

Laboratoire de Mécanique des Solides  
Ecole Polytechnique

Colloque

# MECANIQUE ET GEOTECHNIQUE

*(Jubilé Scientifique de Pierre Habib)*



19 Mai 1998 Salle Clémenceau

Palais du Luxembourg Paris France

*Comité Français de Mécanique des Roches, Comité Français de Mécanique des Sols,  
Comité Français de Géologie de l'Ingénieur  
Comité Français des Grands Barrages, Association Française des Travaux en Souterrain,  
Association Française de Génie Parasismique, Groupe Français de Rhéologie*

M.P. Luong - Editeur

# Apport des essais en centrifugeuse au dimensionnement d'une fondation de pont

Alain PECKER

*Géodynamique et Structure, Bagneux*

**RESUME:** La conception des grands ouvrages de Génie Civil fait souvent appel à des concepts nouveaux qui n'ont pas reçu la validation de l'expérience. L'utilisation extensive de la modélisation numérique peut apporter une aide significative à l'ingénieur dans la compréhension du comportement de l'ouvrage. Toutefois, cette modélisation requiert une validation expérimentale que les essais en centrifugeuse sont susceptibles de fournir. Cette utilisation de l'essai en centrifugeuse comme outil de validation d'un concept nouveau de fondation est illustrée sur le cas du Pont de Rion-Antirion (Grèce).

## I - INTRODUCTION

La conception de grands ouvrages de Génie Civil nécessite la mise en oeuvre de moyens exceptionnels, tant du point de vue de l'expérimentation que de la modélisation. Parmi les moyens expérimentaux les mieux adaptés, les essais sur modèle réduit occupent une place privilégiée de par la richesse des informations qu'ils sont susceptibles de fournir. La complexité des lois de comportement des géomatériaux, qui servent soit de matériaux de fondation, soit de matériaux constitutifs de l'ouvrage lui-même (barrage en terre, par exemple), implique que ces essais soient réalisés avec le matériau originel. Cette nécessité, alliée au fait que le comportement des géomatériaux est fortement dépendant de l'état de contraintes qu'ils supportent, impose de reproduire un champ gravitaire équivalent à celui régnant en place; cette simulation est obtenue dans l'essai en centrifugeuse.

L'objet de cette communication est de montrer, en illustrant sur le cas d'un ouvrage exceptionnel actuellement en études, le pont de Rion-Antirion en Grèce, l'apport des essais en centrifugeuse, couplés à des développements ayant trait à la modélisation numérique, ces essais permettent la validation d'un concept de fondation totalement nouveau.

## II - SPECIFICITE DES GRANDS OUVRAGES DE GENIE CIVIL

Les grands ouvrages de génie civil, novateurs, tels le barrage de Serre Ponçon en son temps, le pont de Normandie, ont cette particularité d'être des prototypes pour lesquels il n'existe aucun antécédent permettant de procéder par analogie et de tirer avantage de l'expérience acquise.

Par ailleurs, ces ouvrages, souvent exceptionnels, présentent une grande complexité du fait de leur interaction avec le sol qui leur sert de fondation et dont le comportement est difficile à appréhender. En outre, quels que soient la finesse

et le volume des reconnaissances géotechniques mis en oeuvre, il subsistera toujours une incertitude quant à la nature exacte et aux caractéristiques des sols de fondation; il sera souvent, et c'est souhaitable, possible de définir des caractéristiques moyennes, mais l'expérience acquise montre que les incidents, voire les accidents majeurs, prennent origine dans des hétérogénéités locales (point de faiblesse) non identifiées au stade de la reconnaissance. Une protection possible contre ces incertitudes consiste à affecter les caractéristiques "moyennes" des sols d'un coefficient de sécurité dont la valeur appropriée reste toujours sujette à discussion. Une approche alternative, qui émerge avec le développement spectaculaire des outils de calcul numérique et l'augmentation de la puissance des ordinateurs, consiste à simuler un grand nombre de situations accidentelles, de façon à mieux cerner la sensibilité du comportement d'un ouvrage à des variations aléatoires des paramètres de base. L'ouvrage pourra alors être conçu de façon à minimiser cette sensibilité et à mettre la sécurité là où elle est la mieux appropriée.

