

L'optimisation
de la conception
des procédés
et des performances



nouvelles **A**pproches de **R**econnaissance
des **S**ols et de **C**onception des **O**uvrages
géotechniques avec le **P**ressiomètre



Journée de restitution

Introduction – Présentation de la journée

Roger Frank (Président)

Sébastien Burlon (Directeur Technique)

Philippe Reiffsteck (Directeur Technique)

1. Le Projet National ARSCOP : quelques chiffres
2. Origine et motivations
3. Quelques résultats et enseignements
4. Présentation de la journée de restitution



47 PARTENAIRES



A.Hardouin, C.Duran et P.Gotteland

Bureau
CST (les pilotes d'axes en particulier)

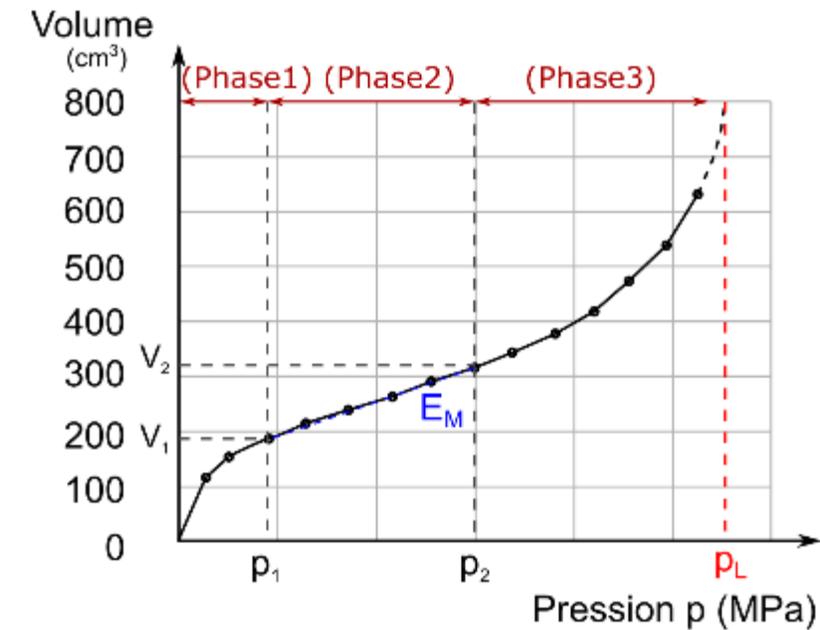
4 développeurs, 21 BE, 3 MOE, 3 MOA, 6 entreprises, 1 Bureau de Contrôle, 1 Start-up (big data), 4 Universités ou EP, 2 syndicats, Ministère TES, IREX

1. Durée du projet : près de 9 ans de 2015 à 2024 avec la période du COVID à gérer et un montage entre 2013 et 2015
2. Budget total : 1 770k€
Apports en nature : 1 286 k€
3. 4 tranches :
 1. Tranche 1 : 514 k€
 2. Tranche 2 : 430 k€
 3. Tranche 3 : 423 k€
 4. Tranche 4 : 403 €

- un outil de reconnaissance des sols et des roches :

- une courbe pression-volume déduite d'un essai de chargement à petite échelle
- un état de contrainte,
- un module (E_M),
- un paramètre de résistance (p_{IM}^*)

→ Conserver cette particularité de l'essai pressiométrique et améliorer les protocoles d'essais



