGUYEN

2.3 Couplage MPMxDEM

- Thèse : Application de la Méthode des Points Matériels aux phénomènes gravitaires - Fabio GRACIA DANIES
- [4]

La corrélation entre les deux échelles est décrite dans la [figure 2.1](#).

2.4 Compétences soutenues

- C++
- Gnuplot
- LaTeX

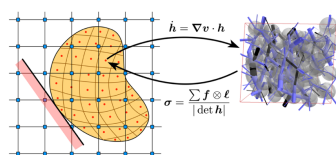


FIGURE 2.1 – Principe d’une approche à deux échelles hiérarchiques.[5]

Chapitre 3

L'étude pratique

3.1 Simulation MPM

3.1.1 Étude sur le cas statique - Déformation d'une poutre console

3.1.1.1 PIC

3.1.1.2 coefficient Poisson

3.1.1.3 Longueur encastrée

3.1.1.4 Discrétisation du maillage

3.1.1.5 Comparaison entre calcul théorique et numérique

3.1.2 Étude sur le cas dynamique

3.2 Simulation DEM : Compression triaxiale

3.2.1 Le processus et les paramètres

3.2.2 Les caractéristiques mécaniques générales du sol

3.2.2.1 La granulométrie et la fraction solide

3.2.2.2 La granulométrie et la fraction solide

La fraction solide caractérise la dispersion des particules solide dans un volume.

$$\Phi = \frac{V_s}{V} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{4}{3}\pi R_i^3}{\det(h)}$$

La [figure 3.2](#) montre que leur valeur maximale Φ_{\max} pour une dispersion désordonnée de sphères en contact dense est approximée à 0.64 [1].