Si cette approche est de prime abord attrayante pour un esprit rationnel, il convient de ne pas perdre de vue qu'une modélisation, aussi sophistiquée soit-elle, n'est qu'une représentation imparfaite de la réalité; un modèle ne fait que traduire la version que le concepteur se fait du comportement de l'ouvrage; cette vision se traduit par le choix d'une théorie (milieu continu, type de comportement, ...) et par sa mise en oeuvre numérique.

Il est donc fondamental de valider cette modélisation, au sens large, en recourant à des données expérimentales. Ces données proviennent

tout naturellement du suivi du comportement de l'ouvrage durant sa construction ou durant sa durée de vie. Cependant, comme on l'a noté précédemment, la validation a priori (au stade de la conception) est limitée; par ailleurs, la sécurité d'un ouvrage provient de sa capacité d'adaptation à des situations extrêmes qui ne seront peut-être jamais rencontrées durant la vie de l'ouvrage: on citera, à titre d'exemple, les crues exceptionnelles pour les barrages, le vent extrême sur les ponts, les chocs navires sur les piles de pont ou les sollicitations sismiques engendrées par des séismes majeurs. Cette nécessité de validation vis-à-vis des sollicitations exceptionnelles impose naturellement le recours à des essais globaux: modèles réduits de l'ouvrage.

### III - APPORT ET LIMITATIONS DE LA VALIDATION EXPERIMENTALE

Dans la suite, on se limitera au cas des essais sur modèles réduits effectués en centrifugeuse. L'avantage majeur de ce type d'essai est connu depuis longtemps, lorsque le modèle met en jeu des géomatériaux. Le comportement de ces derniers est suffisamment complexe pour que toute tentative de modélisation de ces matériaux par des modèles équivalents soit vaine; comme par ailleurs le comportement des géomatériaux est fortement dépendant du champ des contraintes régnant dans le milieu, il est impératif de rétablir, par un champ de gravité artificiel créé par la centrifugation, le champ de contraintes régnant en place. L'existence des équations fondamentales (conservation de la masse, conservation de la quantité de mouvement) régissant l'équilibre du sys-

permet alors de définir les conditions de similitude auxquelles doivent satisfaire les différents paramètres (Luong, 1992). Ces conditions ne seront pas rappelées ici; on notera simplement que pour un modèle réduit au  $1/100^{\text{e}}$ , il est nécessaire de simuler un champ gravitaire égal à 100 fois celui de la pesanteur.

Ceci étant posé, les avantages de la modélisation en centrifugeuse sont patents:

- le modèle est construit avec le matériau réel du site, ce qui évite tout recours à une modélisation de son comportement; le modèle se comportera comme le matériau le lui dicte et non comme l'ingénieur l'imagine;
- des mécanismes même complexes peuvent être appréhendés; on citera, à titre d'exemple, le comportement de pieux foncés dans le sol, pour lesquels les perturbations apportées au milieu environnant sont difficilement quantifiables;
- la géométrie réelle de l'ouvrage qui, sauf cas particulier, est par essence tridimensionnelle, peut être plus facilement abordée que par la modélisation numérique qui nécessite des capacités souvent hors de portée même des ordinateurs de la dernière génération.

Par contre, il est indéniable que les essais sur modèles réduits ne peuvent constituer l'outil unique de conception d'un ouvrage:

- au stade de la conception, le nombre de configurations à tester en termes de géométrie, chemins de sollicitations, est élevé; recourir à un essai par situation conduirait rapidement à un trop grand nombre d'essais;
- la complexité dans l'arrangement géométrique des différentes couches de sols est souvent trop importante au regard des capacités de reproduction

en modèle réduit: un profil de sol est rarement constitué de couches continues plus ou moins régulières; beaucoup de dépôts alluvionnaires sont constitués de lentilles, de couches à pendage variable, ...

