

Classification des sols et sélection des systèmes d'étançonnement pour l'excavation des tranchées

Résultats des essais réalisés au laboratoire
de géotechnique de l'Université Laval

Annexe

Bertrand Galy
Denis LeBœuf
Omar Chaallal
André Lan

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

RA-1144-fr



NOS RECHERCHES travaillent pour vous !

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes;

Assurer la diffusion des connaissances et jouer un rôle de référence scientifique et d'expertise;

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement :

- au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CNESST (preventionautravail.com)
- au bulletin électronique InfoIRSST

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2021
ISBN 978-2-89797-200-4 (PDF)

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail, 2021

IRSST - Direction des communications, de la veille
et de la mobilisation des connaissances
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

Classification des sols et sélection des systèmes d'étalement pour l'excavation des tranchées

Résultats des essais réalisés au laboratoire de géotechnique de l'Université Laval

Annexe

Bertrand Galy¹, Denis LeBœuf²,
Omar Chaallal³, André Lan¹

¹ IRSST

² Université Laval

³ École de technologie supérieure (ÉTS)

RAPPORTS
SCIENTIFIQUES

RA-1144-fr



Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.



ÉVALUATION PAR DES PAIRS

Conformément aux politiques de l'IRSST, les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

REMERCIEMENTS

La réalisation de cette étude a été rendue possible grâce à la collaboration et à l'appui de plusieurs organismes, collaborateurs, et spécialistes œuvrant dans le domaine de la construction et de la santé et sécurité du travail. Nous tenons particulièrement à remercier les organisations et les personnes suivantes :

- Sébastien Dourlet, Miah Alam et José Fidélis Zanavelo, étudiants à la maîtrise et au doctorat qui ont contribué à la réalisation de ce projet de recherche;
- Christian Juneau et Denis Jobin, techniciens à l'Université Laval qui nous ont aidés pour les essais de terrain;
- Richard Prowt, John Lescelleur et Jonathan Auger, ingénieur de recherche et techniciens à l'ÉTS, qui nous ont assistés pour l'instrumentation des boîtes de tranchée;
- Marc Spino et les équipes de NCN Équipements pour le support lors de l'installation des boîtes de tranchée et des étais hydrauliques;
- Maxime Bolduc, Anthony Gagné, Olivier Hamelin et Sophie Rainville du ministère des Transport du Québec;
- Louis Genest, Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST);
- Bertrand Gauthier, Confédération des syndicats nationaux (CSN-Construction);
- Martin Lemieux, Syndicat québécois de la construction (SQC);
- Sylvie L'Heureux, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur de la construction (ASP Construction);
- Denis Archambault, Fédération des travailleurs et des travailleuses du Québec, secteur de la construction (FTQ-Construction);
- François Doran-Plante, Association des Constructeurs de Routes & Grands Travaux du Québec (ACRGTQ);
- Éric Nantel, Conseil provincial du Québec des métiers de la construction (CPQMC).

AVANT-PROPOS

Dans le cadre du projet « Classification des sols et sélection des systèmes d'étalement pour l'excavation des tranchées », des tranchées et des excavations de pleine grandeur ont été réalisées dans une argile sensible typique du Québec, à Louiseville. Ces aménagements ont permis d'évaluer et de valider la résistance et le comportement de systèmes d'étalement, grâce aux essais suivants :

- Une excavation non soutenue de 5 m de profondeur à paroi verticale;
- Une excavation non soutenue de 4,2 m de profondeur, à paroi talutée (pente de 1,6:1);
- Une tranchée de 6 m de profondeur soutenue avec une boîte de tranchée en métal instrumentée (cellules de pression et jauges de déformation);
- Une tranchée de 2,4 m de profondeur soutenue avec des étais hydrauliques et des feuilles de contreplaqué instrumentés (cellules de pression et jauges de déformation).

Des essais de caractérisation géotechnique ont été réalisés en laboratoire afin de documenter les propriétés de l'argile de Louiseville. Les prélèvements de sol ont été réalisés à l'aide d'échantillonneurs de grand diamètre pour éviter de remanier l'argile. Pour des raisons de concision, seuls quelques résultats des essais de caractérisation sont présentés dans le rapport faisant état des résultats du projet de recherche [R-1144-fr](#).

Ce document présente les données expérimentales exhaustives provenant des essais réalisés au laboratoire de géotechnique de l'Université Laval, afin de caractériser l'argile de Louiseville.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	i
AVANT-PROPOS	iii
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xi
ANNEXE A : RÉSULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE RÉALISÉS À L'UNIVERSITÉ LAVAL	1
A.I Introduction	1
A.II Échantillonnage et essais d'identification	1
A.III Programme d'essais géotechniques (essais triaxiaux et en cisaillement simple)	3
A.IV Essais triaxiaux, cisaillement simple : résultats expérimentaux	5
A.V Essais œdométriques : résultats expérimentaux	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Programme d'identification et de caractérisation géotechnique de base, réalisé à l'Université Laval sur les échantillons de Louiseville	1
Tableau 2.	Identification et caractérisation géotechnique des échantillons de Louiseville	2
Tableau 3.	Programme d'essais triaxiaux et en cisaillement simple, réalisé à l'Université Laval sur les échantillons de Louiseville.....	3
Tableau 4.	Liste des notations utilisées pour les essais géotechniques	4
Tableau 5.	Programme d'essais œdométriques réalisés sur les échantillons d'argile de Louiseville	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1.	Essai triaxial CIUC-01 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).	5
Figure 2.	Essai triaxial CIUC-02 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (haut) et pression interstitielle Δu (bas) en fonction de la déformation axiale ε_1	6
Figure 3.	Essai triaxial CIUC-03 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).	7
Figure 4.	Essai triaxial CIUC-04 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).	8
Figure 5.	Essai triaxial CIUC-03 : Courbe de consolidation triaxiale : déformation volumique $\varepsilon_v (= \Delta V/V)$ en fonction de la contrainte moyenne p'	9
Figure 6.	Essai triaxial CIUC-04 : Courbe de consolidation triaxiale : déformation volumique $\varepsilon_v (= \Delta V/V)$ en fonction de la contrainte moyenne p'	10
Figure 7.	Essai triaxial CAUC-05 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).	11
Figure 8.	Essai triaxial CAUC-06 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).	12
Figure 9.	Essai triaxial CAUC-06 : Courbe de consolidation triaxiale : déformation volumique $\varepsilon_v (= \Delta V/V)$ en fonction de la contrainte moyenne p' , avec $K_0 = 0,55$	13
Figure 10.	Essai triaxial en extension CAUE-07 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).	14
Figure 11.	Essai triaxial en extension CAUE-08 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0,55$) (droite).	15

Figure 12.	Essai triaxial en extension CAUE-09 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0,55$) (droite).	16
Figure 13.	Essai triaxial en déchargement latéral CAUDL-10 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (haut) et pression interstitielle Δu (bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0,55$).....	17
Figure 14.	Essai triaxial en déchargement latéral CAUDL-11 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (haut) et pression interstitielle Δu (bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0,55$).....	18
Figure 15.	Essai en cisaillement simple (DSS) à volume constant DSS _{stat} -01 : Contrainte de cisaillement horizontale τ_h (haut) et pression interstitielle équivalente $\Delta u (= \Delta\sigma'_v)$ (bas) en fonction de la déformation angulaire $\gamma_h(\%)$	19
Figure 16.	Essai en cisaillement simple (DSS) à volume constant DSS _{stat} -02 : Contrainte de cisaillement horizontale τ_h (haut) et pression interstitielle équivalente $\Delta u (= \Delta\sigma'_v)$ (bas) en fonction de la déformation angulaire $\gamma_h(\%)$	20
Figure 17.	Essai en cisaillement simple (DSS) à volume constant DSS _{stat} -02 : Contrainte de cisaillement τ_h (haut) et pression interstitielle équivalente $\Delta u (= \Delta\sigma'_v)$ (bas) en fonction de la déformation angulaire $\gamma_h(\%)$	21
Figure 18.	Essai œdométrique EL01.....	23
Figure 19.	Essai œdométrique EL02.....	24
Figure 20.	Essai œdométrique EL03.....	25
Figure 21.	Essai œdométrique EL04.....	26
Figure 22.	Essai œdométrique EL09.....	27
Figure 23.	Essai œdométrique EL10.....	28
Figure 24.	Essai œdométrique EL11.....	29

LISTE DES ACRONYMES, SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CAUC :	Essais triaxial consolidé anisotropiquement, non drainé, et cisailé en compression (<i>Consolidated Anisotropically, Undrained, in Compression</i>)
CAUDL :	Essais triaxial consolidé anisotropiquement, non drainé, et cisailé en déchargement latéral (<i>Consolidated Anisotropically, Undrained, with Discharge Lateral</i>)
CAUE :	Essais triaxial consolidé anisotropiquement, non drainé, et cisailé en extension (<i>Consolidated Anisotropically, Undrained, in Extension</i>)
CIUC :	Essais triaxial consolidé isotropiquement, non drainé, et cisailé en compression (<i>Consolidated Isotropically, Undrained, in Compression</i>)
DSS :	Essai en cisaillement simple direct (<i>Direct Simple Shear Tests</i>)
ESP:	Chemin de contraintes effectives (<i>Effective Stress Path</i>)
MIT :	Massachusetts Institute of Technology
OC :	Surconsolidé (<i>Overconsolidated</i>)
OCR :	Ratio de surconsolidation (<i>Overconsolidation ratio</i>)
NC :	Normalement consolidé
TSP :	Chemin de contraintes totales (<i>Total Stress Path</i>)

ANNEXE A : RÉSULTATS DES ESSAIS DE LABORATOIRE RÉALISÉS À L'UNIVERSITÉ LAVAL

A.I Introduction

Cette annexe présente les données expérimentales provenant des essais réalisés au laboratoire de géotechnique de l'Université Laval. L'annexe A est organisée comme suit :

- Section A.II : présentation de l'échantillonnage et du programme d'essais d'identification et de caractérisation géotechnique;
- Section A.III : présentation du programme d'essais géotechniques (essais triaxiaux en compression, en extension et en déchargement, et essais en cisaillement simple à volume constant);
- Section A.IV : présentation du programme d'essais œdométriques.

A.II Échantillonnage et essais d'identification

Dû à la sensibilité au remaniement du sol, constatée lors de l'excavation du puits d'exploration, et de l'importance d'avoir de bons échantillons, il a été décidé d'utiliser les tubes de grand diamètre de l'échantillonneur Laval, ZW-1035. Quatre tubes ont été prélevés. Ces tubes de 5 mm d'épaisseur ont un angle de coupe (α) de 5°, font 660 mm de long, ont un diamètre intérieur de 208 mm et un diamètre extérieur de 218 mm.

L'instrumentation et la méthodologie d'échantillonnage sont traitées en détail dans le mémoire de Dourlet (2020)¹, et elles sont également présentées brièvement dans le rapport [R-1144-fr](#).