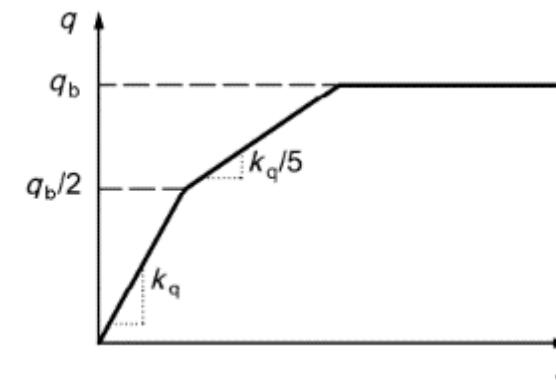
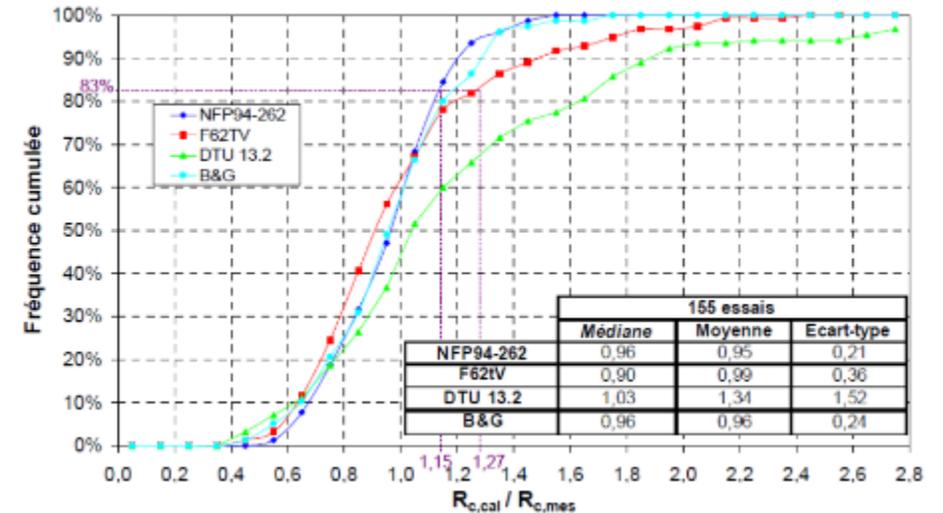
- un outil de dimensionnement des ouvrages géotechniques :

- des méthodes directes (portance, tassement) en constante évolution depuis les années 60 (Fond72, DTU, Fascicule 62 Titre V)
- des méthodes indirectes (méthode t-z, méthode p-y, méthode des éléments finis, etc.)

→ Garder la mémoire de ces méthodes de calcul et poursuivre leur évolution à la fois pour les méthodes directes et indirectes

$$s_c = \frac{\alpha}{9E_c} (q' - \sigma'_{v0}) \lambda_c B$$

$$s_d = \frac{2}{9E_d} (q' - \sigma'_{v0}) B_0 \left(\lambda_d \frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$



- Le pressiomètre :
 - **pérenniser le savoir-faire et le savoir autour de cet outil**
→ Garder l'idée de départ d'un essai « intégrateur » et la développer
 - **poursuivre son évolution par rapport aux enjeux géotechniques actuels**
→ optimiser les ouvrages géotechniques (empreinte carbone)
 - **Renforcer son positionnement à l'international** (notamment face à d'autres méthodes de reconnaissance in-situ)



1. **Axe 1 – Systèmes de mesure et de protocoles**
(C.Jacquard et S.Varaksin)
2. **Axe 2 – Méthodes de calcul des ouvrages géotechniques**
(A.Puech et D.Dias)
3. **Axe 3 – Valorisation et communication**
(J.Habert et L.Carpinteiro)

- Réalisation d'un retour d'expérience auprès de la profession dans le cadre de la pratique quotidienne.

- Mesure de la pression interstitielle pour faciliter l'interprétation de l'essai dans les différentes natures de sol et cerner les facteurs d'influence.
- Mise en œuvre de techniques de forage et d'autoforage pour répondre au problème de création de la cavité cylindrique d'essai.
- Développement de matériel et protocoles d'essais adaptés au domaine des faibles déformations.
- Développement de l'appareillage cyclique pour permettre l'étude de la liquéfaction des sols.
- Développement de l'appareillage sismique pour optimiser la qualité du signal et la rapidité de la réalisation de la mesure.

- Caractérisation des sites expérimentaux.

- Etude du comportement des ouvrages dans le domaine des petites déformations.
- Obtention de lois de comportement permettant d'alimenter des calculs numériques.
- Prévion du module de déformation du sol en fonction des différents cycles de chargement.

- Modélisation de l'aléa des propriétés des sols.

