

Quantification et étude géotechnique des alluvions déposées dans la retenue du barrage Joumine (Nord de la Tunisie)

A. MARZOUGUI
A. BEN MAMMOU

Faculté des Sciences
de Tunis
Laboratoire de Ressources
minérales et Environnement
Département de Géologie,
Campus universitaire
2092 El Manar Tunis, Tunisie
Marzouguiabir@yahoo.fr

Résumé

L'alluvionnement des retenues des barrages est la conséquence la plus dramatique de l'érosion. En effet, l'accumulation des sédiments au fond des retenues diminue la capacité de stockage et cause des dégâts aux organes de dévasement et vidange. La quantification de l'alluvionnement donne une idée sur la cinétique de ce phénomène et l'étude des caractéristiques géotechniques fournit l'évolution de leurs états mécaniques. Ces études permettent d'adopter la meilleure solution pour entretenir ces ouvrages. La quantification de l'envasement de la retenue du barrage Joumine a été effectuée par levée bathymétrique à l'échosondeur et son volume envasé calculé par soustraction des deux modèles numériques de terrain initial et final. Les caractéristiques géotechniques des alluvions du barrage Joumine ont été étudiées au niveau des carottes échantillonnées en queue de la retenue lors de la baisse du niveau d'eau durant la période estivale.

Mots-clés : barrages, alluvionnement, géotechnique, cohésion non drainée, dévasement.

Quantification and geotechnical study of reservoir sedimentation in the Joumine Dam (North of Tunisia)

Abstract

Dam's reservoir silting is the consequence of erosion. Indeed, the sediments accumulation at the reservoir bottom decreases the storage capacity and causes damage on desilting and draining equipments. The alluvium quantification gives an idea on the kinetics of this phenomenon and the study of the geotechnics characteristics makes it possible to evaluate the evolution of their mechanical states. These studies will make it possible to adopt the best solution to maintain the dams. The silting measurement survey of the Joumine reservoir is carried out by bathymetric measurement with the echosondor. The total volume of the trapped sediments is given by subtraction of the two digital models of ground initial and final. The geotechnical quality of the sediments trapped by Joumine dam was studied on the sedimentary columns sampled at upstream part of the reservoir, during the dry period when this part was empty.

Key words: dams, silting, geotechnical engineering, undrained shear strength, dredging.

NDLR : Les discussions sur
cet article sont acceptées
jusqu'au 30 novembre 2009.

Introduction

Dans de nombreux pays du monde (Ben Mammou, 1998 ; De Vente *et al.*, 2005 ; Rădoane et Rădoane, 2005), le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versant et leur dépôt dans les retenues posent aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet.

Les dépôts dans les retenues des barrages sont dans leur majorité constitués de sédiments terrigènes issus de l'érosion des bassins versants. La distribution du matériel détritique dans la retenue est assurée principalement par les courants de densité (Lambert et Lthi, 1977 ; Strum et Matter, 1978 ; Giovanni, 1998 ; Ben Mammou, 1998 ; Remini, 2006). Les sédiments de plus en plus fins se déposent au pied du barrage réduisant ainsi la capacité de stockage, augmentant le risque de comblement des organes de prise et de vidange, et perturbant la manipulation des équipements hydrauliques. Les conditions de tassement et de consolidation des dépôts dans les retenues des barrages sont influencées par plusieurs facteurs : la concentration du débit solide, la hauteur de la tranche d'eau, la nature des matériaux transportés et le milieu de sédimentation (Sikirdji, 1982 ; Ben Mammou, 1998).

Au cours de la conception d'un barrage, la connaissance des apports solides ainsi que des propriétés mécaniques des sédiments piégés dans la retenue permet d'adopter les solutions les plus appropriées aux problèmes du dévasement. En effet, les opérations de dévasement peuvent s'effectuer suivant deux techniques en fonction de la nature et du degré de consolidation des sédiments piégés :

- remobilisation des sédiments par des opérations de chasse durant les périodes de crue. Cette opération est efficace en cas de sédiments non consolidés ;
- dans le cas contraire, ce sont les actions mécaniques par dragage qui donnent des résultats plus satisfaisants.

Site d'étude

Cet article présente les résultats de l'étude de l'envasement de la retenue du barrage Joumine et l'évolution des états mécaniques des sédiments piégés. L'oued Joumine est l'affluent principal sud-ouest du lac Ichkeul (nord de la Tunisie). Il a été barré par une digue en terre en 1984. L'ouvrage hydraulique contrôle un bassin versant de 448 km². A la côte de retenue normale, le lac s'étend sur 660 ha (Fig. 1). L'apport moyen annuel en eau a été estimé à 74 millions de m³.