Tableau 1. Programme d'identification et de caractérisation géotechnique de base, réalisé à l'Université Laval sur les échantillons de Louiseville

Tube	Profondeur (m)	Échant. #	Sédimentation	Teneur en eau	Limites de consistances	Densité des grains	Sensibilité	Essai de consolidation œdométrique
1	2,13 à 2,16	Sac 1	X	X	X	X		
	2,16 à 2,29	EL01	X	X	X	X	X	
	2,29 à 2,42	EL02	X	X	X		X	X
	2,42 à 2,55	EL03	X	X	X		X	X
	2,55 à 2,67	EL04	X	X	X		X	X
3	3,05 à 3,09	Sac 3	X	X	X	X		
	3,09 à 3,22	EL09		X	X		X	X
	3,22 à 3,35	EL10	X	X	X		X	X
	3,35 à 3,48	EL11	X	x	X		X	X
	3,48 à 3,60	EL12						

¹ Dourlet, S. (2020). *Étude expérimentale de deux excavations à Louiseville*. (Mémoire de maîtrise, Université Laval, Québec, QC). Tiré de <http://hdl.handle.net/20.500.11794/38203>

A.III Programme d'essais géotechniques (essais triaxiaux et en cisaillement simple)

Tableau 3. Programme d'essais triaxiaux et en cisaillement simple, réalisé à l'Université Laval sur les échantillons de Louiseville

Type	Désignation	Description	Échantillon	Profondeur (m)
CIUC	CIUC - 01 (OC)	Essai triaxial non drainé en compression consolidé isotropiquement; $\sigma'_c = 40$ kPa	EL-11	3,348 @3,478
	CIUC - 02 (OC)	Essai triaxial non drainé en compression consolidé isotropiquement avec $\sigma'_c = 17$ kPa	EL-11	3,348@3,478
	CIUC - 03 (NC)	Essai triaxial non drainé en compression consolidé isotropiquement avec $\sigma'_c = 100$ kPa	EL-11	3,348@3,478
	CIUC - 04 (NC)	Essai triaxial non drainé en compression consolidé isotropiquement avec $\sigma'_c = 160$ kPa	EL-11	3,348@3,478
CAUC	CAUC - 05 (OC)	Essai triaxial non drainé en compression consolidé anisotropiquement avec $\sigma'_v = 70$ kPa, $\sigma'_h = 38,5$ kPa ($K_0 = 0,55$)	EL-11	3,348@3,478
	CAUC - 06 (NC)	Essais triaxiaux non drainés en compression consolidés anisotropiquement avec $\sigma'_v = 200$ kPa, $\sigma'_h = 110$ kPa ($K_0 = 0,55$)	EL-11	3,348@3,478
CAUE	CAUE - 07 (OC)	Essais triaxiaux non drainés en compression consolidés anisotropiquement avec $\sigma'_v = 25$ kPa, $\sigma'_h = 14$ kPa ($K_0 = 0,55$)	EL-15	3,348@3,478
	CAUE - 08 (OC)	Essais triaxiaux non drainés en compression consolidés anisotropiquement avec $\sigma'_v = 57$ kPa, $\sigma'_h = 31,5$ kPa ($K_0 = 0,55$)	EL-15	3,348@3,478
	CAUE - 09 (OC)	Essais triaxiaux non drainés en compression consolidés anisotropiquement avec $\sigma'_v = 70$ kPa, $\sigma'_h = 38,5$ kPa ($K_0 = 0,55$), $\sigma'_p = 93$ kPa	EL-15	3,348@3,478
CAUDL	CAUDL - 10 (OC)	Essai triaxial non drainé en déchargement latéral et consolidé anisotropiquement avec $\sigma'_v = 25$ kPa, $\sigma'_h = 14$ kPa ($K_0 = 0,55$), $\sigma'_p = 93$ kPa	EL-15	3,348@3,478
	CAUDL - 11 (OC)	Essai triaxial non drainé en déchargement latéral et consolidé anisotropiquement avec $\sigma'_v = 57$ kPa, $\sigma'_h = 31,5$ kPa ($K_0 = 0,55$), $\sigma'_p = 93$ kPa	EL-15	3,348@3,478
DSS _{STAT}	DSS _{STAT} -01 (OC)	DSS statique à volume constant, $\sigma'_{vc} = 57$ kPa	EL-16	3,47@3,54
	DSS _{STAT} -02 (OC)	DSS statique à volume constant, $\sigma'_{vc} = 25$ kPa	EL-16	3,47@3,54
	DSS _{STAT} -03 (NC)	DSS statique à volume constant, $\sigma'_{vc} = 142,86$ kPa	EL-16	3,47@3,54

Tableau 4. Liste des notations utilisées pour les essais géotechniques

Notation	Définition
$(T-u_o)SP$	Chemin de contraintes totales moins la pression interstitielle en fin de consolidation
e_0	Indice des vides initial
e_c	Indice des vides à la pression de consolidation
K_0	Coefficient de pression des terres au repos ($= \sigma'_{ho}/\sigma'_{vo}$)
$W_{initiale}$	Teneur en eau initiale
Δu	Pression interstitielle
ε_1	Déformation axiale
ε_V	Déformation volumique
σ_1	Contrainte principale totale (axiale)
σ_3	Contrainte latérale totale (confinement)
σ'_1	Contrainte principale effective (axiale)
σ'_3	Contrainte latérale effective (confinement)
σ'_c	Contrainte verticale effective de consolidation
σ'_p	Contrainte verticale effective de préconsolidation
σ'_{ho}	Contrainte horizontale effective <i>in situ</i>
σ'_{vo}	Contrainte verticale effective <i>in situ</i>
q	Demi-déviateur $((\sigma_1 - \sigma_3)/2)$
p'	$(\sigma'_1 + \sigma'_3)/2$
τ_h	Contrainte de cisaillement dans le plan horizontal (kPa; dans l'essai DSS)
γ_h	Déformation angulaire (%; dans l'essai DSS)
c'	Cohésion effective (kPa)
ϕ'	Angle effectif de frottement interne ($^\circ$)

A.IV Essais triaxiaux, cisaillement simple : résultats expérimentaux

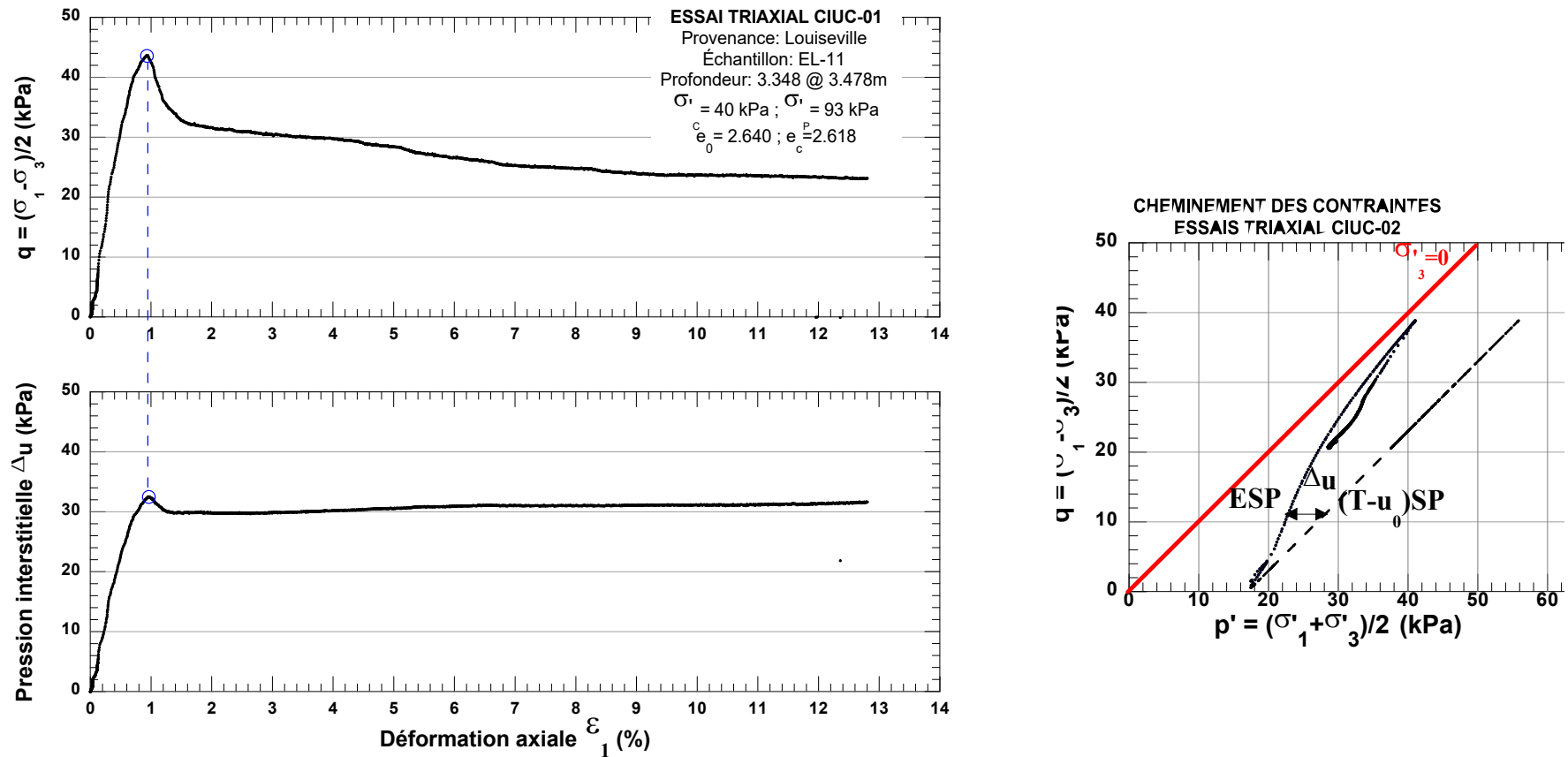


Figure 1. **Essai triaxial CIUC-01** : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ϵ_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).

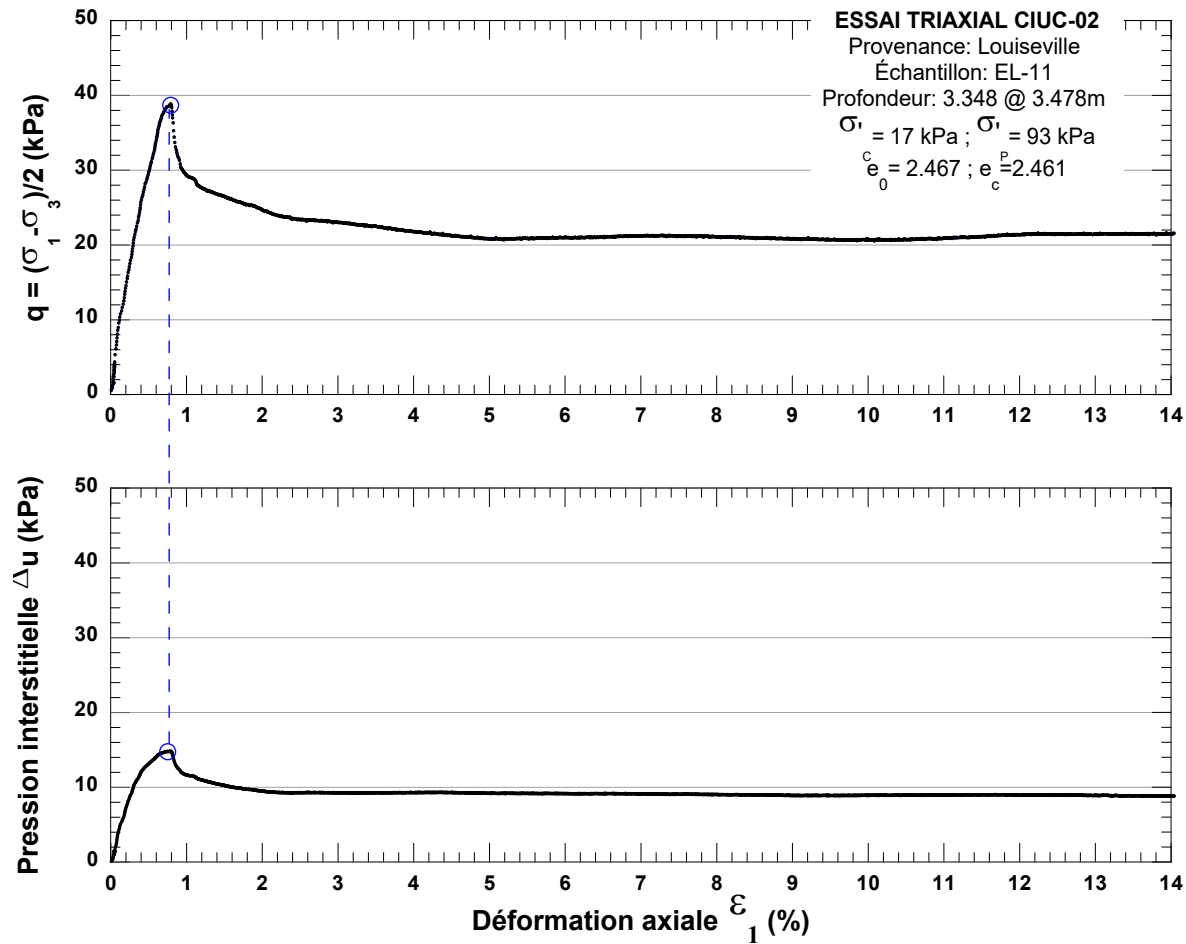


Figure 2. Essai triaxial CIUC-02 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (haut) et pression interstitielle Δu (bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 .

