

# 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.*

# MOUVEMENTS VERTICAUX D'UNE USINE-ECLUSE DU RHONE

## FOUNDATION SWELLS AND DIPS OF A PLANT AND LOCK ON THE RHONE RIVER

J. MATHIAN  
R. PAUBEL

Compagnie Nationale du Rhône, Lyon, France

**SOMMAIRE** L'usine de Bourg-lès-Valence, construite sur le Rhône et comportant six groupes hydroélectriques de 32 MVA chacun, est fondée sur une argile pliocène préconsolidée. Les travaux ayant débuté par le creusement à sec d'une fouille de 30 m de profondeur, il s'est d'abord produit un gonflement de l'argile de fondation, d'environ 5 cm d'amplitude. Ce gonflement s'est poursuivi au début des bétonnages et a atteint 10 cm ; puis le sens du mouvement s'est inversé sous l'action de la surcharge des ouvrages. A l'achèvement de ceux-ci et avant l'arrêt des épaissements le gonflement résiduel était encore de l'ordre de 5 cm, bien que le poids des bétons soit voisin de la charge initiale. La mise en eau des ouvrages a provoqué une accélération importante des tassements et un léger basculement des ouvrages vers l'amont.

### INTRODUCTION

L'aménagement de Bourg-lès-Valence fait partie d'une série d'aménagements à longue dérivation en cours de construction par la Compagnie Nationale du Rhône (C.N.R.) sur le Bas-Rhône entre Lyon et Arles. Ces aménagements à buts multiples (production électrique, amélioration de la voie navigable, irrigation) comportent, sur chacune des dérivations, un ensemble "usine-écluse" dont le volume de béton avoisine 400.000 m<sup>3</sup>. Bien que l'argile pliocène constitue, de manière très générale, le substratum de la vallée du Bas-Rhône, la C.N.R. avait pu fonder ses premières usines (y compris celle de Donzère-Mondragon) sur des plateformes rocheuses incompressibles. L'usine de Bourg-lès-Valence, mise en service au début de 1968, est la première à être fondée sur l'argile. D'autres usines en construction (Beaucaire, dont nous parlerons incidemment) ou en projet (Gervans, Sablons) seront fondées sur la même formation.

Le rapport résume les observations relevées au cours de la construction et à la mise en service de l'ensemble usine-écluse de Bourg-lès-Valence. Ces observations sont précédées d'une description sommaire du site géologique et de quelques indications sur les caractéristiques mécaniques de l'argile.

Nous n'avons pas, dans la conclusion, cherché à expliquer par des considérations théoriques l'ensemble des résultats ; il nous a semblé plus intéressant d'attirer l'attention sur le fait que, dans ce cas particulier, les modifications des surcharges d'eau ont eu une influence certaine sur

le comportement du squelette solide de l'argile.

### 1 - DESCRIPTION GEOLOGIQUE DU SITE

La vallée du Rhône, à l'aval de Lyon, suit de manière générale le cours d'un ancien fjord par lequel la mer pénétrait profondément dans le continent à l'époque pliocène. Dans ce bras de mer se sont déposées des argiles bleues dont l'épaisseur atteint par endroits plusieurs centaines de mètres. Au quaternaire ces formations d'argile ont été, à un certain moment, surmontées d'une couche d'alluvions atteignant 100 mètres de hauteur, dans lesquelles le fleuve a, par la suite, creusé par érosion sa vallée actuelle.

L'usine de Bourg-lès-Valence est construite à proximité même du Rhône sur une basse terrasse dominant d'environ 6 mètres le niveau d'étiage du fleuve. A cet emplacement, l'épaisseur moyenne des terrains alluvionnaires récents était de 17 mètres, comportant en surface 4 mètres de limons (alluvions fines sablo-argileuses), et au dessous 13 mètres d'alluvions grossières (sable et graviers). Le substratum est formé par l'argile pliocène ; l'épaisseur de cette dernière formation est inconnue, mais dépasse certainement 100 mètres.

### 2 - CARACTERISTIQUES MECANQUES ET MINERALOGIQUES DE L'ARGILE PLIOCENE

De nombreux sondages ont été effectués dans cette argile, soit à l'emplacement de l'usine de Bourg-lès-Valence, soit dans d'autres sites de la vallée du Rhône ;

à Bourg-lès-Valence, les reconnaissances ont été poussées jusqu'à 100 mètres de profondeur. Les échantillons recueillis dans les sondages ont servi à déterminer les caractéristiques mécaniques et minéralogiques de l'argile.

Il a ainsi été constaté que la nature de ce matériau est remarquablement constante dans toute la vallée, bien que les reconnaissances se soient étendues sur un tronçon de plus de 100 km de longueur. Les caractéristiques moyennes sont indiquées dans la table n° I.