3.2.2.3 Les caractéristiques des échantillons denses

3.2.2.4 Les caractéristiques des échantillons lâches

3.2.2.5 L'état critique

3.2.2.5.1 La force entre les grains

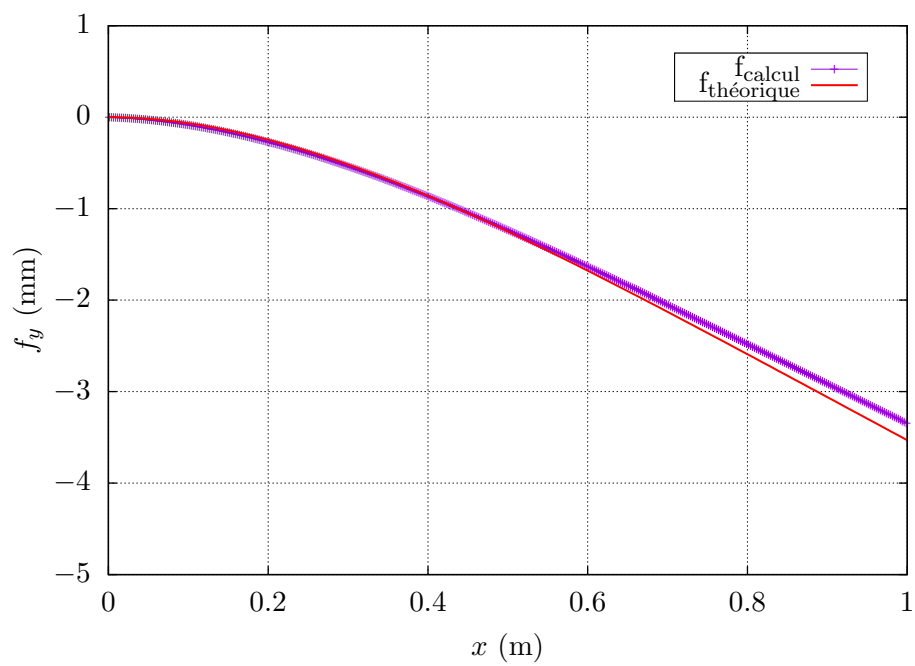


FIGURE 3.1 – Déplacement du poutre en Y-axis

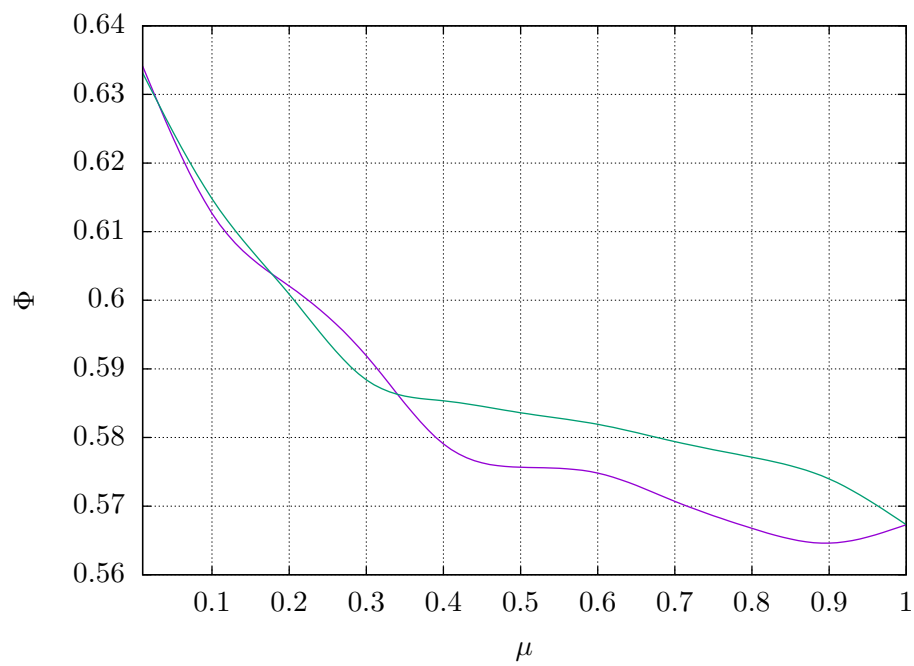


FIGURE 3.2 – La fraction solide

Item	Quantity
Widgets	42
Gadgets	13

TABLE 3.1 – An example table.

3.2.2.5.2 L’indice de vide

3.2.2.5.3 Le nombre de coordination

3.2.2.6 Cercle de Mohr

3.2.2.7 Histoire du chargement

3.2.3 Recherche sur l’impact dynamique

3.2.3.1 Augmentation du nombre d’inertie (Montée la vitesse imposée)

3.3 Couplage...

3.3.1 How to add Tables

Use the table and tabular environments for basic tables — see Table 3.1, for example. For more information, please see this help article on [tables](#).

3.3.2 How to add Lists

You can make lists with automatic numbering ...

1. Like this,
2. and like this.

...or bullet points ...

- Like this,
- and like this.

Chapitre 4

Conclusion

Vitesse imposée est élevée → Contrainte de confinement et l'indice de vide sont instables

J'ai choisi $\varepsilon_{yy} = 70\%$ pour réaliser des pré-études sur la rhéologie $\mu(I)$ (considéré comme l'état critique).

$$\varphi = 28.77^\circ \div 39.53^\circ$$

$$\varphi = 16.56^\circ \div 22.78^\circ$$

4.1 Comparaison des équations utilisées

Expérimental :

$$I = \frac{\dot{\varepsilon} \cdot \bar{a}}{\sqrt{\sigma_{33}/\rho_s}}; \quad \mu = \sin(\varphi)$$

Simulation :

$$I = \dot{\varepsilon} \times \sqrt{\frac{m}{\sigma_{33} \times \bar{a}}} = \dot{\varepsilon} \times \sqrt{\frac{\frac{4}{3} \pi \frac{\bar{a}^3}{8} \times \rho_s}{\sigma_{33} \times \bar{a}}} = \dot{\varepsilon} \times \sqrt{\frac{\pi}{6}} \sqrt{\frac{\bar{a}^2 \rho_s}{\sigma_{33}}} = \boxed{\sqrt{\frac{\pi}{6}}} \times \frac{\dot{\varepsilon} \cdot \bar{a}}{\sqrt{\sigma_{33}/\rho_s}}$$
$$\mu = \tan(\varphi)$$

4.2 Rhéologie $\mu(I)$ résiduel

4.2.1 Première méthode

La première méthode utilise les équations suivantes :

$$\mu(I) = \mu_s + \frac{\mu_2 - \mu_s}{1 + \frac{I_0}{I}}$$

$$\Phi(I) = \Phi^{\max} - bI$$

Les coefficients μ_s , μ_2 , I_0 , Φ_{\max} , b sont déterminés empiriquement.