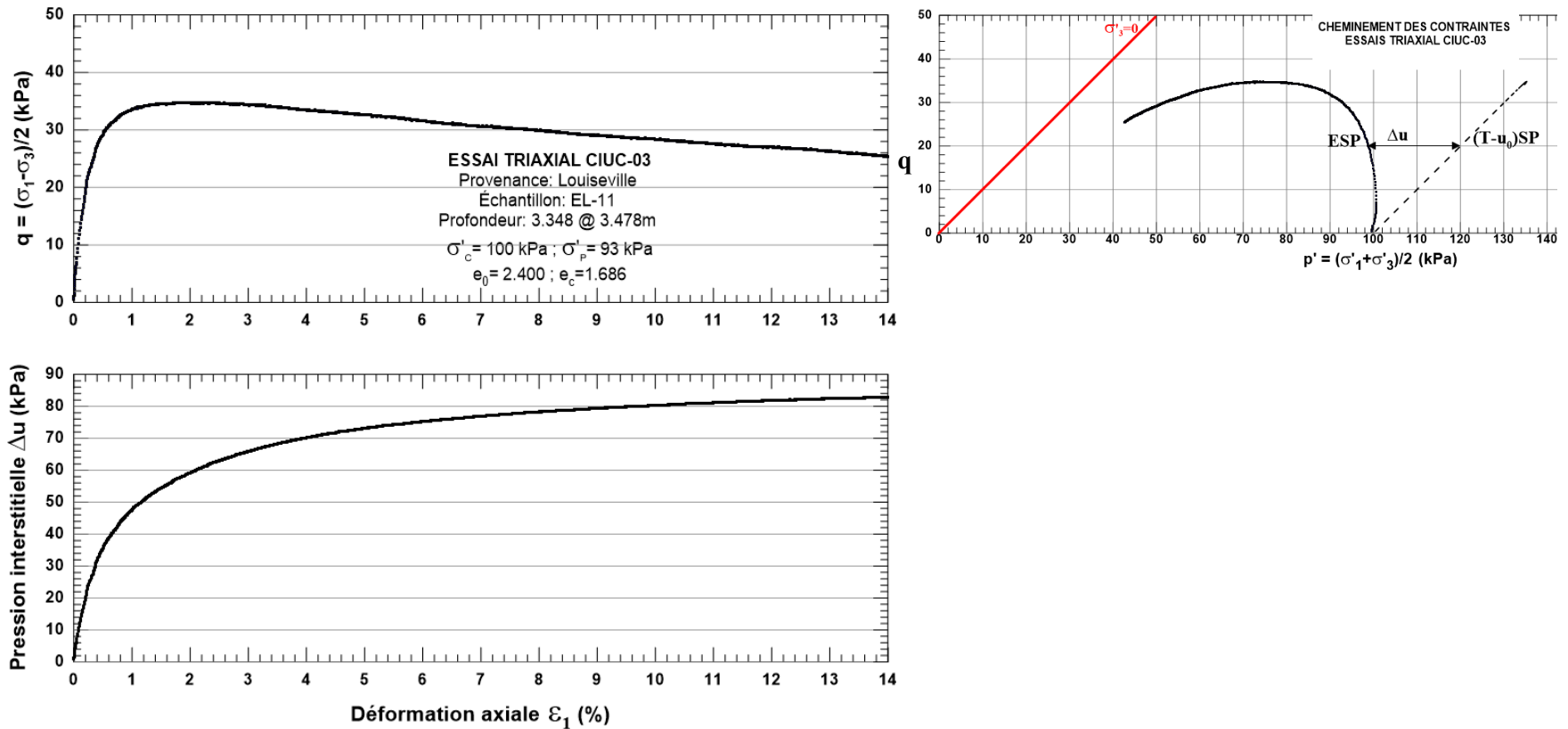


Figure 3. **Essai triaxial CIUC-03** : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ϵ_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).

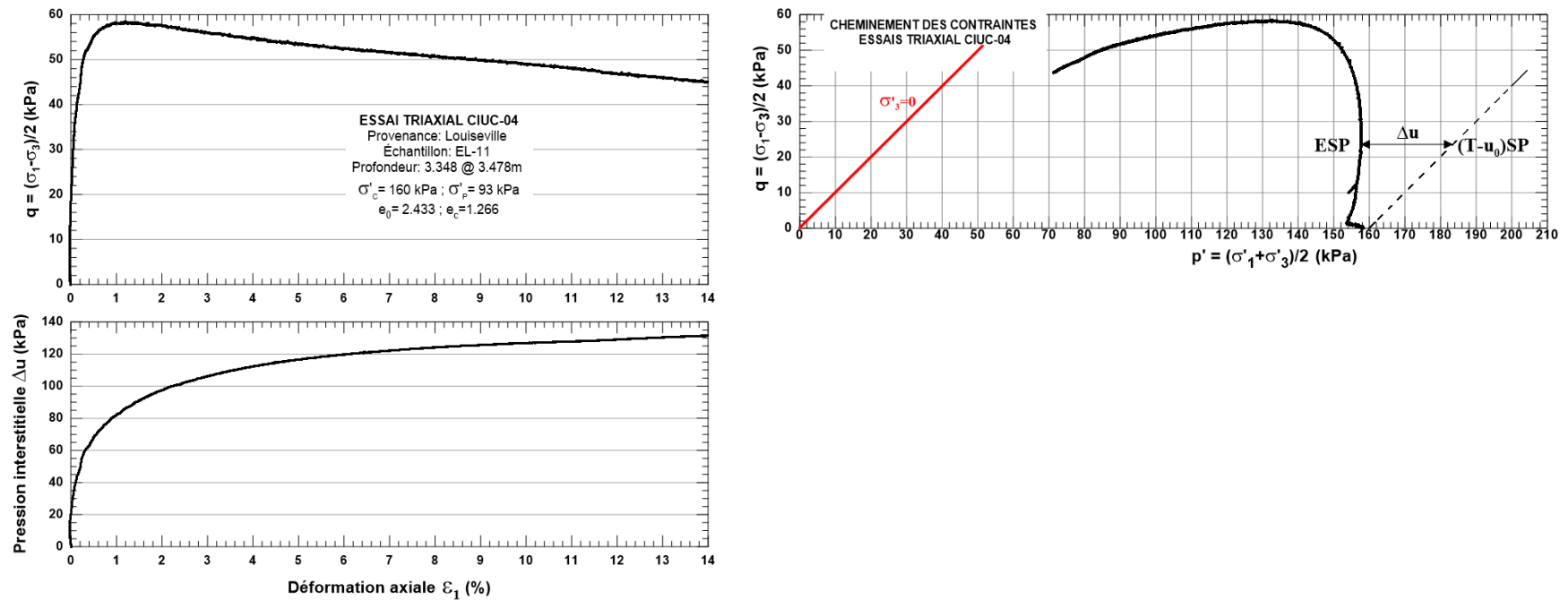


Figure 4. **Essai triaxial CIUC-04** : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).

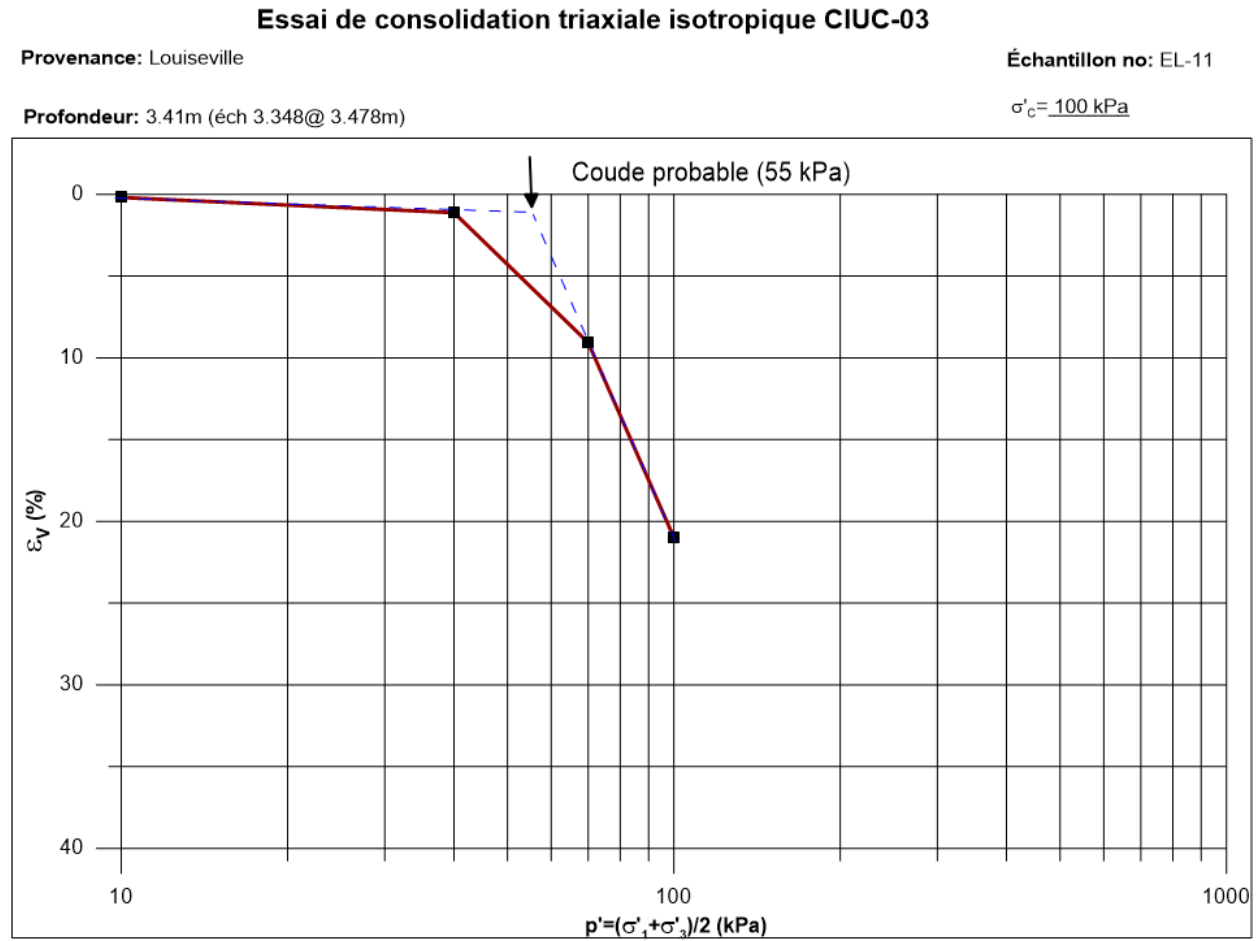


Figure 5. **Essai triaxial CIUC-03** : Courbe de consolidation triaxiale : déformation volumique $\epsilon_v (= \Delta V/V)$ en fonction de la contrainte moyenne p' .

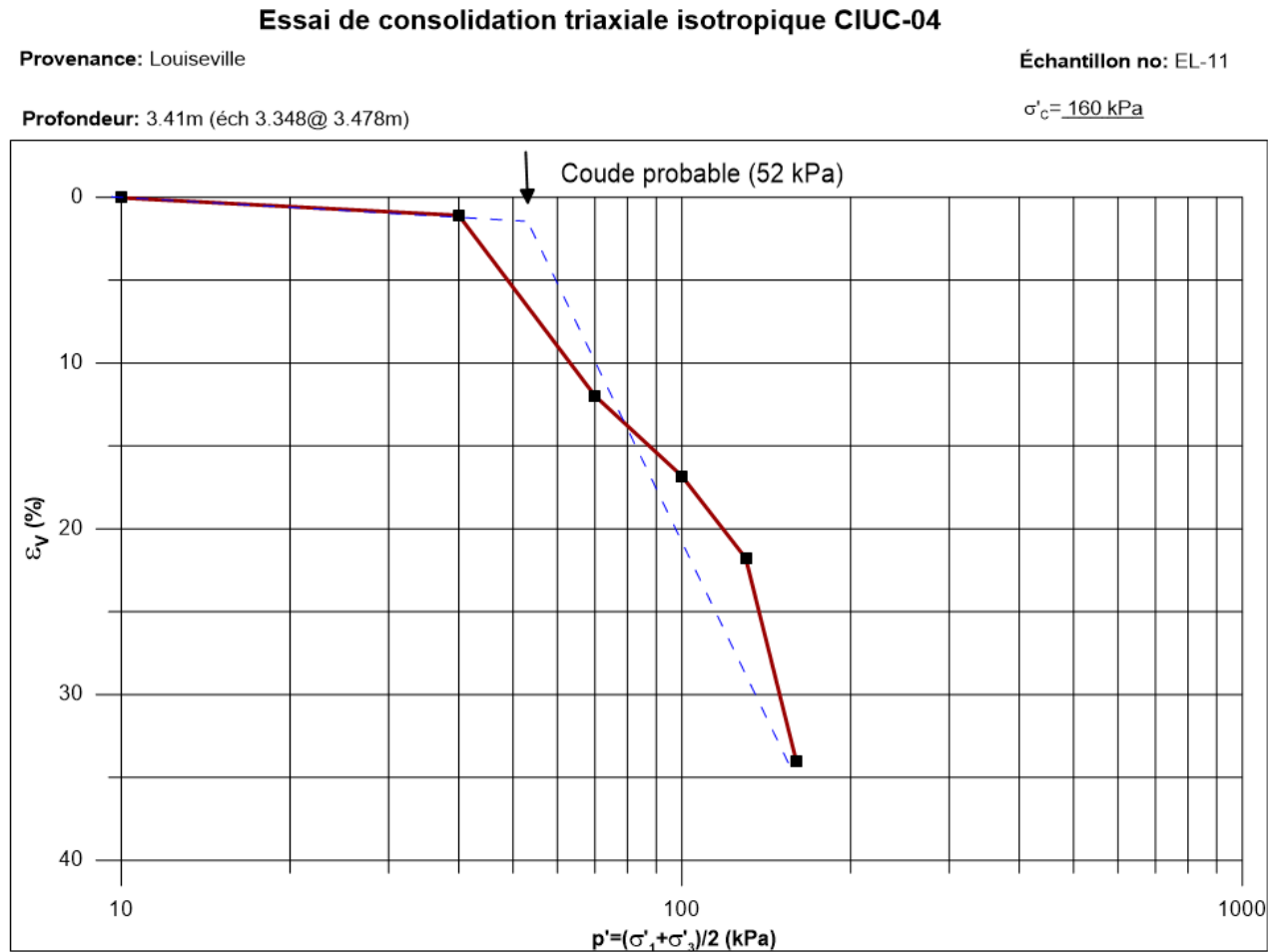


Figure 6. Essai triaxial CIUC-04 : Courbe de consolidation triaxiale : déformation volumique $\varepsilon_v (= \Delta V/V)$ en fonction de la contrainte moyenne p' .

