

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.

Observation des tassements de ponts à fondation directe

Settlement Observation on Bridges Built on Shallow Foundations

par L. MARIVOET, ingénieur civil des constructions, directeur de l'Institut Géotechnique de l'Etat, Sint Pietersnieuwstraat 59, Gand, Belgique

Résumé

Pour plusieurs ponts construits ou encore en voie de construction dans la nouvelle autoroute Bruxelles-Ostende, il a été procédé à la mesure systématique des tassements des massifs d'appui. Cette mesure a été faite par nivellement périodique de repères métalliques noyés dans les éléments de fondation.

Les résultats des observations sont comparés avec ceux des calculs de tassement. Ceux-ci, pour des sols sableux, sont basés sur la valeur de la constante de compressibilité déduite des résultats d'essais de pénétration au cône.

Les observations montrent qu'une grande partie des tassements est due à l'apport des remblais. Généralement, les tassements observés sont inférieurs à ceux que l'on a pu calculer. Lorsque le sol de fondation est sableux et se prête mal au prélèvement d'échantillons intacts, les essais de pénétration fournissent souvent des renseignements suffisamment précis pour l'estimation préalable des tassements.

Introduction

La construction de nombreux ponts dans la nouvelle autoroute Bruxelles-Ostende a été mise à profit pour vérifier, par l'observation systématique de leurs tassements, dans quelle mesure les prévisions correspondent aux résultats.

Nous examinons spécialement dans cette note quelques ouvrages qui ont été fondés directement sur semelles, assises à 2-3 m de profondeur, dans des sols dont le caractère prédominant est sableux.

La reconnaissance du sol au droit de chaque ouvrage a été faite généralement à l'aide d'un ou de plusieurs essais de pénétration au cône. C'est en se basant sur les résultats fournis par ces essais qu'il a été possible de préciser pour les différentes couches de sol intéressées, les caractéristiques mécaniques indispensables au calcul des tassements. A noter que dans certains cas, ce calcul a été fait après coup, le simple examen des diagrammes de pénétration n'ayant pas donné lieu, eu égard au type de la construction, à des craintes de tassements dangereux.

Pour deux des ponts tenus en observation, nous reprenons certains résultats déjà communiqués lors du 2^e congrès inter-

Summary

Settlement measurements were regularly performed on several bridges which had been built, in the last years, in the new highway Brussels-Ostend. These measurements were carried out by means of periodical levelling of bench marks installed in the foundations.

The results of these observations are compared with those of settlement calculations. The latter, in the case of sandy soils, are based on the value of the coefficient of compressibility deduced from the results of cone-penetration tests.

The observations show that a great part of the settlements is due to the influence of the filling. The observed settlements are generally inferior to the calculated values. In sandy foundation soil, not suitable to the extraction of undisturbed samples, the cone-penetration tests often give sufficiently exact indications for preliminary estimation of the settlements.

national *De Beer* (1948), mais qui ont pu être complétés depuis lors. Nous nous référons également à cet article en ce qui concerne la méthode utilisée pour le calcul des tassements et celle suivie pour leur mesure. Nous en reprenons cependant l'essentiel avant de passer à l'examen des observations faites aux différents ponts. Pour chaque ouvrage, nous suivons en outre le schéma suivant:

Type de pont et mode de fondation;

Nature du sol et essais;

Tassements calculés et observés.

Méthode de calcul des tassements

Pour le calcul des tassements, nous avons utilisé la formule de *Terzaghi-Buisman*:

$$z = \int_{\infty}^0 \frac{dh}{C} \cdot 2,3 \log \left(\frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \right) \quad (1)$$

où signifient:

z = tassement d'un point particulier de la fondation;
 dh = épaisseur d'une couche élémentaire;
 C = constante de compressibilité de la couche intéressée;
 p_0 = la contrainte intergranulaire initiale;
 Δp = le supplément de charge consécutif à l'exécution de tout ou partie de l'ouvrage.

En ce qui concerne la répartition des contraintes, nous avons appliqué les formules de *Fræhlich* (1934) valables pour l'indice $\gamma = 4$: une surcharge verticale P ou $p \cdot ds$ appliquée à un certain niveau, induit en un point quelconque situé à une profondeur z sous ce niveau et vu sous un angle θ par rapport à la verticale, un supplément de contrainte verticale donné par:

$$dp = \frac{2P}{\pi z^2} \cdot \cos^3 \theta \text{ ou } \frac{2p \cdot ds}{\pi z^2} \cdot \cos^3 \theta \quad (2)$$

L'application de cette formule est facilitée par l'usage d'abaques ou de graphiques tirés de la littérature technique (*De Beer*, 1948).

Le calcul des contraintes a été fait le long de verticales passant par certains points singuliers de la fondation, ces points étant tels que le tassement calculé y est pratiquement indépendant de la forme de la répartition des contraintes au niveau d'appui.

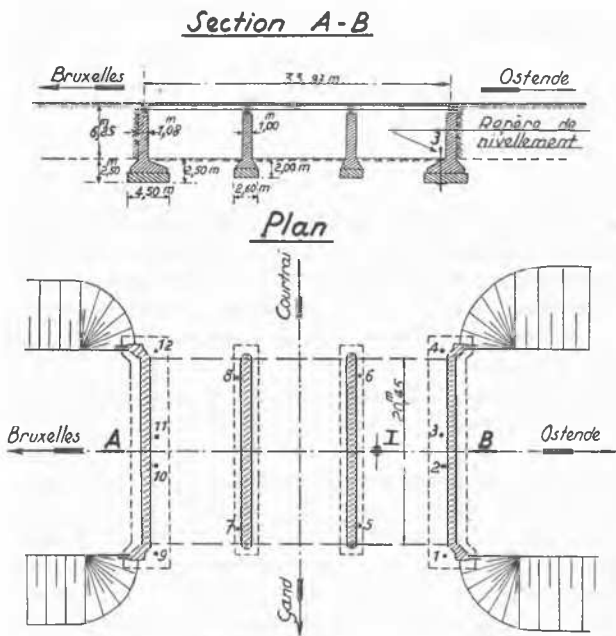
A moins de disposer de résultats d'essais œdométriques, la constante de compressibilité C est déduite des résistances au cône mesurées dans un essai de pénétration. Nous utilisons à cet effet la formule de *Buisman* qui fournit une valeur approchée de C :

$$C = 1,5 \frac{c_d}{p_t} \quad (3)$$

où signifient:

c_d = résistance mesurée au cône;

p_t = la contrainte verticale (estimée) au niveau correspondant.



✦ : Essai de pénétration - Cone-penetration test.
 . : Repères - Reference points

Fig. 1 Pont No 13 à St-Denis-Westrem: vue en plan et coupe
 Bridge No. 13 at St. Denis-Westrem: Plan and Section

Méthode de mesure des tassements

La mesure des tassements a été faite par nivellement systématique de repères métalliques bétonnés, en des points particuliers, dans les massifs de fondation.

Ces repères sont constitués d'un tube vertical en acier, d'un diamètre de 1,5 pouce; à la base du tube est fixée une forte plaque en acier de $0,50 \times 0,50$ m; celle-ci est disposée soigneusement au fond de la fouille, avant le premier bétonnage; la partie supérieure du tube dépasse de quelques décimètres le niveau du sol sous l'ouvrage. Dans certains cas, où ces repères n'avaient pu être placés dès la construction des éléments de fondation, nous avons fait usage de gros clous en bronze encastrés dans les parois verticales des culées ou des piles. Comme les repères verticaux sont parfois assez encombrants et très sujets à détérioration, nous prévoyons à l'avenir l'emploi combiné des deux systèmes de repères, le passage de l'un à l'autre devant se faire aussi rapidement que possible.

Les nivellements ont été faits par rapport à un repère de base fixe, distancé d'au moins 100 m du pont et des remblais. Il a été fait usage d'un niveau de précision permettant des mesures exactes à ± 1 mm près. Ces mesures ont été pratiquées immédiatement après les différentes phases de construction du pont et ensuite à intervalles plus ou moins réguliers s'étendant souvent sur plusieurs années.

Pont 13 au-dessus du chemin de fer Gand—Courtrai à St-Denis—Westrem

Type de pont et mode de fondation. Il s'agit ici d'un ouvrage hyperstatique composé de poutres continues reposant sur 4 appuis et constituées de poutrelles Grey enrobées de béton. La longueur totale du pont entr'appuis extrêmes est de 33,97 m, sa largeur entre garde-corps de 20,45 m. L'ouvrage est fondé sur simples semelles en béton: celles des culées, larges de 4,50 m, sont assises à 2,50 m de profondeur; celles des piles, d'une lar-

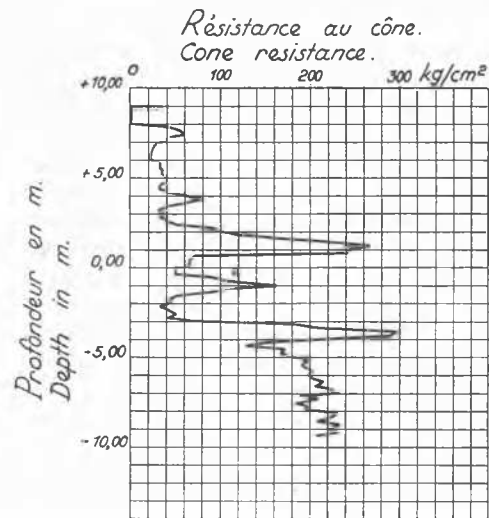


Fig. 2 Pont No 13 à St-Denis-Westrem: diagramme montrant la variation de la résistance au cône enregistrée au cours d'un essai de pénétration
 Bridge No. 13 at St. Denis-Westrem: Diagram Showing the Variation of the Cone Resistance Measured in a Penetration Test

geur de 2,60 m, à 2 m de profondeur. Fig. 1 donne une vue en plan schématique et une coupe longitudinale de cet ouvrage. A noter que les culées et le remblai côté Ostende datent d'avant 1940, alors que les piles, le tablier et le remblai côté Bruxelles ont été construits en 1950-1951.