- les conditions initiales résultant de toute l'histoire des changements subis par le matériau sont difficiles à reproduire, même si l'on admet, ce qui est rarement le cas, que celles-ci sont parfaitement connues; on citera, à titre d'exemple, les modifications de caractéristiques liées au vieillissement du matériau;
- la taille des modèles qu'il est possible de tester est limitée par la capacité des centrifugeuses; les matériels les plus puissants actuellement en service permettent d'appliquer au modèle un champ de gravité égal à 300 fois celui de la pesanteur, ce qui signifie une réduction géométrique de  $1/300$  de l'ouvrage réel. Cette réduction peut être insuffisante pour les ouvrages exceptionnels de grandes dimensions;
- le coût unitaire d'un essai, la durée de préparation de celui-ci sont souvent incompatibles avec les délais et budgets d'études des projets modernes.

#### IV - COUPLAGE MODELISATION - VALIDATION EXPERIMENTALE

La revue précédente, probablement non exhaustive, des avantages et limitations de la modélisation et de l'expérimentation, conduit tout naturellement à une approche couplant les deux outils à disposition des ingénieurs.

L'expérimentation est utilisée pour tester des configurations proches des situations réelles, et sert de support à la validation des modèles numériques

développés en parallèle. Une fois cette validation effectuée, ces derniers modèles peuvent alors servir à la réalisation de toutes les études paramétriques nécessaires à la bonne appréhension du comportement de l'ouvrage. Cette approche présente en outre l'avantage de permettre l'expérimentation de modèles pour lesquels l'application des strictes règles de similitude ne permettrait pas, du fait des dimensions de l'ouvrage initial, la réalisation d'un modèle réduit. On introduit ainsi, comme cela est illustré sur l'exemple présenté ci-après, la notion de prototype de l'ouvrage initial sur lequel est effectuée l'expérimentation en similitude et la validation numérique; cette approche n'est bien entendu valable que pour autant que les effets d'échelle restent négligeables.

## V - APPLICATION AU CAS D'UNE FONDATION DE PILE DE PONT

### V.1 Description de l'ouvrage

L'approche décrite ci-dessus est illustrée par l'étude de la fondation d'une des piles du pont de Rion Antirion. Cet ouvrage unique qui a été attribué au Groupement d'Entreprises Gefyra, dont Dumez-GTM est pilote, est destiné à franchir le golfe de Corinthe près de Patras, à environ 250 km à l'ouest d'Athènes, pour instaurer une liaison fixe entre le Péloponnèse et le continent. Le pont principal, haubané à travées multiples, long de 2 290 m, est constitué de trois travées centrales de 560 m et de deux travées d'extrémité de 305 m. Cet ouvrage est situé dans un environnement exceptionnel, caractérisé par une profondeur d'eau de 65 m, des

soils de fondation constitués de c alluvionnaires de qualité médiocre (alternance sable et silts plus ou moins argileux et d'arg plasticité moyenne) et un environnement sismique élevé (accélération au niveau du fond de mer de 0.48 g).

Pour s'accommoder de ces conditions environnementales, la solution retenue par l'entreprise, concepteur du projet, consiste à fonder l'ouvrage sur quatre caissons gravitaires fondés superficiellement (figure 1).

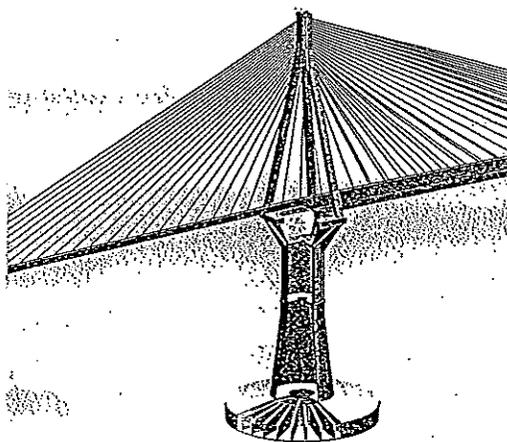


Figure 1. Vue générale d'un pylône

Le diamètre de la fondation au niveau du fond de mer est de 90 m, prolongé par un tronçon conique de 26 m de diamètre au niveau de la surface du plan d'eau; la hauteur totale d'un pylône est d'environ 220 m depuis le fond de mer, soit 65 m sous l'eau et 110 m au-dessus du tablier. Le poids déjaugé d'un pylône est de l'ordre de 860 MN (contrainte au sol de 125 à 135 kPa). Cet effort vertical vient se superposer, lors c