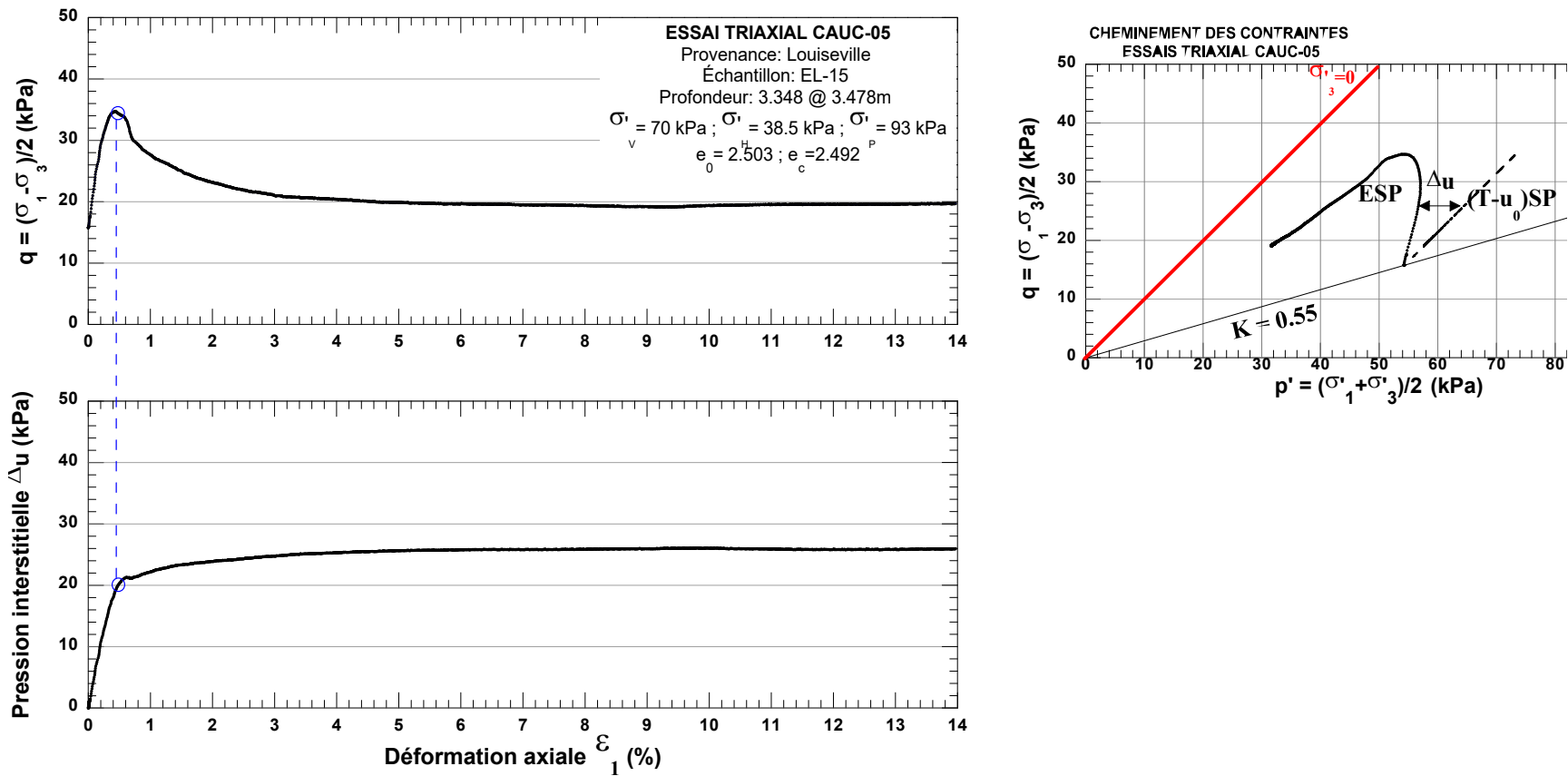


Figure 7. Essai triaxial CAUC-05 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ϵ_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).

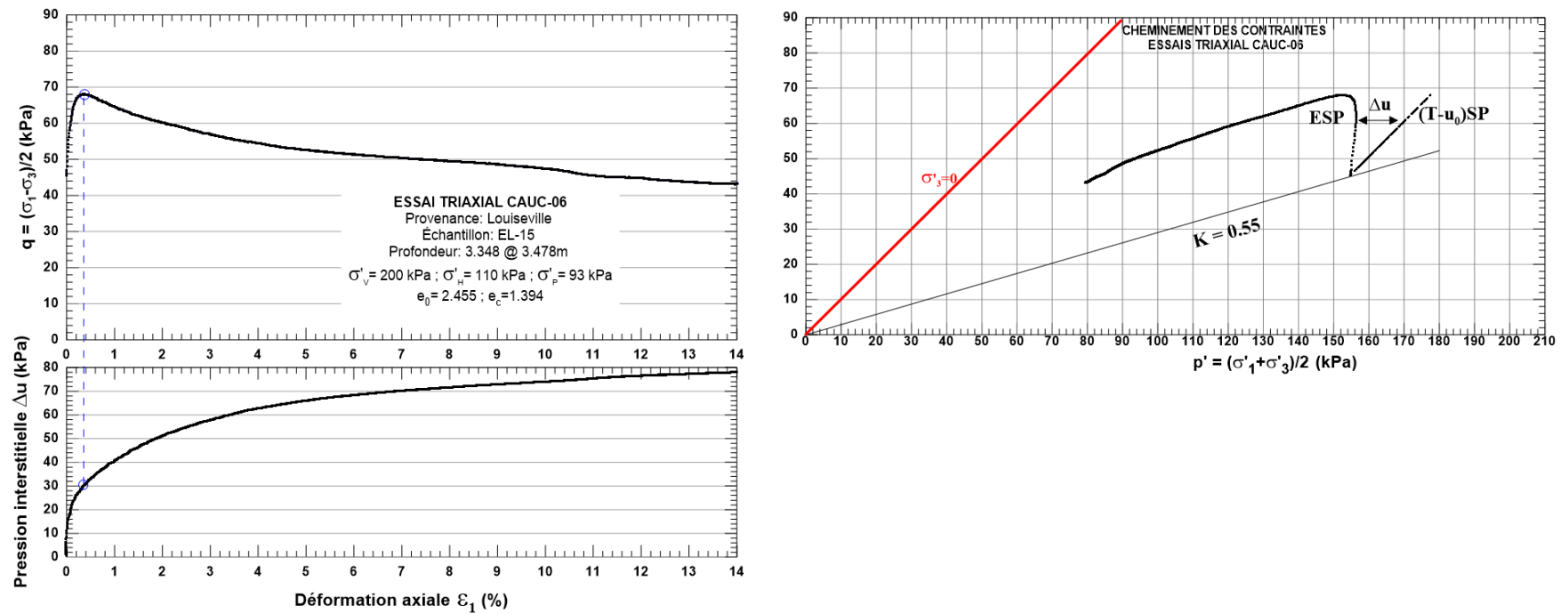


Figure 8. **Essai triaxial CAUC-06** : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).

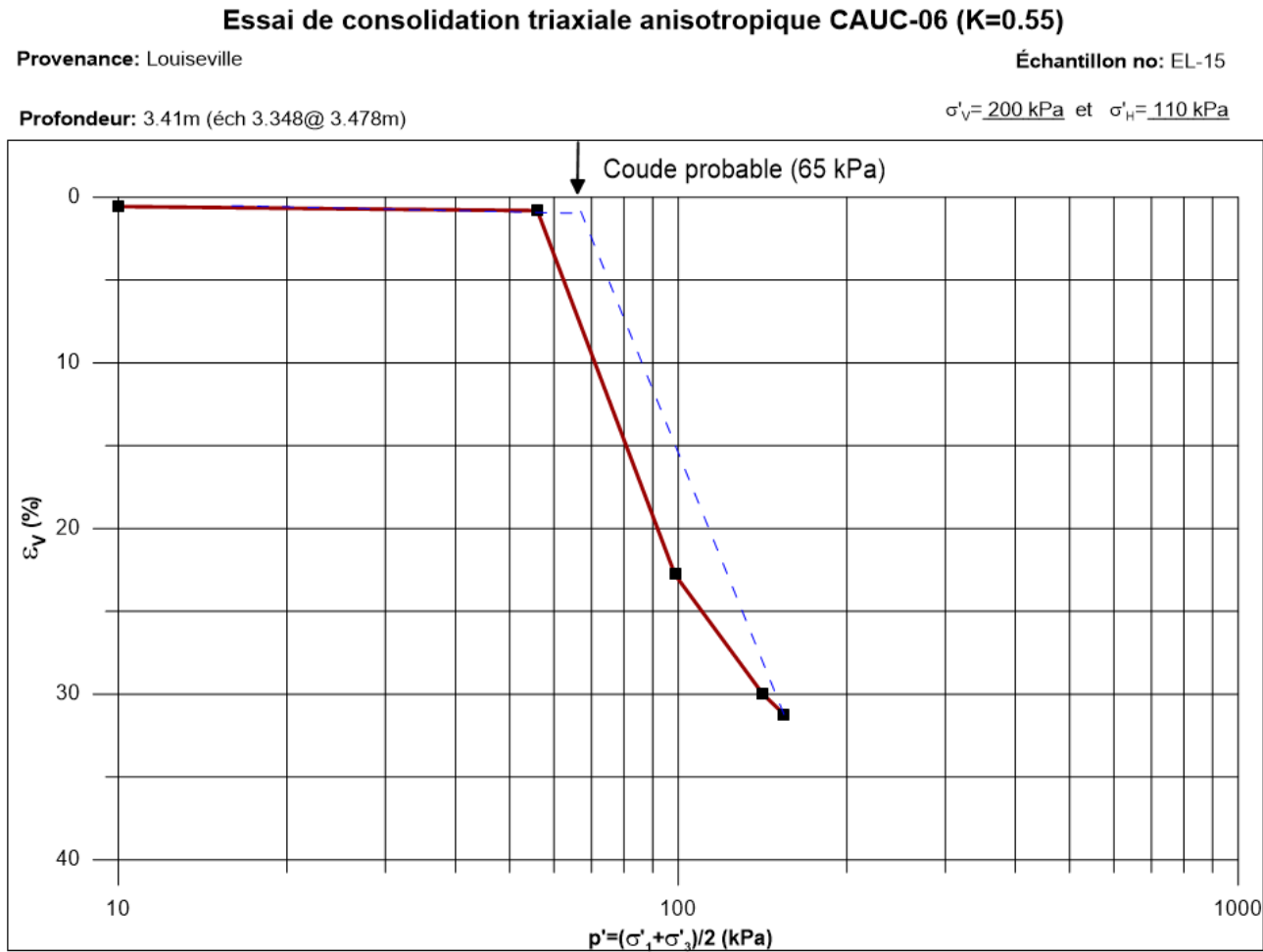


Figure 9. **Essai triaxial CAUC-06** : Courbe de consolidation triaxiale : déformation volumique ε_v ($= \Delta V/V$) en fonction de la contrainte moyenne p' , avec $K_0 = 0,55$.