Nature du sol et essais. La reconnaissance du sol a été faite à l'aide d'un essai de pénétration par cône, dont l'emplacement est donné à la Fig. 1. Les résultats de cet essai, qui sont reproduits à la Fig. 2, indiquent un sol de nature essentiellement sableuse, relativement compact et quelque peu limoneux jusqu'à une profondeur d'environ 12 m, très compact à partir de cette profondeur. Fig. 3 donne la variation de la constante de

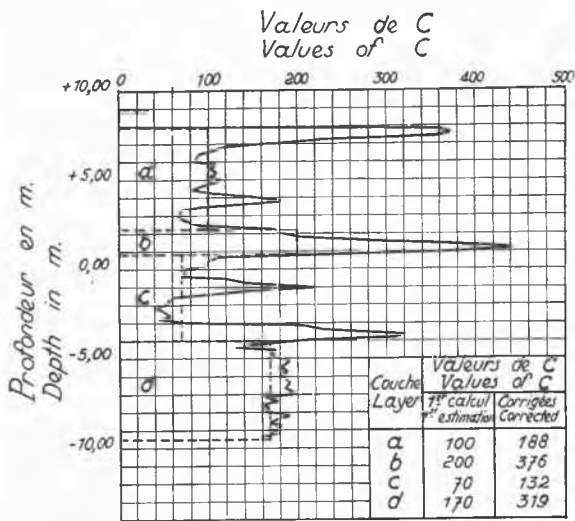


Fig. 3 Pont No 14 à St-Denis-Westrem: diagramme donnant la variation en profondeur de la constante de compressibilité C
Bridge No. 14 at St. Denis-Westrem: Diagram Showing the Variation with Depth of the Coefficient of Compressibility

compressibilité C déduite de l'essai de pénétration: le trait interrompu représente les valeurs moyennes admises dans une première estimation des tassements.

Tassements calculés et observés. Les tassements du pont ont été calculés en deux stades. Dans un premier calcul, on a chiffré les tassements des supports du pont construits avant la dernière guerre, à partir des constantes C déduites de l'essai de pénétration (Fig. 2 et 3). Comme l'ouvrage ne fut achevé qu'après une interruption de plusieurs années, la confrontation des premiers calculs avec les mesures de tassement effectuées pendant ce long intervalle a permis de préciser la compressibilité réelle du sol. En exprimant l'équivalence des calculs et des premières observations, on a ainsi déterminé des valeurs nouvelles pour les caractéristiques C ; celles-ci introduites dans un deuxième calcul, ont fourni une estimation corrigée des tassements à prévoir aux différents points d'appui (culées et piles) à l'époque où l'ouvrage sera complètement terminé.

En ce qui concerne les différentes charges transmises au sol, voici quelques chiffres admis pour les calculs:

charge unitaire due au poids propre d'une culée: $8,6 \text{ t/m}^2$

poussée hydrostatique au niveau de fondation des culées: $0,5 \text{ t/m}^2$

charge unitaire résultant du poids propre d'une pile: $9,0 \text{ t/m}^2$

charge due aux remblais:

hauteur des remblais: 6,40 m

largeur des remblais, à la base: 40 m

largeur des remblais en crête: 21 m

contrainte spécifique correspondante: $10,2 \text{ t/m}^2$

charge unitaire provenant du poids du tablier:

au droit d'une culée: $1,4 \text{ t/m}^2$

au droit d'une pile: $6,0 \text{ t/m}^2$.

Le premier calcul des tassements a conduit aux chiffres suivants:

tassement de la culée sous son poids propre: 3,0 cm

tassement de la culée sous l'effet du remblai: 6,4 cm

total: 9,4 cm

En fait, les observations, pendant plusieurs années, de la culée côté Bruxelles (culée sans remblais), ont montré que celle-ci, uniquement soumise à son poids propre, avait subi un tassement au maximum égal à 1,6 cm (voir tableau 1). L'équivalence des tassements calculés et observés pouvait donc s'obtenir en appliquant aux constantes C initialement admises, un coefficient de correction égal à $\frac{3,0}{1,6} = 1,88$. Les valeurs de C ainsi

corrigées sont données à la Fig. 3. Le tassement de la culée sous l'influence du remblai se chiffre alors à $6,4 : 1,88 = 3,4 \text{ cm}$, et son tassement sous l'effet combiné du poids propre et du remblai à $1,6 + 3,4 = 5,0 \text{ cm}$. La comparaison de ce dernier chiffre avec les mesures faites en date du 12 octobre 1950, c.-à-d. avant la construction du tablier, sur la culée la plus longtemps remblayée (côté Ostende), confirme le juste choix des nouvelles valeurs de C . En effet, les tassements observés en quatre points variaient alors entre 4,4 et 5,0 cm (tableau 1). Sur ces mêmes bases, l'effet du poids du tablier sur la culée, se traduit par un tassement supplémentaire de 0,3 cm.

En ce qui concerne les piles, on a de même obtenu les chiffres suivants (l'effet du remblai étant négligé):

sous le poids propre des piles: 1,9 cm

sous la charge du tablier: 1,3 cm

tassement total: 3,2 cm

En définitive, après correction des premiers calculs, les tassements après l'achèvement complet de l'ouvrage ont pu être estimés comme suit:

	culées	piles
sous leur poids propre:	1,6 cm	1,9 cm
influence du remblai:	3,4 cm	—
effet du tablier:	0,3 cm	1,3 cm
total:	5,3 cm	3,2 cm

En vue de l'observation des tassements, quatre repères verticaux avaient été installés dans la semelle de chaque culée, et deux autres dans celle de chaque pile. L'emplacement de ces repères est donné à la Fig. 1. Les résultats des mesures sont donnés, en fonction du degré d'avancement des travaux, au tableau 1 ci-dessous.

D'après les dernières mesures effectuées, les tassements des culées atteignent donc des valeurs de l'ordre de 5 cm, les valeurs obtenues pour 8 repères étant comprises entre 4,5 et 6,0 cm. Ces chiffres se comparent bien au tassement total de 5,3 cm obtenu par calcul. Pour les piles, on a observé, à l'heure actuelle, des tassements compris entre 1,9 et 2,5 cm, alors que par calcul, on a obtenu 3,2 cm. La comparaison des tassements calculés et observés est donc très satisfaisante. Il est vrai cependant que les premiers calculs ont pu être corrigés par le fait que la construction des différents éléments du pont s'est échelonnée sur une période de plusieurs années. Cette correction a consisté, au vu des premières observations, à doubler grosso-modo, les constantes de compressibilité initiales déduites de l'essai de pénétration. De toute façon, le calcul des caractéris-

Tableau 1 Tassements observés (en cm) au pont 13 à St-Denis-Westrem

Date de l'observation	Côté Bruxelles		Côté Ostende		Degré d'avancement des travaux
	Culée	Pile	Pile	Culée	
	9 10 11 12	7 8	5 6	1 2 3 4	
29. 3.39				—	1 ^{er} nivellement repères culée Ostende
19. 4.39	—				1 ^{er} nivellement repères culée Bruxelles
22. 4.40	0,7 0,5 0,6 1,1			3,0 3,1 3,4 3,3	Culée Ostende bétonnée et remblai achevé Culée Bruxelles en grande partie bétonnée
29. 8.46	0,9 0,7 0,7 1,6			4,0 3,8 4,2 4,4	Culée Bruxelles, entièrement bétonnée
22. 6.50	*	—	—	*	1 ^{er} nivellement repères des piles; semelles des piles bétonnées
7. 7.50	0,9 0,9 0,8 1,8	0,2 0,3	0 0	4,0 3,8 4,2 4,5	même situation; pour la culée Bruxelles, les remblais atteignent cependant 2,70 m de hauteur
12.10.50	3,4 3,9 4,1 4,9	1,1 1,3	1,1 1,0	4,5 4,4 4,6 5,0	Le remblai derrière la culée Bruxelles est établi sur toute sa hauteur et sur une distance de ± 20 m Les piles sont bétonnées
8. 6.51	3,4 4,1 4,1 5,2	1,2 1,6	1,2 1,1	4,6 4,4 4,6 5,0	Le tablier est construit
31.10.51	3,7 4,7 4,5 5,3	1,4 2,1	1,7 1,9	4,7 4,6 5,0 5,3	Le pont est en service depuis quelque temps
11. 4.52	4,5 5,0 5,0 6,0	2,2 2,5	1,9 2,0	4,9 4,7 5,0 5,3	On achève les remblais côté Bruxelles à une distance du pont supérieure à 20 m

* Remarque: Par suite de la disparition du repère de base, les tassements des culées survenus entre le 29 août 1946 et le 22 juin 1950 n'ont pu être observés: un nouveau repère de nivellement a été fixé, en admettant que les tassements ont été négligeables durant cette période pendant laquelle d'ailleurs le pont et ses abords n'ont pas subi de changement.

tiques de compressibilité d'après la formule de Buisman a donc conduit à des résultats situées raisonnablement du côté de la sécurité.

