

Comparaison entre l'approche de Marston et l'approche allemande de conception structurelle des conduites rigides enterrées

Y.G. DIAB

P. PERROTIN

J.-C. MANGIN

LGCH, ESIGEC,
Université de Savoie,
Savoie Technolac,
73376 Le Bourget-du-Lac

Résumé

Dans différents pays, la théorie de Marston est utilisée pour estimer le chargement appliqué sur les conduites rigides enterrées. En Allemagne, on utilise une autre approche applicable aux conduites rigides et souples. Cette note présente une comparaison entre les deux approches. Elle est réalisée sur des conduites en grès. Le rapport entre les chargements calculés par les deux méthodes démontre que l'approche de Marston est très conservatrice pour les conduites de petit diamètre installées dans un sol granulaire bien compacté car elle néglige le soulagement par les côtés et sous-estime le frottement entre le sol de remblaiement et les parois de la tranchée.

Comparison between Marston and german approaches for buried rigid pipes design

Abstract

In several countries, the Marston load theory is used in computing the trench backfill loads on rigid pipes. Germany is using an alternative design method for rigid and flexible pipe. This paper presents the two methods and a comparison realised on vitrified clay pipe. This comparison shows by using a loading ratio that the Marston theory is conservative. This ratio is the ratio between the applied load computed by both methods. Results of the comparison demonstrate that the Marston theory is very conservative for small pipes well backfilled with well-compacted granular materials because it neglects the load relieving effect of the side of the fill and underestimates the friction between backfill soil and trench walls.

Introduction

L'approche de Marston développée à partir de 1913 à l'université d'Iowa (Marston et Anderson, 1913), (Marston, 1930), (Spangler, 1946) est à la base des méthodes utilisées en France (Fascicule 70, 1991) et aux États-Unis d'Amérique (ACPA, 1988), pour calculer les charges qui s'exercent sur les conduites rigides enterrées. Or, il existe depuis 1984 une méthode analytique développée en Allemagne par l'Abwassertechnischen Vereinigung EV (ATV, 1984) (Toepfer, 1992), dont les résultats sont très proches des résultats expérimentaux et numériques.

Dans cette note, une comparaison numérique entre les deux approches est présentée pour des conduites circulaires à parois homogènes et à épaisseur constante, afin de mettre en évidence le conservatisme de l'approche de Marston. Le ratio permettant cette évaluation est appelé le *rapport des charges RC*.

$$RC = W_a/W_m$$

W_a : charge estimée par l'approche allemande ;

W_m : charge estimée par l'approche de Marston.

Étude comparative de l'approche allemande (ATV) et de l'approche de Marston

Cet exemple sera limité à l'étude de conduites de trois diamètres différents et à l'analyse de l'influence de la géométrie de la tranchée et des caractéristiques du sol enrobant sur le rapport des charges *RC*. Ce rapport est analysé en fonction des paramètres caractérisant une tranchée :

- 1 – dimensions de la tranchée ;
- 2 – sol de remblaiement ;
- 3 – diamètre de la conduite ;
- 4 – rapport des rigidités du lit de pose et du sol de remblaiement.

Les propriétés géométriques et mécaniques des trois conduites analysées sont données dans le tableau I. On suppose que le lit de pose et le sol de couverture sont de même nature et ont même degré de compacité ; la figure 1 montre les zones de sol situées autour de la conduite.

TABLEAU I Caractéristiques des trois conduites analysées.
Properties of pipes used in analyses.

Diamètre de la conduite (mm)	Épaisseur des parois (mm)	Modules d'Young (MPa)
150	15	30 000
500	50	30 000
1 000	100	30 000

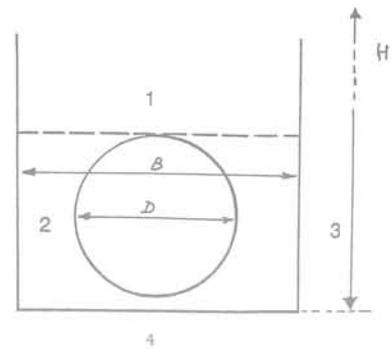


FIG. 1 Les différentes natures de sol autour de la conduite.
Definition of soil zones.