Table n° I - Caractéristiques mécaniques de l'argile

| Granulométrie : 20 à 30 % d'éléments $< 2 \mu$ |                                           |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Poids spécifiques                              | Consistance                               |
| $\gamma = 1,97$ à $2,06$                       | $W_L = 35$ à $40 \%$                      |
| $\gamma_s = 2,75$                              | $W_p = 18$ à $19 \%$                      |
| $\gamma_d = 1,60$ à $1,70$                     | $I_p = 15$ à $20 \%$                      |
| $e = 0,60$ à $0,70$                            | $I_C = 0,8$ à $1,0$                       |
| $w = 21$ à $23 \%$                             | Perméabilité                              |
| $S_r = 90$ à $95 \%$                           | $K = 1$ à $5 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ |
| Résistance au cisaillement                     |                                           |
| $\tau_f = 5$ à $10 \text{ kg/cm}^2$            |                                           |
| $\phi' = 30$ à $35^\circ$                      |                                           |
| $C' = 0,2$ à $0,5 \text{ kg/cm}^2$             |                                           |

L'allure des courbes oedométriques est d'autre part représentée sur la figure n° 1.

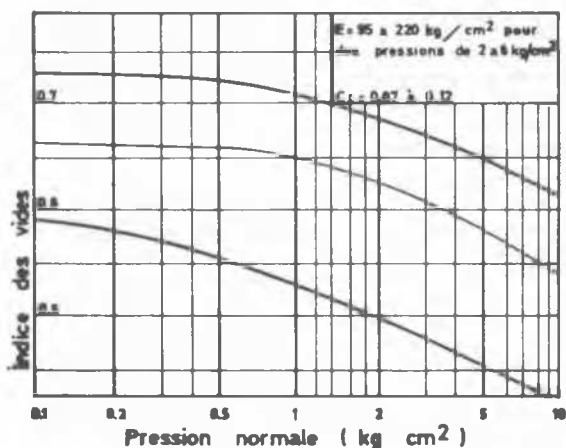


Fig. 1 Argile de Bourg-lès-Valence  
Résultats à l'oedomètre  
Courbes extrêmes et moyenne

Quant aux caractéristiques minéralogiques, leur détermination est plus déli-

cate, cette difficulté étant accrue par l'hétérogénéité de détail constatée sur des échantillons très voisins. L'ensemble des analyses effectuées par des laboratoires spécialisés a permis cependant d'établir la table n° II qui donne la composition minéralogique approximative de l'argile pliocène.

Table n° II - Composition minéralogique de l'argile

| Composition globale |      | Composition des minéraux argileux |      |
|---------------------|------|-----------------------------------|------|
| Quartz              | 25 % | Illite                            | 25 % |
| Calcite             | 35 % | Chlorite                          | 40 % |
| Minéraux argileux   | 40 % | Montmorillonite                   | 35 % |

### 3 - ETABLISSEMENT DU PROJET

#### 3-1 L'usine-écluse de Bourg-lès-Valence

Les dispositions générales de l'ensemble "usine-écluse" sont représentées sur la figure n° 2.

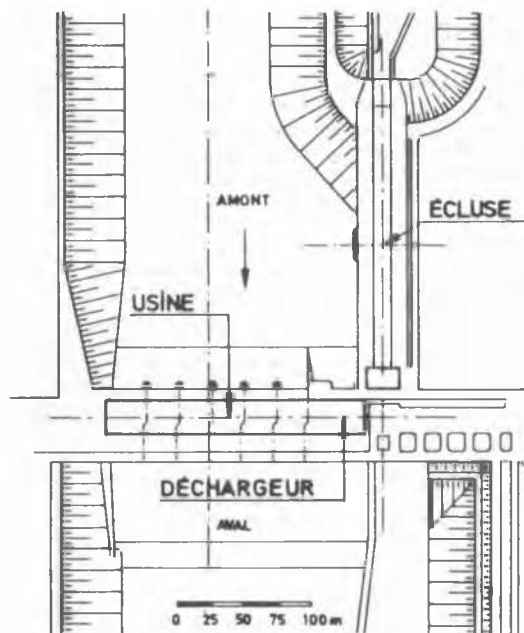


Fig. 2 Usine-Ecluse de Bourg-lès-Valence  
Vue en plan des ouvrages

L'usine, dont la coupe est donnée par la figure n° 3 forme une structure de 200 x 60 m dont la fondation descend à 15 m sous le toit de l'argile pliocène. Elle est constituée par sept plots monolithes indépendants : six de ces plots, de 24 m de largeur, correspondent à chacun des groupes hydroélectriques, du type Kaplan à axe

## MOUVEMENTS VERTICAUX

vertical ; le septième de 52 m de largeur situé en rive gauche est occupé par un déchargeur surmonté d'un hall de montage et de divers locaux annexes.