A même degré d'avancement des travaux, la comparaison des mesures montre encore que, malgré un sol essentiellement sableux, l'influence du temps sur l'évolution des tassements n'est pas négligeable.

Si l'on examine les mesures en date du 29 août 1946, on se rend également compte de l'incidence des remblais sur les tassements des culées. Ainsi pour la culée sans remblais (côté Bruxelles), les tassements observés à cette époque varient de 0,7

à 1,6 cm, alors que pour l'autre culée, où les remblais existaient déjà depuis quelques années, ces tassements sont compris entre 3,8 et 4,4 cm. Ces résultats font ressortir l'intérêt qu'il peut y avoir à établir les remblais d'un pont bien avant la période de construction de la superstructure, surtout si celle-ci présente des liaisons hyperstatiques.

Pont 14 au-dessus de la route Gand—Courtrai à St-Denis-Westrem

Type d'ouvrage et mode de fondation. Pont en béton armé présentant un biais très prononcé ($37^{\circ}43'$). Le tablier est constitué de 16 poutres en béton précontraint d'une hauteur de 1,60 m et d'une portée de 34,33 m. La largeur du tablier est de 24 m, celle du passage inférieur est de 20 m. Une vue en plan et une coupe longitudinale de ce pont sont données à la Fig. 4. Fondation directe des culées sur semelles en béton, assises à environ 2,60 m de profondeur, leur largeur étant de 5,30 m.

Nature du sol et essais. 4 essais de pénétration au cône et 4 forages ordinaires ont été effectués aux emplacements indiqués à la Fig. 4. Fig. 5 donne les résultats des essais I et III et les valeurs de C qui en furent déduites. Les sondages indiquent un sol à caractère sableux, dont certains niveaux sont cependant très limoneux et très peu compacts.

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises dans le calcul:

pois mort des culées: 10,15 t/m²

poussée hydrostatique au niveau de fondation: 0,5 t/m²

pois propre du tablier: 2,66 t/m²

surcharge du remblai: 10,0 t/m²

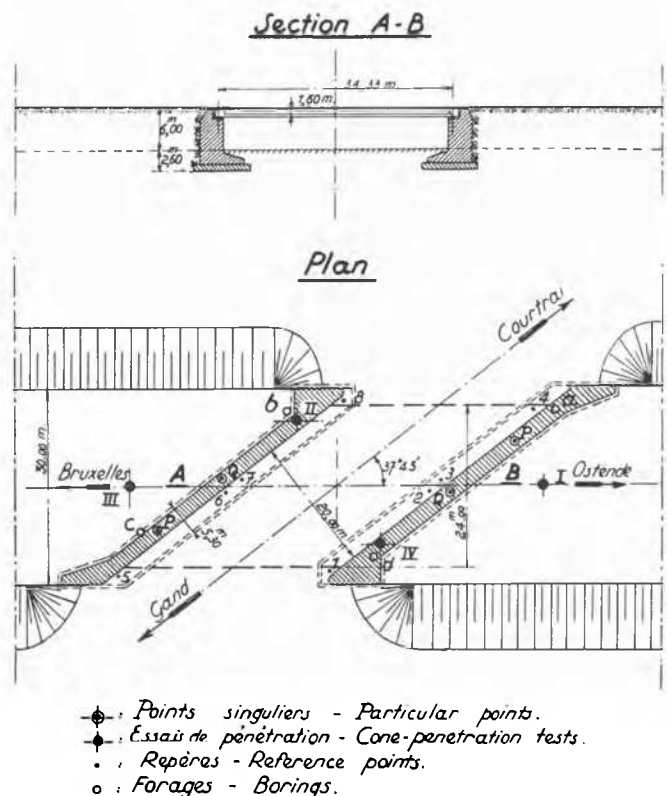


Fig. 4 Pont No. 14 at St-Denis-Westrem: vue en plan et coupe; les tassements ont été calculés aux points P et Q
Bridge No. 14 at St-Denis-Westrem: Plan and Section; the Settlements were Measured at Points P and Q

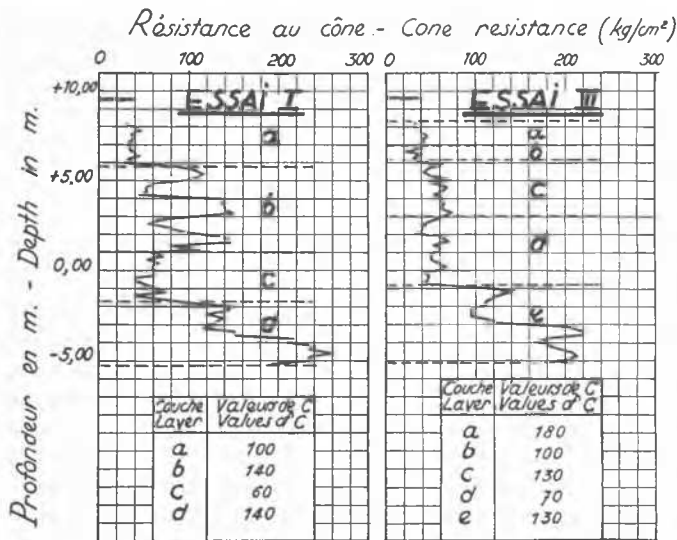


Fig. 5 Pont No 14 à St-Denis-Westrem: résultats relatifs aux essais de pénétration I et III
 Bridge No. 14 at St. Denis-Westrem: Results of Cone-Penetration Tests I and III

Résultats des calculs:

En partant des valeurs de C, données à la Fig. 5, les tassements ont été calculés, pour chaque culée, aux points singuliers P et Q, indiqués à la Fig. 4. Voici les résultats de ce calcul:

	Culée Ostende (essai I)		Culée Bruxelles (essai III)	
	en P	en Q	en P	en Q
Sous le poids de la culée	4,34	5,10	4,27	4,95
Sous la charge du tablier	1,87	1,75	1,80	1,85
Influence du remblai	4,70	4,25	4,50	4,44
Total en cm	10,91	11,10	10,57	11,24

Les nivellements de contrôle de 4 repères installés dans les semelles de chaque culée donnèrent, quelque temps après le bétonnage des culées, des tassements de l'ordre de 1 à 2 cm, valeurs sensiblement inférieures à ce qui a été obtenu par calcul: 4 à 5 cm. Malheureusement, les tassements des culées immédiatement après la pose des poutres du tablier, n'ont pas pu être observés, par suite de la détérioration des repères. De nouveaux repères ont été nivelés, en vue de suivre les tassements sous l'effet des remblais. En outre, chaque repère vertical a été doublé par un repère horizontal encastré dans les parements des culées.

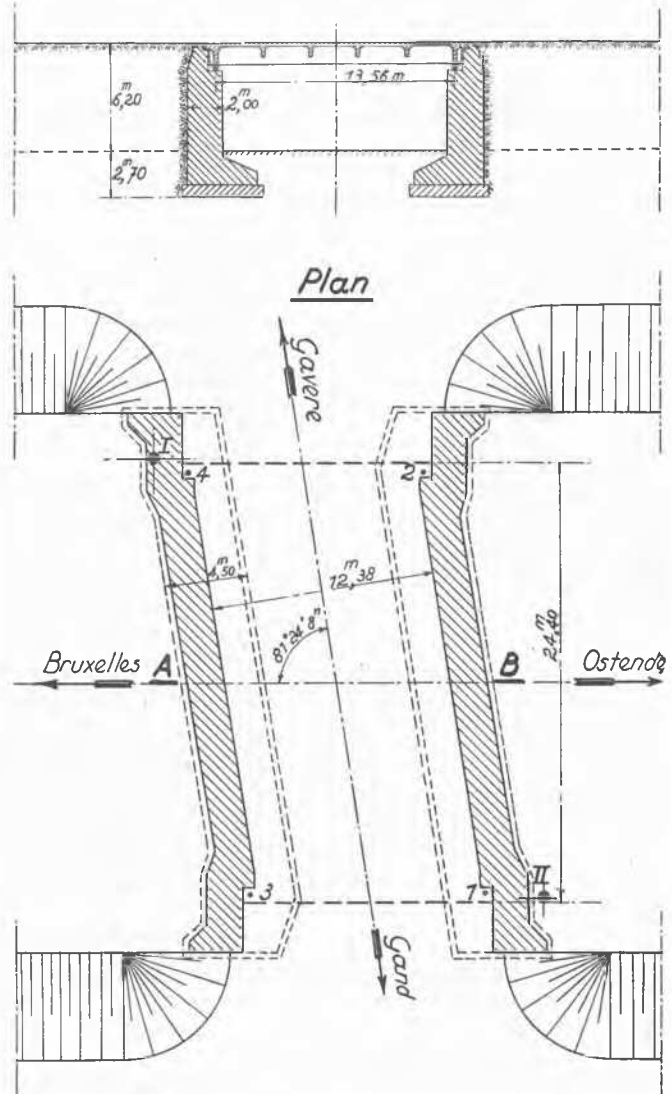
Pont 18 au-dessus de la chaussée de Gavere à Merelbeke

Type d'ouvrage et mode de fondation. Le tablier, constitué par un hourdis en béton armé, a une longueur entr'appuis de 13,56 m et une largeur entre garde-corps de 24,40 m. Le tablier et les deux culées, également en béton armé, sont partagés en deux parties par un joint parallèle à l'axe de la route. Une vue en plan et une coupe longitudinale sont données à la Fig. 6. Fondation directe des culées sur semelles en béton de 30,50 m × 4,50 m, assise à 2,70 m de profondeur.