Effets des dimensions de la tranchée

Dans cette première analyse, un sol argileux compacté à 90 % du Proctor standard est utilisé comme sol *in situ* adjacent à la tranchée (zones 3 et 4 respectivement). L'influence des dimensions de la tranchée est analysée en fonction des deux rapports adimensionnels : B/D et H/D . La variation du rapport de chargement *RC* en fonction de H/D pour différentes valeurs B/D est présentée sur la figure 2. On observe que pour les faibles valeurs de B/D , le rapport de chargement est indépendant de H/D , tandis que pour des valeurs B/D élevées, les courbes sont composées de deux parties : la première (pour les faibles valeurs de H/D) est croissante indiquant que *RC* augmente avec H/D ; la seconde partie de la courbe est horizontale et elle est validée pour des valeurs H/D supérieures à 10. Ceci peut s'interpréter de la manière suivante : si la tranchée est étroite (largeur de la tranchée B inférieure ou égale à 1,5 fois le diamètre D de la conduite, comme c'est souvent le cas pour les conduites de grand diamètre), le rapport de chargement est indépendant de H/D .

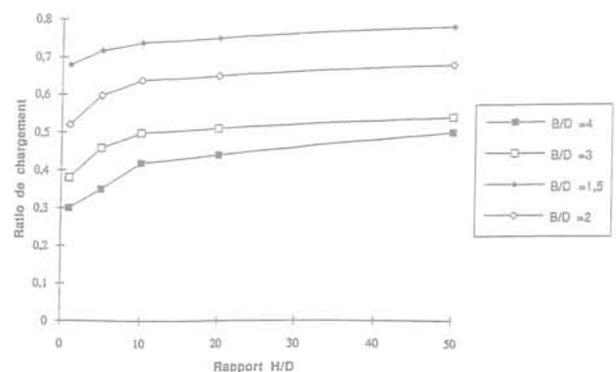


FIG. 2 Variation de *RC* en fonction de H/D .
Variation of (*RC*) with (H/D) ratio.

La relation entre le rapport de chargement et le rapport B/D pour différentes valeurs de H/D est montrée sur la figure 3.

On remarque que *RC* est égal à 1 lorsque B/D vaut 1 pour les différents rapports H/D (cas limite irréaliste). Cependant, pour tous les autres cas, ce rapport est très inférieur à 1, ce qui indique que la théorie de Marston

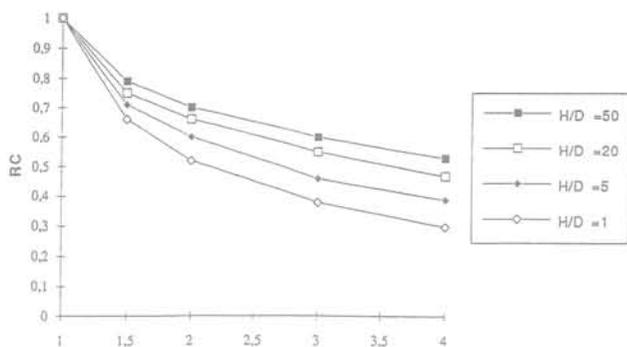


FIG. 3 Variation de RC en fonction de B/D.
Variation of (RC) with (B/D) ratio.

est très conservatrice par rapport à la méthode allemande (les valeurs H/D sont toujours supérieures à 1 en pratique). A noter aussi que le rapport de chargement diminue lorsque B/D augmente, ce qui démontre bien que la théorie de Marston est d'autant plus conservatrice que B/D est grand.

En comparant les figures 2 et 3 on peut remarquer que le rapport de chargement dépend plus de B/D que de H/D . Cela est logique car le rapport H/D représenté est proportionnel à la proportion de charges limitées par les parois de la tranchée, dans l'hypothèse où la rigidité du sol de remblaiement est du même ordre de grandeur que celle de la conduite. En conclusion, on peut dire qu'un faible changement de B/D affecte sensiblement RC .

2.2

Effets du sol de remblaiement

L'effet du sol de remblaiement est analysé selon deux aspects : le premier concerne la nature du sol et le second le degré de compacité d'un sol de nature donnée. Les relations entre le rapport de chargement pour les différents types de sols et pour différents degrés de compacité sont données sur la figure 4 avec : C1 : sol non cohérent ; C2 : sol faiblement cohérent ; C3 : mélange de sol cohérent ; C4 : sol cohérent.

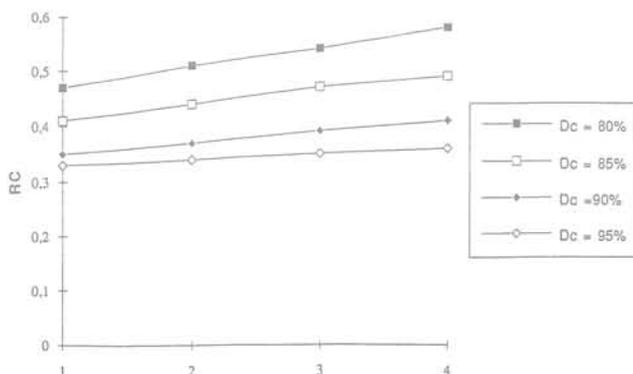


FIG. 4 Variation de RC en fonction du type de sol de remblaiement.
Variation of (RC) with backfill soil type.

