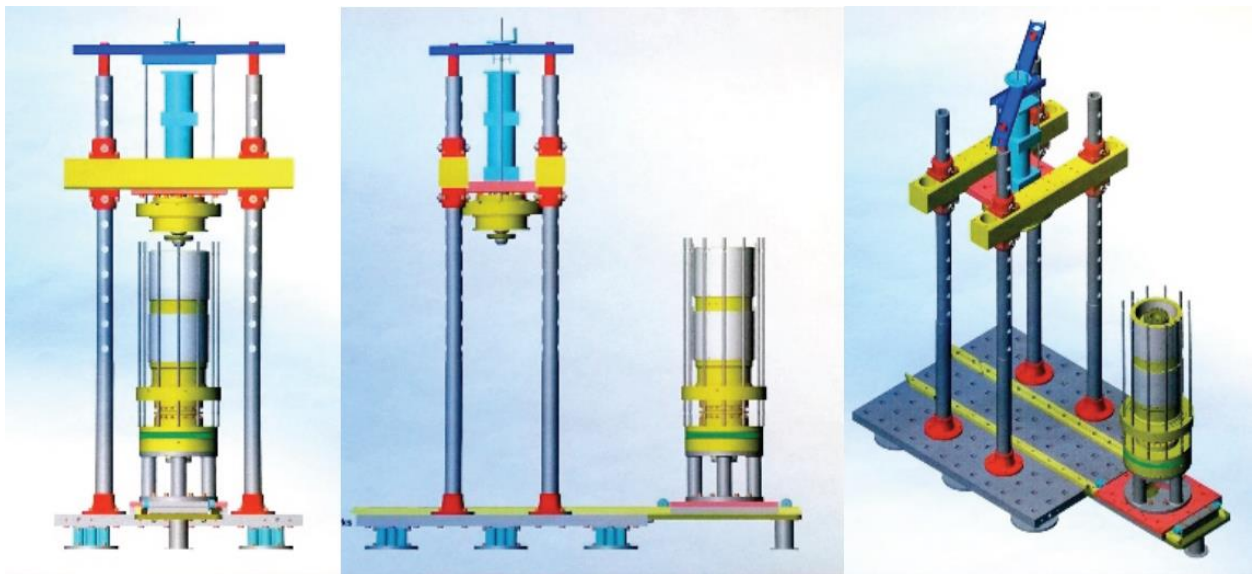


Synthèse des essais triaxiaux réalisés au laboratoire de l'Ecole Nationale des ponts et chaussées à Marne-la-Vallée, France

L'appareil triaxial utilisé permet d'étudier le comportement en cisaillement d'échantillon de grand taille (diamètre 30 cm et hauteur 60 cm) selon différentes conditions de chargement (chargement monotone ou cyclique, à contrainte ou déplacement contrôlé, pression de confinement jusqu'à 200 kPa).

Dispositif triaxial :



Eprouvette équipée de capteurs :

Specimen
dimensions:
 $h=600\text{mm}$
 $\Phi=300\text{mm}$

5 local
deformation
sensors
radial: R_1, R_2, R_3
vertical: V_1, V_2



Eprouvette dans l'appareil d'essai triaxial (pression de confinement < 100 kPa à gauche, > 100 kPa à droite) :



Essais triaxiaux cycliques à petites déformations (pour étude sismique)

Principe de l'essai :

- Préparation des matériaux selon le protocole défini par MISAPOR (usure des granulats dans un tambour pour simuler le transport)
- Compactage des matériaux à 1,3:1 en visant une densité de 230 kg/m³
- Phase de consolidation initiale de 20 000 cycles à différents couples de contraintes de confinement et déviatorique afin d'atteindre un état quasi-réversible du matériau
- Application de séries de 100 cycles à différents niveaux de petites déformations verticales maximales (10^{-5} à 10^{-2}) et enregistrement des contraintes verticales appliquées en fonction des déformations
- Calcul du module et de facteur d'amortissement à chaque niveau de déformation

9 essais ont été réalisés avec différents paramètres (confinement de 50 et 100kPa, contrainte déviatorique de 10 à 40 kPa) selon le programme détaillé en page suivante :

Les principaux résultats et conclusions obtenus sont présentés dans les pages qui suivent.

Les résultats obtenus montrent un comportement des granulats MISAPOR Standard Plus 10/50 similaire ou supérieur à ceux connus pour d'autres matériaux naturels sableux ou graveleux.

