

ISP5 - PRESSIO 2005



**Symposium international
50 ans de pressiomètres**

***International Symposium
50 years of pressuremeters***

**Sous la direction de / Edited by
Michel GAMBIN, Jean-Pierre MAGNAN et Philippe MESTAT**

Marne-la-Vallée, 22-24 août 2005 / 22-24 august 2005

**RAPPORT NATIONAL DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
NATIONAL REPORT FOR THE GRAND-DUCHY OF LUXEMBOURG**

**Robert HEINTZ
EURASOL S.A., Luxembourg, Grand-Duché**

- tiré à part -

RAPPORT NATIONAL DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG

NATIONAL REPORT FOR THE GRAND-DUCHY OF LUXEMBOURG

Robert HEINTZ

EURASOL S.A., Luxembourg, Grand-Duché

1. L'ère pré-pressiométrique

Avant les années 1960, la reconnaissance des sols de fondation se pratiquait couramment par intuition ou expérience personnelle. Aucune société spécialisée en géotechnique n'était implantée au Luxembourg. Le recours à des méthodes d'investigations in situ ou au laboratoire n'était pas coutumière dans la pratique de la construction. L'Institut Supérieur de Technologie disposait d'un pénétromètre dynamique qui était utilisé occasionnellement par le Service Géologique de l'Etat.

Dans des cas de reconnaissances d'ampleur exceptionnelle, on faisait appel à des spécialistes de l'étranger disposant de moyens d'investigations plus performants. Selon les renseignements qui nous ont été donnés par Monsieur J. Bintz, directeur en retraite du Service Géologique de l'Etat, cette situation s'est présentée dans le cadre de la stabilisation d'un grand glissement qui s'était déclenché au lieu dit « Poteau de Kayl ». Le professeur De Beer de Belgique y était intervenu avec un pénétromètre statique.

2. Particularités dans la pratique pressiométrique au Grand-Duché de Luxembourg

2.1. Le choix de la méthode d'investigation des sols de fondation

Dès 1962, Louis Ménard initiait la création d'une société de droit luxembourgeois pour l'investigation des sols de fondation sous la dénomination de « EURASOL », Bureau d'Etudes Européen des Sols de Fondation, dans le but de promouvoir les méthodes pressiométriques des sols au Benelux et en Allemagne Fédérale.

Ainsi, jusqu'à nos jours, le nom de l'illustre inventeur du pressiomètre est lié à celui de cette société pionnière. C'est pourquoi le nom d'Eurasol sera souvent cité ci-dessous dans le contexte de sa propre histoire, liée à celle du développement de l'usage du pressiomètre au Luxembourg, bien que, depuis ses débuts, plusieurs autres sociétés géotechniques locales et étrangères ont développé leurs activités sur le marché luxembourgeois.

Alors que l'évolution de la pressiométrie au Grand-Duché de Luxembourg suivait étroitement le développement de la technique pressiométrique en France (Gambin, 1990), cette nouvelle technique d'investigation et les nouvelles règles de calcul des fondations associées ne furent pas toujours facilement acceptées.

En effet, en l'absence d'Université au Luxembourg, le choix de la méthode d'investigation des sols dépend en premier lieu des connaissances que le géotechnicien a acquises lors de ses études à l'étranger.

Dans ce contexte, il n'est pas surprenant que les géotechniciens en provenance des universités allemandes, où l'enseignement des techniques pressiométriques de reconnaissance et de dimensionnement des fondations est plutôt marginal, ont tendance à être réticent vis-à-vis du pressiomètre en début de leur carrière. Mais pendant 43 ans, la pratique pressiométrique et la théorie de l'élasto-plasticité ont pu s'imposer avec succès dans le domaine de l'investigation des sols et des roches au Luxembourg (Heintz, 2003), de sorte que de nos jours les appels d'offres en tiennent compte ou l'acceptent du moins en variante.