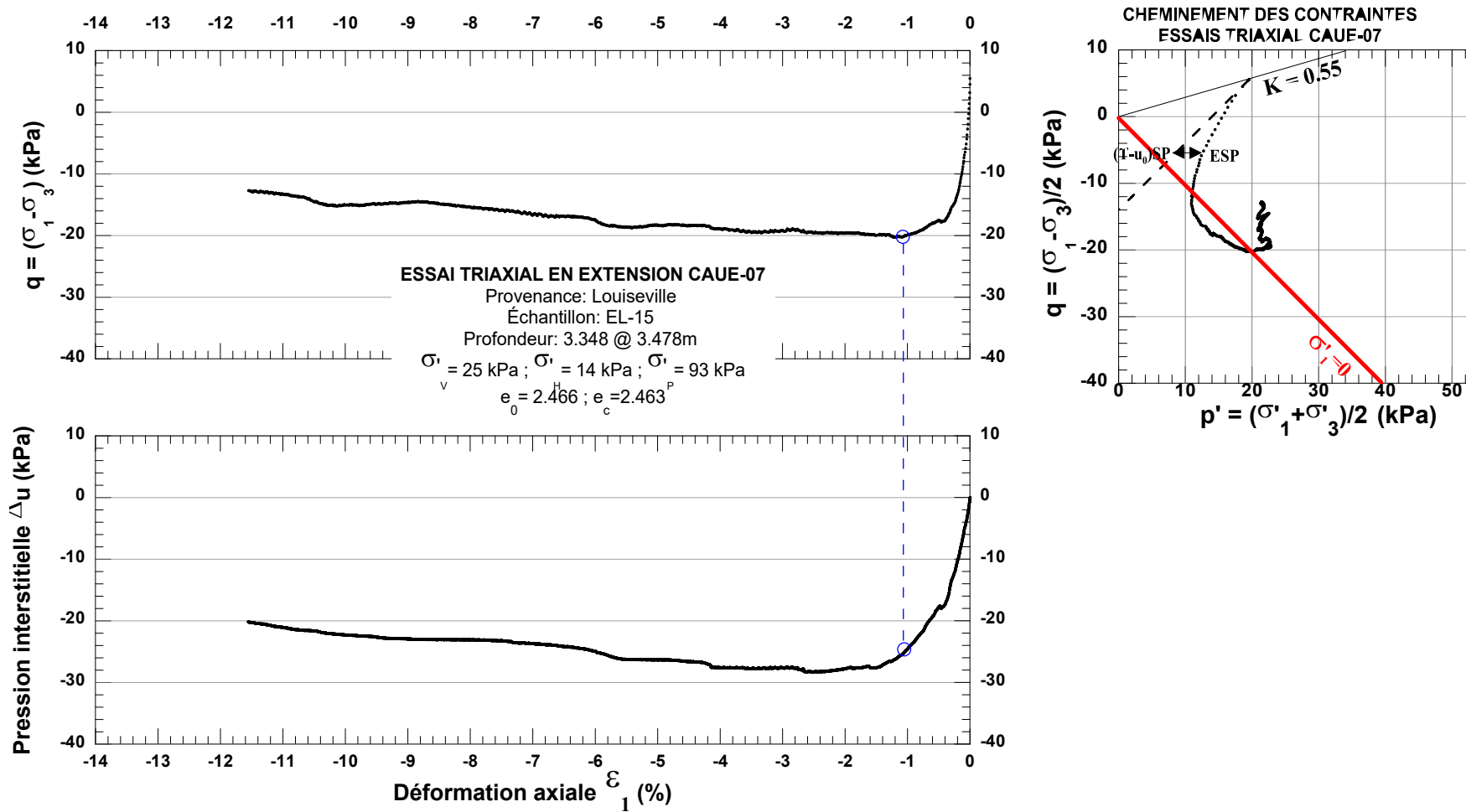


Figure 10. **Essai triaxial en extension CAUE-07** : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') (droite).

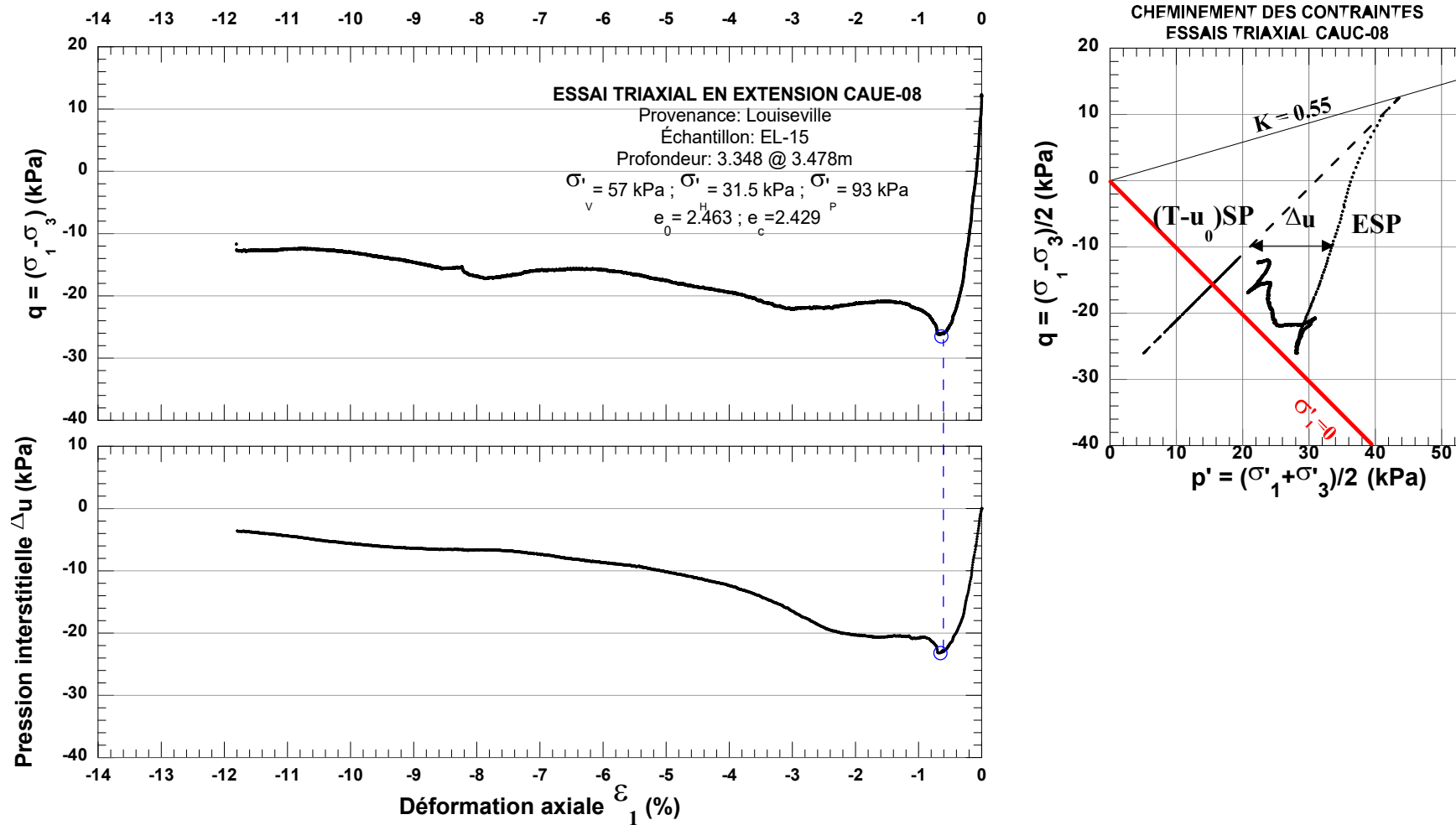


Figure 11. Essai triaxial en extension CAUE-08 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0,55$) (droite).

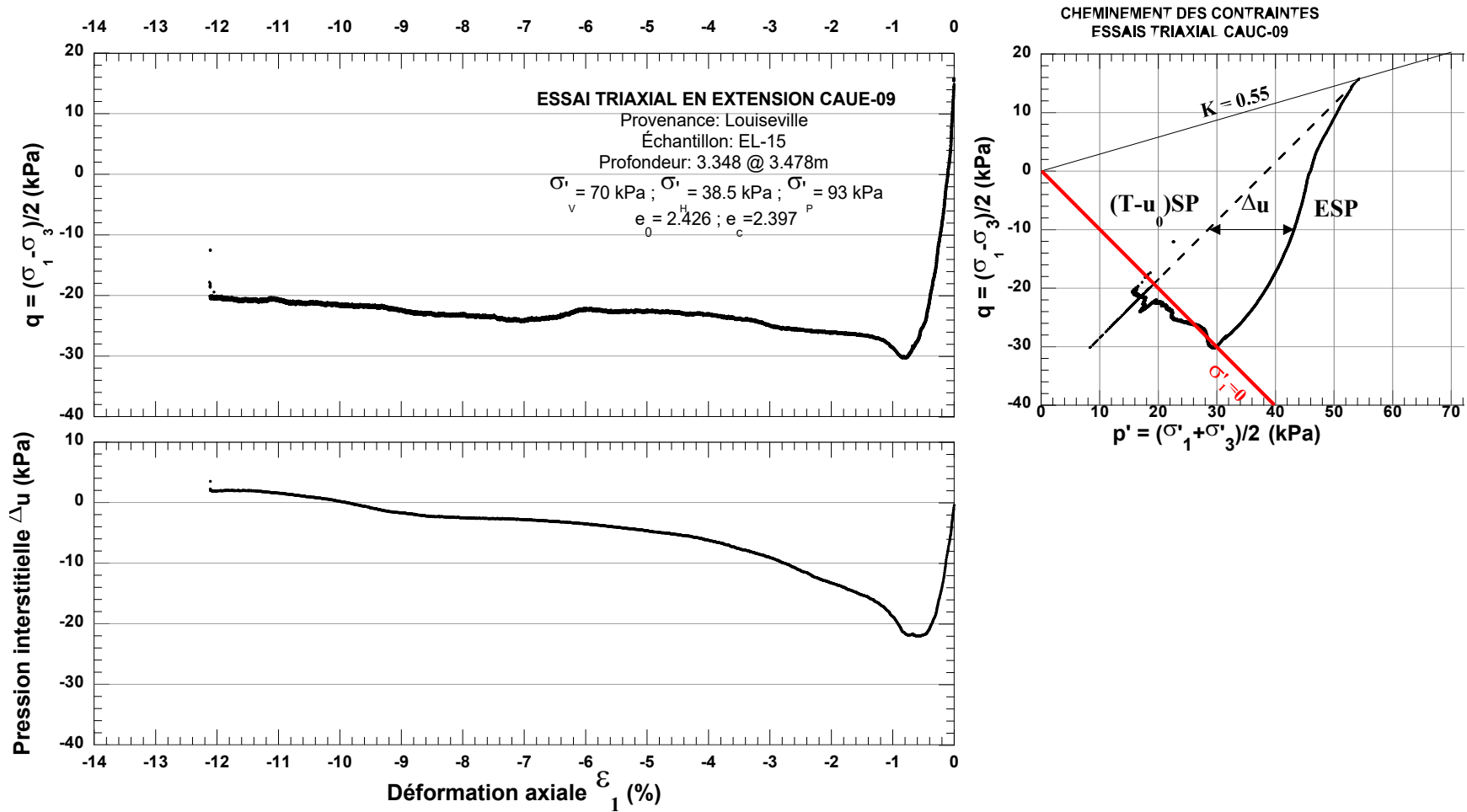


Figure 12. **Essai triaxial en extension CAUE-09** : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (gauche, haut) et pression interstitielle Δu (gauche, bas) en fonction de la déformation axiale ε_1 ; cheminement de l'essai en contraintes effectives dans le système du MIT (q, p') pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0.55$) (droite).