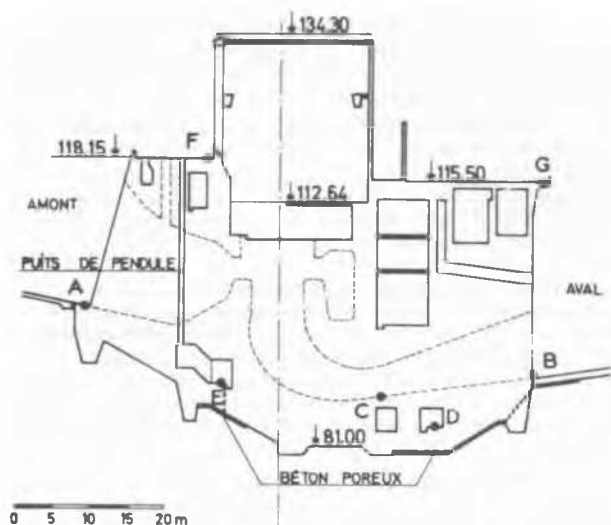


Fig. 3 Usine de Bourg-lès-Valence  
Profil en travers d'un plot

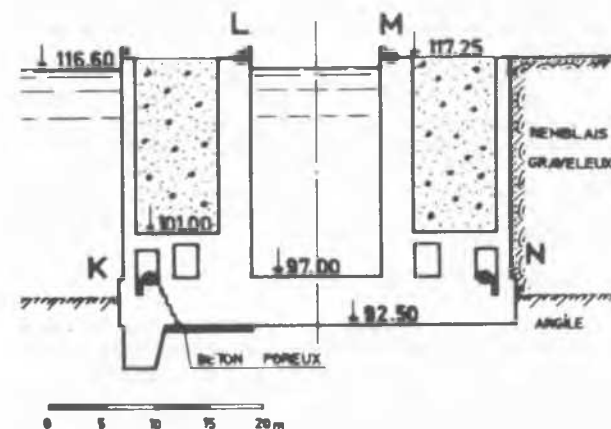


Fig. 4 Ecluse de Bourg-lès-Valence  
Coupe transversale type d'un plot

L'écluse forme une structure de 280 x 30 m, fondée au niveau du toit de l'argile ; elle est constituée, comme le montre la coupe transversale de la figure n° 4, par deux bajoyers de 12 m de largeur reliés par un radier de 4,50 m d'épaisseur en béton fortement armé ; elle est divisée par des joints transversaux en vingt plots indépendants.

Les différentes phases de construction de cet ensemble devaient comporter :

a) le terrassement d'une grande fouille protégée des crues du Rhône par des batardeaux en terre et mise à sec par épuisement direct ; cette fouille devait d'abord atteindre le toit de l'argile, puis se continuer dans l'argile même, sur une quinzaine de mètres de profondeur, pour atteindre le niveau des fondations ;

b) le bétonnage des différents plots de l'usine et de l'écluse, phase pendant laquelle la fouille resterait maintenue à sec ;

c) après achèvement des bétons, l'arrêt des épuisements, qui devait entraîner la remise en eau de la fouille ; puis après enlèvement des batardeaux il était prévu de monter progressivement le plan d'eau en amont de l'usine à sa cote définitive située à 5 mètres en contre-haut de terrain naturel, afin de créer une chute d'environ 12 mètres utilisée par les groupes hydroélectriques de l'usine.

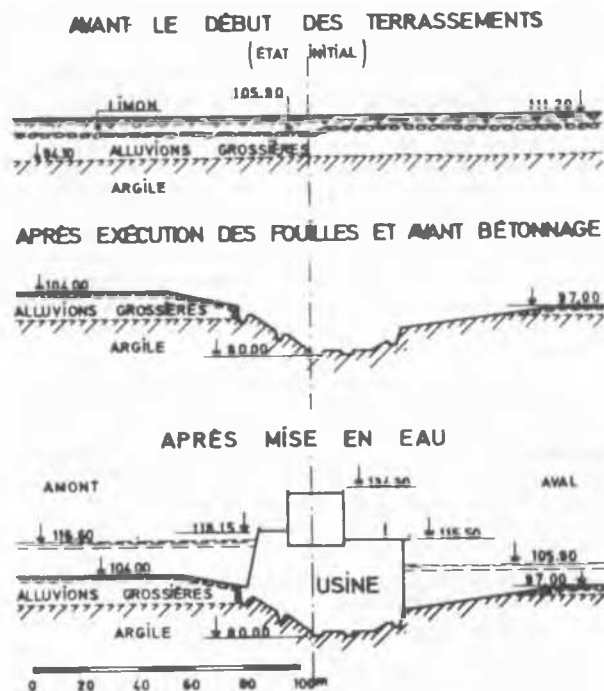


Fig. 5 Usine de Bourg-lès-Valence  
Profil amont-aval, suivant  
l'axe du canal de dérivation

La figure n° 5 est un profil amont-aval à l'emplacement de l'usine et des tronçons de canaux adjacents, à trois époques successives :

- dans l'état naturel avant tout commencement des travaux ;

- après exécution de la fouille et avant tout bétonnage ;
- et enfin après mise en eau définitive de l'usine.

### 3-2 Déformations prévisibles de l'argile

Il était certain que le déchargement de l'argile de fondation, correspondant à la phase de terrassement, aurait pour conséquence un gonflement des couches supérieures de celle-ci ; l'amplitude de ce mouvement avait été prévue de l'ordre de 5 cm, en admettant pour le calcul de la charge initiale que le poids d'eau surmontant la fondation était entièrement supporté par les pressions interstitielles dans l'argile et que les matériaux solides immergés étaient soumis à la poussée d'Archimède.

Le bétonnage des ouvrages devant ensuite rétablir sur la fondation une charge supérieure à la charge initiale (environ 5 bars au lieu de 3), cette deuxième phase de travaux devait voir l'annulation du gonflement, l'amorce d'un tassement des plots de l'usine, et, par suite d'une certaine excentricité de la résultante des charges, un léger basculement vers l'aval.