Programme des essais triaxiaux sismiques réalisés à l'ENPC de Marne-la-Vallée :

Name	Type	σ'_c (kPa)	ρ_d (kg/m ³)	Accommodation	Cyclic solicitation	Number of cycles
C1	Faisability test	50	212	-	q_{cyc}/q_{max} (%) = 5, 10, 20 and 40	400 per step
C2	Faisability test	50	212	-	q_{cyc}/q_{max} (%) = 5, 10, 20, 40 and 10	400 per step
C3	Feasability test	100	212		(1) 5, 10, 20, 40 and 60(*) (2) : 10, 20, 40, 60 and 80	(1) : 600 per step (2) : 100 per step
C4	Seismic	50	230	5000 cycles @ $q_{cyc}=10$ kPa 5000 cycles @ $q_{cyc}=20$ kPa 10000 cycles @ $q_{cyc}=40$ kPa	$\varepsilon_{cyc} = 10^{-5}, 5.10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}$	100 per step
C5	Seismic	50	230	20000 cycles @ $q_{cyc}=20$ kPa	$\varepsilon_{cyc} = 10^{-5}, 5.10^{-5}, 10^{-4}, 5.10^{-4}, 10^{-3}, 5.10^{-3}$	100 per step
C6	Seismic	100	230	20000 cycles @ $q_{cyc}=40$ kPa	$\varepsilon_{cyc} = 10^{-5}, 5.10^{-5}, 10^{-4}, 5.10^{-4}, 10^{-3}, 5.10^{-3}$	100 per step
C7	Seismic	50	230	20000 cycles @ $q_{cyc}=20$ kPa	$\varepsilon_{cyc} = 10^{-5}, 5.10^{-5}, 10^{-4}, 5.10^{-4}, 10^{-3}, 5.10^{-3}$	100 per step
C13	Seismic	100	230	20000 cycles @ $q_{cyc}=40$ kPa	$\varepsilon_{cyc} = 10^{-5}, 5.10^{-5}, 10^{-4}, 5.10^{-4}, 10^{-3}, 5.10^{-3}$	100 per step
C14	Seismic	100	230	20000 cycles @ $q_{cyc}=40$ kPa	$\varepsilon_{cyc} = 10^{-5}, 5.10^{-5}, 10^{-4}, 5.10^{-4}, 10^{-3}, 5.10^{-3}$	100 per step

Courbes contraintes – déformations aux différents niveaux de déformations maximales (10^{-5} à 10^{-2}) pour un confinement de 50 kPa :

Test C7 - Cyclic loading phase – Loops

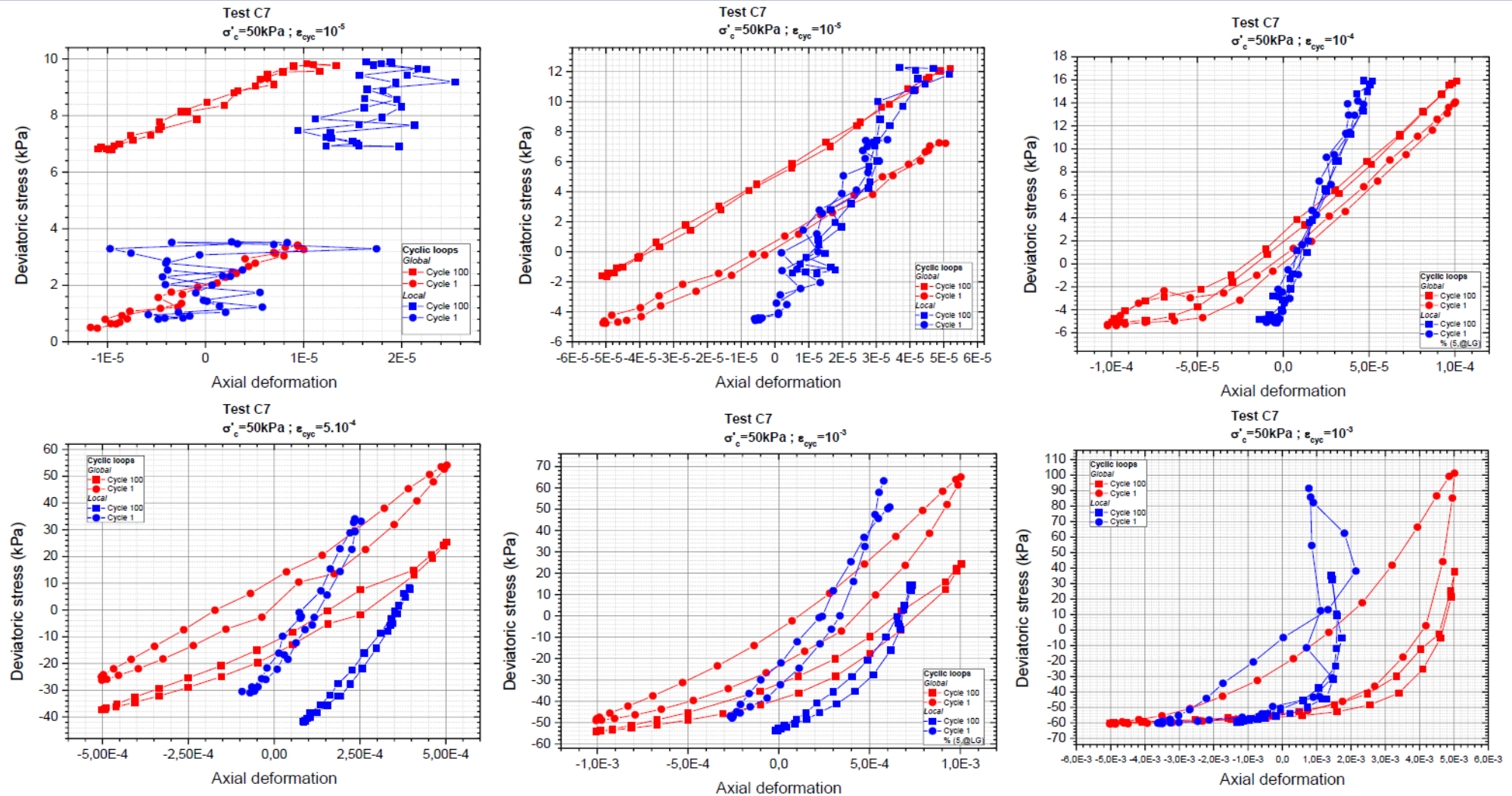


Diagramme Module – Niveau de déformation pour un confinement de 50 kPa et comparaison avec les résultats connus pour d'autres matériaux :