Nature du sol et essais. La reconnaissance préalable du sol a été faite par deux essais de pénétration au cône. Les résultats de l'essai I, reproduit à la Fig. 7 font apparaître les couches suivantes:

- a) 6 m de sable limoneux relativement compact, dont le C moyen a été pris égal à 100;

Section A-B



♦ : Essais de pénétration - Cone-penetration tests
 • : Repères - Reference points.

Fig. 6 Pont No 18 à Merelbeke: vue en plan et coupe
 Bridge No. 18 at Merelbeke: Plan and Section

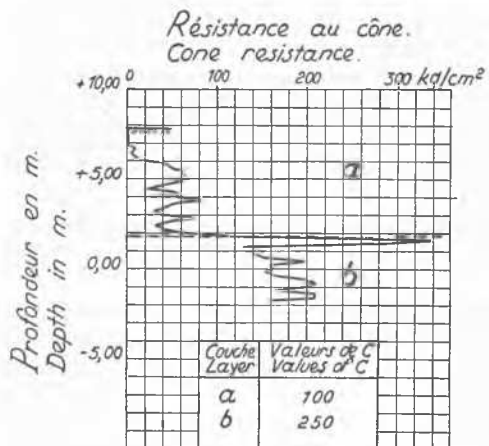


Fig. 7 Pont No 18 à Merelbeke: essai de pénétration I
 Bridge No. 18 at Merelbeke: Cone Penetration Test I

b) 4 m de sable très compact, dont le sommet très dur est vraisemblablement constitué d'un lit gréseux: C moyen = 250.

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises dans le calcul:

poids mort des culées: 7,1 t/m²
 poussée hydrostatique au niveau de fondation: 1,1 t/m²
 poids propre du tablier: 2,17 t/m²
 surcharge du remblai: 9,6 t/m².

Résultats des calculs:

tassement de la culée sous son poids propre: 1,48 cm
 tassement sous la réaction du tablier: 1,09 cm
 tassement sous la charge du remblai: 3,18 cm
 total: 5,75 cm

Les tassements observés jusqu'ici à l'aide de 4 repères verticaux noyés dans les semelles des culées (voir Fig. 6), sont donnés au tableau 2.

Tableau 2 Tassements observés (en cm) au pont 18 à Merelbeke

Date de l'observation	Culée côté Bruxelles		Culée côté Ostende		Degré d'avancement des travaux
	4	3	2	1	
7. 9.51			—	—	I ^{er} nivellement des repères 1 et 2
9.11.51	—	—	0,4	0,5	I ^{er} nivellement des repères 3 et 4, bétonnage culée Ostende achevé
17.12.51	0,4	0,2	0,9	0,5	La culée Bruxelles également bétonnée
5. 5.52	0,8	0,8	1,4	1,1	Le tablier est bétonné

Le peu de données disponibles ne permet pas encore de tirer des conclusions quant à la valeur des calculs. Notons seulement que sous l'effet de son poids propre (culées et tablier) le pont a subi actuellement un tassement compris entre 0,8 et 1,4 cm, alors que le calcul, à même degré d'avancement des travaux, nous donne 1,48 cm + 1,09 cm = 2,57 cm, c.-à-d. environ le double.

Pont 19 au-dessus de la chaussée d'Hundelgem à Merelbeke

Type d'ouvrage et mode de fondation. Même type d'ouvrage que le pont 18, la longueur du tablier (16,77 m) étant toutefois un peu plus grande; même mode de fondation également: les culées reposent sur des semelles en béton de 33,00 × 5,25 m, assises à environ 2,75 m de profondeur.

Nature du sol et essais. Reconnaissance préalable à l'aide de deux essais de pénétration, exécutés aux extrémités d'une diagonale du pont; ces deux essais ont fourni des résultats identiques; nous reproduisons à la Fig. 8, ceux de l'essai I. Ces résultats font ressortir les couches suivantes:

- 2,50 m de sable limoneux assez peu compact
- 4,00 m de sable relativement compact
- 1,00 m d'argile sableuse
- un lit de grès qui n'a pu être traversé par la sonde.

Les couches b) et c), qui entrent principalement en ligne de compte pour le calcul des tassements, peuvent être caractérisées par:

- sable relativement compact, $C = 100$
- argile sableuse, $C = 40$

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises:

poids mort des culées: 14,4 t/m²
 poussée hydrostatique au niveau de fondation: 1,9 t/m²
 poids propre du tablier: 2,35 t/m²
 surcharge du remblai: 9,6 t/m².

Résultats des calculs:

Le tassement de la culée s'établit comme suit:

sous son poids mort: 4,74 cm
 sous la réaction du tablier: 0,82 cm
 influence du remblai: 1,59 cm
 total: 7,15 cm

Tassements observés:

L'observation de 4 repères a donné jusqu'ici les tassements consignés au tableau 3:

Tableau 3 Tassements observés (en cm) au pont 19 à Merelbeke

Date de l'observation	Culée Bruxelles		Culée Ostende		Degré d'avancement des travaux
	4	3	2	1	
6. 7.51	—	—	—	—	I ^{er} nivellement des repères
26. 7.51	0,4	0,5	0,2	0,2	Bétonnage culée Bruxelles terminé
27. 8.51	0,4	0,8	0,5	0,6	Bétonnage culée Ostende également terminé
9.11.51	0,4	1,1	1,4	2,6	Tablier bétonnée; remblai côté Ostende achevé
5. 5.52	2,5	2,3	2,4	3,1	Remblai côté Bruxelles également apporté

La première observation, celle du 26 juillet 1951, donne l'avance à la culée côté Bruxelles qui, à cette époque, était entièrement bétonnée. A la mesure suivante (27 août 1951), la culée côté Ostende, également achevée, rattrape son vis-à-vis. Le 9 novembre 1951, c'est la culée côté Ostende qui a pris le devant, visiblement sous l'influence des remblais établis uniquement de ce côté du pont. La dernière mesure (5 mai 1952) montre que les mouvements se sont égalisés, les remblais ayant également été apportés du côté Bruxelles.

Par rapport au tassement total calculé (7,15 cm), nous enregistrons encore un sensible écart, le plus grand tassement observé en dernière mesure n'étant que de 3,1 cm.

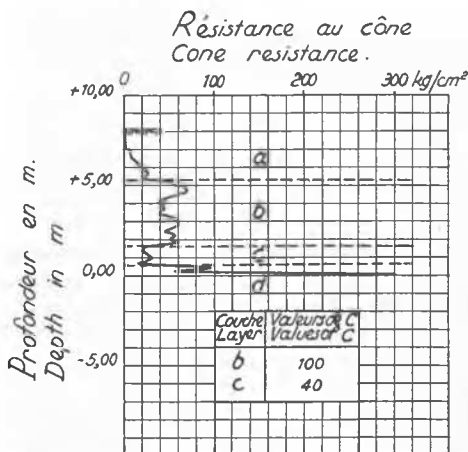


Fig. 8 Pont No 19 à Merelbeke: essai de pénétration I
 Bridge No. 19 at Merelbeke: Cone-Penetration Test I

Pont 20 au-dessus de la rue Caritas à Melle

Type d'ouvrage et mode de fondation. Ouvrage identique aux ponts 18 et 19 ci-devant; biais à 57°.

Longueur du tablier entr'appuis: 15,61 m.

Semelles de fondation en béton de 5,00 × 37,90 m, assises à 2,90 m de profondeur.

Nature du sol et essais. Reconnaissance préalable du sol par deux essais de pénétration. Résultats assez semblables, ceux de

remblayer, et la seconde, quand ce dernier remblai était également achevé, ont donné les résultats suivants:

	9 mai 1952	28 juillet 1952
culée Ostende	repère 1: 3,9 cm	4,4 cm
	repère 2: 2,4 cm	2,8 cm
culée Bruxelles	repère 3: 1,8 cm	3,0 cm
	repère 4: 3,1 cm	4,4 cm

La comparaison avec les mesures précédentes montre l'important accroissement des tassements par suite de l'apport des remblais, ces tassements étant les plus grands là où les remblais sont les plus avancés. On voit encore que les repères 2 et 3 tassent moins que leurs voisins respectifs 1 et 4: ceci est attribuable à l'effet d'angle des remblais, les contraintes supplémentaires induites par ces derniers étant plus faibles dans les angles aigus que dans les angles obtus; il en résulte une certaine torsion dans le tablier.