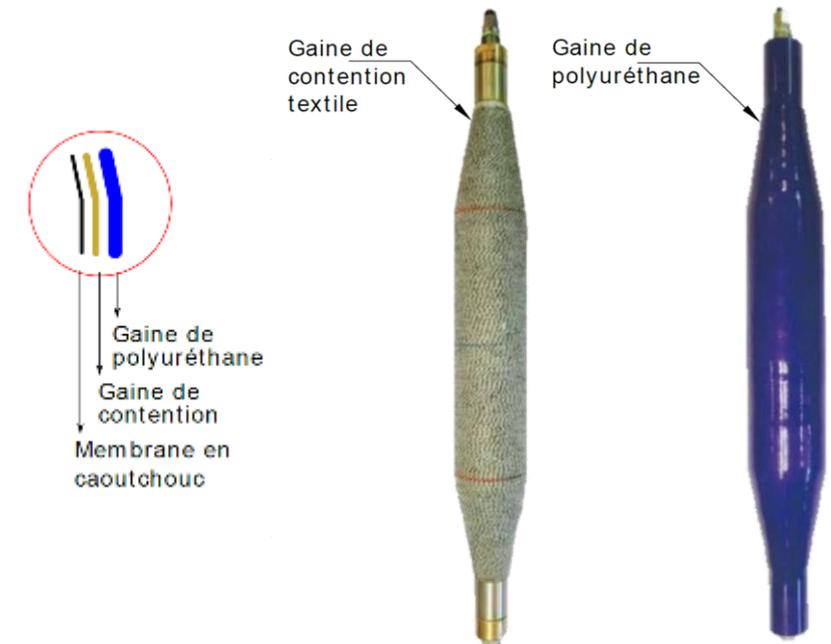
- Consolidation ou constitution de bases de données relatives aux fondations profondes, aux fondations superficielles et aux écrans.

Elargir la communauté des utilisateurs du pressiomètre par :

- la réalisation d'un ouvrage de synthèse,
- la présentation et la participation à des conférences,
- la réalisation de séminaires, de supports de formation pour la pratique quotidienne.

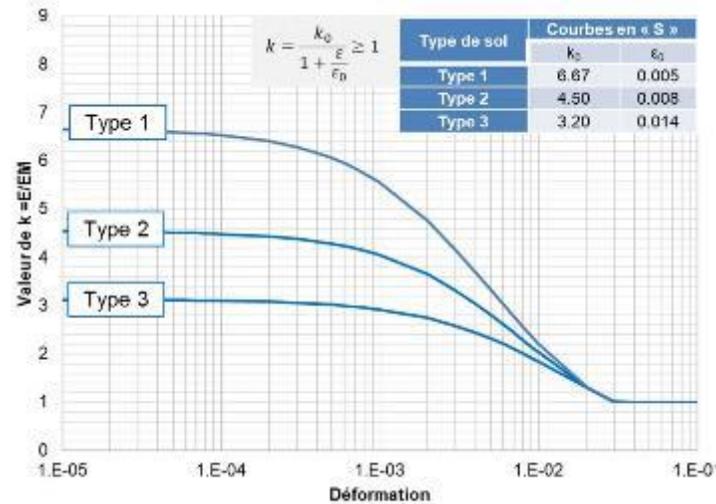
- Alexandre Lopes (2020) : Determination of soil shear modulus at low strain level using an innovative pressuremeter probe : Application to cyclic pile design, thèse UPE-ENPC
- Panagiotis Karagiannopoulos (2020) : Développement de capteurs de pression interstitielle pouvant être mis en place sur tout type de sonde dont la sonde nue Ménard, thèse UPE
- Rym Baccara (---) : Contribution à l'étude des pieux sous charge transversale
- Anas ABBASSI SABER (---) : Détermination de la dégradation des caractéristiques mécaniques des sols à court terme lors des séismes ou des ruptures d'ouvrage à l'aide de méthodes combinées géotechniques/Géophysiques», thèse CIFRE avec la société Géomatech - U. Paris Est/ENPC
- Soufiane AISSAOUI, (2021). Détermination de la dégradation des caractéristiques mécaniques des sols à court terme lors des séismes ou des ruptures d'ouvrages, thèse Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen

- Une synthèse des pratiques nationales
- Des campagnes d'essais croisés
- Des évolutions matérielles :
 - Sonde monochambre FC®
 - Capteur de déformation par inductance
 - Capteur de déformation par effet Hall
 - Intégration de capteurs sismiques
 - Mesure de pression interstitielle
 - Mesure K_0
- Des expérimentations