A partir de cette figure, on peut noter que pour les sols compactés (90 à 95 % du Proctor standard), le rapport de chargement est sensiblement constant et donc indépendant du type de sol. Ce rapport tend à augmenter légèrement pour les sols relativement mal compactés (80 %). De la même manière, il augmente avec la cohésion du sol. La variation de RC en fonction du degré de compacité des différents sols est montrée sur la figure 5.

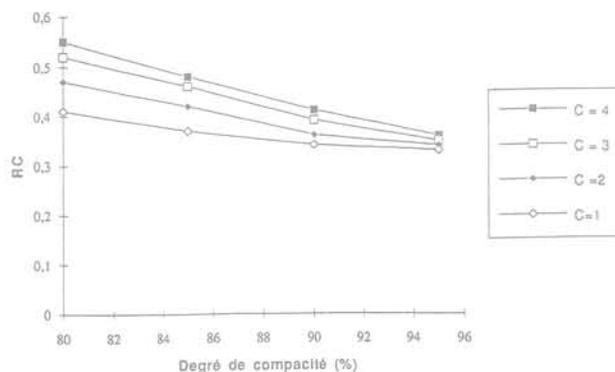


FIG. 5 Variation de RC en fonction du degré de compacité du sol de remblaiement.
Variation of (RC) with backfill soil compaction.

Ces courbes démontrent que RC diminue lorsque la compacité augmente ; en effet, la rigidité du sol de remblaiement augmentent, ce qui améliore la capacité du sol à reprendre une partie supplémentaire du chargement extérieur appliqué. Ce n'est pas uniquement le type de sol mais aussi sa compacité qui influencent ce rapport. La théorie de Marston est donc d'autant plus conservatrice que le sol est moins cohérent et que son degré de compacité est élevé.

2.3

Effets du diamètre de la conduite

Quatre diamètres de conduite ont été testés (150 mm, 500 mm, 1 000 mm, 2 000 mm). Les résultats sont représentés sur la figure 6. Cette figure indique clairement que le rapport de chargement est indépendant du diamètre de la conduite, pour une valeur de B/D donnée. Cela semble en contradiction avec les résultats donnés par l'étude théorique de Jeyapalan (1990). Selon cette étude, les dimensions de la conduite ont une forte influence sur la distribution des efforts. Contrairement à la procédure d'analyse utilisée dans notre exemple, l'étude de Jeyapalan fait varier B/D pour un diamètre de la conduite, ce qui explique la dépendance des résultats en fonction du diamètre de la conduite tandis que notre étude montre que le rapport de chargement entre l'approche allemande et l'approche de Marston est la même pour une valeur de B/D donnée. Cependant, ce rapport diminue lorsque le rapport B/D augmente, ce qui démontre que la théorie de Marston est plus conservatrice pour les tranchées larges.

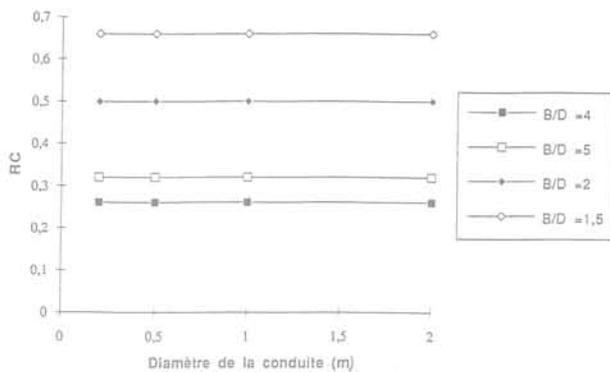


FIG. 6 Variation de RC en fonction du diamètre de la conduite.
Variation of (RC) with pipe diameter.

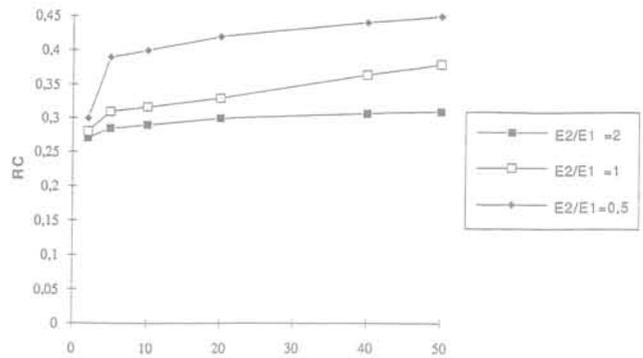


FIG. 7 Variation de RC en fonction de H/D pour différents rapports de rigidité.
Variation of (RC) with H/D ratio for different E_2/E_1 ratios.