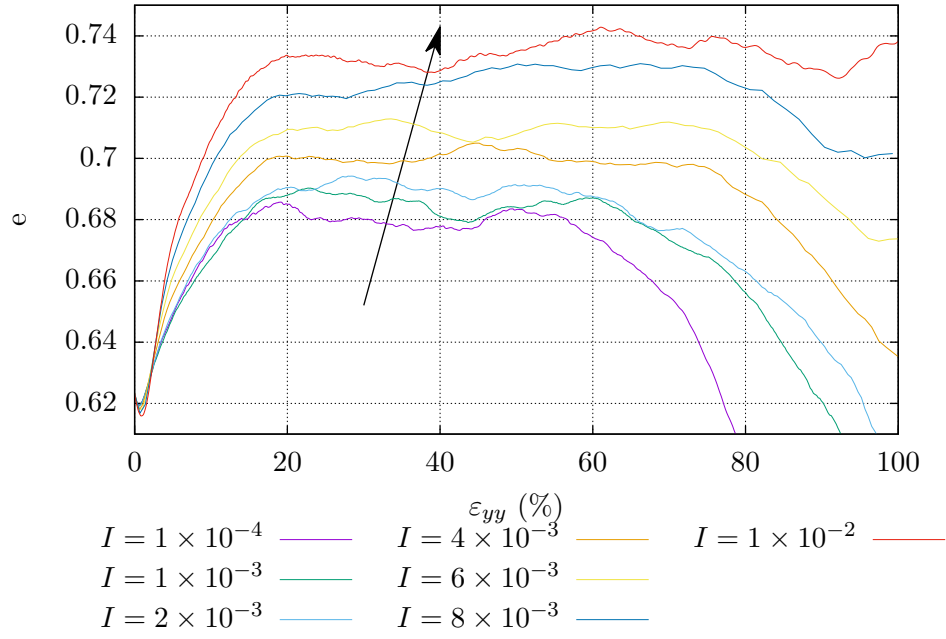


FIGURE 4.1 – L'indice de vide

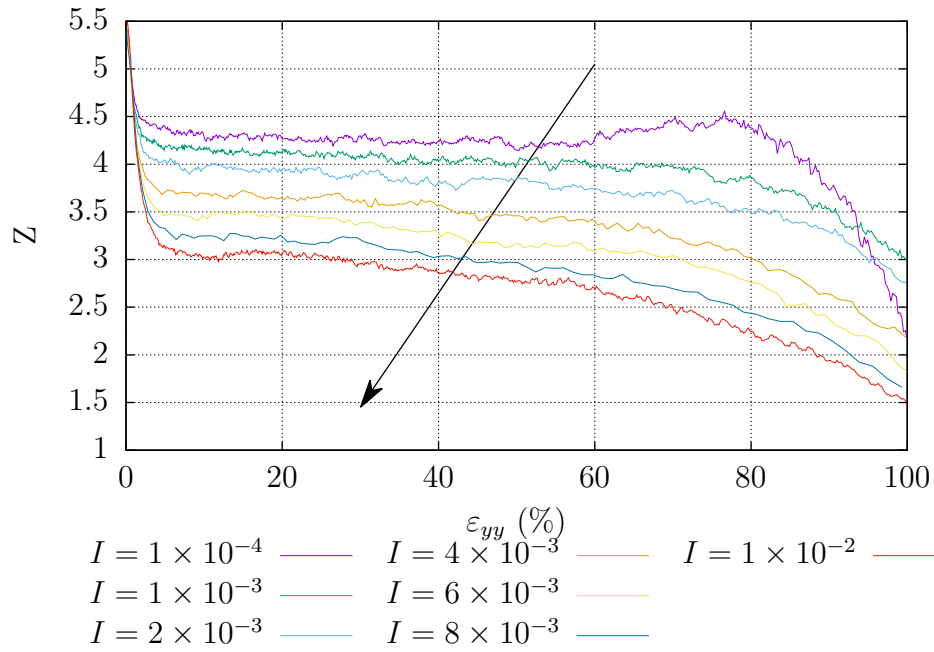


FIGURE 4.2 – Nombre de coordination

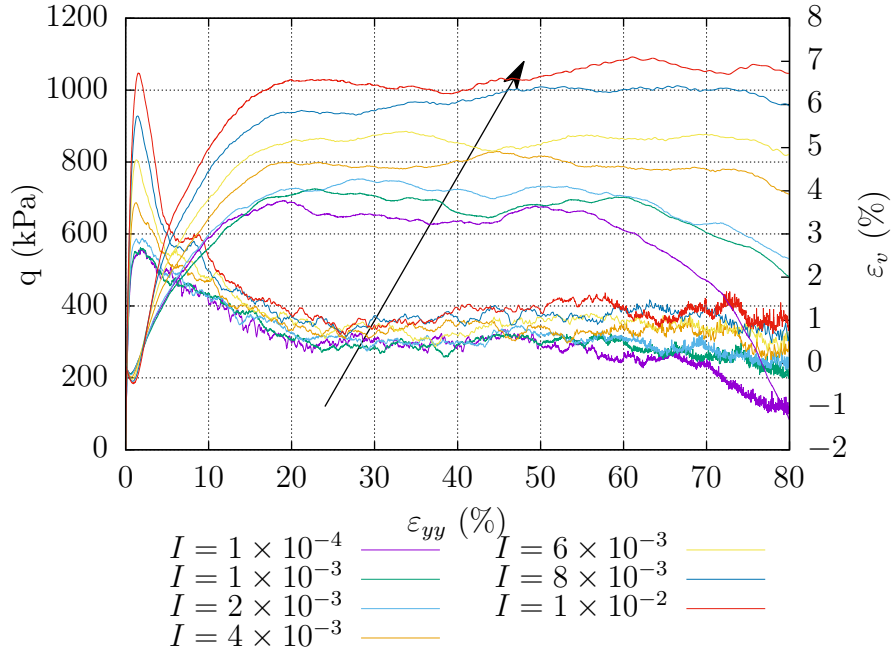