2.2. La réalisation du forage pressiométrique carotté

Dans le souci d'exploiter les résultats d'un forage pressiométrique tant du point de vue géomécanique que du point de vue lithologique et stratigraphique, le Service Géologique de l'Etat a favorisé la réalisation de forages pressiométriques carottés en continu. Sans perdre de vue l'objectif initial d'obtenir un trou dont la paroi sera remaniée au minimum, la pratique du forage pressiométrique carotté est devenue entre temps une pratique courante au Grand-Duché de Luxembourg.

En effet, la géologie du Luxembourg se prête particulièrement bien à cette technique. La partie nord du pays, appartenant au Massif des Ardennes, est formée de roches plissées, qui plongent vers le sud sous une couverture de roches sédimentaires, stratifiées sub-horizontalement qui font partie de la bordure nord du bassin parisien (Beugnies et al., 1973).

Toutes les formations sont recouvertes, d'une part, par un manteau d'altération de faible épaisseur et, d'autre part, par les dépôts alluvionnaires dans les vallées du réseau fluvial. Là encore, la présence de couches graveleuses noyées bouillantes, où il faut substituer l'emploi du tube fendu battu au carottage, est limitée seulement à certaines zones dans les vallées de la Moselle, de l'Alzette et de la Sûre.

L'analyse des courbes pressiométriques des trente dernières années a montré que la crainte que la paroi de forage se trouve remaniée ou préchargée par le fluide du forage carotté n'est pas fondée.



Figure 1. Carottes récupérées d'un forage pressiométrique étalées dans des caisses de 1 m à 2 compartiments; avant analyses des carottes, on reconnaît déjà nettement l'interface remblai/limon brun, ce dernier se transformant progressivement en marne altérée grise et marne gris noir feuilletée reposant sur du calcaire.

La pratique du forage pressiométrique carotté représente un gain d'information manifeste permettant d'augmenter la précision des coupes géologiques et d'affiner la plage d'influence des valeurs pressiométriques et du coefficient de structure " α " en fonction de la nature et des limites stratigraphiques des couches.

Un retour d'expérience fructueux a été constaté dans la rédaction de la norme européenne sur le pressiomètre Ménard actuellement soumise à l'enquête probatoire (CEN, 2005).

Le forage en mode de diagraphie instantanée permet au besoin d'augmenter la précision stratigraphique d'un forage pressiométrique carotté en accouplant la sondeuse à un enregistreur des paramètres de forage. Afin d'assurer une interprétation correcte des résultats, celle-ci se fera en adéquation avec le champ d'application spécifique de chaque appareil de mesure, lui-même correspondant à la nature du problème géotechnique à résoudre.

3. Evolution de la pratique pressiométrique au Grand-Duché de Luxembourg

3.1. Appareillages et exemples d'application

C'est le 31 mai 1962 que le *premier essai pressiométrique* a été effectué à Luxembourg-Ville par la société EURASOL dans le cadre du projet de construction de l'immeuble « LINK », immeuble à vocation industrielle et commerciale, sis à l'angle de la route de Thionville et de la rue du Dernier Sol (EURASOL, 1962).



Figure 2. La tarière à main à injection et le pressiomètre type E présentés devant l'immeuble « LINK »

À cette époque, c'est à la tarière à main que les six forages ont été commencés dans les couches de remblai et de marne altérée, puis terminés par battage d'un train de tube de diamètre 60 mm (faisant office de carottier) à l'aide d'un mouton DELMAG de 100 kg jusqu'au refus dans des marnes indurées, rencontrées en fin de forage.

Les essais pressiométriques (pendant lesquels les lectures à 15 s, 30 s, 1 min. et 2 min. étaient notées) ont été effectués tous les mètres à l'aide d'un pressiomètre de type E qui a permis d'appliquer une pression maximale de 1 MPa dans les marnes indurées.

Utilisé comme immeuble de bureau de nos jours, le bâtiment est en parfait état et ne présente aucun désordre.