En tenant compte de ce qu'une partie des tassements a échappé aux mesures, on constate que les tassements observés actuellement sont encore sensiblement inférieurs aux prévisions. Par comparaison avec les tassements mesurés lors de l'apport des remblais, on peut en effet estimer que ceux qui se sont produits lors de la construction des culées n'ont guère dépassé les 3 cm. Par suite de la présence à faible profondeur d'une couche argileuse d'une épaisseur de l'ordre de 4 m, on doit cependant s'attendre à ce que les tassements continuent à s'accroître sur une assez longue période.

Pont 21 au-dessus de la route Gand—Grammont à Gontrode

Type d'ouvrage et mode de fondation. Ouvrage semblable aux ponts 18,19 et 20; longueur du tablier entr'appuis: 20 m; largeur entre garde-corps: 24,40 m; semelles de fondation assises à 3,60 m de profondeur et ayant une largeur de 5,30 m.

Tableau 4 Tassements observés (en cm) au pont 21 à Gontrode

Date de l'observation	Culée côté Bruxelles				Culée côté Ostende				Degré d'avancement des travaux
	8	7	6	5	4	3	2	1	
3. 4.50					—	—	—	—	I ^{er} nivellement des repères 1 à 4
20. 4.50	—	—	—	—	0,3	0,3	0,2	0,3	I ^{er} nivellement des repères 5 à 8, semelle culée Ostende bétonnée
28. 7.50	0,5	0,5	0,6	1,1	0,7	0,6	0,6	0,9	Culées bétonnées
20.11.50	4,0	4,2	4,5	4,1	2,7	2,5	2,2	2,0	Tablier bétonné; remblai côté Bruxelles achevé
30. 7.51 ¹⁾	—	5,0	5,4	—	(6,7)(8,1)	5,0	—	—	Remblai côté Ostende également achevé
23.11.51 ¹⁾	—	5,7	6,0	—	(7,1)(8,5)	5,6	—	—	Même situation

¹⁾ les repères 3 et 4 ne se trouvant plus exactement d'aplomb, les mesures faites à ces dates sont très peu sûres; d'autre part, les repères 1, 5 et 8 avaient disparus.

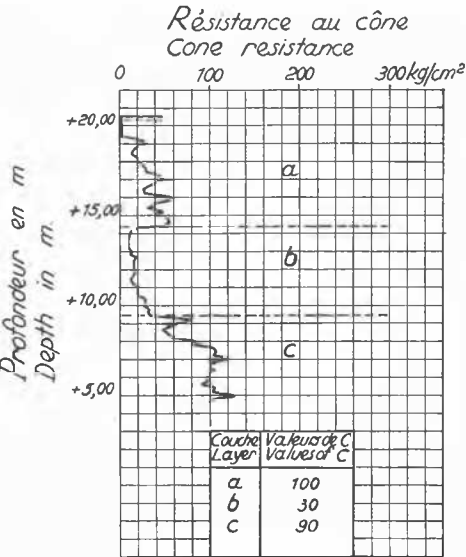


Fig. 9 Pont No 20 à Melle: essai de pénétration II
Bridge No. 20 at Melle: Cone-Penetration Test II

l'essai II sont donnés à la Fig. 9. Trois couches peuvent y être distinguées, dont les C ont été fixés comme suit:

- a) sable limoneux assez compact, C = 100
- b) argile moyennement ferme, C = 30
- c) sable relativement compact, C = 90

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises dans le calcul:

- pois mort des culées: 11,8 t/m²
- pression hydrostatique au niveau de fondation: 1,4 t/m²
- pois propre du tablier: 2,2 t/m²
- surcharge du remblai: 9,6 t/m².

Résultats des calculs:

- tassement de la culée sous son poids propre: 7,15 cm
- tassement sous la réaction du tablier: 2,51 cm
- influence du remblai: 7,21 cm
- total: 16,87 cm

Dans ce tassement total de 16,87 cm, la couche d'argile intervient pour 6,6 cm.

Tassements observés:

Les nivellements de contrôle n'ont pu malheureusement être exécutés que dès le bétonnage du tablier; aucune donnée concernant le tassement des culées pendant leur construction n'est disponible. Entre le 9 août 1951 et le 29 octobre 1951, c.-à-d. sur une période encadrant la construction du tablier, on a observé, en 4 points des semelles des culées, des tassements compris entre 0,4 et 1,0 cm. Les deux plus récentes mesures faites respectivement le 9 mai 1952 et le 28 juillet 1952, c.-à-d. la première lorsque le remblai côté Ostende était entièrement achevé et que du côté Bruxelles il restait environ 2 m à

Tassements observés. Ne possédant aucune donnée concernant la nature du sol, nous n'avons pu procéder ici à un calcul des tassements. Les tassements ont cependant été observés à l'aide de 4 repères verticaux noyés dans les semelles de chaque culée (voir tableau 4).

Il est intéressant de suivre l'évolution des tassements au cours des différentes phases de construction du pont. Ainsi, en date du 28 juillet 1950, les culées étant entièrement bétonnées, les repères ont accusé un tassement moyen de l'ordre de 0,7 cm. Le 20 novembre 1950, lorsque le tablier était construit et que seul le remblai côté Bruxelles était achevé, on a noté un tassement moyen d'environ 4,2 cm pour la culée remblayée et de seulement 2,3 cm pour l'autre culée. Le fort écart entre ces deux derniers chiffres montre clairement l'influence du remblai, d'autant plus que les mesures ultérieures faites après l'exécution du remblai côté Ostende, ont ramené les tassements à des taux très semblables. La comparaison entre les mesures du 30 juillet 1951 et du 23 novembre 1951, indique encore une certaine progression des tassements en fonction du temps, alors que pendant cette même période aucune nouvelle charge n'a plus été apportée.

Pont 22 au-dessus du chemin de fer Gand—Charleroi à Gontrode

Type d'ouvrage et mode de fondation. Pont biais (57°) avec tablier mixte: poutrelles longitudinales métalliques, traverses et dalle en béton armé; longueur du tablier entr'appuis:

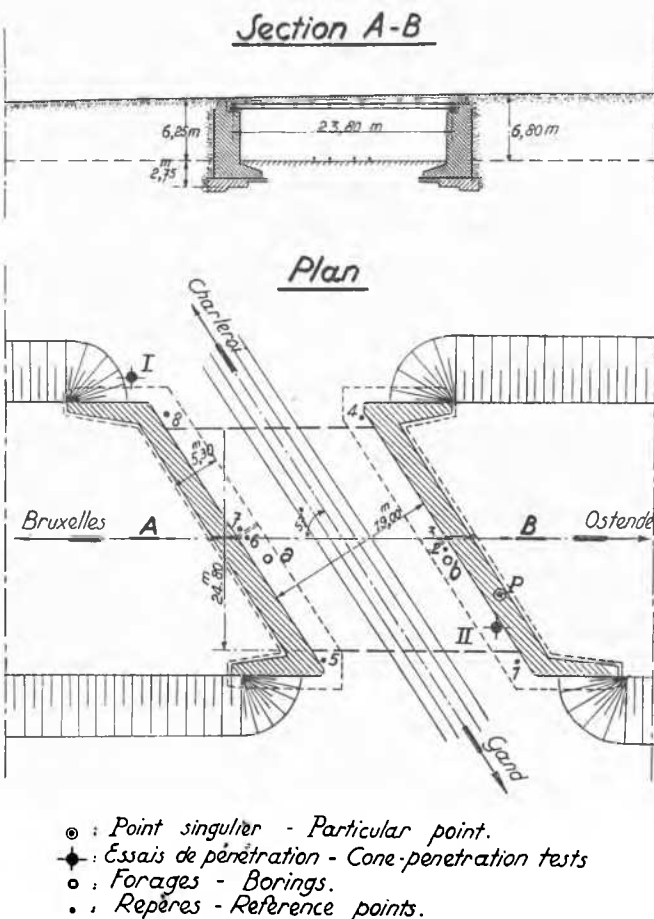


Fig. 10 Pont No 22 à Gontrode: vue en plan et coupe
Bridge No. 22 at Gontrode: Plan and Section

23,80 m; largeur entre garde-corps: 24,80 m. Vue en plan et coupe à la Fig. 10. Les semelles de fondation des culées sont assises à 2,75 m de profondeur et ont une largeur de 5,30 m.

Nature du sol et essais. Deux essais de pénétration ont été effectués aux emplacements indiqués à la Fig. 10. Les résultats

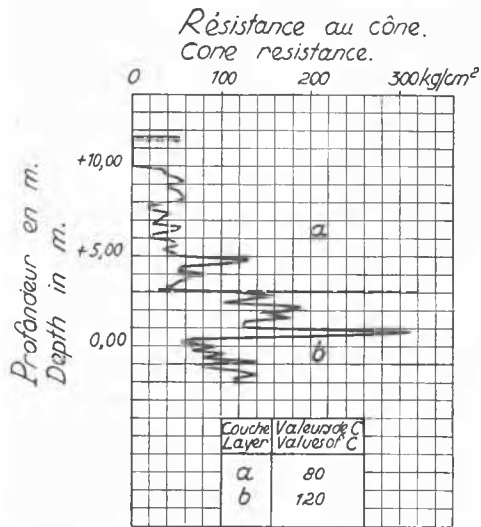


Fig. 11 Pont No 22 à Gontrode: essai de pénétration I
Bridge No. 22 at Gontrode: Cone-Penetration Test I

de l'essai I sont reproduits à la Fig. 11. On peut y distinguer deux couches:

- a) une couche supérieure composée de sable limoneux assez compact dont le C moyen sera pris égal à 80;
- b) une couche inférieure de sable plus compact et plus pur avec un C moyen de 120.