Quant à la mise en eau, elle aurait pour conséquence principale une simple modification de la pression interstitielle à l'intérieur de l'argile, sans variation des contraintes supportées par le squelette solide ; accessoirement l'établissement d'une sous-pression sous les ouvrages viendrait diminuer les tassements en rétablissant un équilibre proche de l'état initial, et la poussée de l'eau sur le parement amont aurait tendance à accentuer le basculement des plots de l'usine vers l'aval.

Il avait cependant été envisagé que la surcharge provenant de l'eau introduite dans le canal d'amenée pourrait être supportée au moins temporairement par l'argile et qu'il en résulterait peut être un basculement des plots vers l'amont, en sens contraire, donc, de celui dont il vient d'être question.

### 3-3 Précautions prises en vue d'éviter tout désordre

#### 3-3-1 Usine

Tenu compte de l'assise sur l'argile, chaque plot de l'usine comporte en fondation, comme on le voit sur la figure n° 3 :

- un radier épais, très fortement armé, destiné à répartir les charges ;
- des parafeuilles en béton armé, destinés à éviter un glissement de l'ouvrage sur l'argile et à allonger le cheminement de l'eau au contact entre le béton et l'argile ;
- au tiers amont de la fondation, une couche drainante en béton poreux, en communication avec une galerie aménagée dans le radier et destinée à faire tomber la sous-pression en ce point ;

- sous le tiers aval de la fondation, une couche perméable en béton poreux communiquant avec le bief aval, et destinée à maintenir une sous-pression correspondant au niveau aval sous cette partie d'ouvrage.

Cette dernière disposition devait en tout état de causes neutraliser la tendance au basculement de l'ouvrage vers l'aval signalée précédemment.

Ce sont évidemment les tassements différentiels et les basculements de la structure qui auraient pu être le plus préjudiciable au bon fonctionnement des machines. Pour réduire les tassements différentiels après le montage des groupes, les joints entre plots ont été traités tout particulièrement. L'appui mutuel des plots adjacents est réalisé au moyen de consoles dont les faces inférieures et supérieures ont été équipées de boîtes métalliques déformables permettant des mouvements relatifs des plots pendant le bétonnage ; pendant le montage des groupes ces boîtes ont été bloquées par injection de ciment.

Quant aux basculements qui paraissent inévitables, le constructeur des machines avait fixé à  $3 \times 10^{-3}$  radian la tolérance sur la verticalité de l'axe des groupes et, au cas où le basculement aurait dépassé cette valeur, un recalage du pivot restait encore possible. Nous verrons plus loin que les défauts de verticalité dus aux tassements de l'argile de fondation sont en fait restés très inférieurs à la tolérance admise.

#### 3-3-2 Ecluse (voir Fig. 4)

La fondation comporte, comme à l'usine, un parafeuille en béton armé destiné à éviter un glissement de l'ouvrage sur l'argile et une couche drainante pour faire tomber la sous-pression sous le bajeur contigu à la retenue.

## 4 - DISPOSITIFS DE MESURES

Avant le début des terrassements, des repères fixes avaient été scellés dans l'argile au fond de deux puits ; après nivellement, ces repères furent abandonnés et on les retrouva lorsque le fond de fouille atteignit leur niveau ; les mesures montrèrent un exhaussement de ces repères de l'ordre de 5 cm pendant cette première phase de terrassement (d'avril à septembre 1965). D'autres repères furent mis en place sur l'argile au fur et à mesure de sa découverte. Enfin, dès le début des bétonnages, en octobre 1965, de très nombreux repères furent placés sur les bétons dans la partie basse des fondations et ces repères firent l'objet de mesures de nivellement précises, effectuées mensuellement pendant toute la durée du chantier. Les bétonnages ayant été terminés dans le courant de l'été 1967, les épaissements de la fouille furent arrêtés le 14 novembre 1967 ; dès le 28 novembre, le niveau aval de l'usine était établi à sa cote définitive : (105)N.G.F. ; quant au

## MOUVEMENTS VERTICAUX

niveau amont il atteignit rapidement, le 12 décembre, la cote (110,60), puis il fut monté par paliers successifs jusqu'au niveau (116,60) atteint le 5 août 1968 (voir courbes de variations des plans d'eau sur la figure n° 8).

Certains repères de nivellement posés dans des galeries ont pu continuer à être relevés pendant toute cette période de mise en eau et sont destinés à permettre de suivre indéfiniment les mouvements des fondations de l'usine.

La position des repères principaux est indiquée sur les coupes de l'usine et de l'écluse (voir figures n° 2 et 3).

