

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

TASSEMENTS DUE AU RABATTEMENT DE LA NAPPE AQUIFERE

SETTLEMENTS DUE TO GROUNDWATER LOWERING

ОСАДКИ ВСЛЕДСТВИЕ Понижения Уровня Грунтовых вод

FRADCOURT R., Ir-en-Chef, Directeur du Corps des Mines, Chargé de Cours à l'I.R.A.M.

GHISTE S., Professeur, Laboratoire de Mécanique des Sols I.R.A.M. (Belgique)

RESUME . La région de Mons est un synclinal où l'on rencontre sur un fond crayeux des sables et des tourbes . D'importants pompages d'eau ont provoqué le tassement des poches de tourbe et ont occasionné des dégâts aux ouvrages de la région . Après avoir situé le problème et ses diverses causes, on étudie les principales caractéristiques des sols et surtout des tourbes . Enfin on propose un plan d'étude : localisation des poches de tourbe, étude de l'hydrologie, placement de tubes piézométriques, détermination des rayons d'action, surveillance du tassement des immeubles et des mouvements de sol, établissement de cartes des sols en fonction des problèmes, mise au point d'une réglementation des pompages . Les premières conclusions de cette étude en cours sont données .

1. PROBLEMES.

La région de Mons (Belgique) se présente sous forme d'un vaste synclinal d'origine Crétacique . A la fin du Tertiaire, une rivière s'est engagée dans cette vallée qu'elle n'avait pas creusée, provoquant/ainsi une accumulation importante de sédiments . Les terrains rencontrés sont de bas en haut: des craies très aquifères, des sables et des argiles du Tertiaire, des alluvions sableuses, tourbeuses et limoneuses

A cause de ce caractère de dépression, le bassin de Mons fut au cours des temps géologiques envahirent la vallée . Aux temps modernes ce phénomène fut accéléré par des affaissements miniers pouvant atteindre localement dix mètres, donnant alors naissance à des cuvettes marécageuses régulièrement immergées . Ces zones inondées représentent plus du quart de la vallée, en période de grandes crues . Depuis quelques années, les pompages d'eau se sont intensifiés pour diverses causes :

- assainissement des marécages,
- grands travaux d'infrastructure,
- besoins accrus des industries, des populations non seulement locales mais aussi d'une bonne partie de la Belgique,

On se trouve dès lors face à deux considérations contradictoires : d'une part la réserve aquifère est trop riche que pour être abandonnée (problème national) et d'autre part le rabattement provoque d'importants dégâts aux constructions proches des endroits de captage (problème régional)

LES tassements provoqués par le rabattement sont dus:

- pour une faible part à l'entraînement des éléments fins: par exemple un pompage de 30.000 mètres cubes par jour entraîne un départ d'environ 4.400 tonnes par an de carbonate de chaux, sans compter l'entraînement supplémentaire de fines particules de craie ;
- pour la plus grande part à l'augmentation des contraintes effectives dans le sol: par exemple une couche de sable de surface se tasse d'environ huit centimètres pour un rabattement de dix mètres .

Au début des pompages, seules des constructions peu importantes sur fondations superficielles et assez proches des zones de pompage, furent affectées par les tassements . Les pompages se poursuivant, d'autres ouvrages plus importants furent endommagés . Nombre d'installations industrielles connaissent des tassements différentiels relativement importants . Ces phénomènes sont souvent aggravés par le fait que ces bâtiments sont constitués de parties construites à des époques différentes reposant sur des fondations diverses . D'autres ouvrages fondés sur pieux connaissent également des problèmes, soit que d'anciens pieux en bois sont mis hors de la nappe, soit que des frottements négatifs apparaissent le long de pieux moulés, lors du tassement des couches limoneuses superficielles . Enfin, pour les exploitants de craie, des problèmes de stabilité de talus en carrière se posent, les exploitations étant habituellement sous eau vuient le niveau de celle-ci s'abaïsser très rapidement

Si le rabattement des eaux est la cause déterminante des dégâts, il existe également des causes aggravant ces phénomènes. Citons :

- un manque d'étude préliminaire des sols lors d'anciennes réalisations ou pour des constructions modestes plus récentes ;
- la réalisation de fondations inappropriées sur des poches de tourbe, des modifications apportées aux charges ;
- des changements des conditions d'assainissement et de drainage ;
- des affaissements miniers ;
- des variations saisonnières de la nappe ;
- le passage de charroi lourd lors de la réalisation d'autoroutes .