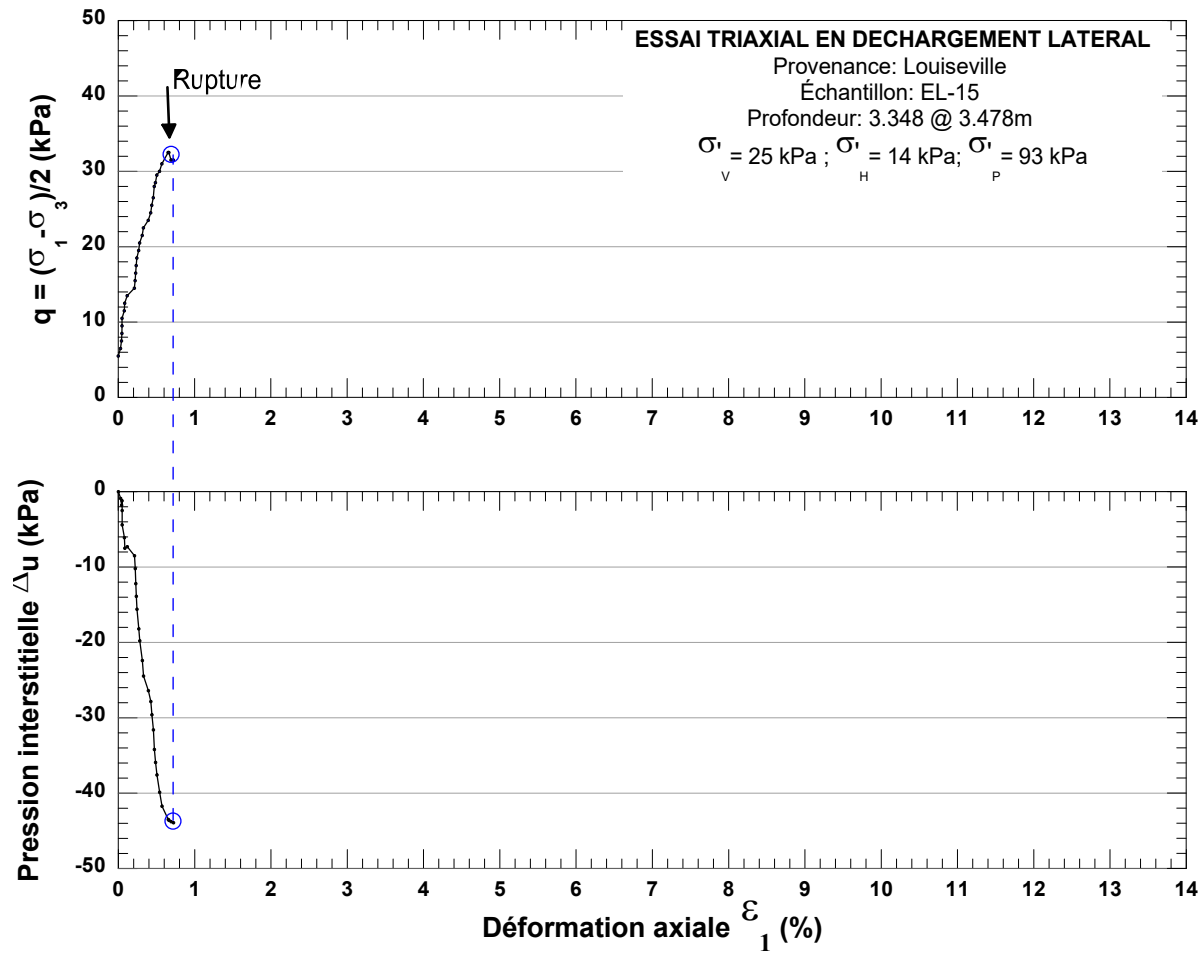


Figure 13. Essai triaxial en déchargement latéral CAUDL-10 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (haut) et pression interstitielle Δu (bas) en fonction de la déformation axiale ϵ_1 pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0,55$).

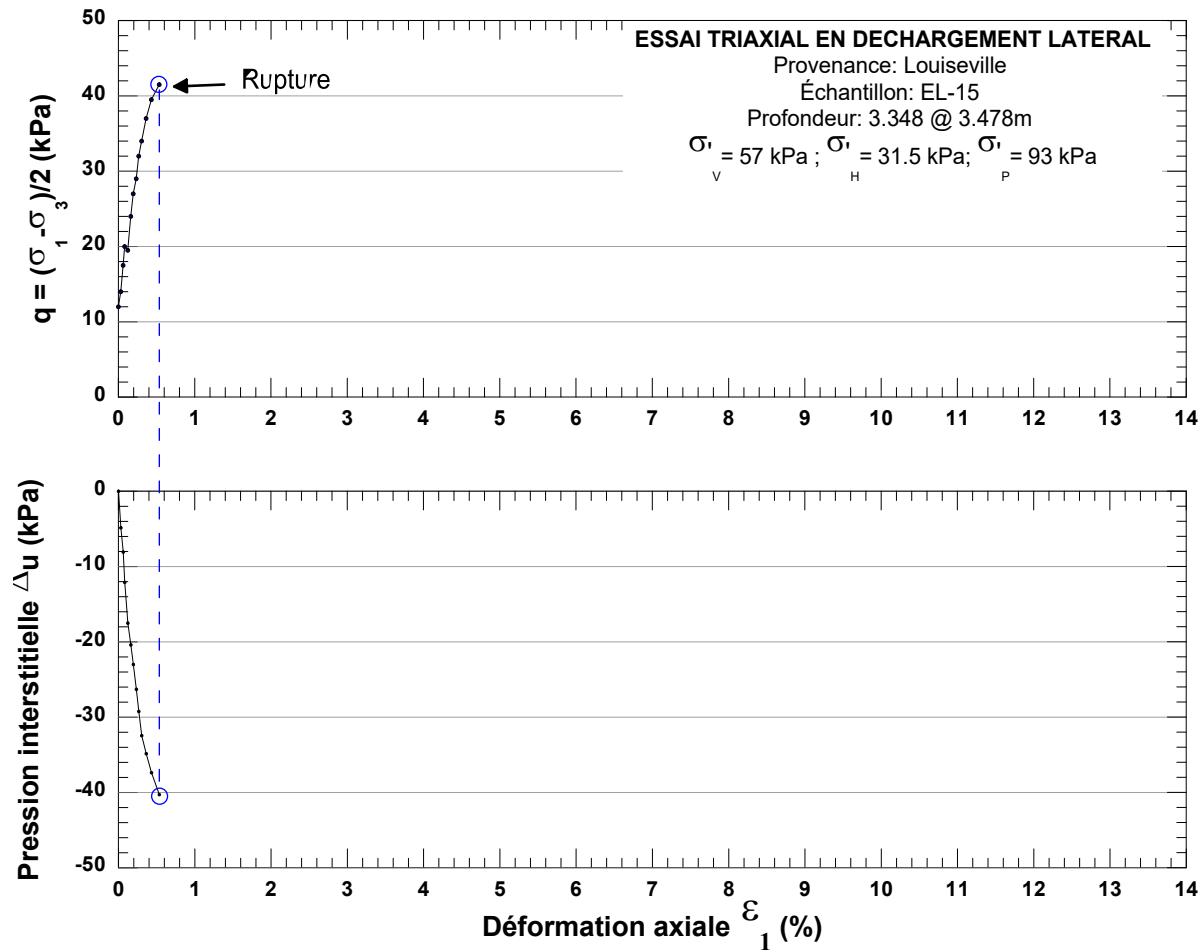


Figure 14. Essai triaxial en déchargement latéral CAUDL-11 : Demi-déviateur $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ (haut) et pression interstitielle Δu (bas) en fonction de la déformation axiale ϵ_1 pour consolidation anisotrope ($K_0 = 0,55$).

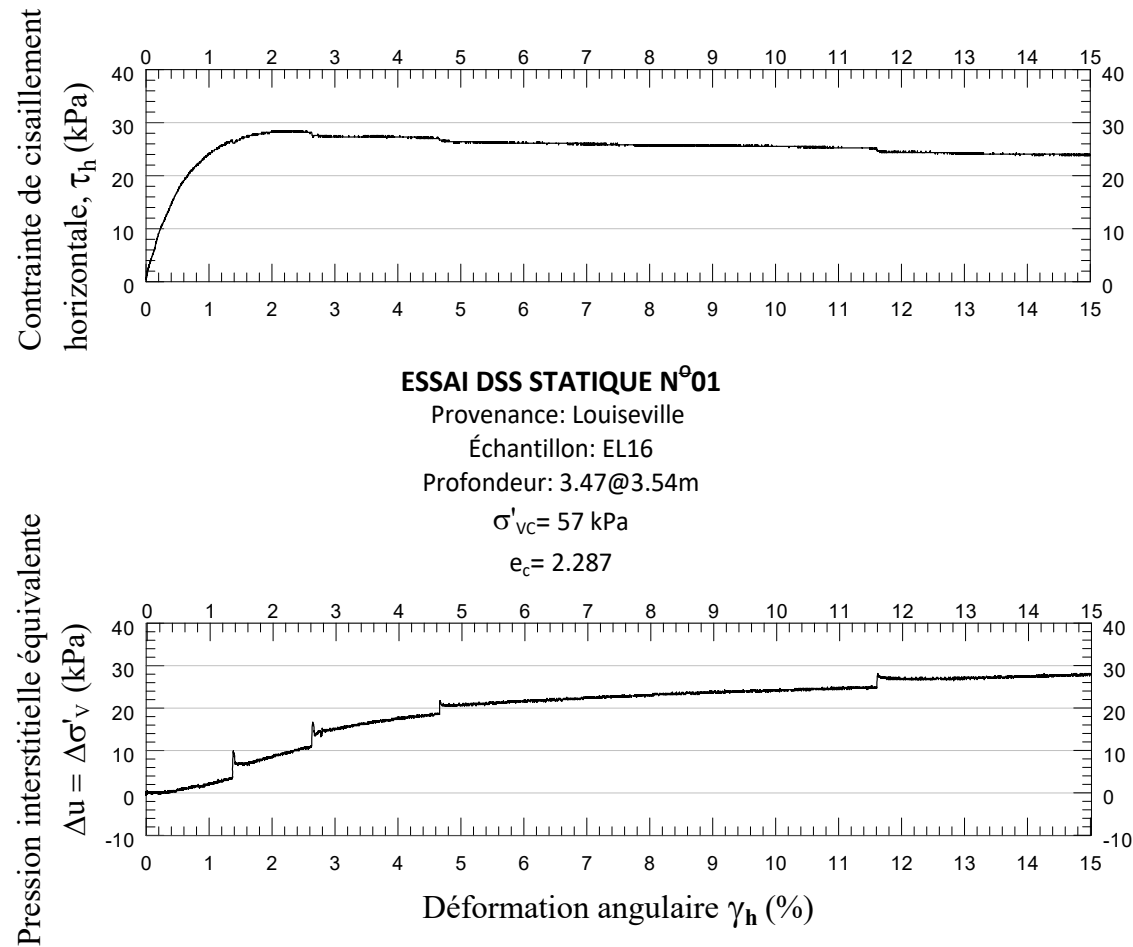


Figure 15. **Essai en cisaillement simple (DSS) à volume constant DSS_{stat}-01** : Contrainte de cisaillement horizontale τ_h (haut) et pression interstitielle équivalente $\Delta u (= \Delta\sigma'_v)$ (bas) en fonction de la déformation angulaire γ_h (%).

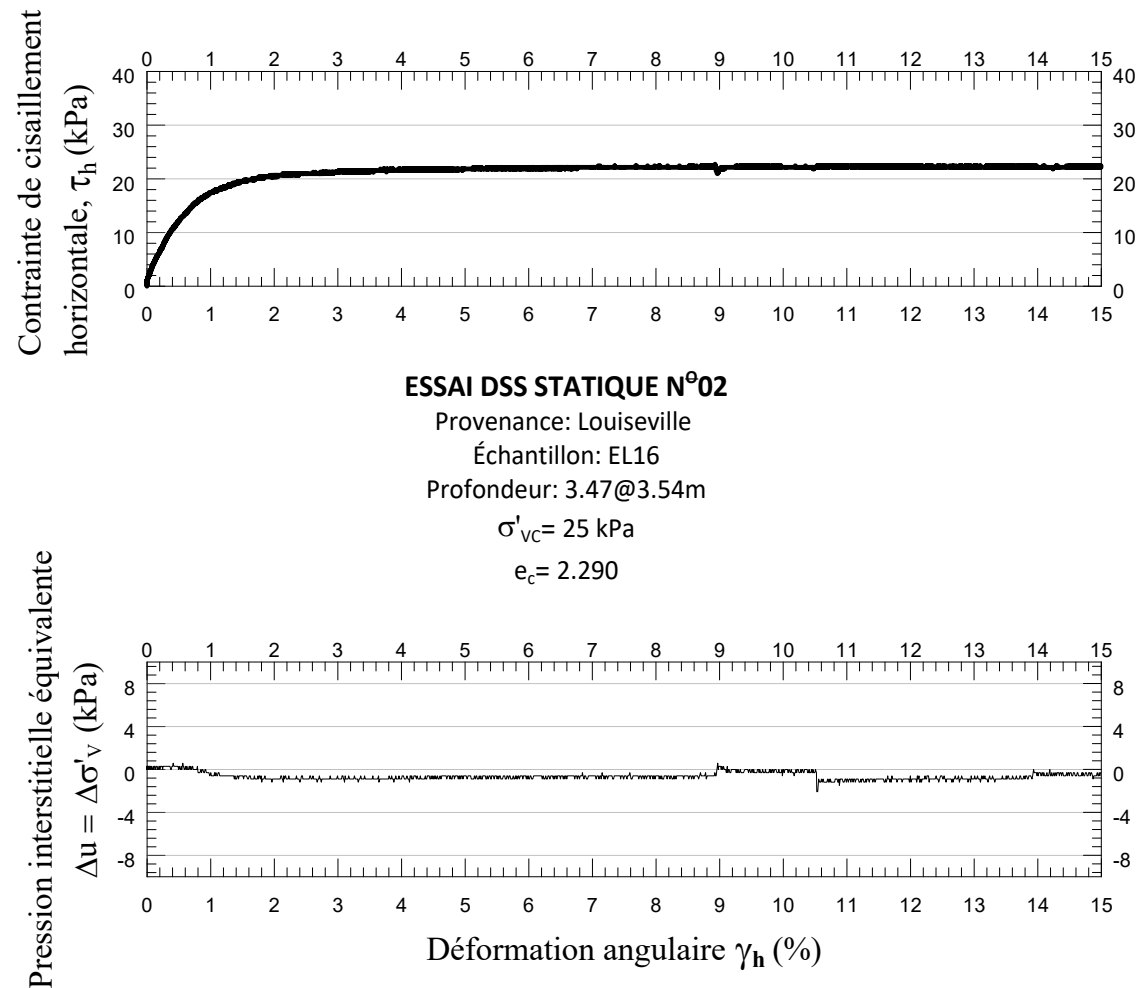


Figure 16. **Essai en cisaillement simple (DSS) à volume constant DSS_{stat-02} : Contrainte de cisaillement horizontale τ_h (haut) et pression interstitielle équivalente $\Delta u (= \Delta\sigma'_v)$ (bas) en fonction de la déformation angulaire γ_h (%).**