Il faudra attendre les années 1970 pour que les *foreuses Ménard D9000* (en 1973) et les *pressiomètres GA* (en 1978) apparaissent sur le marché luxembourgeois. Après la mort de Louis Ménard en janvier 1978, le pressiomètre GA avec son manomètre différentiel, son dispositif de lecture donnant la précision du 50^{ième} de cm³ et capable de développer des pressions dépassant 8 MPa, est resté sans aucun doute le haut-de-gamme dans la mesure de la résistance mécanique des sols et roches tendres alors que ce sont les descendantes des D9000 qui ont pris la relève dans le forage pressiométrique.



Figure 3. Du Contrôleur Pression Volume de type E au pressiomètre GA couplé à son système d'acquisition des données

Le recours à l'essai au *pressiomètre inversé* (Ménard, 1961), axé sur l'analyse des matériaux d'apport des ouvrages en terre, est rare au Luxembourg ; ce qui ne porte nullement atteinte à l'utilité de ce dispositif de type triaxial, permettant de mesurer la résistance au cisaillement et la compressibilité des matériaux remaniés pour divers stades de compactage. Ce type d'essai a été utilisé pour la première fois en 1968 dans le cadre de la réfection de la piste de l'aéroport à Luxembourg (EURASOL, 1968).

L'emploi restreint d'une *sonde pressiométrique « routière »*, sonde monocellulaire courte, destinée au contrôle des compactages ou encore de l'*extensomètre hydraulique* (Ménard, 1967) résulte d'une demande limitée sur le marché et d'une présence d'instruments de mesure mieux adaptés aux cas courants.

La disparition de la technique de stabilisation rapide de glissements de terrains par battage et mobilisation subséquente de l'effort de traction des *ancrages Ménard à géométrie variable* (Ménard, 1969) s'explique pour partie par l'absence de fabricants en Europe. En 1970, ces ancrages ont été utilisés comme moyen de stabilisation d'un glissement à Senningerberg (EURASOL, 1970) où la N.1 recoupe le « Rhétien » (argiles de Levallois) connu au Luxembourg comme une formation géologique à risque majeur vis-à-vis des ruptures de pente (Lucius, 1948). Récemment, ce type d'ancrage nous est revenu par les Etats-Unis d'Amérique et a été réutilisé sur le marché luxembourgeois.

La *consolidation dynamique*, méthode d'amélioration des sols développée et brevetée par Louis Ménard en 1969 (Gambin, 1979) fut appliquée pour la première fois hors de France en 1970 au Luxembourg. Il s'agissait d'améliorer le terrain de construction du nouveau « Centre Hospitalier » sis à Luxembourg-Ville constitué de 10 000 m² de remblais de 7 à 9,5 m d'épaisseur, manifestement en dessous du seuil d'auto-portance. Après « pilonnage intensif », les résultats des essais pressiométriques montraient qu'un taux de travail de 0,3 MPa était admissible (EURASOL, 1970). L'hôpital est en service depuis plus de 30 ans et n'a pas présenté de désordres. C'est sur ce chantier qu'a été prise la photo en page de couverture de

ce deuxième volume des actes du Symposium commémorant le 50^{ième} anniversaire du pressiomètre, où l'on voit Louis Ménard dans une empreinte du pilon (Figure 5). Depuis cette « première » hors de France, l'usage de cette méthode d'amélioration des sols n'a pas cessé de se développer dans le monde entier avec succès (Gambin, 1985).