sollicitation sismique, un effort horizontal de l'ordre de 600 MN et un moment de renversement de l'ordre de 20 000 MN/m.

Compte tenu de la qualité du sol de fondation, qui peut être caractérisé pour les couches argileuses, prédominantes dans le profil géotechnique, par une cohésion croissante avec la profondeur, du type:

$$c_u = 30 + 2.8 z \quad (C_u \text{ en kPa, } z \text{ en m}) \quad (1)$$

une solution gravitaire seule ne pouvait être envisagée. Après examen de différentes solutions de fondation (pieux, substitution, caissons havés, ...), la solution proposée par Géodynamique et Structure, en liaison avec l'entreprise, est celle d'un renforcement des sols de fondations. Cette solution allie l'avantage d'une relative facilité d'exécution compte tenu de la présence de 65 m d'eau) et d'un coût économique avantageux. Le principe du renforcement est basé sur l'insertion d'inclusions rigides à une maille dense sous et à l'extérieur de l'emprise de la fondation. Au stade actuel des études, 270 tubes acier de 2 m de diamètre, 20 mm d'épaisseur et 25 m de long sont battus à une maille de 7 m x 7 m sur un rayon de 65 m (figure 2).

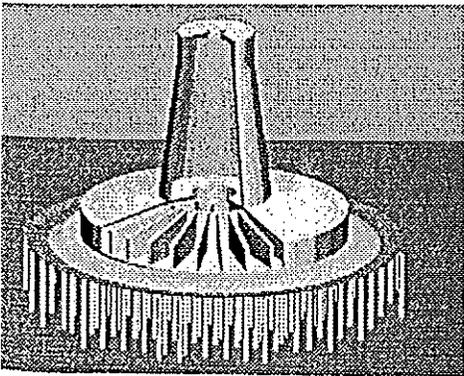


Figure 2. Vue du renforcement d'une fondation

Ces inclusions ne sont pas connectées au radier et une couche de ballast est interposée entre la tête des inclusions et la sous-face du radier; cette couche permet le soulèvement de la fondation et le glissement éventuel de celle-ci sur son assise, pour les efforts sismiques élevés. Ces mécanismes permettent de limiter les efforts transmis à la superstructure et au sol de fondation.

Le principe du renforcement peut être caractérisé comme suit (Pecker, Salençon, 1998):

- il augmente la capacité de résistance du sol de fondation;
- il privilégie les modes de translation horizontale de la fondation en cas de dépassement des efforts sismiques de calcul (glissement à l'interface par effet fusible) tout en écartant la possibilité de modes de ruptures profondes impliquant une rotation permanente de la fondation, préjudiciable au bon comportement de l'ouvrage.

Ainsi, le concept proposé permet d'introduire, pour les fondations, la philosophie de dimensionnement en capacité (capacity design) dont l'apport a été si fructueux pour le dimensionnement parasismique des structures (Paulay, 1993).

Cet aspect totalement novateur dans le concept de la fondation nécessite, de toute évidence, le développement de méthodes d'analyse spécifiques et leur validation par l'expérience. Les méthodes d'analyse ont porté sur le développement d'outils spécifiques fondés sur la théorie du calcul à la rupture et sur l'utilisation de méthodes d'éléments finis; la validation est effectuée par essais en centrifugeuse. Seul ce dernier aspect est développé ci-après.