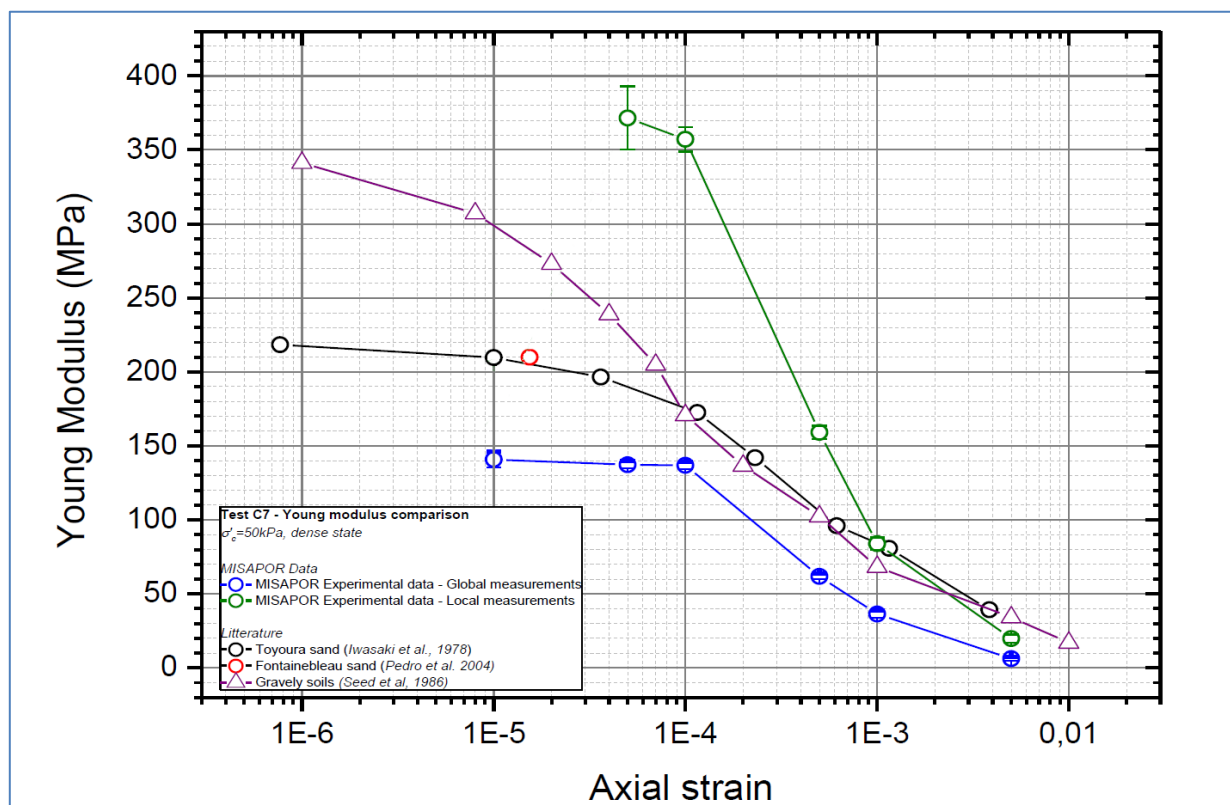
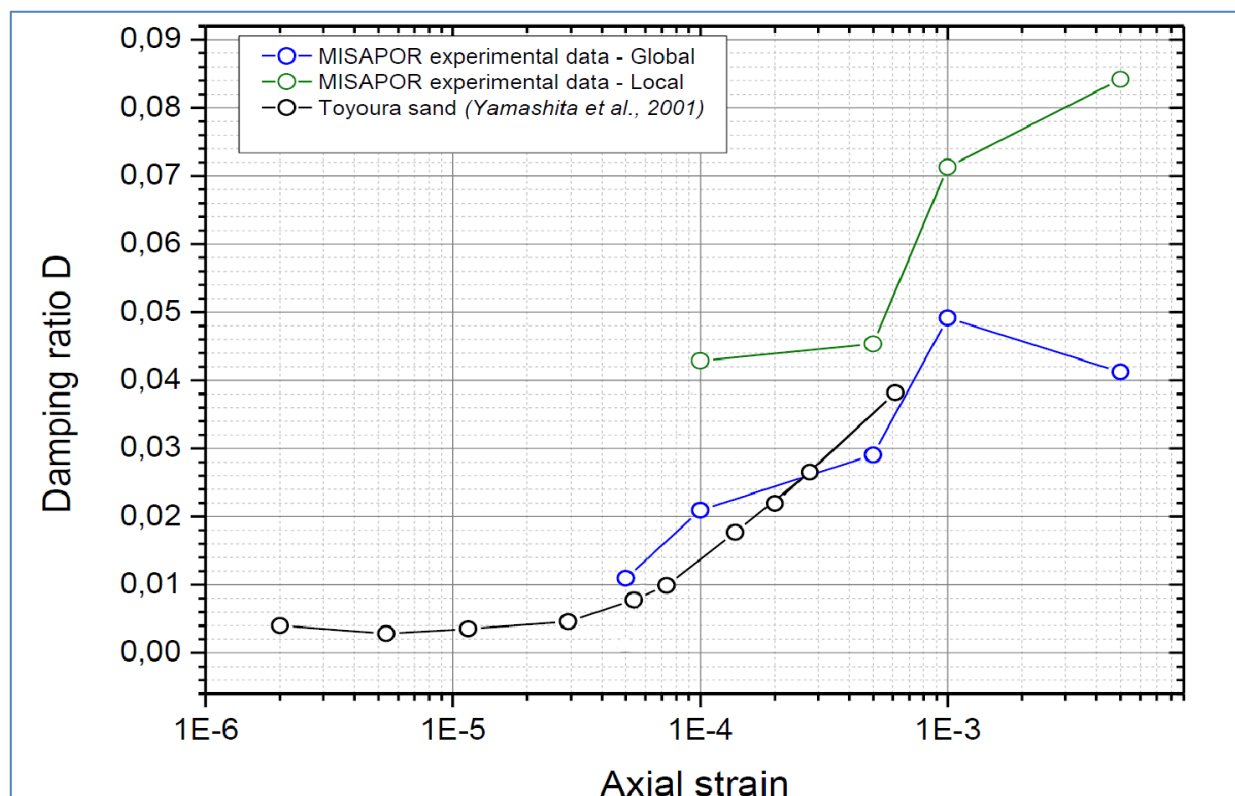