- Quelques évolutions dans les méthodes de calcul :
 - Une meilleure analyse du terrain autour de la sonde
 - NF P94-261 : fusion Fascicule 62 Titre V/DTU13.12 + Base d'essais de chargement du LCPC – repris dans l'EN 1997

- NF P94-262 : nouvelle méthode de calcul avec la base d'essais de chargement du LCPC – repris dans l'EN 1997
- Nouvelle méthode de calcul de tassement des semelles
- Approche unifiée du tassement des semelles et des radiers
- Frottements axiaux pour les tirants et les micropieux



($E_M = E_0$)

Type de sol	Type
Sables et graves Roche très fracturée	1
Sables, graves serrés Limos	2
Argiles, argiles surconsolidées Roche peu fracturée	3

(Projet National ARSCOP, 2018)

- Une certaine reconnaissance internationale :
 - P. Reiffsteck puis J. Habert : chair du groupe « essais d'expansion » au ISO\TC182
 - C. Jacquard : conférence plénière à ISC6 en 2021
 - A. Lopes : Prix Boussinesq en 2021 et Bright Spark Lecture à ISC7 en 2024 et
 - Sessions dédiées au pressiomètres aux conférences ISC6 et ISC7
- Des publications lors de conférences : ISC6, ISC7, JNGG 2020, JNGG2022, etc.
- Revues internationales (ASTM, Canadian Geotechnical Journal, EJECE, etc.)
- Des recommandations en cours de finalisation...
- Une revue des pratiques à analyser.



Bright Spark Lecture

Innovative procedures to derive ground moduli from pressuremeter tests

Dr. Alexandre Lopes

Dr. Lopes is a senior geotechnical engineer at Terrasol (Setec group), France. He obtained his PhD degree in 2020, having as main research goal the improvement of deep foundation design methods based on pressuremeter tests. Focus was on the assessment of ground moduli. His work was later honored with the prestigious "Boussinesq Award" given by the French Society on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (CFMS).

Dr. Lopes holds a joint degree in Civil Engineering between Brazil (Universidade Federal de Minas Gerais) and France (Ecole des Ponts ParisTech), where he also obtained his Master's degree in 2013. He started his career as a geotechnical engineer in a consulting company in Brazil, where he worked for three years before starting his PhD in France.

He is an active member of the CFMS, having chaired its Young Member's chapter from 2021 to 2023, and now as a member of its Scientific Board. He is part of the team responsible for drafting the ARSCOP recommendations aimed at enhancing the practice of pressuremeter tests.



- Chapitre 1 : Introduction
- Chapitre 2 : Procédures courantes d'essais et d'interprétations
- Chapitre 3 : Procédures d'essais et d'interprétations avancées
- Chapitre 4 : Applications aux ouvrages géotechniques
- Chapitre 5 : Commande d'essais pressiométriques

09h00 : Accueil des participants**09h30 : Ouverture de la journée**

- Roger Frank (*ENPC*) : introduction
- Sebastien Burlon (*terrasol*) et Philippe Reiffsteck : bilan du Projet National (axes, thèses, lignes directrices, présentation de la journée)

10h00 : Synthèse de l'axe 1 : Etat de la pratique essais croisés

- Catherine Jacquard (*Fondasol*) : état de la pratique et résultats de la campagne d'essais croisés
- Patrice Désourtheau (*Ginger*) : point de vue d'un bureau d'étude géotechnique #1
- Thomas Simonnot (*Accotec*) : point de vue d'un bureau d'étude géotechnique #2
- Jacques Monnet (*Gaiatech*) : réflexions sur l'interprétation de l'essai pressiométrique

Pause 20'**11h30 : Synthèse de l'axe 2 : Développements matériels**

- Alexandre Lopes (*terrasol*) : mesure des modules à petite déformation
- Lionel Dare, Damien Bréchet (*Apageo*) : développements sur l'automatisation de l'essai
- Mickael Peronne (*Lutz*) : développements sur la mesure de pression interstitielle
- Philippe Reiffsteck (*Université Gustave Eiffel*) : développements des protocoles d'essai et d'interprétation

13h00 : Déjeuner à la FNTF

14h30 : Normalisation et vision internationale

- Jean-Pierre Baud, Julien Habert (*Eurogé, terrasol*) : normalisation en France et en Europe
- Marcos Arroyo (*université de Barcelone*) : vision internationale