## V.2 Modèle expérimental

Le processus de validation étant toujours en cours, les résultats qui sont présentés restent encore parcellaires; ils sont limités au cas des chargements quasi-statiques monotones et à l'évaluation de la capacité portante de la fondation sur sol renforcé. Ces essais ont été réalisés au CEA-CESTA.

Les développements en cours portent sur l'évaluation du comportement sous charge cyclique. Ces essais sont réalisés au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes.

Compte tenu des dimensions de la fondation et des capacités de la centrifugeuse, un modèle au 100<sup>e</sup> de l'ouvrage réel n'était pas envisageable. On a donc eu recours à la notion de fondation

prototype de 30 m de diamètre; toutes dimensions liées à la structure (fondation inclusion) ont donc été réduites dans le rapport. Le tableau 1 indique les caractéristiques de fondation réelle, du prototype et du modèle.

Nota: les essais ayant été réalisés à un stade préliminaire du projet, certains paramètres (diamètre et longueur des inclusions) sont différents de ceux mentionnés précédemment, correspondent à l'état actuel d'élaboration du projet. Compte tenu de l'objectif des essais (validation d'outils d'analyse), ceci ne constitue pas une limitation du processus de validation.

Tableau 1. Caractéristiques du modèle

		Fondation réelle	Prototype	Modèle
Diamètre	(m)	90	30	0.30
Diamètre du bloc de sol renforcé	(m)	130	43	0.43
Poids structure	(kN)	865 000 à 1 150 000	96 000 à 128 000	9.6 à 12.8
Bras levier force horizontale	(m)	18 à 30	6 à 10	0.06 à 0.10
Inclusions				
diamètre	(m)	2	0.67	0.0067
longueur	(m)	20	6.7	0.067
épaisseur	(mm)	35	12	0.12
espacement	(m)	5 à 7	1.67 à 2.30	0.0167 à 0.023

Le massif de sol a été réalisé avec de l'argile prélevée sur le site de l'ouvrage, malaxée avec un apport d'eau minimal pour obtenir un mélange homogène, et consolidée par la méthode du gradient hydraulique. Pour rendre compte de la légère surconsolidation du sol en place, traduite par l'équation (1), la consolidation a été complétée par application d'une contrainte de 200 kPa en surface du massif par l'intermédiaire d'une membrane étanche. Le mode de consolidation retenu a permis de reproduire des profils de cohésion comparables

à ceux mesurés in-situ (figure 3) tout en n'immobilisant pas la centrifugeuse pour cette opération, toujours longue dans un massif argileux. Pour chaque modèle, la phase de consolidation a duré plusieurs semaines (4 à 6).

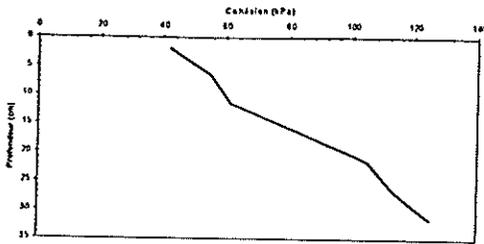


Figure 3. Profil de cohésion dans un essai

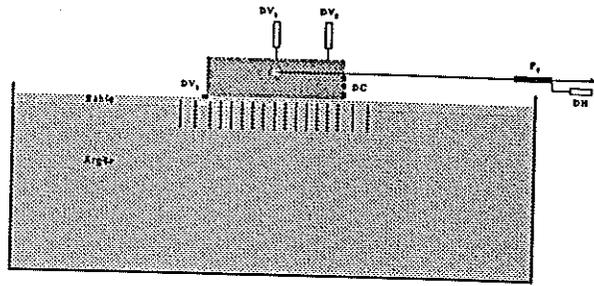


Figure 4. Dispositif expérimental

Le modèle de structure proprement dit est constitué d'un cylindre rigide placé à la surface du sol renforcé. Les inclusions ont été foncées à travers un gabarit provisoire, en utilisant la force statique créée par une plaque en acier posée sur la tête des inclusions et centrifugée à 100 g.