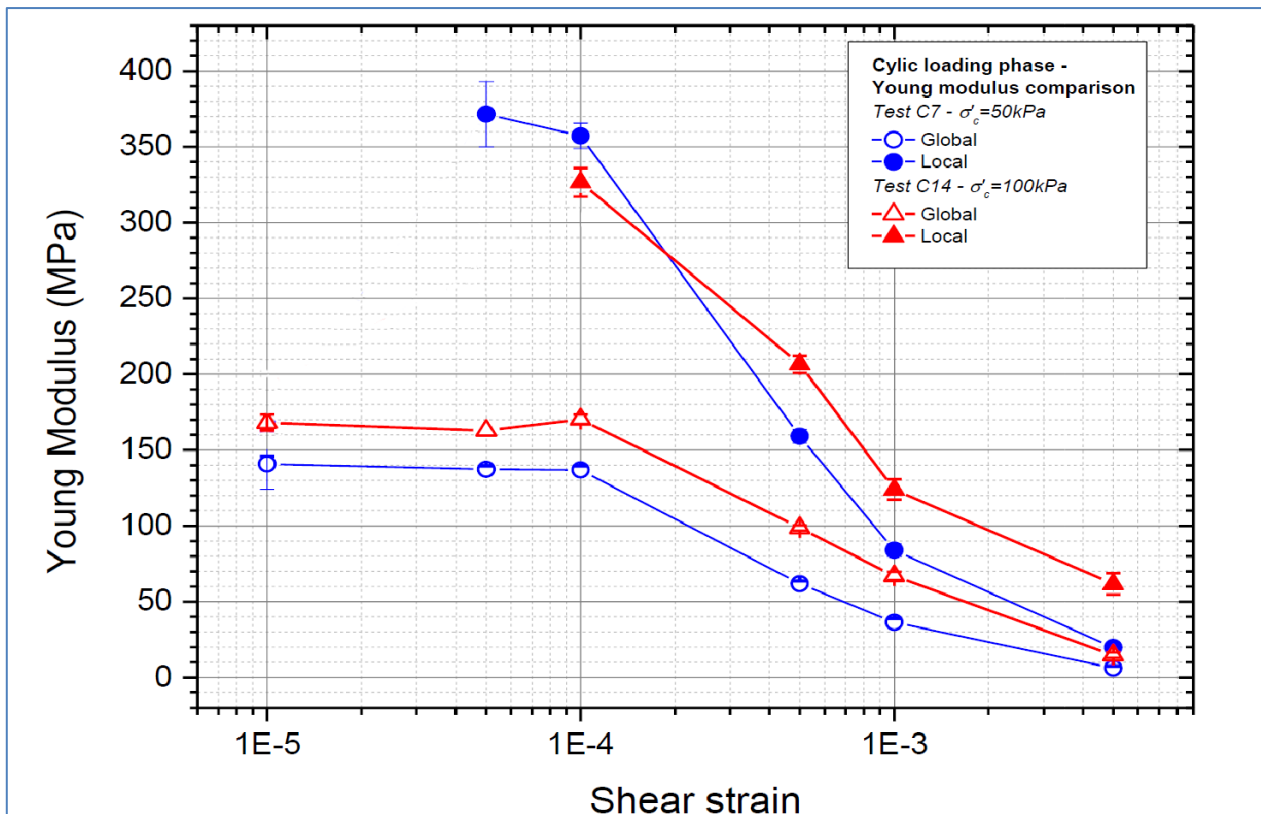