Matériels et méthodes

La quantification de l'envasement de la retenue du barrage Joumine a été effectuée par des mesures bathymétriques à l'échosondeur. Le volume des alluvions piégées a été déterminé par soustraction des deux modèles numériques de terrain (MNT) initial (date de la mise en eau : 1984) et final (date de la campagne bathymétrique : 2000).

Afin d'étudier les propriétés géotechniques de ces sédiments, on a prélevé six carottes en août 2001 au niveau de la partie amont de la retenue à l'occasion de la baisse du plan d'eau (Fig. 1). Les colonnes sédimentaires échantillonnées ont fait l'objet d'une description lithologique. Les échantillons prélevés sur les carottes ont permis de déterminer :

- la teneur en eau naturelle par double pesée à l'état humide et après séchage à l'étuve ;
- la densité humide (γ_h/γ_w), qui d'après Migniot (1968) peut être exprimée par la relation :

$$\gamma_h/\gamma_w = 1 + (1,59/(\gamma_s w + 1)) \quad (1)$$

avec γ_h : poids volumique humide (g/cm³) ;

γ_w : poids volumique de l'eau (g/cm³) ;

γ_s : poids volumique de la phase solide (g/cm³) ;

w : teneur en eau ;

- les limites d'Atterberg d'après les résultats de l'essai au bleu de méthylène (Tran, 1977 ; Tourenq et Tran, 1989) et la teneur en CaCO₃, par la méthode dite de Beaulieu (1979) ;

- la résistance au cisaillement non drainé (c_u) par la méthode du « fall cône » (Sikirdji, 1982) ;

- la granulométrie des sédiments à l'aide d'un granulomètre laser.

Résultats et discussion

Alluvionnement de la retenue

La carte topographique de la retenue avant la mise en eau (Fig. 2) du barrage a permis d'élaborer le Modèle Numérique de Terrain (MNT) initial. La première campagne de mesure bathymétrique effectuée au niveau de la retenue du barrage Joumine date de l'an 2000. Elle a été faite par des levés à l'échosondeur. Après interpolation des données des profils en travers, les résultats de la campagne bathymétrique ont permis d'élaborer le MNT correspondant à la date des levées bathymétriques (Fig. 3). Le volume des sédiments piégés a été déterminé par soustraction des deux MNT initial et final.

Le volume total envasé a été estimé à 10,8 millions de m³ soit un alluvionnement moyen annuel de 0,675 million de m³. Durant la période d'exploitation, les soutirages entrepris n'ont permis d'évacuer que des quantités négligeables, malgré le fait que le projet prévoyait le soutirage de 210 000 m³, soit 50 % des apports solides constatés annuellement. Ces données montrent que le barrage Joumine a piégé un volume moyen annuel supérieur aux prévisions du projet.

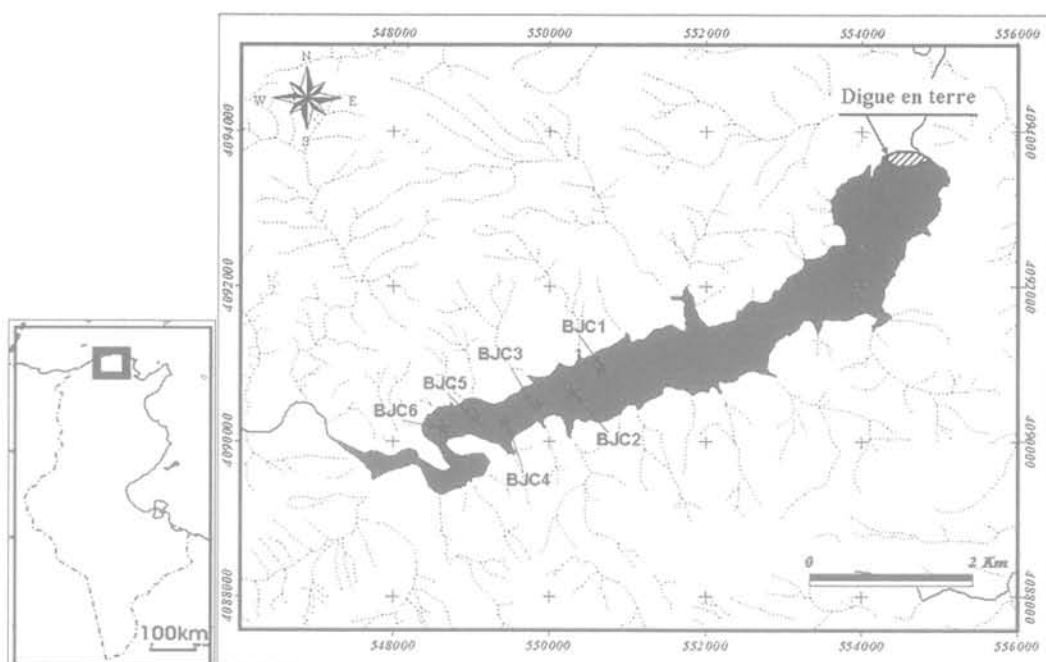


FIG. 1 Carte de localisation des carottes prélevées au niveau de la retenue du barrage Joumine.
Localisation map of sedimentary columns sampled at Joumine dam reservoir.