15h30 : Synthèse de l'axe 2 : application aux ouvrages géotechniques

- Jacques Monnet (*Gaïatech*), Luc Boutonnier (*Egis*) : Interprétation de l'essai en conditions non saturées et non drainées
- Grégory Meyer (*Egis*) : Recalage des modules de déformation en fonction de la déformation d'un soutènement en parois moulées
- Minh Tuan Hoang, Julien Habert (*terrasol*) : Application au dimensionnement
- Gilles Valdeyron (*cerema*) : Le pressiomètre dans les normes de dimensionnement

17h00 : Conclusions et perspectives

- Wissem Frikha (*Setec*) : perspectives
- Roger Frank (*ENPC*) : clôture de la journée

**Michel Gambin
(1930-2024)**



**François Schlosser
(1938-2024)**



**Michel Bustamante
(1939-2024)**



Bonne journée de restitution

**Merci pour votre participation
et votre temps consacré au pressiomètre**

- Aissaoui S., Zadjajoui A., Reiffsteck P. (2018). Cyclic Tests with a New Pressuremeter Apparatus, China-Europe Conference on Geotechnical Engineering, I.-W. Wu and H.-S. Yu Eds., SSGG, pp. 1–5, https://doi.org/10.1007/978-3-319-97112-4_148
- Aissaoui S., Zadjajoui A., Reiffsteck P. 2020, A New Protocol for Measuring Small Strains with a Pressuremeter Probe: Development, Design, and Initial Testing Measurement, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108507>
- Aissaoui S., Zadjajoui A. Reiffsteck P. (2020) Contribution of modification of a pressuremeter for an effective prediction of soil deformability Geomechanics and Engineering, Vol.23, No.4000-000DOI: <https://doi.org/10.12989/gae.2020.23.4.000>
- Burlon, S., Cuira, F., Frank, R., Habert, J., Jacquard, C., Puech, A., Reiffsteck, P., Varaksin, S. Préparation des recommandations du Projet National ARSCOP (2022) JNGG 2022, Lyon.
- Burlon, S. Reiffsteck, P., Frank, R. (2020) Le Projet National ARSCOP, Revue Travaux , n°965 – décembre 2020.
- Cour, F., Lopes dos Santos, 2021. An innovative pressuremeter probe, in: ISC'6. Budapest. Cour, F., Lopes dos Santos, A., 2018a. Paramètres de forage pour un positionnement judicieux de la sonde pressiométrique, in: JNGG2018. Champs-sur-Marne.
- Cour, F., Lopes dos Santos, A., 2018b. Sonde monocellulaire innovante pour la réalisation d'essais d'expansion de cavité cylindrique, in: JNGG2018. Champs-sur-Marne. Frank, R., Zhao, S.R., 1982. Estimation par les paramètres pressiométriques de l'enfoncement sous charge axiale de pieux forés dans des sols fins. BLPC 17–24.
- Dang Q.H., Karagiannopoulos P.G., Reiffsteck P., Fanelli S., Benoit J., Desanneaux G. (2019), Application of cyclic pressuremeter tests to evaluate soil liquefaction, Proc. XVII ECSMGE, Reykjavik, ISBN 978-9935-9436-1-3

- Karagiannopoulos P.G., Peronne M., Reiffsteck P., Szymkiewicz F., (2019), Measure of the pore water pressure during expansion tests - physical and numerical approach, Proc. XVII ECSMGE, Reykjavik, ISBN 978-9935-9436-1-3.
- Karagiannopoulos, P.G., 2020. Apport de la mesure de la pression interstitielle à l'essai pressiométrique : Chargements cycliques et monotones (Thèse de doctorat). Paris Est.
- Karagiannopoulos P.G., Peronne M., Reiffsteck P., (2020) Measure of the water pressure during the pressuremeter test in a calibration chamber-physical and numerical approach, 6th Int. Conf Geotechnical and Geophysical Site Charac., Budapest Hongrie, 8 pages
- Reiffsteck P., Saussaye L., Habert J., (2020) Borehole quality influence on expansion test results, 6th Int. Conf Geotechnical and Geophysical Site Charac., Budapest Hongrie, 8 pages
- Karagiannopoulos P.G, Peronne M., Dang Q.H., Reiffsteck P., Benoît J., (2020) Cyclic pressuremeter tests with pore pressure measurements, application to CSR evaluation, 6th Int. Conf Geotechnical and Geophysical Site Charac., Budapest Hongrie, 8 pages
- Karagiannopoulos, P.G., Reiffsteck, P., Peronne, M., (2021). Pore water pressure measurements during PMT in calibration chamber, in: ISC'6. Budapest. Lopes dos Santos, A., 2020. Détermination of soil shear modulus at low strain level using an innovative pressuremeter probe. Application to cyclic pile design.
- Karagiannopoulos P.-G., Dang Q.-H., Reiffsteck P., Benoît J., Dupla J.-C., M. Peronne (2022) Multicycle expansion tests in natural soils European Journal of Environmental and Civil Engineering, DOI: 10.1080/19648189.2022.2030805.