La charge verticale est appliquée par le poids propre de la maquette à 100 g et la fondation est sollicitée jusqu'à rupture par incrémentation de l'effort horizontal appliqué à hauteur constante au-dessus du plan de fondation. La figure 4 présente une vue schématique du dispositif expérimental.

### V.3 Configurations testées

Cinq essais ont été réalisés en faisant varier les conditions expérimentales: profil de cohésion, nombre d'inclusions, poids propre de l'ouvrage, hauteur d'application de l'effort horizontal, mode de connexion des inclusions à la fondation. Vis-à-vis de ce dernier paramètre, seuls les essais 4 et 5 correspondent au concept actuel de renforcement avec interposition d'un "fusible" (ballast) entre la fondation et le sol renforcé.

Le tableau 2 résume les paramètres principaux des différents essais.

Tableau 2. Conditions expérimentales

	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Cohésion sol (kPa) (z en cm)	15	20	$36 + 2z$	$40 + 3z$	$27 + 4.8z$
Charge verticale (kN)	9.6	9.6	11.5	12.8	12.8
Bras levier (cm)	10	6	6	6	6
Espacement inclusions (cm)					
- sous fondation	1.67	1.67	2.3	2.3	2.3
- extérieur fondation	2.30	2.30	3.2	3.2	pas inclusion
Connexion des inclusions au radier	oui	oui	oui	non	non

#### V.4 Instrumentation

Elle comporte (figure 4) deux capteurs de déplacements verticaux placés dans le plan de chargement pour évaluer la rotation de la fondation (DV1; DV2); un capteur de déplacement horizontal au niveau de l'axe de traction (DH1); un capteur de force placé sur le câble de traction de la maquette (F1). En complément, un capteur de contact a été installé à la sous-face de la maquette sous le bord opposé au point de traction pour détecter l'instant de la perte de contact entre la fondation et le sol (DV3).

Compte tenu de l'expérience acquise lors des quatre premiers essais, qui avaient révélé que des changements de géométrie importants pouvaient intervenir au cours de l'essai avec la formation d'un bourrelet de sol à l'avant de la maquette, des capteurs de contact (DC) ont été placés sur la génératrice verticale avant de la maquette à trois hauteurs; les réponses de ces capteurs ont permis de suivre la progression du bourrelet lors de l'essai.

#### V.5 Résultats

La figure 5 présente un résultat caractéristique d'essai; l'essai considéré est le 5<sup>e</sup> essai pour lequel l'instrumentation est la plus complète. Sur la figure 5, sont indiqués les instants auxquels se produisent le décollement de la maquette (capteur DV3) et la formation du bourrelet détectée par la réponse des capteurs (DC).

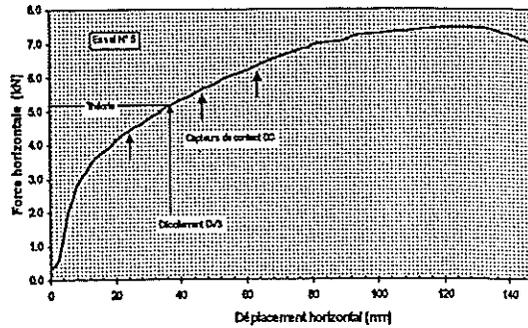


Figure 5. Résultats de l'essai n° 5

La figure 6 montre une coupe réalisée à la fin de l'essai (essai n° 3) suivant le plan diamétral de chargement. La géométrie de la surface de rupture, identifiée par des "inclinomètres" (fils de laine) implantés sous la fondation est représentée par la ligne en trait plein.

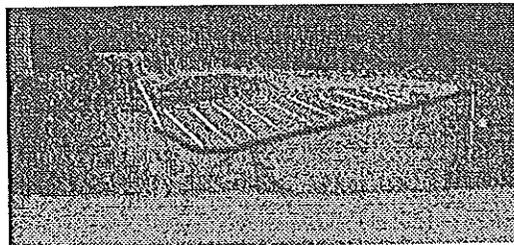


Figure 6. Mécanisme de rupture dans un essai

## VI - VALIDATION DES METHODES D'ANALYSE

Les figures 7 et 8 présentent les mécanismes de rupture identifiés soit par l'analyse limite (Pecker al, 1998) soit par les calculs éléments finis. I comparaison de ces mécanismes avec ceux déduits de l'essai en centrifugeuse montre une grande similitude.