Diagramme Amortissement – Niveau de déformation pour un confinement de 50 kPa :

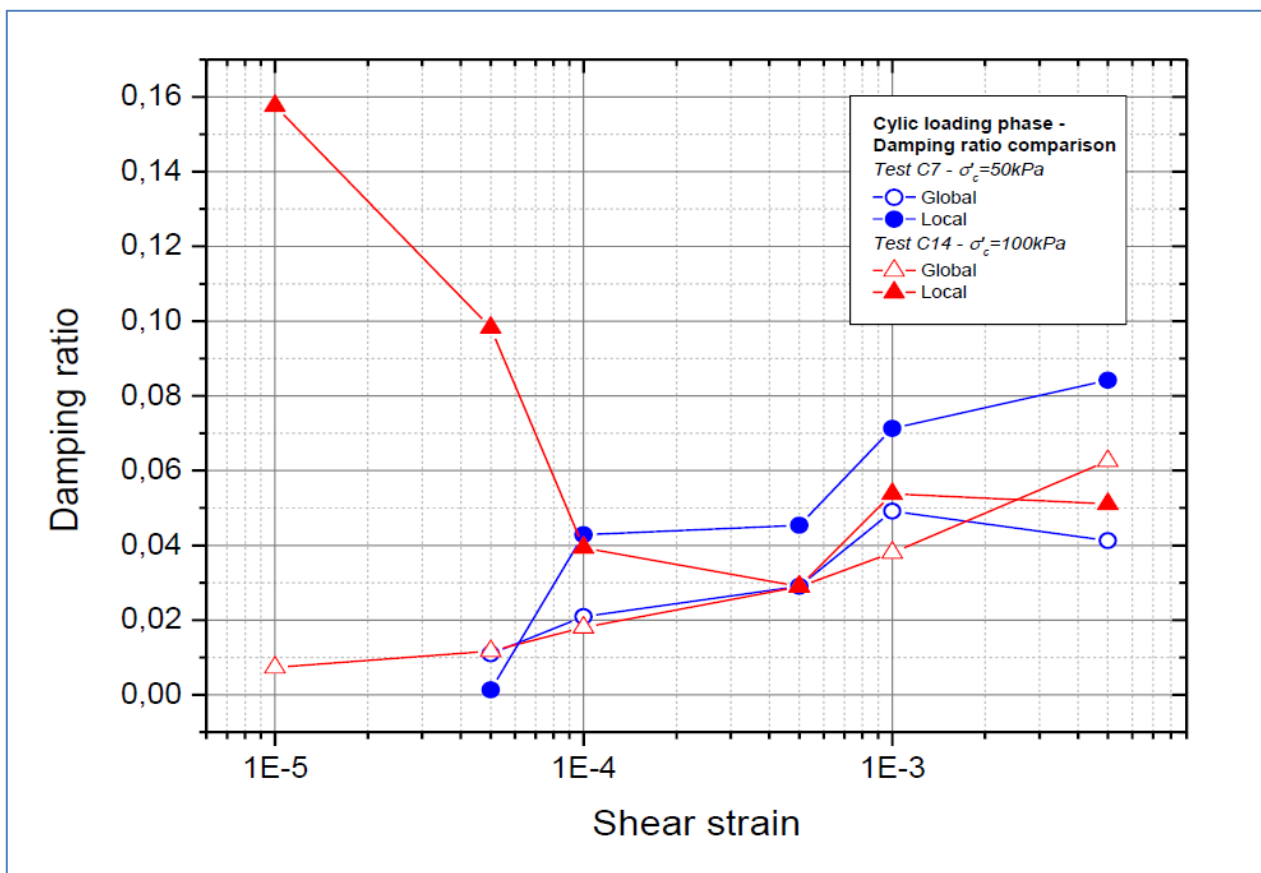


Nota : Les courbes vertes correspondent aux capteurs de déformation situés sur les échantillons, les courbes bleues au capteur situé sur le bâti de l'appareil triaxial. Les courbes vertes sont les plus représentatives du comportement réel du matériau MISAPOR 10/50. Les modules et amortissements pour les plus petites déformations n'ont pas pu être calculés de façon fiable (limite du système expérimental pour des déformations inférieures à 10 μm).