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises dans le calcul:

pois mort des culées: 12,40 t/m²
pois propre du tablier: 1,93 t/m²
surcharge du remblai: 11,2 t/m²

Résultats des calculs:

Au point singulier P (Fig. 10), nous avons trouvé les tassements suivants:

sous le poids des culées: 5,35 cm
sous le poids du tablier: 0,85 cm
influence des remblais: 4,83 cm
total: 11,03 cm

Tassements observés:

Les observations faites sur 4 repères installés dans chaque semelle de culée (voir Fig. 10) ont indiqué jusqu'à présent les tassements repris au tableau 5. A noter cependant que les premiers nivellements n'ont pu être faits que lorsque la culée côté Ostende était presque entièrement bétonnée: une partie des tassements de cette culée sous l'effet de son poids propre nous a donc échappé.

On peut voir que les mesures au droit de la culée Ostende sont sensiblement plus faibles que celles de la culée opposée, l'écart pouvant être attribué au fait que les tassements de la culée Ostende sous son propre poids ont partiellement échappé à l'observation. Observons également que les repères 4 et 5 tassent sensiblement moins que les autres: ceci peut être attri-

Tableau 5 Tassements observés (en cm) au pont 22 à Gontrode

Date de l'observation	Culée côté Bruxelles				Culée côté Ostende				Degré d'avancement des travaux
	8	7	6	5	4	3	2	1	
5. 6.51	—	—	—	—	—	—	—	—	1 ^{er} nivellement des repères 1 à 4, 7 et 8. Culée Ostende quasi achevée
29. 6.51	0,1	0	—	—	0	0	0	0	Culée Bruxelles, 1,4 m hors sol
8. 8.51	0,8	0,9	1,1	0,9	0,2	0,6	0,4	0,3	Les deux culées entièrement bétonnées; 2,75 m de remblai derrière la culée Ostende
23.11.51	3,8	3,9	4,8	2,3	1,3	2,6	2,0	2,9	Remblais pratiquement achevés; ½ tablier côté Charleroi bétonné
31. 3.52	4,2	4,6	5,6	2,7	1,6	3,3	2,8	3,4	Pont et remblais entièrement achevés
28. 7.52	5,0	5,5	6,5	3,4	2,2	3,9	3,5	3,7	Même situation

bué à une influence moindre des remblais, qui en ces points se présentent en forme de coin.

La comparaison de deux plus récentes observations, espacées seulement de 4 mois, fait ressortir un accroissement de tassement important, bien que des nouvelles charges n'aient plus été apportées durant cette période. Il faut en déduire que la construction n'a pas encore atteint son équilibre et que de nouvelles déformations se produiront vraisemblablement encore. Il est dès lors prématuré de tirer des conclusions définitives au sujet de la valeur des prévisions. On peut noter cependant qu'un écart appréciable subsiste encore entre le tassement total calculé (11,03 cm) et le plus grand tassement observé jusqu'ici (6,5 cm au point 6).

Pont 24 au-dessus de la route Oombergen—Wetteren à Westrem

Type d'ouvrage et mode de fondation. Pont biais à 53°, avec tablier en béton armé, ouvrage du même type que les ponts 18 à 21; longueur entr'appuis, suivant l'axe de l'autoroute: 20 m; largeur entre garde-corps: 24,40 m; fondation directe des culées sur semelle en gradins, assise à environ 4 m de profondeur et d'une largeur de 5,30 m; vue en plan et coupe longitudinale à la Fig. 12.

Nature du sol et essais. La reconnaissance a été faite à l'aide de deux forages ordinaires (a et b) avec prélèvement d'échantillons non remaniés, ce qui a permis de préciser la compressibilité du sol. L'ordre successif des terrains rencontrés au sondage a est donné au tableau 6. Ce tableau renseigne également les constantes de compressibilité C et de gonflement A obtenues à partir d'essais œdométriques.

Fig. 13 reproduit le diagramme œdométrique relatif à un échantillon prélevé dans la couche d'argile finement sableuse.

Section A-B

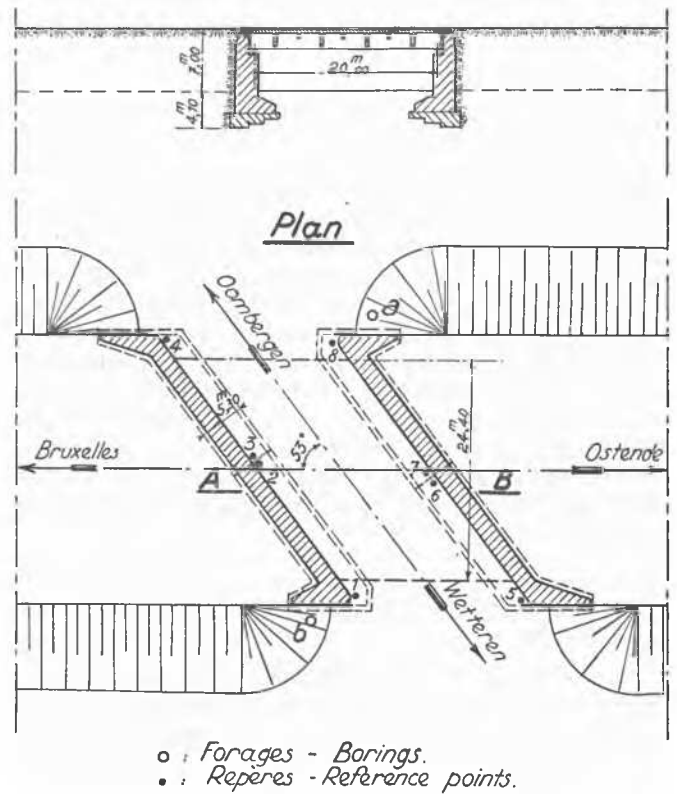


Fig. 12 Pont No 24 à Westrem: vue en plan et coupe Bridge No. 24 at Westrem: Plan and Section

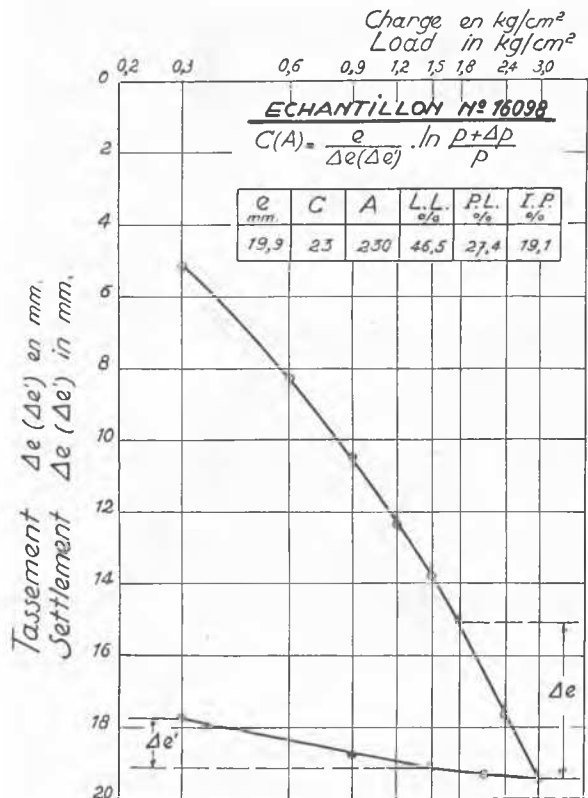


Fig. 13 Pont No 24 à Westrem: diagramme œdométrique relatif à l'échantillon No 16098 prélevé au forage a Bridge No. 24 at Westrem: Consolidation Test on Sample No. 16,098 (Boring a)

Tableau 6 Terrains rencontrés au sondage a

Épaisseur des couches en m	Nature des terrains	Caractéristiques œdométriques	
		C	A
13,00	sable fin argileux	39	390
2,00	grès et sable	—	—
1,50	argile finement sableuse	23	230
4,50	sable fin	71	386
1,50	grès	—	—
7,50	sable fin	71	386

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises dans le calcul:

poids mort des culées: 11,0 t/m²
surcharge du remblai: 10,5 t/m²
réaction du tablier: 6,4 t/m²

Constantes de compressibilité:

Deux hypothèses ont été admises: dans un premier calcul, on a tablé sur les constantes de compressibilité *C* correspondant à la branche rectiligne de la courbe de compression. On obtient ainsi une limite supérieure pour les tassements puisque le diagramme œdométrique présente en fait une certaine courbure dans sa partie particulièrement intéressée (voir Fig. 13). Dans un deuxième calcul, il a été admis que les tassements sont régis par la constante de gonflement *A*; ce calcul fournit évidemment une limite inférieure pour les tassements. Dans chaque cas, il a été supposé que les niveaux gréseux rencontrés dans le sondage sont pratiquement incompressibles.