FIGURE 4.3 – Contrainte-Déformation

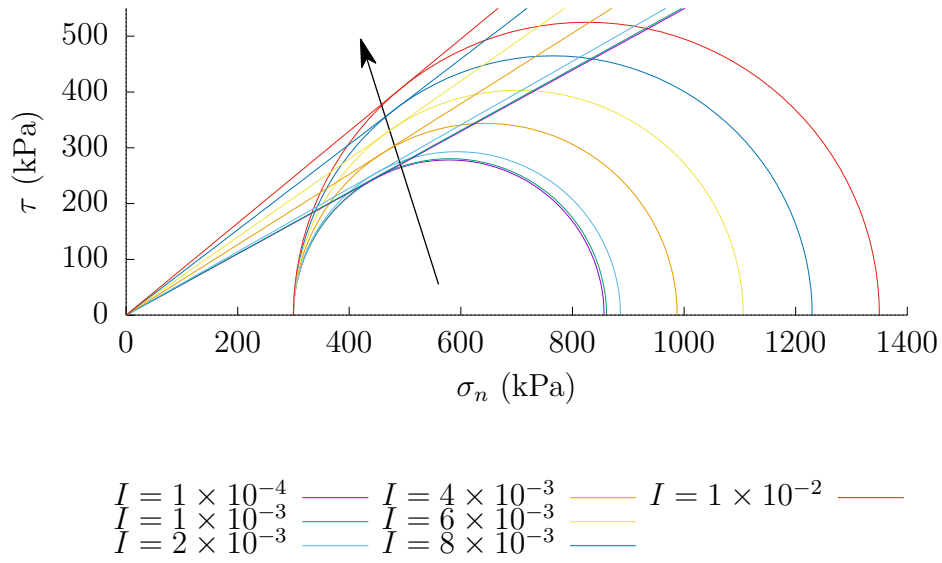


FIGURE 4.4 – Cercle transitoare (pic)

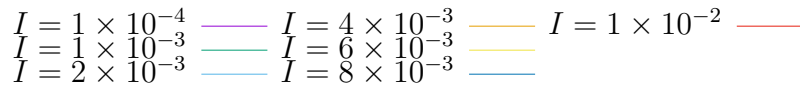
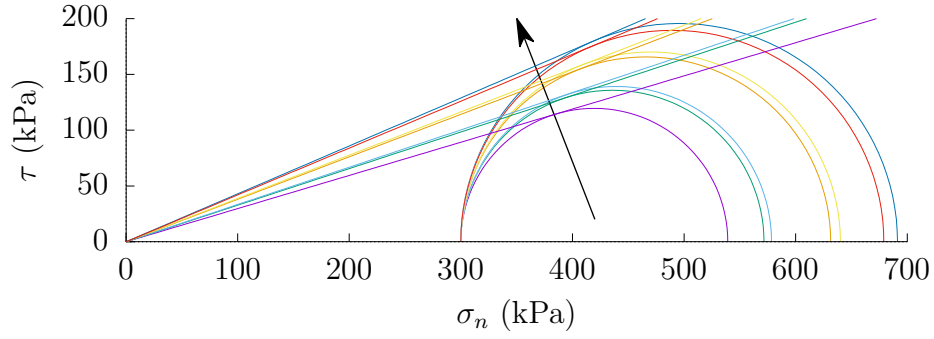