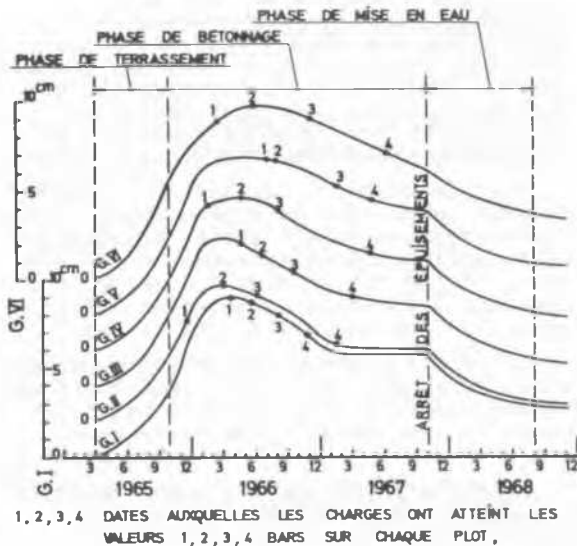


Fig. 6 Usine de Bourg-lès-Valence  
Nivellement rapporté à l'origine  
(avant le début des terrassements)  
Graphiques hauteur-temps des repères  
"D" des six plots de l'usine

### 5 - OBSERVATIONS SUR LES MOUVEMENTS DE L'USINE

#### 5-1 Mouvements rapportés à l'origine (avant début des terrassements)

La figure n° 6 représente les graphiques hauteur-temps des repères "D" situés dans les galeries aval et dont la position est donnée par la figure n° 3. La figure n° 6 précise également les différentes phases de travaux : terrassements, bétonnage et mise en eau ; elle montre enfin les dates auxquelles les surcharges sur chaque plot ont atteint les valeurs 1 - 2 - 3 et 4 bars. L'examen de ce dessin aboutit aux observations suivantes :

1) - Le gonflement d'environ 5 cm observé pendant la phase de terrassement se poursuit au début du bétonnage.

2) - Sur chaque plot, le gonflement s'arrête lorsque la surcharge des bétons atteint une valeur comprise entre 1 et 2 bars ; le gonflement maximal varie de 7,5 cm sur le groupe II, par lequel a débuté le bétonnage de l'usine, à 9,8 cm sur le groupe VI.

3) - Les plots pairs ayant en général été bétonnés avec une certaine avance sur les plots impairs, on constate que la surcharge qui provoque l'inversion du sens du mouvement est un peu plus élevée sur les plots pairs que sur les plots impairs.

4) - Pour chacun des plots de l'usine, le tassement, dont la vitesse est de l'ordre de 2 à 3 mm/mois pendant la période de bétonnage, se ralentit rapidement dès que le bétonnage du plot est terminé.

On constate ainsi, pour les plots I et II dont le bétonnage a été terminé environ 9 mois avant la mise en eau, une tendance très nette à la stabilisation dans le courant de 1967. Cette tendance est inexistante pour le groupe VI dont le bétonnage s'est poursuivi jusqu'en octobre 1967.

5) - Peu avant l'arrêt des épaissements, soit au début du mois de novembre 1967, le tassement est loin d'avoir neutralisé complètement le gonflement initial ; le gonflement résiduel varie de 4,0 cm sur le plot II à 6,2 cm sur le plot VI.

6) - La mise en eau des canaux d'amenée et de fuite provoque un nouveau tassement dont la vitesse maximale atteint 1 cm/mois ; ce tassement n'est pas encore terminé. En décembre 1968 le gonflement résiduel varie de 1,0 cm sur le plot II à 3,1 cm sur le plot VI.

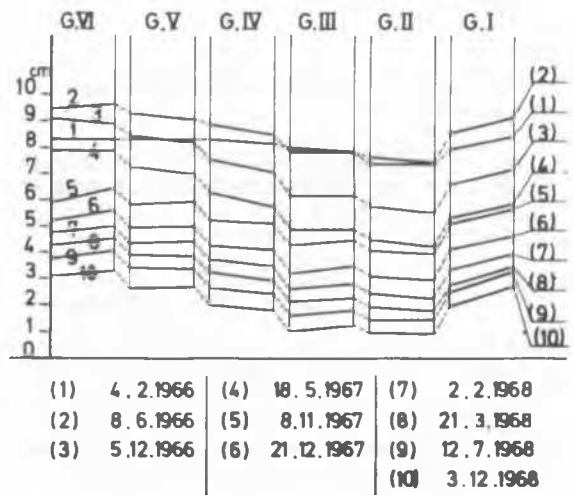


Fig. 7 Usine de Bourg-lès-Valence  
Nivellement rapporté à l'origine  
(avant le début des terrassements)  
Profil en long suivant les repères "D"

La figure n° 7 est un profil en long passant par ces mêmes repères "D" situés dans les galeries aval ; il donne la position de ces repères, par rapport aux niveaux d'origine avant le début des terrassements, à différentes dates s'échelonnant de février 1966 à décembre 1968. Ce dessin met en évidence que les plots centraux (II - III et IV) ont conservé les plus faibles gonflements résiduels. Les différences de tassement semblent avoir deux causes :

- la charge supportée par les couches profondes de l'argile sous les plots centraux est plus importante par suite du poids des plots latéraux ;
- les tassements dépendent de l'ordre dans lequel les plots ont été bétonnés et l'on constate en particulier, que le plot II, bétonné le premier, conserve le plus faible gonflement résiduel.

Enfin, le dessin prouve l'efficacité du clavage des joints entre plots, puisque, depuis novembre 1967, l'ensemble de l'ouvrage s'est comporté comme un monolithe ; les tassements différentiels restant pratiquement inchangés.