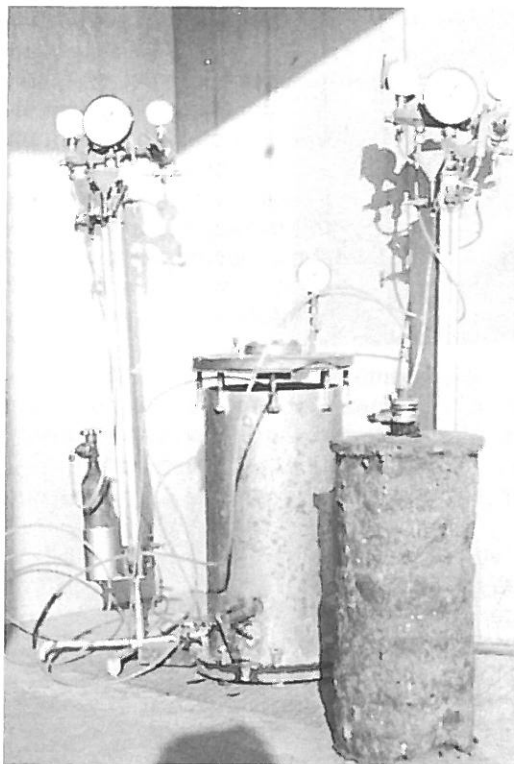


Figure 4. Le pressiomètre inversé comprenant : un cylindre d'acier (milieu) revêtu à l'intérieur d'une membrane torique en caoutchouc en relation avec un C.P.V. modifié de type E (à gauche); l'échantillon testé (à droite) encaissant une sonde pressiométrique reliée à un C.P.V. standard de type E (à droite en arrière plan).

Dans le domaine hydrogéologique, la *pointe pressio-perméamétrique* a été utilisée jusqu'en 1985. Depuis cette date, c'est le *pressio-perméamètre type B* (TLM, 1976) qui a pris la relève et qui connaît de nos jours une renaissance dans le cadre des projets de renaturation des cours d'eau et de construction d'ouvrages écrêteurs de crues (Heintz, 2001) ainsi que comme instrument de contrôle de l'étanchéité du sol d'assise des décharges (AFNOR, 2005).

Comme le pressiomètre et le pressio-perméamètre, le *phicomètre* (AFNOR, 1992) est devenu un instrument de reconnaissance des sols d'application courante au Luxembourg depuis son introduction sur le marché en 1990. Réalisé entre deux essais pressiométriques dans le même trou de forage, l'essai phicométrique fournit des caractéristiques de cisaillement exploitées complémentaires aux caractéristiques pressiométriques, de préférence dans les études de stabilité de pente et dans les calculs de soutènements, ces derniers étant effectués moins fréquemment au Luxembourg suivant la méthode aux coefficients de réaction (Ménard et al., 1970; Balay, 1985).



Figure 5. Louis Ménard dans l'empreinte du pilon : consolidation dynamique lors de la construction du nouveau Centre hospitalier à Luxembourg-ville.

3.2. Les règles de calcul et la présentation des résultats

La méthode de recherche semi-empirique adoptée par Louis Ménard, débouchant sur une théorie pressiométrique et des règles de calcul basées sur le retour d'expérience d'essais en vraie grandeur réalisés au Centre d'Etudes Géotechniques à Longjumeau, a nourri la confiance dans l'application des techniques pressiométriques de reconnaissance et de calcul des fondations (Ménard et Rousseau, 1962).

Au début des années 1960, le taux de travail admissible était calculé comme une simple fraction de la pression limite en fonction de la forme et du type de fondation et rien ne s'opposait à l'exploitation provisoire du module de déformation dans le cadre des méthodes traditionnelles basées sur les théories de l'élasticité et de la consolidation (Ménard, 1971).

Conscient que les théories traditionnelles étaient insuffisamment adaptées aux sols réels de fondation, Louis Ménard a poursuivi un programme de recherche fondamentale pour codifier les règles d'exploitation des essais pressiométriques pour le calcul de fondation, présentées au 6^e Congrès International de Mécanique des Sols à Montréal (Ménard, 1965) et reportées en 1967 dans la brochure de référence dite « D60 » (Ménard, 1975), - en principe toujours d'actualité (Gambin, 1990 ; APAGEO, 1996).