FIGURE 4.5 – Cercle résiduel ($\varepsilon_{yy} = 70\%$)

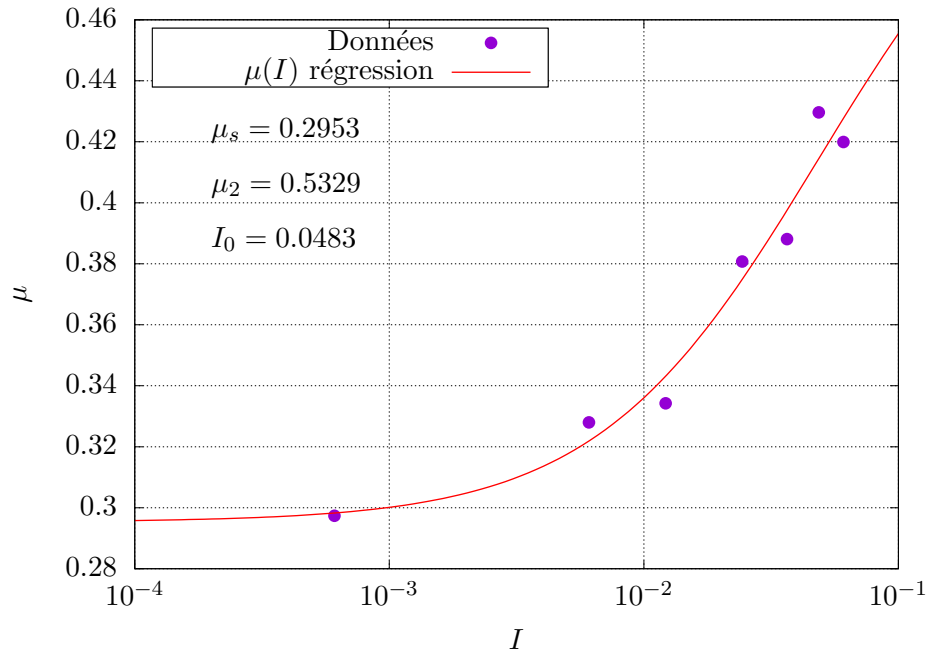


FIGURE 4.6 – $\mu(I)$ ($\varepsilon_{yy} = 70\%$)