2.4

Effets du rapport de rigidité entre le sol autour de la conduite (E_2) et le sol de remblaiement (E_1)

L'influence du rapport de rigidité du sol sur le ratio de chargement est montrée sur la figure 7 pour six valeurs de H/D et pour les trois rapports de rigidités suivants :

$$E_2/E_1 = 0,5 \quad E_2/E_1 = 1 \quad E_2/E_1 = 2$$

On remarque que le rapport H/D a peu d'influence sur le rapport de chargement sauf pour les faibles valeurs de H/D (inférieures 5) et que, lorsque le rapport E_2/E_1 diminue, le rapport de chargement augmente plus fortement. Ceci paraît logique car une valeur de E_2/E_1 faible signifie que la rigidité du sol enrobant est faible, ce qui diminue la capacité portante de la réalisation compte tenu de la diminution de la capacité portante du sol enrobant la conduite. On en conclut que la théorie de Marston est d'autant plus pessimiste que le rapport E_2/E_1 augmente et que le rapport H/D diminue (principalement pour les faibles valeurs de H/D), ce qui signifie qu'elle est plus pessimiste pour les tranchées superficielles ayant un sol latéral bien compacté.

3

Conclusion

A partir des résultats des différentes comparaisons, les remarques pratiques suivantes peuvent être faites :

- 1) Le rapport B/D apparaît être le paramètre qui affecte le plus le rapport de chargement RC ; ce rapport RC est indépendant du diamètre de la conduite pour un rapport B/D donné.
- 2) Le rapport de chargement est toujours inférieur à 1, ce qui montre bien que la méthode de Marston est conservatrice.
- 3) La théorie de Marston est la plus pessimiste pour les conduites de petit diamètre à cause de leur grand rapport B/D ; pour les conduites de grand diamètre avec un B/D faible, le rapport de chargement est indépendant de la hauteur du sol.
- 4) Le rapport de chargement diminue lorsque le rapport H/B et l'angle de frottement augmentent ; il augmente aussi lorsque la compacité du sol diminue.
- 5) Une comparaison entre les résultats de l'approche de Marston et ceux d'une approche fondée sur la Méthode des Éléments Finis (Diab, 1992) confirme le fait que l'approche de Marston est conservatrice.

On note enfin que la théorie de Marston est la plus conservatrice pour les conduites de petit diamètre réalisées avec un sol de remblai granulaire bien compacté : dans ces conditions, la charge calculée par la théorie de Marston est presque deux fois plus élevée que la charge calculée par l'approche allemande.

Bibliographie

ACPA - Concrete pipe Hand-book, Third edition, American Concrete Pipe Association, Vienna, USA, 1988, 469 p.
ATV - Spécification for the structural design of wastewater drains and sewers, worksheet A127. Abwassertechnischen Vereinigung in junction with the Verband Kommunaler Stadterinigungsbetriebe, Hamburg, RFA, 1984, n° 182.
Diab Y.G. - Comportement structurel des conduites rigides enterrées, thèse de doctorat présentée à l'université Claude-Bernard, Lyon, 1992, 412 p.
Fascicule 70 - Cahier des clauses techniques générales applicables aux mar-

chés publics des travaux (ouvrages d'assainissement). Imprimerie nationale, Paris, 1991, 216 p.
Jeyapalan J.K. - Advances in pipeline materials and design in Europe and North America. Proceedings of the Conference Pipelines Design and Installation, ASCE, Las Vegas, USA, 1990, pp. 1-16.
Marston A., Anderson A.O. - The theory of loads and pipes in ditches and tests of cement and clay drain tile and sewer pipe. Engineering experiment station. Iowa State College Bulletin. USA, 1913, n° 31, 104 p.
Marston A. - The theory of external loads

on closed conduits in the light of the latest experiments. Records of the Highway Research Board, 1930, vol. 9, pp. 138-170.
Spangler M.G. - Analysis of loads and supporting strengths and principles of design for culverts. Records of the Highway Research Board, 1946, vol. 26, pp. 189-214.
Toepfer A.C. - Introduction to regulations for pipe-jacking operations according to ATV DIN 18319 of the VOB/C. Proceedings of the Second International Symposium on Microtunneling, BAUMA 92, Munich, Allemagne, 1992, pp. 142-156.