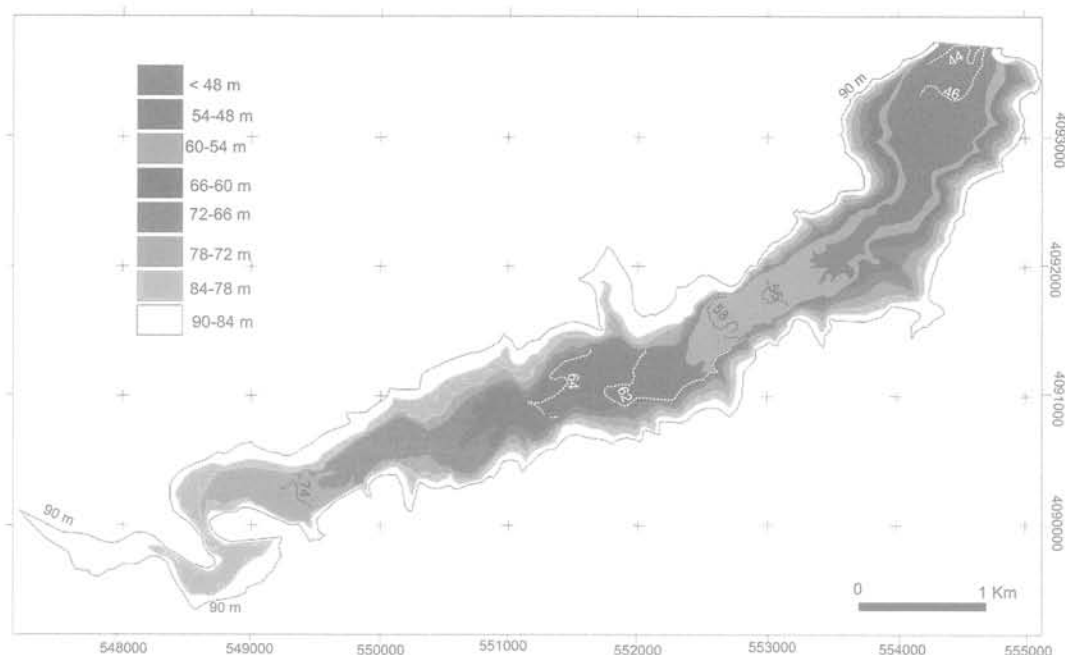


FIG. 2 Carte topographique initiale (1984) de la retenue du barrage Joumine.
Initial topographic map (1984) of Joumine dam reservoir.

Sachant que la masse volumique humide moyenne des sédiments piégés dans la retenue du barrage Joumine vaut $1,5 \text{ g/cm}^3$ (Marzougui et Ben Mammou, 2004), la masse totale des sédiments piégés est de 16,2 millions de tonnes, soit en moyenne près d'un million de tonnes par an. Cette valeur dépasse largement le tonnage de 283 500 tonnes par an, avancé par Kallel (1990). Ainsi le barrage Joumine a piégé plus de 95 % des apports solides de l'oued. Cette estimation a été effectuée en se référant à la courbe d'efficacité de piégeage des sédiments (Lahlou, 1994).

La courbe de la figure 4 présente la variation du volume des sédiments en fonction de l'altitude. Elle montre que la quantité la plus importante de sédiments est en queue de la retenue entre la côte 90 et 85 m, qui représente 21,5 % du volume total piégé. Au-delà, le volume des alluvions tend à diminuer progressivement en allant vers le pied de la digue.

L'envasement de la retenue de Joumine a fait diminuer la capacité de stockage de 134 millions de m^3 initialement, à un volume de 123 millions de m^3 (Fig. 5). Ce calcul a été effectué à partir de la soustraction des