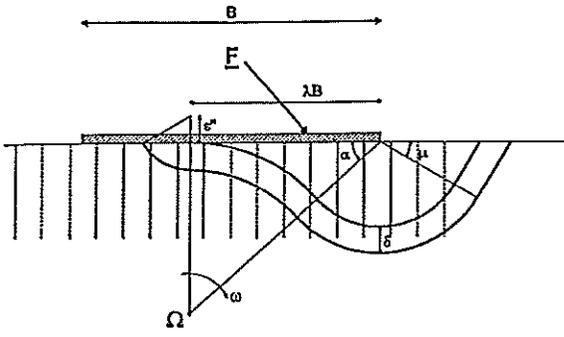


Figure 7. Mécanisme de rupture - Analyse limite

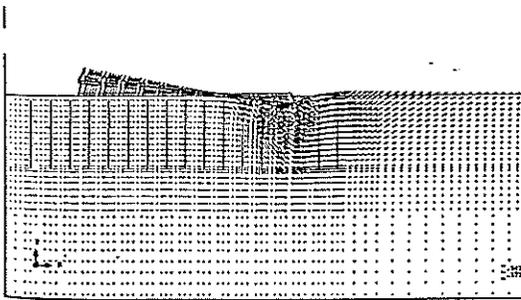


Figure 8. Champ de déplacement à rupture - Eléments finis

Les charges de rupture calculées par l'analyse limite sont comparées sur la figure 9 à celles mesurées dans les essais.

On constate que les charges limites calculées sont toujours inférieures aux charges mesurées mais que les tendances sont convenablement prédites.

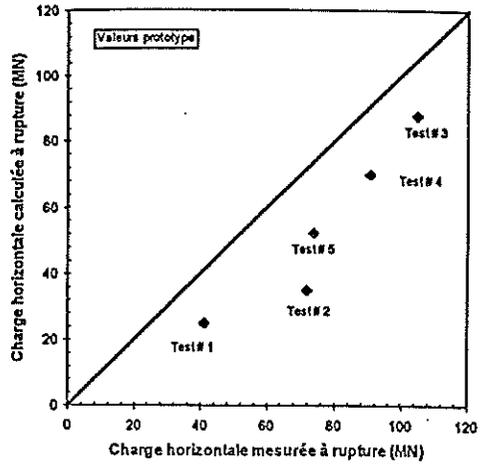


Figure 9. Comparaison essai centrifugeuse - analyse limite

Finalement, la figure 10 présente, dans le plan des paramètres de chargement T (effort horizontal) - M (moment), pour un effort normal donné, le diagramme des chargements limites calculés par l'analyse limite. Ces valeurs limites sont comparées pour certains trajets de chargements radiaux correspondant à des bras de levier de 100 m, 50 m, 40 m, 30 m et 10 m (droites en pointillé) à celles obtenues en éléments finis; le programme de calcul utilisé est Dynaflo (Prevost, 1981) qui intègre une loi de comportement élastoplastique avec écrouissage cinématique. Le modèle de calcul comporte en outre des éléments de glissement avec frottement de type Coulomb aux interfaces sol-inclusion et sol-radier qui limitent l'adhésion entre les deux milieux et permettent le décollement éventuel. On constate un très bon accord entre les résultats avec des différences n'excédant pas 20% le long des trajets radiaux.