Comparaison des modules obtenus pour les confinements de 50 et 100 kPa :

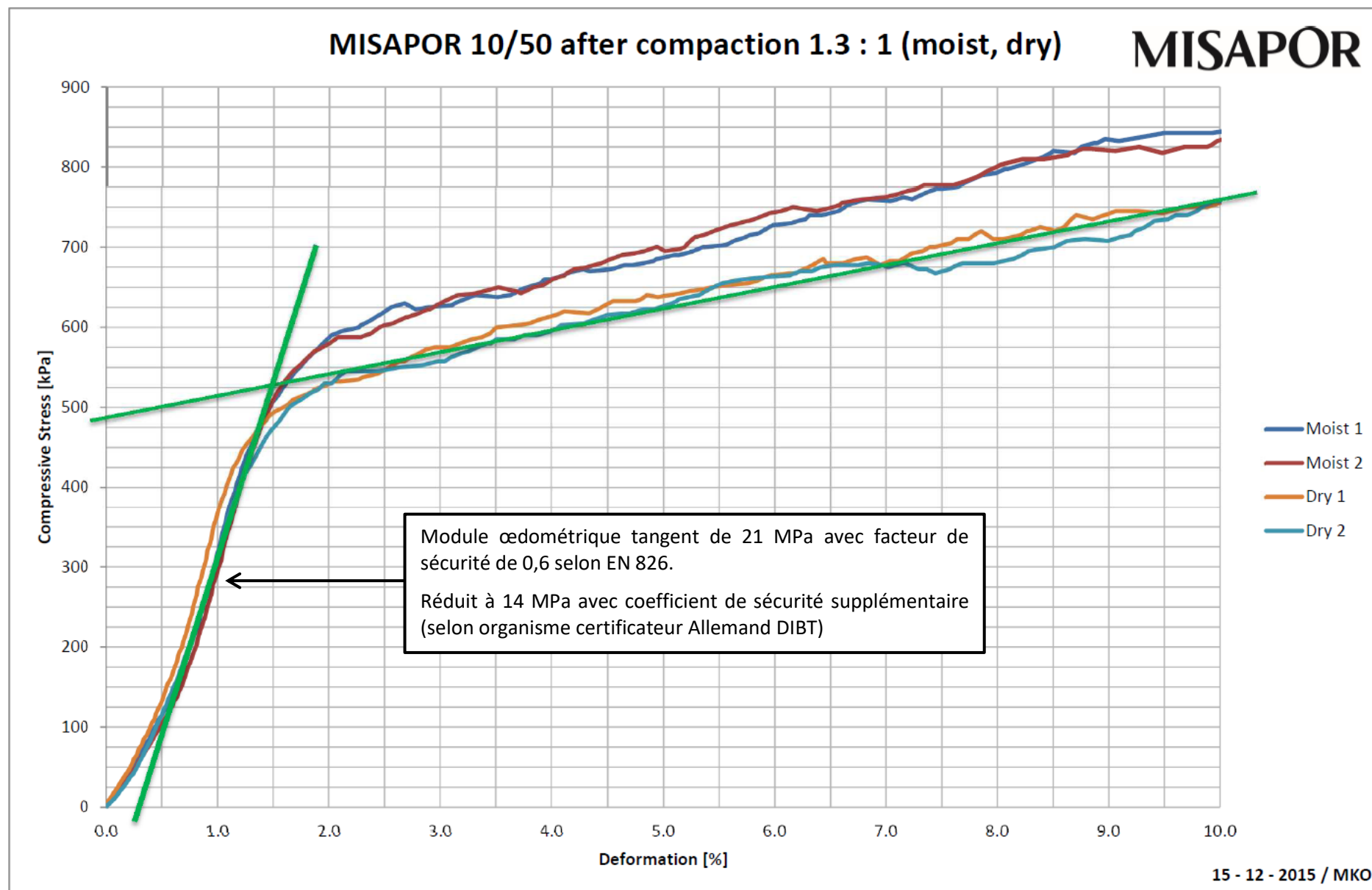


Comparaison des amortissements obtenus pour les confinements de 50 et 100 kPa :



Nota : les valeurs calculées automatiquement pour les déformations de 10^{-5} et $5 \cdot 10^{-5}$ seront écartées dans le cas de dispersion trop grande des mesures individuelles.

Essais de compression œdométrique (données MISAPOR Standard Plus 10/50 pour mémoire) :



Essais triaxiaux simples

Il s'agit d'essai de cisaillement monotone à vitesse de déformation contrôlée (0,2% / min) jusqu'à une déformation total de 15% (donc 9 cm pour une hauteur d'éprouvette initiale de 60 cm).

Les essais suivants ont été réalisés en faisant varier les paramètres (densité initiale, pression de confinement, mode de préparation des granulats) :