2. CARACTERISTIQUES DES SOLS .

Les craies sont alimentées en eau là où elles affleurent, avant de plonger sous les couches imperméables. Les masses crayeuses sont affaissées par le jeu des failles vers l'axe de la vallée. Ces failles sont dues en grande partie aux affaissements suite à la dissolution par les eaux souterraines. (Marlière 1935)

Signalons les principales caractéristiques des sables de surgace :

$$e = 0,50 \quad WL * 17,4 \quad WP = 13,1$$

$$D_{10} = 62 \text{ microns} \quad D_{60} / D_{10} = 3$$

La valeur du coefficient de perméabilité mesuré sur trois chantiers de la région oscille de 7.10^{-6} à $1,5.10^{-5}$ m/s et correspond bien aux valeurs trouvées en laboratoire. (Ghiste 1969)

La tourbe git en de nombreuses cuvettes, cachées par les alluvions récentes et constituant des zones élastiques très irrégulièrement déformables. A titre d'exemple, pour une zone de cinquante kilomètres carrés à l'ouest de Mons, on compte 32 km² de surfaces recouvertes d'alluvions et parmi celles-ci plus de 30 km² où il y a de la tourbe répartie comme suit :

- 6% de poches où l'épaisseur est supérieure à 3 mètres,
- 8% ayant 2 à 3 mètres,
- 20% ayant 1 à 2 mètres,
- 31% ayant 0,5 à 1 mètre,
- 35% ayant moins de 0,5 mètre .

Assez fréquemment, là où l'épaisseur de la tourbe est maximale, on constate un recouvrement également maximum. Ce recouvrement dépasse rarement six mètres (douze mètres au maximum) ce qui explique l'étendue des dégâts même s'il peut paraître que les épaisseurs des poches de tourbe sont faibles (brasseur 1972). Par un effet de recouvrement, beaucoup de poches de tourbe échappent aux investigations superficielles lors de la construction de petites habitations. Par le principe des vases communicants les tourbes du centre de la vallée sont mises sous pression par les eaux contenues dans les fissures des craies inférieures .

Les tourbes sont caractérisées par des teneurs en eau de 300 à 600%, un coefficient de perméabilité allant de 10^{-5} à 10^{-7} cm/s et 34% de cendres en moyenne. Lors d'essais triaxiaux sur des échantillons où la teneur en eau est relativement faible ($w = 30$ à 60%) on constate pour des mises en charge rapides des valeurs de ψ voisines de 30 à 45° , c' étant nulle. Pour des mises en charge lentes, on obtient des ψ de 25 à 30° et des c' voisins de $0,05$ à $0,1$ kg/cm². Pour des échantillons à forte teneur en eau ψ passe à des valeurs de 5 à 15° . Ces valeurs peuvent expliquer pourquoi de faibles épaisseurs de tourbe ne sont pas toujours bien décelées lors de reconnaissances au pénétromètre statique de fort tonnage, la mise en charge étant rapide et les valeurs enregistrées sont alors trop élevées et ne semblent pas correspondre à des tourbes. L'indice de compression C_c mesuré à l'oedomètre va de 5 à 12 , ce qui correspond bien avec les valeurs trouvées par des essais de pénétration .

3. ETUDES EN COURS .

Vu la gravité et l'importance des dégâts (environ 200 à 300 millions de francs belges, soit cinq à six millions de dollars U.S.) et étant donné que les pompages risquent de s'amplifier dans l'avenir, il convenait d'étudier sérieusement le problème. On a donc proposé les études reprises ci-après, dont une partie sont en cours de réalisation .

1. Localisation des poches de tourbe en étendue, épaisseur, nature et épaisseur des recouvrements, caractéristiques des sols de base. Des cartes au 1/10.000 couvrant cinquante kilomètres carrés sont exécutées sous forme de deux documents :

- une première carte indique la localisation des poches de tourbe et les courbes d'égale épaisseur sont tracées,
- une seconde carte indique les épaisseurs du recouvrement, également sous forme de courbes .