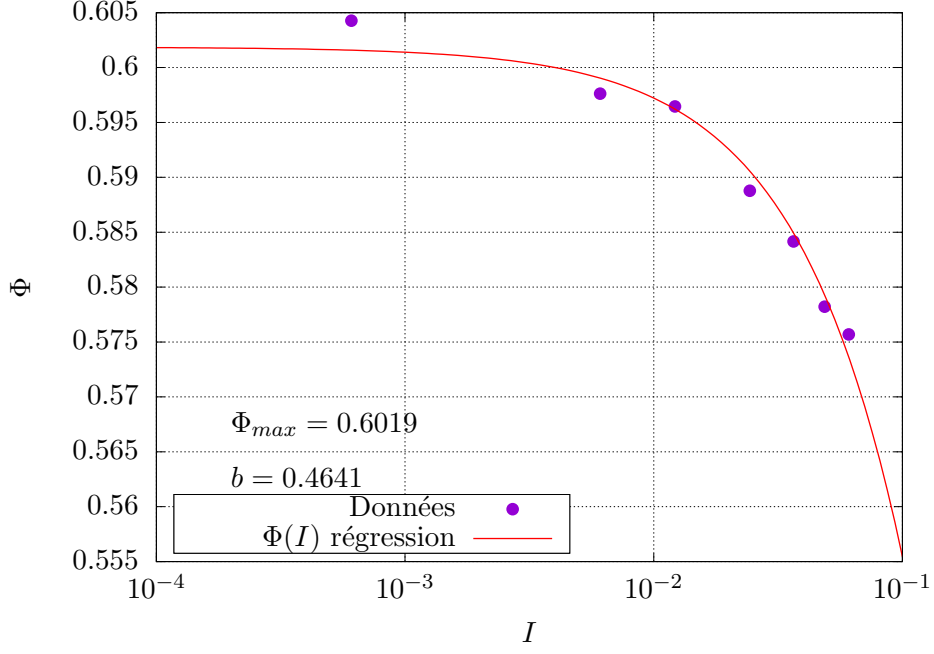


FIGURE 4.7 – $\Phi(I)$ ($\varepsilon_{yy} = 70\%$)

4.2.2 Deuxième méthode

La deuxième méthode, proposée dans l'article [Scaling laws for quasi-statically deforming granular soil at critical state \[2024\]](#) (Fei, Jianbo et al.), introduit un nombre d'inertie quasi-statique Q qui tient compte du degré de compaction Φ_0 :

$$Q = [\Phi_0 \ln(I) + \alpha]$$

où $\alpha = 30$.

$$\mu = \xi Q + C$$

Les coefficients ξ , C , Φ_0 sont déterminés empiriquement ($\xi \approx 0.06$ et $C \approx 0.2$).

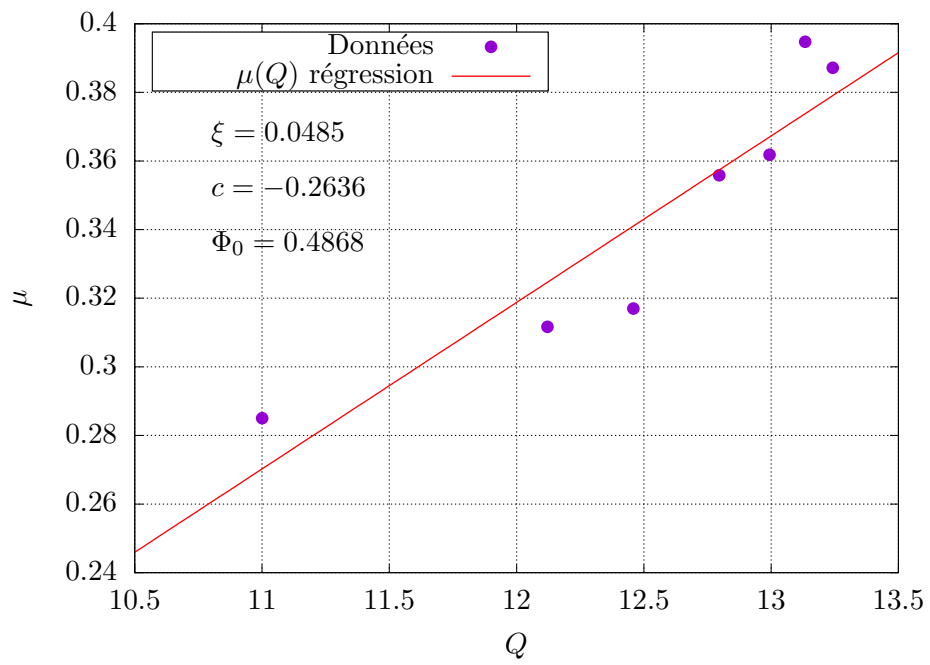


FIGURE 4.8 – $\mu(Q)$ avec $Q = f(\Phi_0, I)$

Bibliographie

- [1] Gaël Combe. DEM lecture. <https://cloud.univ-grenoble-alpes.fr/s/Lbdg6qWwXNqFZQo>, 2023. Diapositive.
- [2] Trung Kien Nguyen. *Modélisation multi-échelle des matériaux granulaires frottant-cohésifs*. PhD thesis, Université de Grenoble, 2013.
- [3] Trung Kien Nguyen, Gaël Combe, Denis Caillerie, and Jacques Desrues. Fem \times dem modelling of cohesive granular materials : numerical homogenisation and multi-scale simulations. *Acta Geophysica*, 62 :1109–1126, 2014.
- [4] V. Richefeu and G. Combe. MPM \times DEM programme. <https://github.com/richefeu/mpmxdem>, 2025.
- [5] V. Richefeu, G. Combe, and T.K. Nguyen. Projet de reserche, 2024.