Résultats des calculs:

Les tassements des culées sous les différentes charges du pont s'établissement comme suit:

	Limite supérieure (<i>C</i>)	Limite inférieure (<i>A</i>)
sous le poids de la culée:	11,38 cm	1,23 cm
sous la charge du tablier:	8,50 cm	0,94 cm
influence du remblai:	<u>10,69 cm</u>	<u>1,55 cm</u>
total:	30,57 cm	3,72 cm

Tassements observés:

Les mesures faites sur 4 repères installés dans chaque culée (Fig. 12) ont donné jusqu'ici les résultats suivants (voir tableau 7).

L'examen de ce tableau montre qu'après achèvement des culées - le 28 juillet 1950 - les tassements moyens étaient de l'ordre de 1,1 cm pour la culée Bruxelles et de 1,3 cm pour la culée Ostende, chiffres qui se comparent bien avec la limite inférieure obtenue par calcul (1,23 cm). En date du 15 février 1951, alors que le tablier était également achevé, on note les tassements totaux suivants:

côté Bruxelles: 1,6 cm (moyenne)
côté Ostende: 1,5 cm (moyenne)

Après la construction du tablier, on observe donc entre les dates considérées, un accroissement de tassement respectif de 0,5 cm et 0,2 cm, chiffres très inférieurs à la limite supérieure calculée (8,5 cm), et même encore inférieure à la limite inférieure (0,94 cm); ceci ne doit évidemment pas étonner, étant donné que le sous-sol est composé d'un sable fin argileux où l'évolution des tassements ne peut être immédiate. La compa-

raison des deux dernières mesures faites après achèvement des remblais, montre d'ailleurs encore une certaine progression des tassements, alors que plus aucune nouvelle surcharge n'a été apportée pendant la période envisagée.

Les derniers tassements observés sont de l'ordre de 4,5 cm pour la culée Bruxelles; l'autre culée donne des tassements légèrement inférieurs; la comparaison avec les tassements calculés montre que la limite inférieure (3,72 cm) est légèrement dépassée, mais que l'on reste fortement écarté de la limite supérieure (30,57 cm).

Tout comme pour les ponts 20 et 22, on remarque encore que les repères 1 et 8, situés dans les angles aigus formés par les remblais et le pont (voir Fig. 12), ont tassé beaucoup moins que les autres; ceci peut de nouveau être attribué aux plus faibles contraintes engendrées sur la verticale de ces points, par suite d'une meilleure répartition des charges dans le sens horizontal.

Tableau 7 Tassements observés (en cm) au pont 24 à Westrem

Date de l'observation	Culée côté Bruxelles				Culée côté Ostende				Degré d'avancement des travaux
	1	2	3	4	5	6	7	8	
8. 3.50	—	—							1 ^{er} nivellement des repères 1 et 2
15. 3.50	0,5	0,4	—	—					id. 3 et 4
13. 4.50	0,5	0,7	0,2	0	—	—	—	—	id. 5 à 8 Les semelles sont bétonnées
28. 7.50	1,9	1,4	0,8	0,4	1,7	1,3	1,2	0,9	Culées pratiquement achevées
15. 2.51	1,9	2,0	1,5	0,9	1,7	1,6	1,5	1,3	Tablier construit, 2,5 m de remblai derrière la culée Ostende
16.11.51	2,9	4,3	4,0	3,9	3,7	3,8	3,7	2,6	Remblais achevés
13. 6.52	3,5	4,8	4,3	4,8	4,0	4,1	4,0	3,3	Même situation

Pont 25 au-dessus de la Kluzestraat à Oordegem

Type d'ouvrage et mode de fondation. Pont droit avec tablier constitué par un hourdis en béton armé, du même type que les ponts 18 à 21 et 24; longueur entr'appuis: 13,70 m; largeur entre garde-corps: 24,40 m; fondation directe des culées sur semelle en béton, assise à environ 2,25 m de profondeur; largeur des semelles: 5,50 m.

Nature du sol et essais. Deux essais de pénétration au cône pratiqués aux extrémités d'une diagonale du pont ont donné des résultats quasi identiques. La Fig. 14 reproduit les résultats de l'essai I. On peut y distinguer 3 couches, dont les *C* ont été fixés comme suit:

- a) sable limoneux compact, *C* = 200
- b) argile sableuse ferme, *C* = 50
- c) sable compact, *C* = 150

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises dans le calcul:

pois mort des culées:	8,35 t/m ²
poussée hydrostatique:	2,00 t/m ²
pois propre du tablier:	1,71 t/m ²
surcharge du remblai:	9,60 t/m ²

Résultats des calculs:

Le tassement a été calculé en un point singulier de la semelle de fondation, situé sur la diagonale de cette semelle à une distance de son axe longitudinale égale à $\frac{\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{5,50}{2} = 1,59$ m, cette distance étant prise du côté remblai. On a trouvé:

sous le poids mort des culées: 3,18 cm
 sous la réaction du tablier: 1,56 cm
 influence du remblai: 6,20 cm
 tassement total: 10,94 cm

Tassements observés:

Le tableau 8 reproduit les observations faites sur 8 repères, dont 4 pour chaque culée.

Tableau 8 Tassements observés (en cm) au pont 25 à Oordegem

Date de l'observation	Culée côté Bruxelles				Culée côté Ostende				Degré d'avancement des travaux
	1	2	3	4	5	6	7	8	
15. 9.50	—	—	—	—	—	—	—	—	1 ^{er} nivellement des repères
24.11.50	0,3	0,5	0,7	0,5	—	—	—	—	Culées achevées-repères 5 à 8 inaccessibles - à 20 m de distance, remblai de 3,25 m de hauteur derrière la culée Ostende
1.12.50	0,3	0,5	0,7	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	Situation inchangée
21. 3.51	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9	1,1	1,2	1,1	Tablier bétonné
10. 8.51	4,1	4,0	4,4	5,3	5,1	5,0	5,0	6,2	Remblais achevés
14. 7.52	4,8	4,6	5,0	6,0	5,4	5,4	5,5	6,8	Même situation

Ce tableau montre qu'en date du 11 décembre 1950, c.-à-d. après bétonnage des culées, les tassements moyens étaient de l'ordre de 0,5 cm pour la culée côté Bruxelles et de l'ordre de 0,6 cm pour la culée côté Ostende. Le calcul, après cette phase de construction donne: 3,18 cm.

Après la construction du tablier, le 21 mars 1951, on a trouvé les tassements moyens suivants: culée Bruxelles, 0,7 cm; culée Ostende, 1,1 cm; le calcul indique un tassement total de 3,18 + 1,56 = 4,74 cm.

Les mesures faites le 10 août 1951, les remblais étant apportés derrière les deux culées, font apparaître un tassement supérieur à 4 cm pour la culée côté Bruxelles et supérieur à 5 cm pour la culée opposée; les dernières mesures (14 juillet 1952), faites à environ un an d'intervalle par rapport aux précédentes, accusent une majoration de tassement de quelques millimètres;

d'après le calcul, le tassement à prévoir après achèvement complet de l'ouvrage est de 10,94 cm, c.-à-d. environ le double de ce qui a été observé jusqu'ici.

On peut voir également que les tassements de la culée Ostende sont légèrement supérieurs à ceux de l'autre culée: cet écart peut être attribué au fait, que dès la construction des culées, un remblai de 3,25 m de hauteur avait déjà été apporté à une certaine distance (20 m) à l'arrière de la culée Ostende, ce qui explique l'avance des tassements de ce côté.

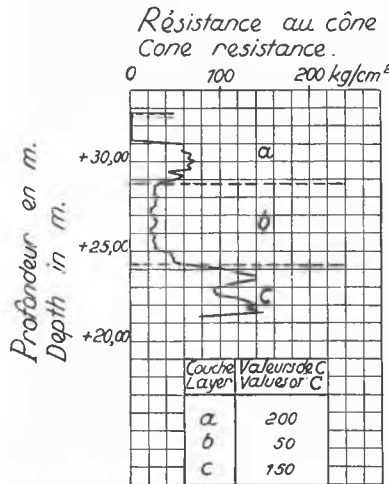
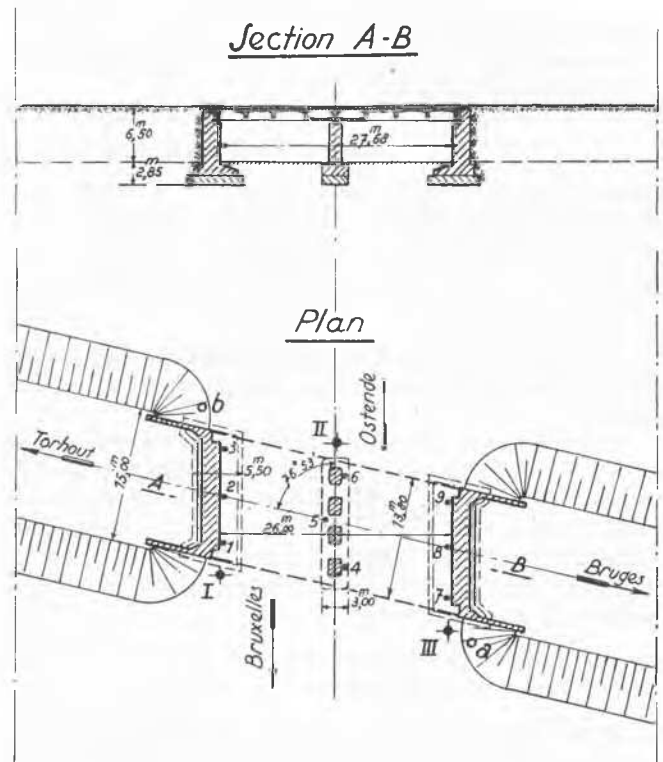


Fig. 14 Pont No 25 à Oordegem: essai de pénétration I
Bridge No. 24 at Oordegem: Cone-Penetration Test I



- ◆ : Essais de pénétration - Cone-penetration tests
- : Repères - Reference points
- : Forages - Borings

Fig. 15 Pont No XXXIX à Loppem: vue en plan et coupe
Bridge No. XXXIX^r at Loppem: Plan and Section

Pont XXXIX au-dessus de l'autoroute Bruxelles-Ostende dans la route provinciale Bruges-Torhout à Loppem

Type d'ouvrage et mode de fondation. Ouvrage hyperstatique, le tablier étant constitué de poutres continues en béton armé reposant sur 3 appuis; la longueur entr'appuis extrêmes est de 27,68 m, la largeur du pont de 13,80 m (voir Fig. 15).