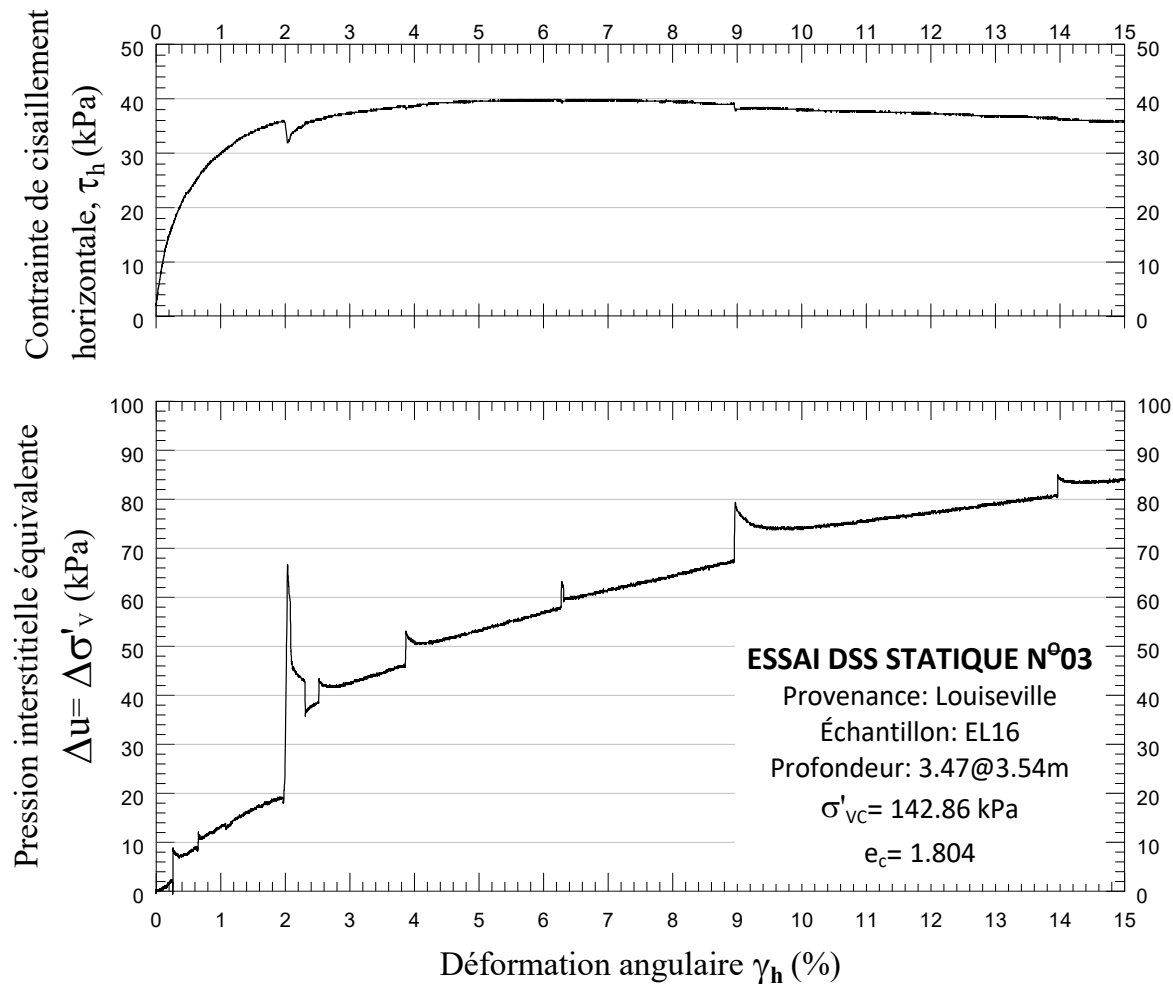


Figure 17. **Essai en cisaillement simple (DSS) à volume constant DSS_{stat}-02 : Contrainte de cisaillement τ_h (haut) et pression interstitielle équivalente $\Delta u (= \Delta\sigma'_v)$ (bas) en fonction de la déformation angulaire γ_h (%).**

A.V Essais œdométriques : résultats expérimentaux

Tableau 5. Programme d'essais œdométriques réalisés sur les échantillons d'argile de Louiseville

Échantillon	Profondeur (m)	γ_h (kN/m ³)	$W_{initiale}$ (%)	e_0	$\sigma'_{p \text{ min}}$ (kPa)	σ'_{p} (kPa)	$\sigma'_{p \text{ max}}$ (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	OCR
EL01	2,22	14,60	89	2,45	74	81	89	18,9	4,3
EL02	2,35	14,69	91	2,50	70*	75*	88*	19,6	3,8
EL03	2,48	14,87	89	2,42	74	78	85	20,2	3,9
EL04	2,61	14,81	83	2,28	76	82	90	20,9	3,9
EL09	3,15	14,84	85	2,33	80	86	98	23,6	3,6
EL10	3,28	14,76	90	2,48	88	93	102	24,2	3,8
EL11	3,41	14,97	90	2,46	92	96	107	24,9	3,9

*Essai réalisé sur l'échantillon EL06.

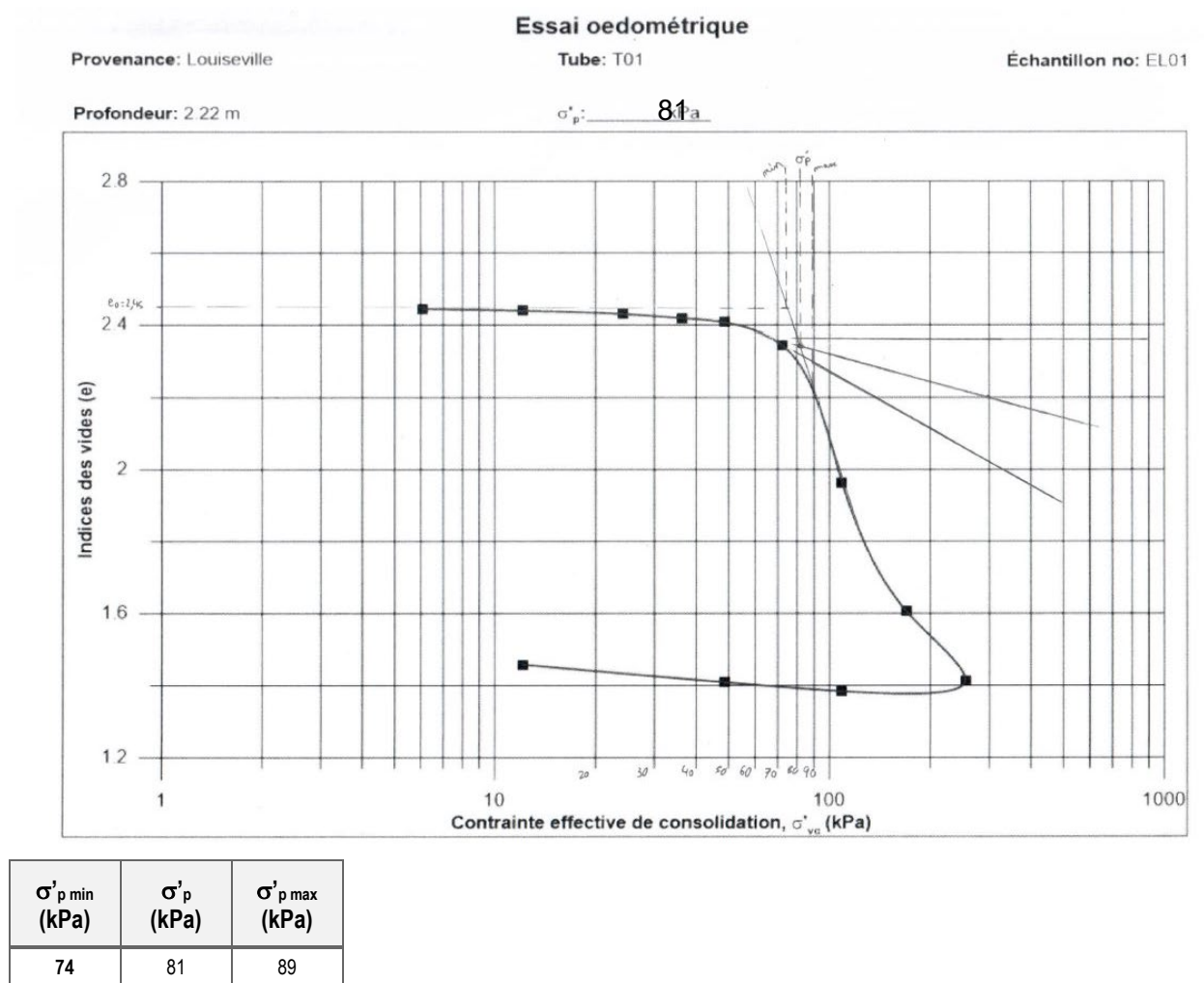


Figure 18. Essai œdométrique EL01.

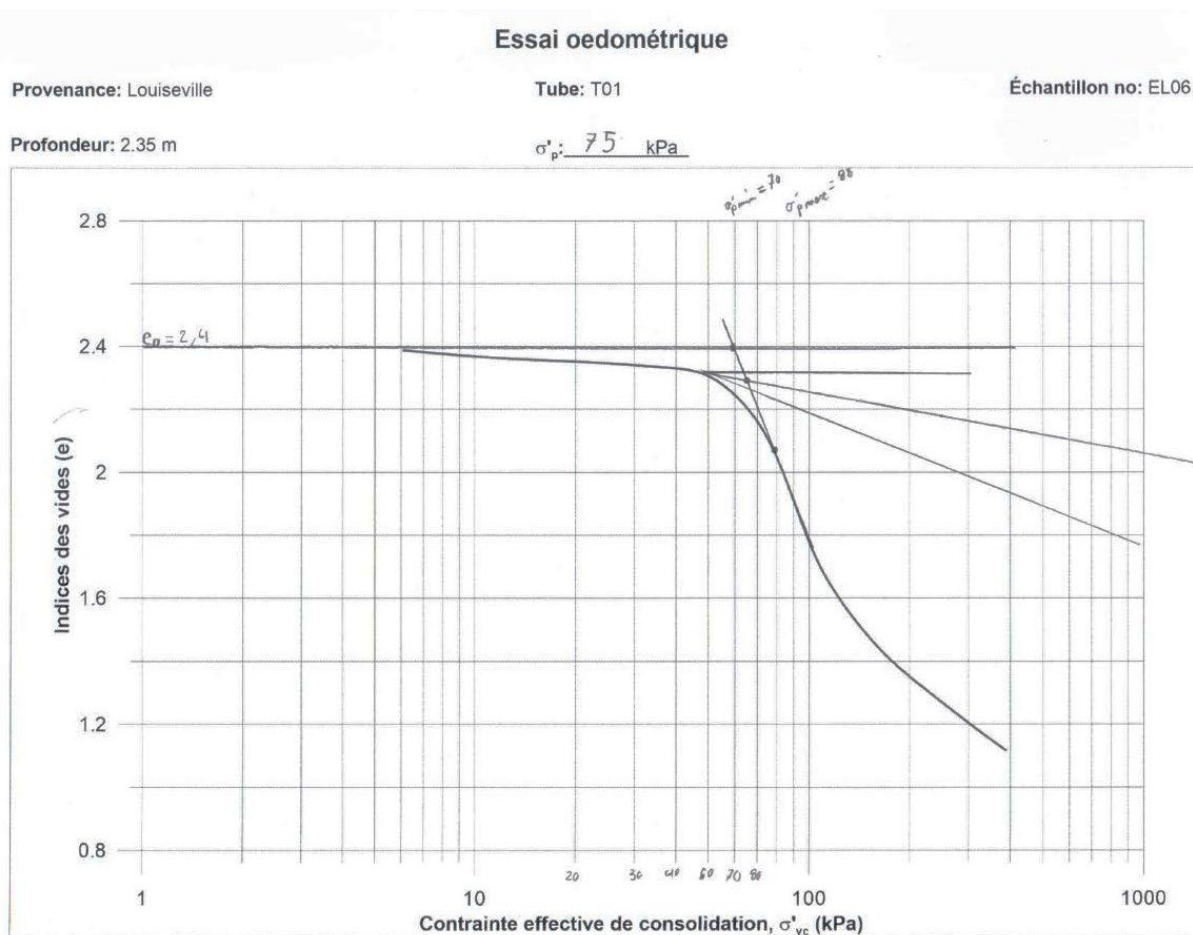


Figure 19. Essai œdométrique EL02.