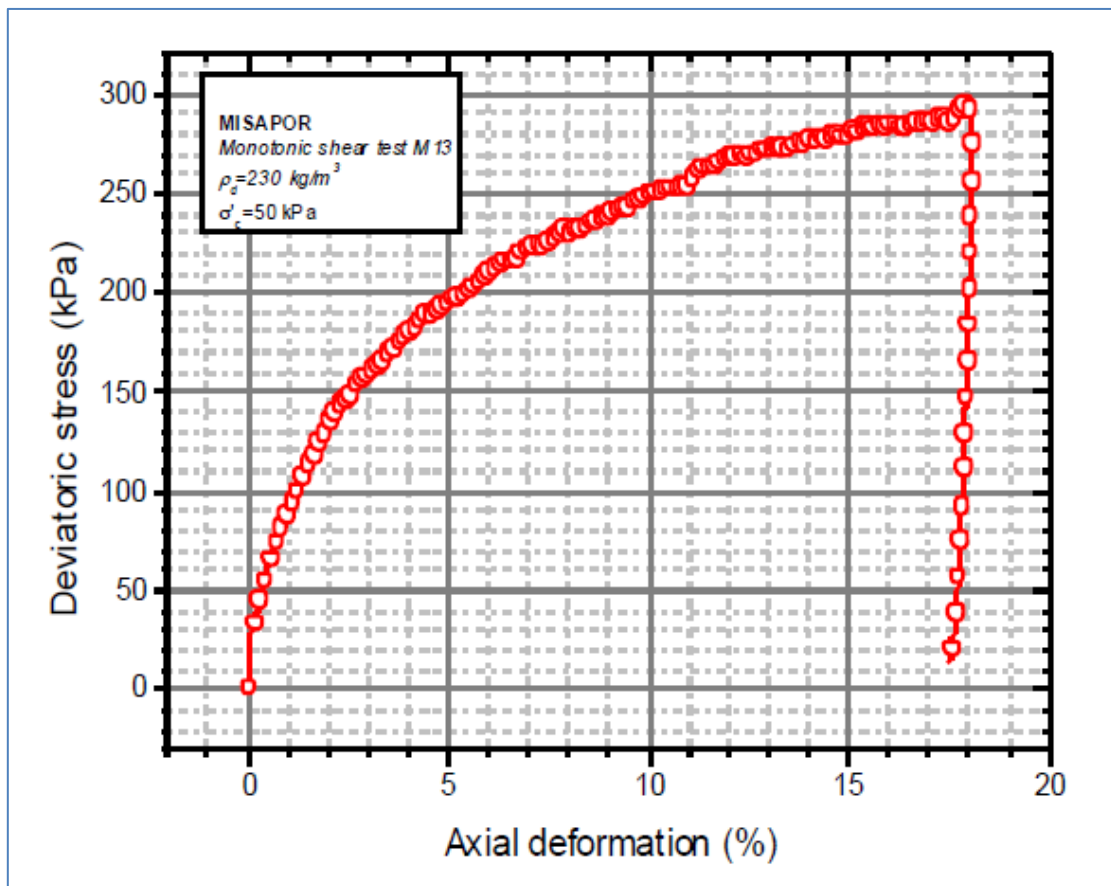
Test	ρ (kg/m ³)	σ'_c (kPa)	$\varepsilon_{a,max}$ (%)	q_{max} (kPa)	remarks
<i>Intact material</i>					
M1	142	50	15	214	Feasibility test
M2	212	100	15	373	
M3	212	100	15	396	Repeatability test
M4	212	50	15	259	
M5	212	50	15	291	Repeatability test
M6	212	100	15	404	Repeatability test
M7	212	25	15	243	Non interpreted
<i>Aged material</i>					
M8	212	50	15	257	Repeatability test
M9	212	25	15	166	
M10	212	25	18	194	Repeatability test
M11	212	200	16	452	Non interpreted
M12	230	50	18	290	
M13	230	50	18	296	Repeatability test
M14	212	200	16	493	Repeatability test

Les principaux résultats obtenus sont présentés dans les pages qui suivent.

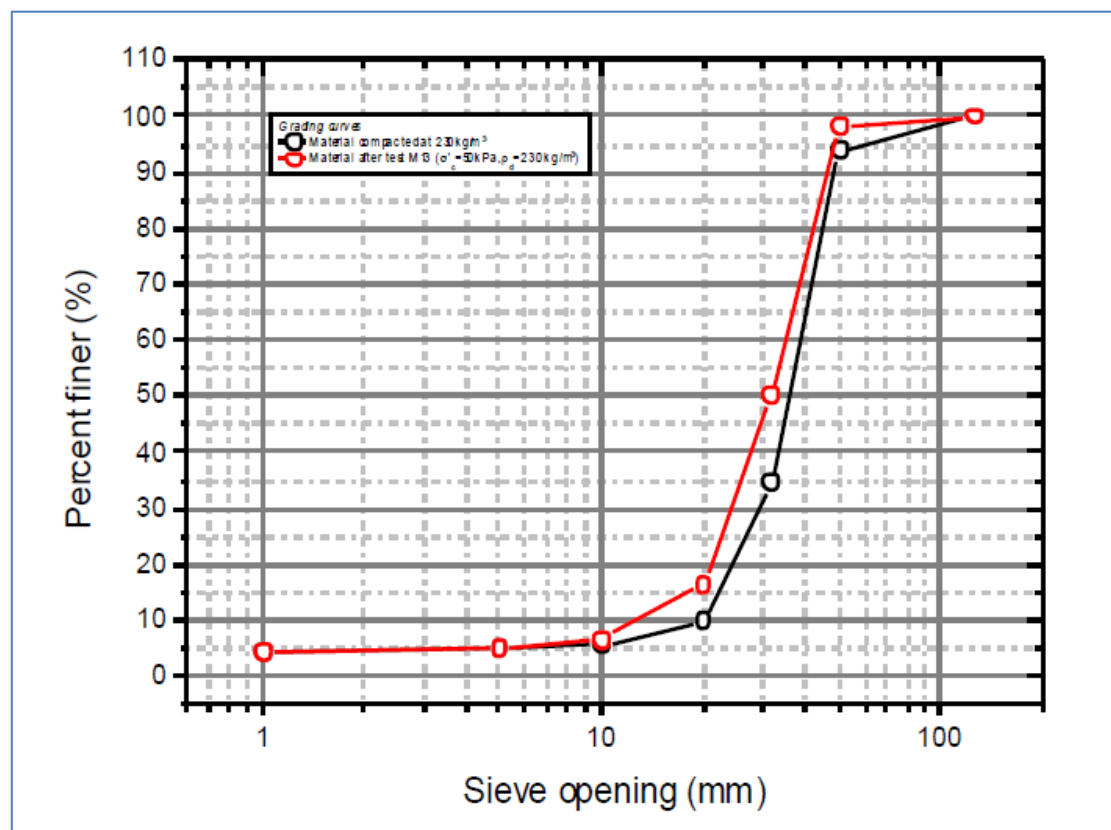
En exploitant les résultats des essais triaxiaux selon le graphe de Mohr-Coulomb, par analogie avec les sables et matériaux granulaires naturels, on trouve un **angle de frottement de 35°** et une **cohésion apparente de quelques dizaines de kPa** liée à l'imbrication des granulats.