Pour des zones à problèmes immédiats, les cartes sont à l'échelle du 1/5.000 ou du 1/1.000 suivant la densité des données et l'importance des problèmes rencontrés .

Les résultats proviennent en premier lieu d'anciennes études reprises des archives de divers services et sociétés, ensuite on complète par de nouvelles explorations à la tarière .

A partir de ces deux documents il est déjà possible de se rendre compte des zones à problèmes, et par comparaison des épaisseurs de la tourbe et de son recouvrement des procédés de reconnaissance à utiliser lors de nouvelles constructions .

2. Essais géotechniques in situ et au laboratoire sur les tourbes et les sables en vue de déterminer les caractéristiques de perméabilité, de compressibilité et de cisaillement. Une bonne partie de ces essais ont déjà été effectués, il reste cependant à vérifier ces valeurs pour de nouveaux sites au fur et à mesure des problèmes. En même temps des études palynologiques ont lieu afin de déterminer l'âge de la formation des tourbes. Il semble jusqu'à présent que les tourbes sont assez homogènes pour toute la région étudiée, ce qui n'impose pas une classification détaillée de ces sols ? Il en va de même pour les sables quaternaires, les différences enregistrées sur les divers chantiers n'influençant que peu leur comportement dans l'optique des problèmes étudiés ici

3. Etude hydrologique. L'étude de l'alimentation de la nappe en fonction de la pluviométrie est très difficile vu la diversité de la région (zones urbaines, industrielles, agricoles) ce qui fait que les coefficients d'évapotranspiration et d'infiltration ne sont pas déterminables. Des cartes de niveaux piézométriques de la nappe de la craie existent mais elles sont anciennes (Robert-1909). Un document récent (Ghiste-1969) a été établi pour la nappe superficielle, mais vu les fluctuations rapides, la mise à jour d'un tel document est difficile. Il convient également de déterminer les coefficients de perméabilité des sols en place ? En fait, même si on considère une situation d'ensemble, le problème se complique car il y a ici des nappes perchées en communication avec une nappe sous-jacente, d'autre part dans les tourbes on constate que la perméabilité horizontale est supérieure à la perméabilité verticale et que de plus elles varient fortement en fonction des pressions exercées

4. Placement de tubes témoins pour localiser le périmètre d'action des pompes. Ces tubes doivent être placés à la fois dans les tourbes et dans les craies afin de pouvoir surveiller à la fois les tassements et les cônes d'influence. Les premiers résultats enregistrés montrent que l'action des pompes à grands débits se fait sentir sur plusieurs kilomètres. Une deuxième constatation importante s'impose : la comparaison des mesures des niveaux dans les piézomètres avec les graphiques des débits pompés montre clairement que les deux événements sont directement liés. Chaque sommet d'un graphique correspond à un point bas de l'autre. Ce phénomène apparaît nettement pour autant que les relevés soient au moins hebdomadaires.

Une première exigence est donc de réaliser des pompes à régime constant. Il convient de limiter les débits journaliers et non d'envisager des moyennes annuelles. Dans ce dernier cas, on risque en effet que le débit moyen (par exemple 25.000 m³ par jour) soit largement dépassé à certaines époques (pointes de 40.000 m³ par jour constatées) bien que la moyenne reste inférieure à la valeur

proposée. On sait également combien sont préjudiciables pour le sol des fluctuations irrégulières de la nappe. Les dégâts les plus importants ont été mesurés là où après de premières dégradations constatées on a arrêté les pompes, laissé remonter la nappe (les dégâts s'aggravant à ce moment) pour reprendre par la suite les pompes de nouveau avec des débits variables.

5. Calcul des rayons d'action en fonction des types et des débits de pompage, des caractéristiques du sol. Dans un terrain où la perméabilité est grande on obtient assez facilement un grand débit pour un rabattement plus faible que dans le cas d'un sol à perméabilité plus petite (par exemple 8.000 m³ par jour pour 8 m de rabattement au puits contre 4.500 m³ par jour pour 15 m de rabattement au puits) ; par contre la grandeur des rayons d'action respectifs sera différente pour autant que les conditions naturelles des terrains permettent la comparaison.