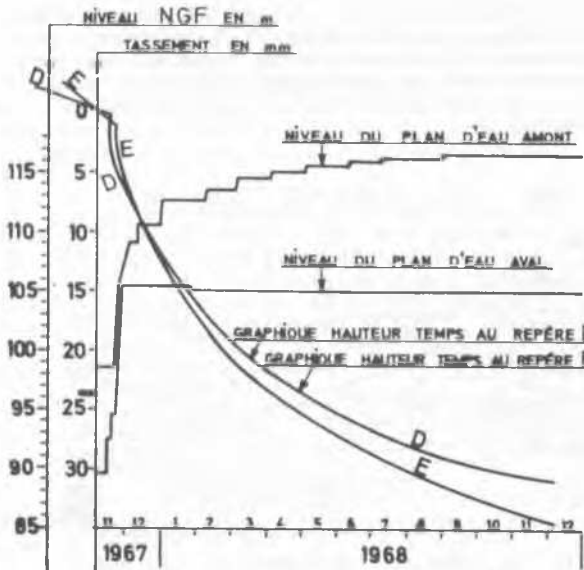


Fig. 8 Usine de Bourg-lès-Valence  
Tassements observés pendant la mise en eau

5-2 Mouvements observés pendant la mise en eau

Pour mettre en évidence de manière plus précise ces mouvements, nous avons figuré, sur le dessin n° 8, des graphiques hauteur-temps en prenant pour origine non plus les niveaux avant terrassement mais

ceux observés le 8 novembre 1967, quelques jours avant le début de la mise en eau ; ces graphiques intéressent les repères "D" et "E", dont l'emplacement est indiqué sur la figure n° 3. Sur la figure n° 8 est également représentée l'évolution dans le temps des niveaux d'eau en amont et en aval de l'usine.

Pour avoir une seule courbe par nature de repères, les tassements indiqués sont la moyenne des tassements observés sur 8 repères occupant des positions identiques dans le profil en travers de l'usine et intéressant les plots centraux.

On constate que la mise en eau à l'amont et à l'aval de l'usine, provoque une accélération immédiate du tassement ; dans la deuxième quinzaine de novembre 1967 il s'est produit une légère rotation de l'ouvrage vers l'aval, mise en évidence par des mesures effectuées le 24 novembre et qui paraît en relation avec le fait que le canal de fuite plus profond a été mis en eau quelques jours avant le canal d'amenée.

Par la suite, au contraire, l'élévation plus importante du niveau amont provoque une rotation vers l'amont. En décembre 1968 la différence de tassement entre les repères "E" et "D" atteint 3,7 mm, ce qui correspond à un angle de rotation vers l'amont de l'ordre de  $1 \times 10^{-4}$  radian.

Un certain nombre de pendules, d'une hauteur de 30 mètres, avaient été installés dans des puits ménagés dans les bétons de l'usine, au voisinage du parement amont (voir leur implantation sur la figure n° 3).

L'observation régulière de ces pendules a permis de contrôler directement l'inclinaison prise par les différents plots de l'usine soit dans le sens amont-aval, soit parallèlement à l'axe des groupes. Les relevés confirment les rotations successives signalées ci-dessus vers l'aval et ensuite vers l'amont ; ils décèlent également une inclinaison de la tête des plots vers le centre de l'ouvrage.

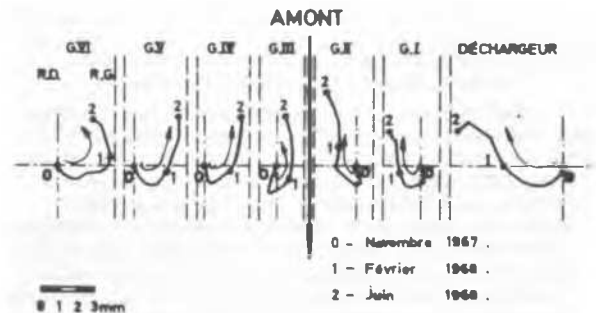


Fig. 9 Usine de Bourg-lès-Valence  
Déplacement du pied des pendules observé pendant la mise en eau

## MOUVEMENTS VERTICAUX

Ce double mouvement est bien mis en évidence par la figure n° 9, qui donne pour les différents plots les déplacements relatifs du pied du pendule par rapport à un repère fixe scellé à la base du puits. Les déplacements maximaux sont de l'ordre de 3 mm et confirment la valeur de l'angle de rotation vers l'amont déjà chiffré à  $1 \times 10^{-4}$  radian.

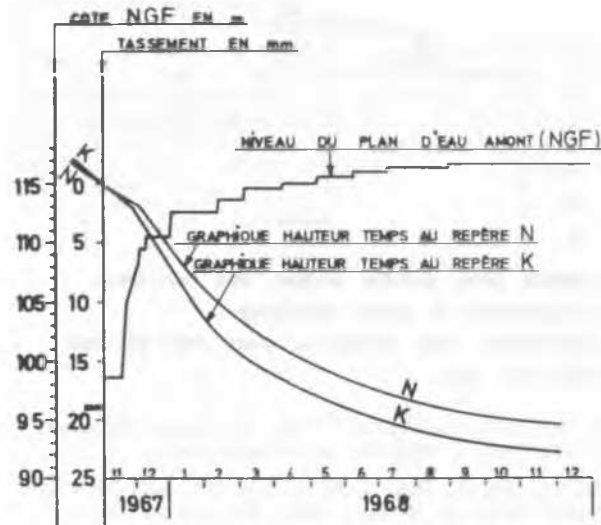


Fig. 10 Écluse de Bourg-lès-Valence  
Tassements observés pendant  
la mise en eau

### 6 - MOUVEMENTS DE L'ÉCLUSE

La coupe de l'écluse, figurée sur le dessin n° 4, donne la position des repères principaux.