Les **modules sont cohérents** avec les résultats des études antérieures réalisées dans le cadre de l'Agrément Technique Européen ETA 13/0549 et du certificat DIBT Z-23.34-1390 du 27/10/2015..

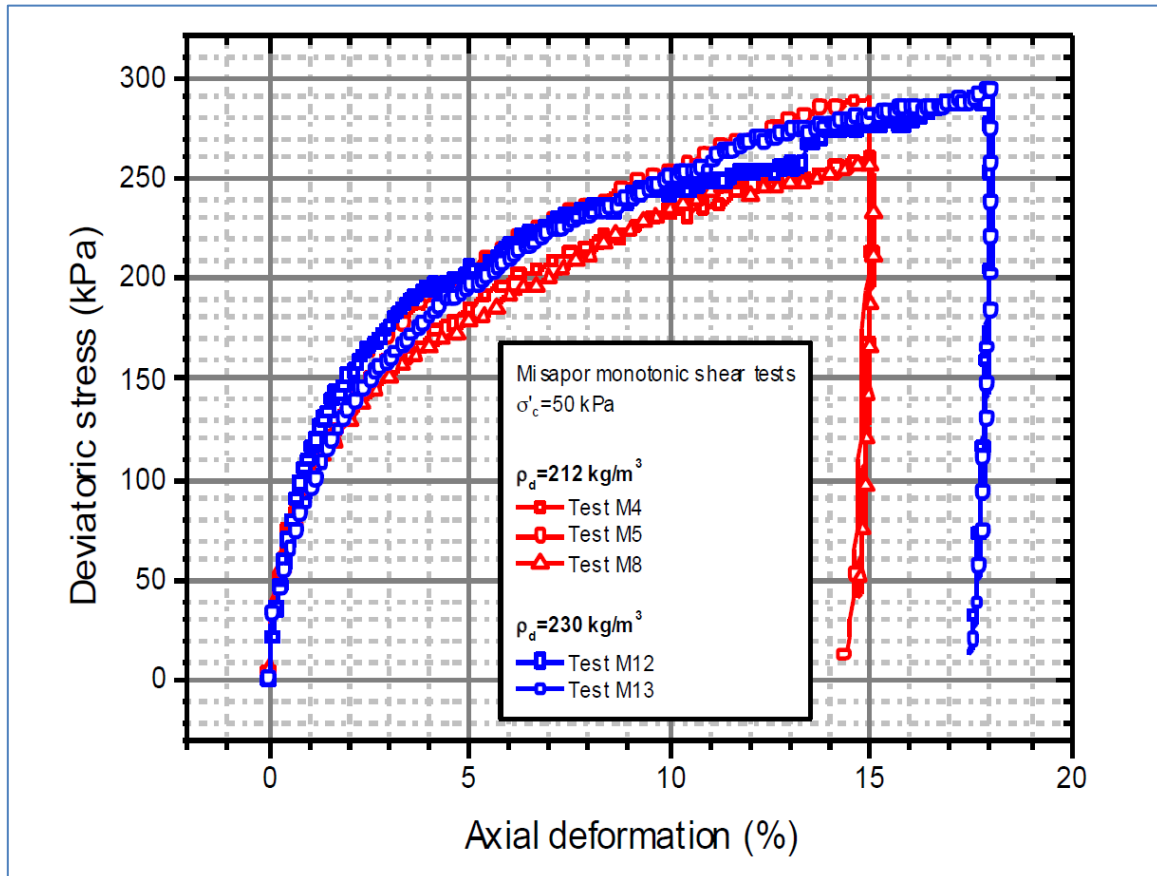
Exemple de courbe contrainte – déformation obtenue :



Evolution granulométrique associée (à noter l'absence de création notable de fines) :



*Influence de la densité initiale de l'échantillon (faible) et répétabilité de l'essai (bonne)
pour un confinement de 50 kPa :*



*Influence de la pression de confinement et répétabilité de l'essai (bonne)
pour une densité initiale défavorable de 212 kg/m³ (ratio de compactage d'environ 1.2:1) :*