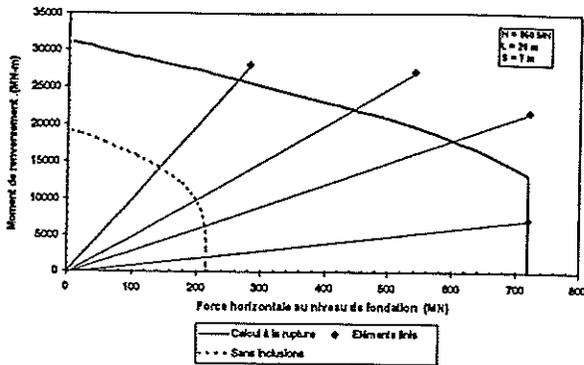


Figure 10 Diagramme des chargements admissibles - Comparaison Calcul à rupture/Eléments finis.

## VII DISCUSSION

Les deux outils d'analyse utilisés (éléments finis, calcul à la rupture) ont montré une très bonne concordance dans la prédiction des charges limites de la fondation. Par ailleurs, les essais en centrifugeuse ont permis de valider à la fois les mécanismes de rupture calculés et les charges limites. Toutefois, les évaluations numériques ont systématiquement mis en évidence une sous-estimation des charges limites par rapport à celles mesurées. Une tentative d'explication de cet écart, qui reste toutefois raisonnable, est donnée sur la figure 5. On a reporté sur cette figure la valeur de la charge limite calculée par le calcul à la rupture. On constate que cette charge limite est associée à un déplacement de la fondation pour lequel les changements de géométrie du système, détectés par la réponse des capteurs frontaux (DC), deviennent appréciables. Ces changements ne sont pris en compte ni dans le calcul à la rupture ni dans les analyses éléments finis qui raisonnent sur la

géométrie initiale, non déformée, du système. On notera également que les charges limites théoriques calculées correspondent à des déplacements métriques (1.5 m à 4 m en valeurs prototype pour l'ensemble des cinq essais) alors que les valeurs maximales lues sur les courbes expérimentales correspondent à des déplacements supérieurs à la dizaine de mètres (valeurs prototype). Très clairement, ces derniers sont inacceptables pour l'ouvrage alors que ceux associés aux valeurs calculées restent d'un ordre de grandeur plausible compte tenu des dimensions de l'ouvrage; ils sont également en relativement bon accord avec ceux calculés en éléments finis.

En conclusion, les essais sur modèles réduits en centrifugeuse ont permis de qualifier le concept innovateur proposé pour les fondations du pont. Ce concept fait l'objet d'un brevet déposé par Dumez-GTM. Ces essais ont en outre permis de valider des outils d'analyse spécifiques qui peuvent être utilisés avec confiance pour effectuer les nombreuses études paramétriques que requiert le dimensionnement des fondations de cet ouvrage exceptionnel. Les essais ultérieurs permettront d'affiner la modélisation du comportement de la fondation sous chargement cyclique et de porter une plus grande attention à l'évaluation des déplacements avant et à rupture.

## REFERENCES

- Combault J., Morand P., (1998), "The exceptional structure of the Rion Antirion bridge in Greece". Proceedings of the IABSE Conference - Kobe (Japon).
- Luong M.P., (1992), "Centrifuge testing", Chapt. VI.6 - Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics - Ouest Editions.

- Paulay T., (1993), "Simplicity and confidence in seismic design" - 4<sup>th</sup> Mallet Milne Lecture - John Wiley.
- Pecker A., Teyssandier J.P., (1998), "Seismic design for the foundations of the Rion Antirion bridge", Proc. Instn Civ. Engrs eotech. Engng, 131, pp. 4-11 - Paper 11311.
- Pecker A., Salençon J., (1998), "Innovative concepts in foundation engineering" - Proceedings of the Second Japan-UK workshop on implications of recent earthquakes on seismic risk (Tokyo).
- Pecker A., Harikiopoulos H., de Buhan P., Dormieux L., Morand P. (1998), "Comportement sismique d'une fondation sur sol renforcé pae inclusions rigides" - Compte rendu de fin de recherche - MESR, Décision d'aide 95T-0155 (Mai 1998).
- Prevost J.H., (1981) "Dynaflow - A finite element analysis program for the static and transient response of linear and non linear two and three-dimensional systems" - Department of Civil Engineering - Princeton University - Version 1994.