On veut bien suivre l'évolution d'une norme pressiométrique si les modifications sont étayées par le retour d'expérience d'essais en vraie grandeur sans pour autant perdre de vue – en ce qui concerne le dimensionnement des pieux par exemple (Bustamante et Gianselli, 1981) – que, du moins au Luxembourg, aucun désordre n'a affecté des pieux calculés suivant les règles pressiométriques classiques tant pour leur force portante (Ménard, 1963 ; 1967) que pour leur tassement (Gambin, 1963).

À l'époque, les « Règles pour le calcul de la force portante et du tassement des fondations en fonction des résultats pressiométriques » (Ménard, 1965) ont été jointes à la plupart des rapports d'études géotechniques en guise de renvoi à une norme, et, depuis 1979, lorsque les ordinateurs avec table traçante ont pu être achetés à des prix abordables, toutes les courbes pressiométriques avec indication des valeurs brutes et corrigées y figurent en annexe. Depuis l'apparition des premiers appareils de photos numériques, il en est de même en ce qui concerne la représentation photographique des carottes dans le cas où la méthode du forage pressiométrique carotté est adoptée.

4. L'avenir

Vu la réponse inélastique du sol aux efforts, et les difficultés de prélèvement d'échantillons soi-disant intacts, la pressiométrie en général et l'essai pressiométrique en particulier vont sans aucun doute continuer à inspirer les esprits éclairés tout en poursuivant leur conquête du marché géotechnique. L'évolution de l'état des connaissances au Luxembourg depuis 1962, décrite ci-dessus, en est un exemple.

Le handicap décisif qui pourrait sérieusement entraver l'acceptation internationale grandissante de la pressiométrie consiste dans une tendance à la dégradation de l'attention des professionnels en vue d'assurer une pratique correcte des forages et des essais sur site.

En tout premier lieu, c'est l'enseignement tiré de la lecture attentive et systématique des courbes pressiométriques qui est visé, lequel permet de reconnaître les anomalies et de juger si elles sont dues au comportement du sol ou si elles sont liées à une mauvaise application du mode opératoire du pressiomètre ou du forage pressiométrique.

Dans le premier cas, il faudrait pouvoir partir d'une bonne base de connaissances en matière de géologie et d'hydrogéologie pour étudier le problème; dans le deuxième cas, - celui qui nous intéresse ici – il faudrait pouvoir contrôler et corriger la technique de manipulation du sondeur sur site, ce qui nécessite – de la part du géotechnicien – une parfaite connaissance théorique et pratique du pressiomètre.

Le type d'enseignement répondant à ces exigences n'est malheureusement pas à l'ordre du jour à la faculté d'Ingénieurs Civils de l'Institut Supérieur de Technologie à Luxembourg, - ce qui

ne semble pas être exceptionnel si on compare les programmes avec ceux des universités étrangères.

Pour remédier à ce problème, que l'on retourne pour un instant aux sources et que l'on se rappelle les qualités de Louis Ménard : un génie intellectuel et un homme de terrain génial, à parts égales.