La figure n° 10 montre les tassements observés depuis la mise en eau rapportés aux niveaux du 8 novembre 1967, pris comme origine.

Les courbes ont été établies en faisant la moyenne des tassements de 15 repères placés dans les galeries rive droite et rive gauche (position K et N de la figure n° 4) et intéressant la partie aval de l'écluse la plus voisine de l'usine.

Comme pour l'usine, la mise en eau du canal d'amenée provoque une rotation générale vers la retenue : en décembre 1968 la différence de tassement atteint 2,3 mm, l'angle de rotation étant un peu inférieur à  $1 \times 10^{-4}$  radian.

### 7 - GONFLEMENTS OBSERVÉS PENDANT LE TERRASSEMENT DE L'USINE DE BEAUCAIRE

L'usine de Beaucaire, (aménagement de Vallabrègues), dont les dimensions en plan sont très voisines de celles de l'usine de

Bourg-lès-Valence, sera fondée sur des argiles pliocènes dont les caractéristiques mécaniques sont peu différentes de celles de Bourg-lès-Valence. La construction est en cours et pendant toute la phase de terrassement il a été possible, grâce à la mise en place préalable de nombreux repères scellés dans l'argile, de suivre de manière plus détaillée qu'à Bourg-lès-Valence le gonflement de l'argile.

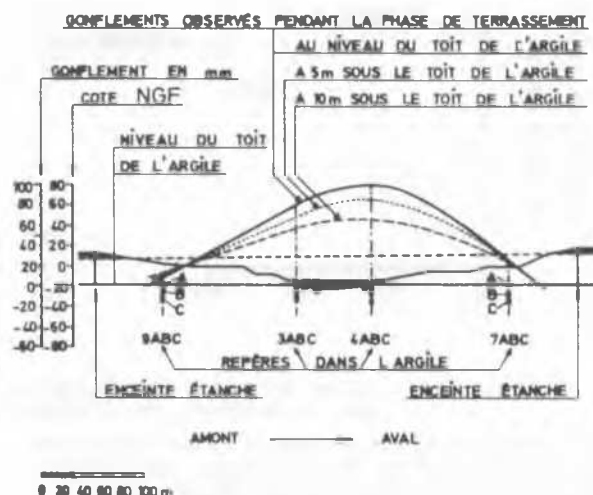


Fig. 11 Usine de Beaucaire  
Profil amont-aval, suivant l'axe  
du canal de dérivation

La figure n° 11 est un profil en long par l'axe du canal ; il montre les valeurs des gonflements observés après achèvement des terrassements.

Avant le début des travaux, des repères avaient été placés à la surface de l'argile et d'autres à 5 et 10 mètres de profondeur. Les trois courbes de gonflement tracées sur le dessin correspondent aux gonflements observés en surface et aux profondeurs respectives de 5 à 10 mètres. On voit que sur toute la largeur de l'usine le gonflement est assez constant et qu'à dix mètres de profondeur il est encore de l'ordre de 65 % du gonflement de surface.

On a constaté en outre que le gonflement avait pratiquement commencé en même temps que les terrassements, cette observation étant valable pour tous les repères, même ceux de 10 m de profondeur.

### 8 - CONCLUSION

Les observations les plus intéressantes faites à l'occasion de la construction de l'usine de Bourg-lès-Valence et complétées par les relevés plus détaillés effectués pendant les terrassements de l'usine de Beaucaire, nous paraissent être les suivantes :