Il est à constater qu'aucune des formules théoriques classiques n'a pu donner des valeurs approchées des valeurs mesurées. Cela provient de l'hétérogénéité des sols sur de faibles distances et des variations locales de la perméabilité.

6. Mesures des déformations du sol et des constructions en fonction des débits, des sols, des ouvrages et du rabattement. Ces mesures doivent être régulières et rattachées aux autres mesures déjà signalées.

Les méthodes et les procédés utilisés sont classiques et ne présentent pas de difficultés. Il convient que tous les relevés soient contradictoires ou effectués en présence d'agents des services publics.

7. Rassemblement de tous les résultats par exemple sous forme de cartes. On a ainsi tracé une carte donnant la profondeur de la nappe superficielle par rapport au niveau du sol d'après des relevés d'avant les pompes. Si on connaît l'ordre de grandeur du rabattement dans un site donné on peut alors se rendre compte si les couches de tourbe seront asséchées. Connaissant les épaisseurs de ces couches et leurs caractéristiques de compressibilité, on peut déterminer la probabilité de dégâts dans cette zone suite aux travaux envisagés.

D'autres cartes géotechniques classent les régions en fonction des problèmes de tassements actuels ou lointains et cela sous des optiques très diverses. Par exemple les voiries et les canalisations proches de la surface seront surtout influencées par des poches de tourbe très proches de la surface même si elles sont de faibles épaisseurs. Pour des fondations superficielles il faudra au contraire se méfier de poches de tourbe plus importantes et légèrement inférieures au niveau de case

des fondations, car ces poches risquent de ne pas être découvertes lors de fouilles non précédées d'essais de reconnaissance. Pour des fondations sur plieux il convient par contre d'envisager des poches importantes de tourbe recouvertes par des limons ou des remblais peu compacts susceptibles de frottement latéral négatif.

Il convient enfin de publier les recommandations aux futurs constructeurs en fonction des régions cartographiées.

8. Mise au point d'un règlement en vue de l'établissement, du maintien et du développement bien ordonné de stations de pompage. En dehors de l'aspect juridique du problème il importe que les ingénieurs et les géologues déterminent quantitativement et qualitativement les ressources exploitables non seulement annuellement (bilan national) mais également journalièrement (conditions locales). Dans ce bilan, il faut tenir compte de l'utilisation possible de l'eau de stations d'épuration existantes pour certains besoins industriels.

A l'heure actuelle, on pompe dans la région considérée en moyenne cent vingt cinq millions de mètres cubes par an pour l'alimentation locale et nationale en eau. Ce chiffre est admissible, mais les études en cours doivent permettre d'apprécier le maximum à ne pas dépasser pour éviter de nuire à l'économie générale des ressources aquifères de la nappe. Ce but recherché doit être en tenant compte de la préservation et de la protection de l'habitat et des industries existantes, puisque nous avons vu que les problèmes posés à ceux-ci sont nombreux et graves.

Si un certain nombre de ces études sont terminées, d'autres sont encore en cours et des résultats définitifs pourront être seulement présentés lors des séances du Congrès.

Bibliographie .

- Brasseur C. - 1972 .
Contribution aux problèmes de cartographie des tourbes de la vallée de la Haine à l'ouest et au nord de Mons - Belgique .
Mém. de fin d'études - Ecole Nationale Sup. de Géologie de Nancy - France .
- Ghiste S. - 1969 .
Etude du coefficient de perméabilité des sables alluvionnaires de la vallée de la Haine .
Revue Ingénieurs - Bruxelles - N°12 pp20-25.
- Ghiste S. - 1969 .
La carte géotechnique de la région de Mons I.R.A.M. - Mons - 4 cartes et 44 pages .
- Marlière R. - 1935 .
Les affaissements du sol dans la vallée de la Haine
Ecole des Mines - Mons - pp 61-71 .
- Robert M. - 1909
Etudes sur l'hydrologie des morts-terrains du bassin de la Haine.
Publ. Ass. Ir de Mons- Mons- T.III fasc 2