5. Références bibliographiques

- AFNOR (2005) Norme française NFX30-424; Déchêts - Détermination du coefficient de perméabilité d'un terrain par essai d'infiltration à charge constante en forage.
- AFNOR (1992) Norme française PrP94-120-p, essai de cisaillement au phicomètre.
- APAGEO SEGELM (1996) *Règles de réalisation des essais au pressiomètre Ménard et d'exploitation des résultats obtenus pour le dimensionnement des fondations*. Version 1996, Notice générale D60.
- Balay J. (1985) Recommandations pour le choix des paramètres de calcul des écrans de soutènement pour la méthode aux modules de réaction. *Note d'information technique*, LCPC.
- Beugnies A., Bintz J., Waterlot G. (1973) *Guides Géologiques Régionaux, Ardenne, Luxembourg*. Masson et Cie, Paris.
- Bustamante M., Gianceselli L. (1981) Prévision de la capacité portante des pieux isolés sous charge verticale. *Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, 113.
- CEN (2005) Norme européenne PrEN ISO22476-4 – Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 4: MENARD pressuremeter test.
- EURASOL S.A. (1962) Immeuble LINK, route de Thionville, Luxembourg. Rapport d'étude de sol; 9.6.1962; archives EURASOL S.A.
- EURASOL S.A. (1968) *Réfection de la piste de l'Aéroport de Luxembourg*. Rapport et résultats d'essais, archives EURASOL S.A.
- EURASOL S.A. (1970) *Glissement à Senningerberg*. Rapport d'étude de sol. Archives EURASOL S.A.
- EURASOL S.A. (1970) *Nouvel hôpital de Luxembourg*. Rapport d'étude de sol de fondation. 22.5.1970. Archives EURASOL S.A.
- Gambin M. (1963) Calcul du tassement d'une fondation profonde en fonction des résultats pressiométriques. *Sols-Soils*, n° 7.
- Gambin M. (1979) Ménard Dynamic consolidation. *Sols-Soils*, n° 29.
- Gambin M. (1985) 10 ans de consolidation dynamique. *Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics*, n°433, avril 1985.
- Gambin M. (1990) The history of pressuremeter practice in France. *Pressuremeters*, ISP3, Oxford, Thomas Telford, London.
- Gambin M. (1990) Constance et évolution des règles pressiométriques. *2èmes Journées Techniques Internationales du CAMSOR*, Tlemcen (Algérie).
- Heintz R. (2001) In situ measurement of the permeability of soils and rocks with the pressio-permeameter L. Ménard. *Workshop 'Management of hydro-climatological hazards and risks in the Rhine-Meuse basins'*, Centre de Recherche Public - Gabriel Lippmann, Luxembourg.
- Heintz R. (2003) Techniques Pressiométriques; Pressiometer, Anwendungsbereich und Grenzen; AGL/SGL *Premières journées de Géotechnique à Rédange*; 10.10.03; manuscrit; archives EURASOL S.A.
- Lucius M. (1948) *Erläuterungen zu der geologischen Spezialkarte Luxemburgs, Das Gutland*. Service Géologique de Luxembourg.
- Ménard L. (1961) *Le pressiomètre inversé*. Brochure pour les concessionnaires D/7/61. Centre d'études géotechniques de Paris.
- Ménard L., Rousseau J. (1962) L'évaluation des tassements. Tendances nouvelles. *Sols-Soils*, n° 1.
- Ménard L. (1963) Calcul de la force portante des fondations sur la base des résultats des essais pressiométriques. *Sols-Soils*, n° 5 & 6, Paris.

- Ménard L. (1965) Règles pour le calcul de la force portante et du tassement des fondations en fonction des résultats pressiométriques. *6^e Congrès International de Mécanique des Sols et Travaux de fondations*, Montréal, septembre 1965.
- Ménard L. (1967) *Extensomètre hydraulique*. Brochure pour les concessionnaires D/82/67, Centre d'études géotechniques de Paris.
- Ménard L. (1969) *Ancrages à géométrie variable*. Brochure pour les concessionnaires D/91/69 Centre d'études géotechniques de Paris.
- Ménard L. (1971) Le tassement des fondations et les techniques pressiométriques. Bilan après 10 ans de résultats expérimentaux. *Annales de l'I.T.B.T.P.*, n°288.
- Ménard L., Bourdon G., Gambin M. (1975) Méthode générale de calcul d'un rideau ou d'un pieu sollicité horizontalement en fonction des résultats pressiométriques. *Sols-Soils*, n° 22-23.
- Ménard L. (1975) The interpretation of pressuremeter test results. *Sols-Soils*, n° 26.
- Techniques Louis Ménard (1969) *Calcul rapide de la force portante ou de la fiche d'un pieu*. Brochure pour les concessionnaires D/32/69, Centre d'études géotechniques de Paris.
- Techniques Louis Ménard (1976) *Pressio-perméamètre pour la mesure in situ de la perméabilité dans les sols et les roches*. Mode opératoire MAT 13/76. Centre d'études géotechniques de Paris.