- Karagiannopoulos P.G. & Peronne M. Reiffsteck (2022) Measurement of the pore pressure around the pressuremeter probe in a calibration chamber. Numerical, analytical and physical approaches Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney 2021
- Karagiannopoulos P.G., Reiffsteck P., Peronne M. (2022) Monotonous and cyclic pressuremeter tests with pore pressure measurements – application to csr evaluation.. Numerical, analytical and physical approaches Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney 2021.
- Jacquard, C., Rispal, M., 2020. Essais préssiométriques Ménard – réflexion sur les matériels et protocoles, in: JNGG2020.
- Habert J., Lopes A. 2024. A practical method to derive shear modulus from pressuremeter tests in clay. Proceedings of the 7th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization. Barcelona, June 2024.
- Habert J., Reiffsteck P., Baud J.P., (2020) Total horizontal at rest pressure measurement with the pressuremeter test, 6th Int. Conf Geotechnical and Geophysical Site Charac., Budapest Hongrie, 8 pages.
- Habert, J., Burlon, S., 2021. Taking into account inhomogeneous distortion around the pressuremeter probe to determine shear modulus, in: ISC'6. Budapest.
- Habert, J., Guimond, A., Cuiru, F., 2021. Pressuremeter based methods to predict the behaviour of grouted micropiles and anchors, in: ISC'6. Budapest.

- Habert, J., Reiffsteck, P., Baud, J.-P., Rispal, M., Jacquard, C., 2020. Essai pressiométrique et résistance hydraulique des tubulures, in: JNGG2020.
- Hoang, M.-T., Cuira, F., Dias, D., Miraillet, P., 2018. Estimation du rapport E/EM : application aux radiers de grandes dimensions, in: JNGG2018. Champs-sur-Marne.
- Hoang, M.-T., El Khotry, N., Burlon, S., Cuira, F., 2021. Settlement of shallow foundations using pressuremeter tests, in: ISC'6. Budapest.
- Hoang, M.-T., Cuira, F., Dias, D., Miraillet, P., 2018. Estimation du rapport E/EM : application aux radiers de grandes dimensions, in: JNGG2018. Champs-sur-Marne.
- Hoang, M.-T., El Khotry, N., Burlon, S., Cuira, F., 2021. Settlement of shallow foundations using pressuremeter tests, in: ISC'6. Budapest.
- Lopes A., Habert J. 2024. Détermination pratique des modules de cisaillement non linéaire à partir d'essais pressiométriques avec boucles dans les sols fins. In: 12èmes Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur. Poitiers, 2024
- Habert J., Lopes A. 2022. Elasticité non-linéaire appliquée à l'essai pressiométrique. In: 11èmes Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur. Lyon, 2022.
- Lopes A., Habert, J., Cuira F. 2022. Interprétation de l'essai pressiométrique pour l'estimation directe des déplacements des ouvrages. In: 11èmes Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur. Lyon, 2022.
- Lopes A., Puech A., Dupla J.C., Canou J. 2022. Determination of non-linear elasticity parameters from innovative pressuremeter tests. Strain transformed approach for hyperbolic undrained behaviour. In : Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney. 2022.