La pile et les deux culées sont fondées sur des semelles en béton assises à 2,85 m de profondeur; dimensions des semelles, culées: 16,00 × 5,50 m, pile: 14,25 × 3,00 m.

Nature du sol et essais. Trois essais de pénétration au cône, exécutés aux endroits indiqués à la Fig. 15, ont donné des résultats quasi identiques. Le diagramme de la résistance au cône

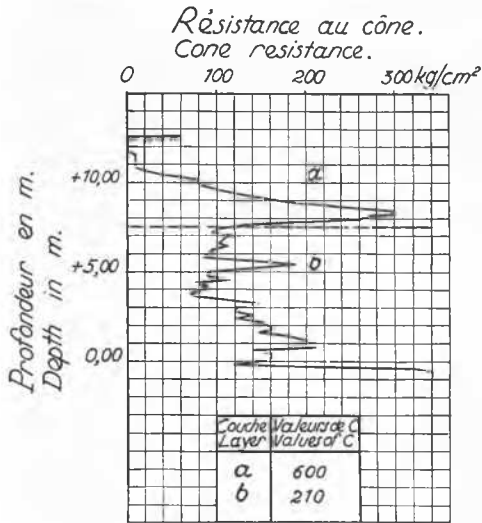


Fig. 16 Pont No XXXIX à Loppem: essai de pénétration I
Bridge No. XXXIX at Loppem: Cone-Penetration Test I

relatif à l'essai I est reproduit à la Fig. 16. Ces résultats sont représentatifs d'un sol sableux très compact, la compacité étant cependant un peu plus faible à partir d'environ 5 m de profondeur. Le C moyen de la partie supérieure a été pris égal à 600, celui de la partie inférieure à 210.

Tassements calculés et observés. Charges unitaires admises dans le calcul:

culées:	pois propre	9,10 t/m ²
	poussée hydrostatique	1,60 t/m ²
	réaction du tablier	1,88 t/m ²
piles:	pois propre	8,10 t/m ²
	poussée hydrostatique	1,60 t/m ²
	réaction du tablier	7,73 t/m ²
remblais:		10,80 t/m ²

	Culées	Pile
sous leur poids propre:	1,04 cm	1,18 cm
sous la charge du tablier:	0,65 cm	0,83 cm
influence du remblai:	2,30 cm	—
total:	3,99 cm	2,01 cm

Tassements observés:

Les tassements ont été observés en 9 repères, dont 3 par massif d'appui (voir Fig. 15). Les résultats des observations sont donnés au tableau 9.

Par rapport aux observations faites sur les ponts examinés précédemment, on trouve ici des déformations beaucoup plus faibles: ceci doit être attribué à une meilleure compacité du sol de fondation.

Tableau 9 Tassements observés (en cm) au pont XXXIX à Loppem

Date de l'observation	Culée côté Torhout			Pile			Culée côté Bruges			Degré d'avancement des travaux
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
23. 3.42	—	—	—							1 ^{er} nivellement des repères 1 à 3
24. 4.42							—	—	—	1 ^{er} nivellement des repères 7 à 9
17. 8.42	0,3	0,2	0,2	—	—	—	0	0	0	1 ^{er} nivellement des repères 4 à 6. Culée Torhout 2 m hors sol
12. 9.42	0,5	0,4	0,2	0	0	0	0,1	0,2	0	Culée Torhout entièrement bétonnée
14.10.42	0,6	0,4	0,4	0,2	0	0,2	0,3	0,3	0,1	Pile bétonnée; culée Bruges 2 m hors sol
19.11.42	0,6	0,4	0,4	0,2	0	0,2	0,3	0,3	0,1	Culée Bruges 5 m hors sol
2.10.47	0,6	0,4	0,4	0,2	0	0,3	0,1	0,3	0,2	Culée Bruges entièrement bétonnée
2. 8.48	0,6	0,5	0,5	0,4	0	0,3	0,1	0,3	0,2	Situation inchangée
24.11.48	0,6	0,5	0,6	0,6	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	Tablier achevé
12.12.49	0,6	0,5	0,6	0,7	0,4	0,7	0,2	0,3	0,3	Situation inchangée
12. 4.50	1,2	1,5	1,6	1,6	1,0	1,2	0,9	1,0	1,2	Remblais achevés
16. 5.52	2,2	2,3	2,5	2,2	2,0	2,1	1,9	1,9	2,0	Le Pont est en service depuis plusieurs mois

On remarque aussi que le tassement, tout en étant très uniforme, est légèrement plus élevé du côté Torhout. Le dernier tassement observé à la pile correspond pratiquement au calcul, tandis qu'aux culées subsiste encore un écart du simple au double.

Conclusions générales

Les calculs et les observations de tassement faits à l'occasion de la construction d'une dizaine de ponts dans la nouvelle autoroute Bruxelles-Ostende, nous ont montré qu'une très bonne approximation de l'ordre de grandeur des tassements à prévoir peut être obtenue à partir des résultats d'essais pratiqués in situ, en l'occurrence des essais de pénétration au cône. Dans le cas de sols de fondation à caractère sableux, l'application de la formule de *Buisman* pour la détermination des constantes de compressibilité C conduit à des résultats légèrement pessimistes. L'écart entre le calcul et l'observation constitue en fait une marge de sécurité qui est nécessaire pour couvrir les imprécisions du calcul et les imprévus, pour tenir compte aussi du manque d'homogénéité éventuel des couches naturelles, et pour compenser également l'effet du temps et du trafic, ce dernier facteur n'étant d'ailleurs pas introduit dans les calculs.

Pour l'un des ponts examinés, où l'on ne disposait pas des résultats d'essais de pénétration mais bien d'essais de labora-

toire sur échantillons non remaniés, on a noté un très grand écart entre la réalité et l'estimation faite à partir des constantes de compressibilité C déduites d'essais œdométriques. Cet écart peut être attribué au fait que, d'une part, le prélèvement d'échantillons intacts dans des couches sableuses est une opération très délicate et que, d'autre part, les expériences de laboratoire sont toujours entachées d'une relative inexactitude. Cet exemple montre l'utilité de contrôler les calculs basés sur des résultats d'essais par des observations in situ, ceci étant particulièrement vrai lorsque les essais sont faits en laboratoire sur des sols très sensibles à être profondément perturbés aussi bien en cours de leur prélèvement que pendant la manipulation au laboratoire.

Les observations, comme d'ailleurs les calculs, ont encore mis en évidence la grande influence de l'apport des remblais sur les déplacements des massifs d'appui des ponts: l'effet immédiat des remblais, dans les exemples que nous avons traités, est grosso-modo de doubler les tassements résultant uniquement du poids propre du pont. Ceci montre l'intérêt qu'il peut y avoir à établir les remblais bien avant la construction du pont.

Pour trois des ponts examinés, où les axes des routes inférieure et supérieure forment un angle très aigu (ponts nos 20, 22 et 24), nous avons également noté des tassements moindres dans les coins aigus formés par les remblais et le pont. Nous y voyons l'effet d'une plus grande répartition des charges dans le sens horizontal. Par suite de ces tassements inégaux, les tabliers des ponts biais subissent donc des efforts de torsion.

Bien que l'évolution des tassements au cours du temps n'ait pas été spécialement visée dans cette étude, le sol de fondation étant généralement de nature sableuse, les observations que nous avons faites ont aussi montré que l'équilibre définitif d'un pont n'est pas atteint immédiatement après son achèvement, mais que parfois des déformations sensibles se manifestent encore plusieurs mois après sa mise en service.

Références

- Beer, E. De* (1948): Settlement Records ou Bridges Founded on Sand. Proc. II. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., vol. II, p. 111.
Beer, E. De (1949): Grondmechanica – Deel II, Funderingen V. 2, p. 21. N. W. Standaard, Antwerpen et Brussel.
Fröhlich, O. (1934): Druckverteilung im Baugrund. J. Springer, Wien.