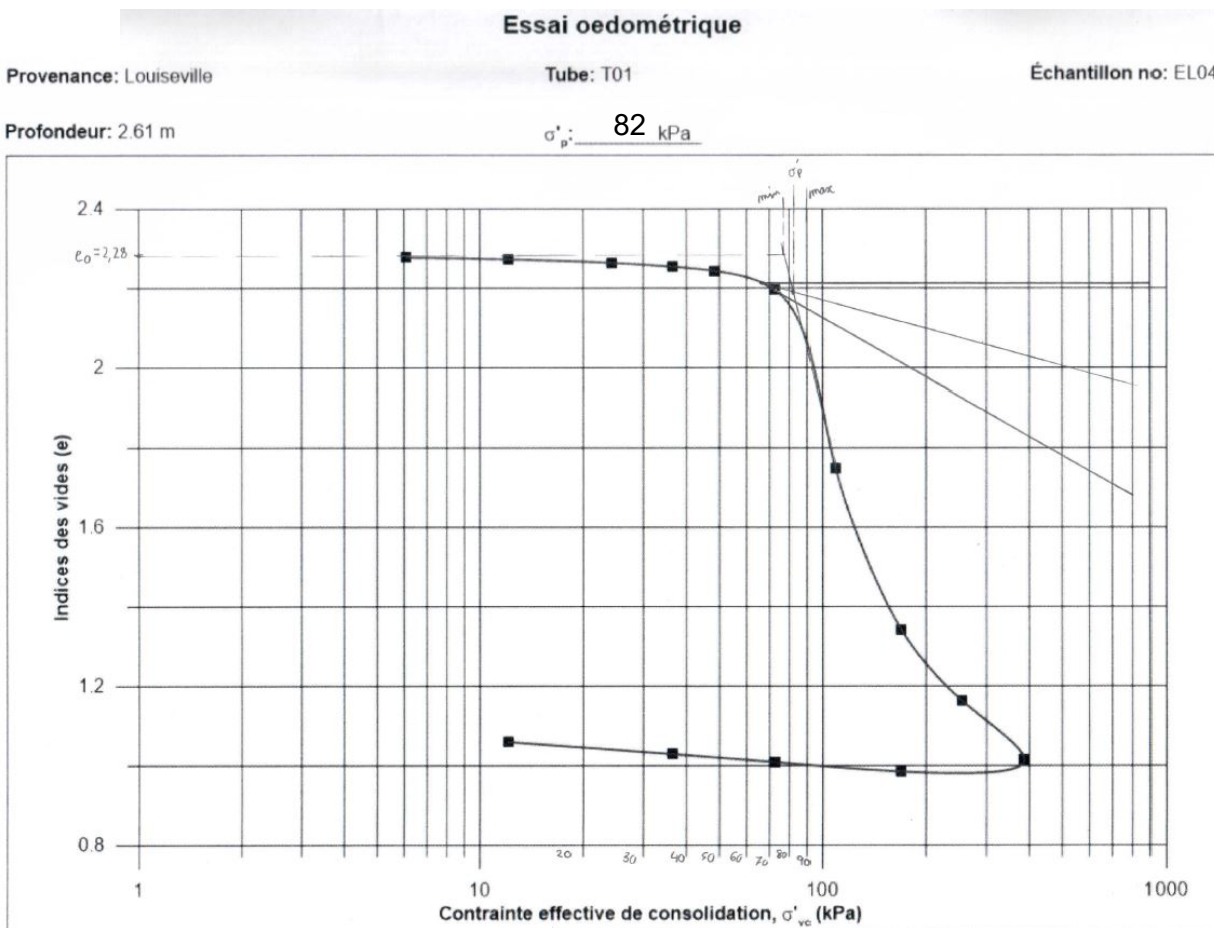


Figure 21. Essai œdométrique EL04.

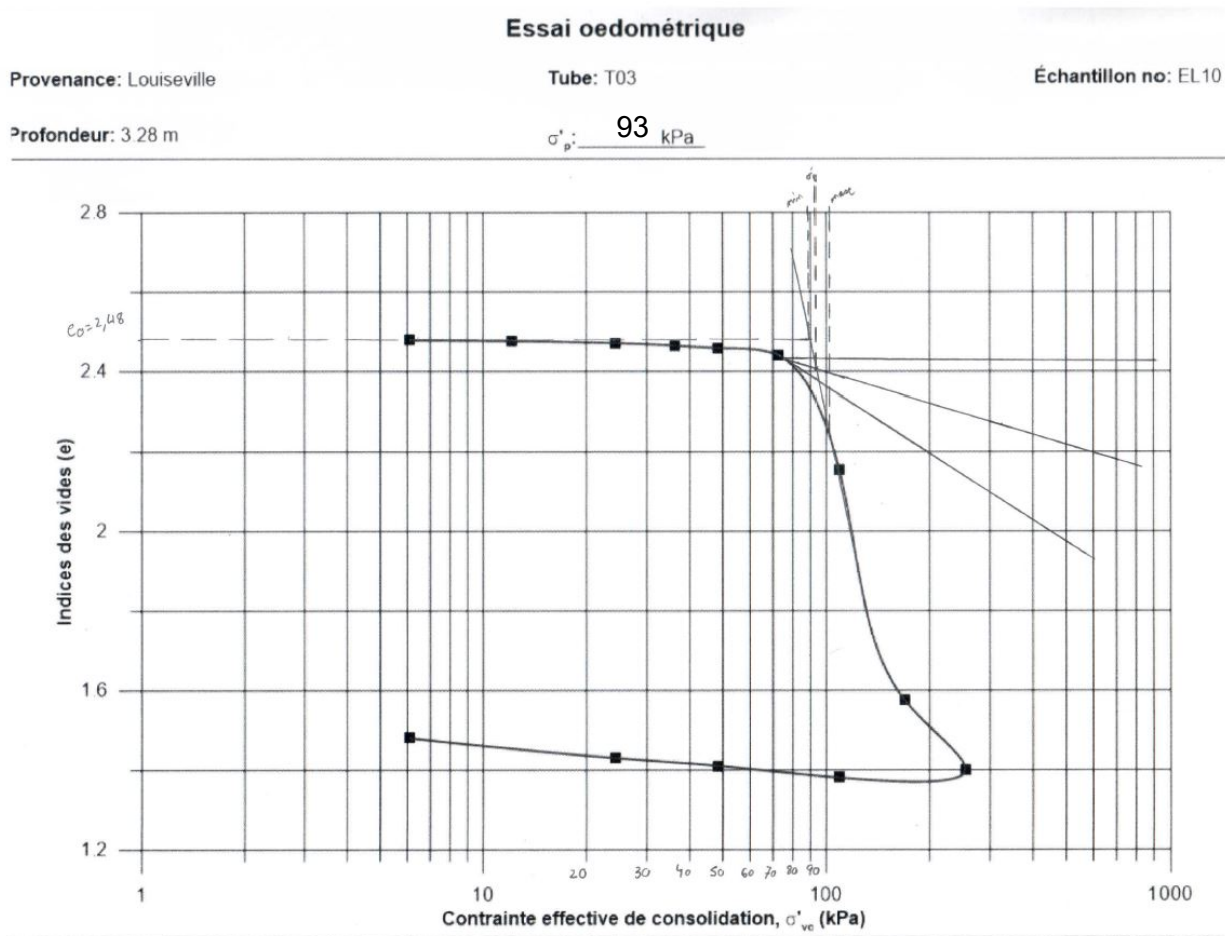


Figure 23. Essai œdométrique EL10.

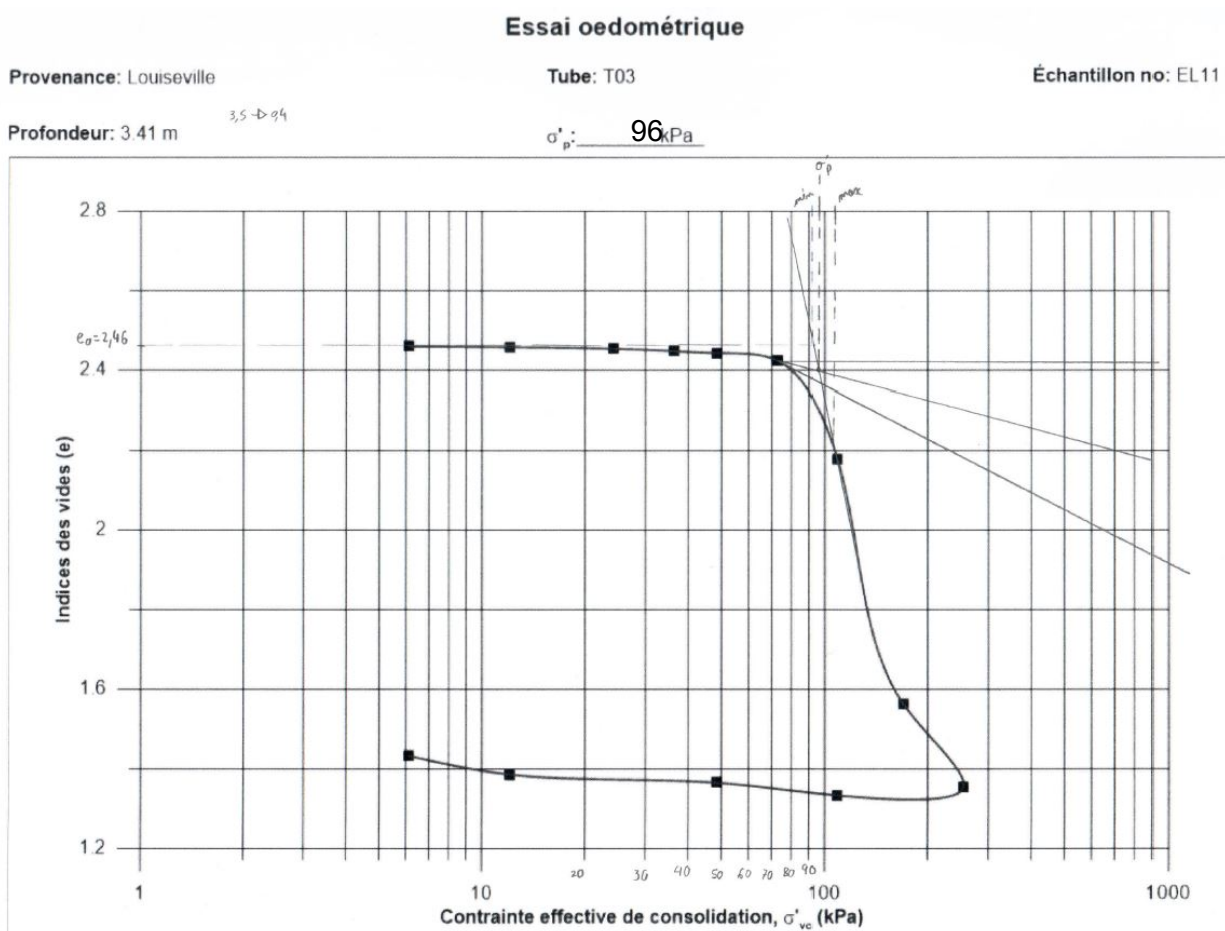


Figure 24. Essai œdométrique EL11.