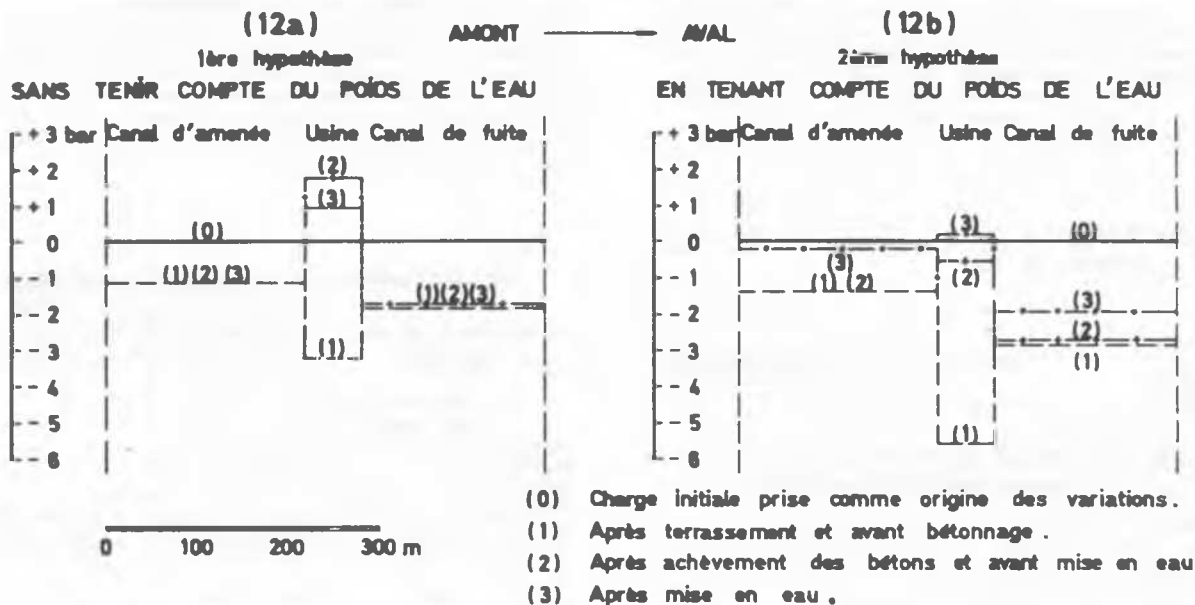


Fig. 12 Usine de Bourg-lès-Valence. Profil en long suivant l'axe du canal donnant les variations des charges supportées par l'argile de fondation.

1) L'argile pliocène réagit quasi-instantanément aux variations de charge provoquées par les différentes phases de travaux. Cette rapidité de réaction a notamment été constatée lors du début du creusement de la fouille de Beaucaire ou encore sur les bétons de l'usine et de l'écluse lors de la mise en eau du canal de dérivation de Bourg-lès-Valence.

2) Dans ce dernier cas, l'accélération des tassements, constatée à l'arrêt des épuisements et pendant la mise en eau du canal, démontre que le poids de l'eau accumulée au voisinage des ouvrages a influencé de manière certaine les mouvements de la fondation. Quelle que soit la complexité des phénomènes réels, il paraît normal, dans ces conditions, d'admettre que le poids de l'eau a été au moins partiellement supporté par le squelette solide.

Il s'agit peut être d'un phénomène transitoire ; cependant les observations actuelles ne mettent en évidence aucun indice d'un transfert ultérieur des charges.

3) L'amplitude du gonflement résiduel, observée à la fin des bétonnages et avant la mise en eau, s'est révélée beaucoup plus importante qu'il n'était prévu. Par analogie avec l'observation précédente, il est logique d'imaginer qu'au moment du creusement de la fouille le comportement de l'argile a pu également être influencé par l'enlèvement rapide de la masse d'eau contenue dans les terrains excavés. Pour introduire une telle hypothèse dans les calculs, on peut à l'extrême, admettre que le squelette solide a subi, pendant la phase de

terrassement, une diminution de charge correspondant au poids total des matériaux solides et de l'eau enlevés.

Nous avons représenté sur la figure n° 12, sous la forme de deux profils suivant l'axe du canal de dérivation, les variations de charge supportées par l'argile, sous l'usine et à son voisinage, dans deux hypothèses de calcul différentes :

- Dans la première hypothèse (profil 12a), conforme aux calculs prévisionnels, il a été admis que les variations du volume d'eau surmontant l'argile de fondation n'avaient aucune influence sur le squelette solide et modifiaient uniquement les pressions interstitielles.
- Dans la deuxième hypothèse (profil 12b), il a, au contraire, été supposé que les variations de la masse d'eau se répercutaient intégralement sur le squelette solide, comme si la surface de fondation jouait le rôle d'une membrane rigoureusement imperméable.

La comparaison des deux profils fait apparaître les différences suivantes dans les résultats des calculs :

a) Dans l'état définitif (situation 3) les différences se situent sous l'usine et le canal d'amenée ; les charges calculées dans la deuxième hypothèse sont, à ces deux emplacements, très voisines des charges initiales, alors que dans la première hypothèse l'ensemble des opérations aurait dû se traduire par une augmentation de charge d'environ 1 bar sous l'usine et une diminution de charge du même ordre de grandeur

## MOUVEMENTS VERTICAUX

sous le canal d'amenée.

b) Dans l'état un peu antérieur à la mise en eau (situation 2) c'est sous l'usine seulement que les résultats sont vraiment différents ; la deuxième hypothèse conduit à une diminution de charge d'environ 0,5 bar par rapport à la charge initiale et la première hypothèse à une augmentation de charge d'environ 2 bars.

Ainsi les calculs établis avec la deuxième hypothèse paraissent les plus conformes aux mouvements verticaux réellement observés dans les fondations de l'usine de Bourg-lès-Valence : ils sont en particulier en accord avec l'importance du gonflement résiduel observé dans la situation (2), l'accélération des tassements relevée dès l'arrêt des épuisements et le basculement des plots de l'usine vers l'amont pendant la mise en eau.

En résumé il semble que les phénomènes se soient passés comme si les variations de la masse d'eau surmontant l'argile s'étaient répercutées de manière importante sur le squelette solide de l'argile, aussi bien lors du creusement de la fouille que pendant le remplissage du canal de dérivation.