- Lopes A. 2022. A contribution to the improvement of ground investigation using the pressuremeter. Proceedings of the 7th International Young Geotechnical Engineers Conference (IYGEC). Australian Geomechanics Society, Sydney, Australia. ISBN 978-0-9946261-5-8.
- Lopes, A. 2022. Prix Boussinesq 2021 : Détermination du module de cisaillement des sols sous faibles déformations à partir d'une sonde pressiométrique innovante. Rev. Fr. Geotech., 172 (2022) 5. DOI: 10.1051/geotech/2022013.
- Lopes, A., Dupla, J. C., Canou, J., Puech, A., Cour, F. 2021. Evaluation of small-strain shear modulus of Fontainebleau sand based on innovative pressuremeter probe testing in a calibration chamber. Canadian Geotechnical Journal. DOI: 10.1139/cgj-2021-0130
- Lopes A., Dupla JC., Canou J., Cour F., Puech A., Droniuc N. 2020. Laboratory validation of the measuring capabilities of an innovative pressuremeter probe in dry sand. ASTM. Geotechnical Testing Journal. DOI : 10.1520/GTJ20190209
- Lopes A., Puech A., Dupla JC., Canou J. 2020. Essais pressiométriques et dimensionnement cyclique des pieux : premiers résultats et perspectives. Dixièmes Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur. JNGG. France. 2020.
- Cour F., Lopes A. 2020. An innovative MonoCell pressuremeter probe to meet the recent needs of geotechnical engineering. 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, 2020.
- Lopes A., Droniuc N., Puech A., Cour F. 2020. Assessment of shear stiffness at small strain rate using an innovative monocell pressuremeter probe. 6th International Conference on Geotechnical and Geophysical Site Characterization, 2020.

- Lopes A., Dupla J.C., Canou J., Droniuc N. 2019. Laboratory validation of an innovative mono-cell pressuremeter probe: test procedures and first results. European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 8 pages.
- Lopes A., Puech A., Droniuc N., Cour F. 2019. In-situ validation of an innovative mono-cell pressuremeter probe: first results. European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 8 pages.
- Lopes A. 2018. Cyclic pressuremeter tests – Shear modulus determination at low strain rate. Conférence européenne des jeunes ingénieurs géotechniciens, EYGEC (Graz, Autriche, septembre 2018).
- Lopes A., Puech A., Droniuc N., Geisler J., Cour F. 2018. Mesures de G à faibles déformations à partir d'une sonde pressiométrique monocellulaire. Neuvièmes Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur. JNGG. Champs sur Marne, France. 13 - 15 juin, 2018.
- Lopes dos Santos, A., Cour, F., Puech, A., Dupla, J.-C., Canou, J., 2021. Assessment of shear stiffness at small strain level using an innovative monocell pressuremeter probe, in: ISC'6. Budapest.
- Lopes dos Santos, A., Dupla, J.-C., Canou, J., Puech, A., Droniuc, N., Cour, F., 2020. Laboratory Evaluation of the Measuring Capabilities of an Innovative Pressuremeter Probe in Dry Sand. <https://doi.org/10.1520/GTJ20190209> Geotechnical Testing Journal 44.
- Lopes dos Santos, A., Puech, A., Droniuc, N., Geisler, J., Cour, F., 2018. Mesures de G à faibles déformations à partir d'une sonde pressiométrique monocellulaire, in: JNGG2018. Champs-sur-Marne.

- Monnet, J., Boutonnier, L., Mahmutovic, D., 2020. Interprétation élastique de l'essai pressiométrique dans les argiles en condition non drainée et non saturée, in: JNGG2020.
- Monnet, J., 2021. Expected precision of the pressuremeter test, in: ISC'6. Budapest.
- Reiffsteck, P., Benoit, J., Habert, J., Karagiannopoulos, P., Desanneaux, G., Fanelli, S., 2018. Procédure pour la détermination du coefficient des terres au repos K_0 par les essais en place, in: JNGG2018. Champs-sur-Marne.
- Reiffsteck, P., Saussaye, L., Habert, J., 2021. Borehole quality influence on expansion test results, in: ISC'6. Presented at the ISC'6, Budapest.
- Reiffsteck Ph., Benoît J., Dang Q.-H., Karagiannopoulos P.-G., (2022) Simplified method for evaluation of liquefaction based on expansion tests, Revue Française de Géotechnique (accepté, en cours de publication) <https://doi.org/10.1051/geotech/2022014>
- Toubassy, L., Darras, V., Cuiru, F., Habert, J., 2018. Etude du comportement en déplacement de micropieux en traction, in: JNGG2018. Champs-sur-Marne.