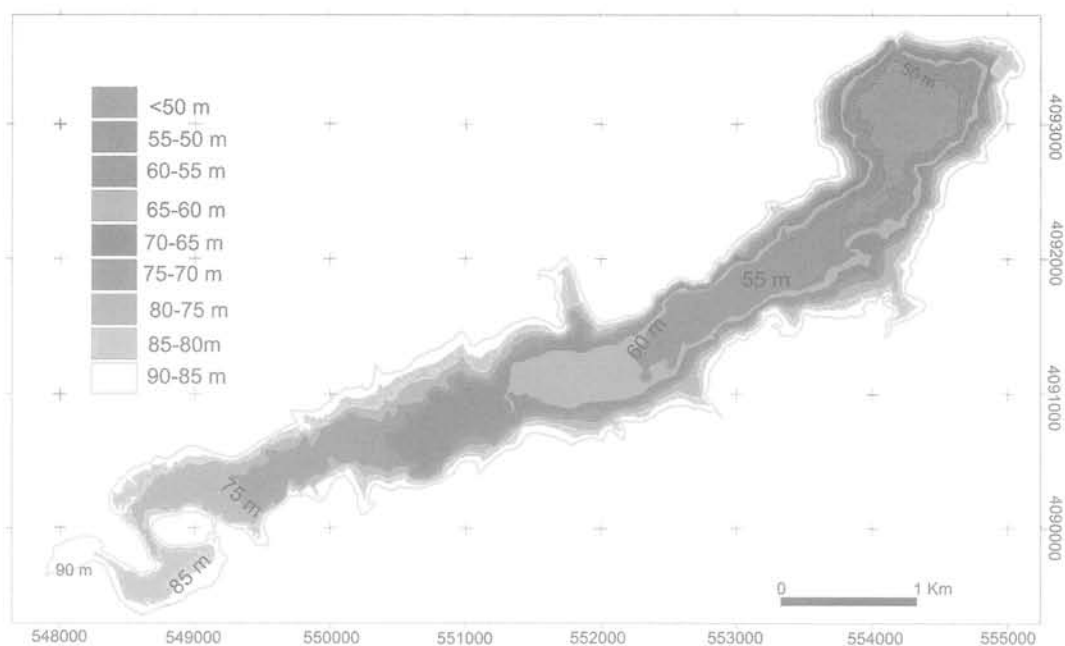


FIG. 3 Carte topographique de la retenue du barrage Joumine après la campagne bathymétrique de l'an 2000.
Topographic map of Joumine dam reservoir after bathymetric measurement of year 2000.

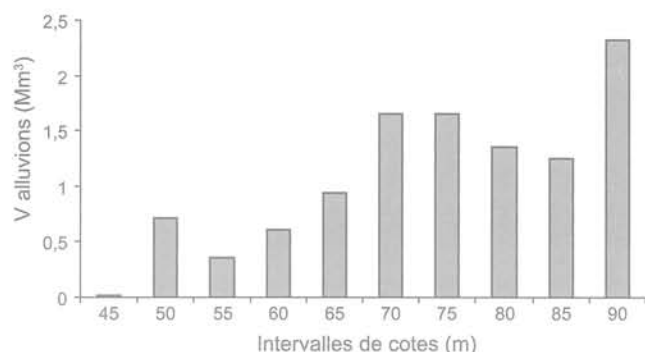


FIG. 4 Volume de la vase en fonction de la cote au niveau de la retenue du barrage Joumine entre la date de la mise en eau (1984) et l'an 2000.
Alluvia volume according to the reservoir altitude between the beginning of the Joumine dam's exploitation (1984) and year 2000.

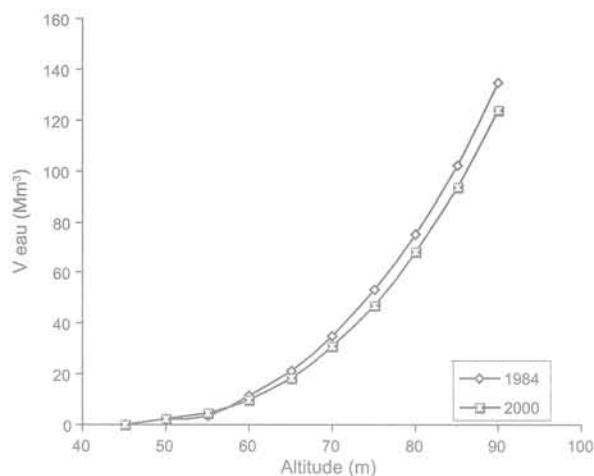


FIG. 5 Courbes de remplissage de la retenue du barrage Joumine en 1984 et 2000.
Curves of the Joumine reservoir filling of alluvia in 1984 and 2000.

deux modèles numériques de terrain initial et final. Cette estimation correspond à une perte de 8 % de la capacité initiale de stockage durant les 16 ans d'exploitation du barrage.

L'examen de l'évolution de la morphologie du fond de la retenue (Fig. 3) montre un envasement matérialisé par une surélévation du fond de la retenue (Fig. 2). La carte différentielle de la retenue du barrage Joumine obtenue par soustraction des deux modèles numériques de terrain initial et final (Fig. 6) a permis de distinguer trois zones. La première est située en queue de la retenue. C'est une zone de sédimentation dans laquelle l'envasement de la retenue a provoqué le comblement de l'ancien lit de l'oued et la partie méandriforme. L'élargissement de la vallée représente une zone d'épandage des dépôts suite à la décélération du courant de turbidité ; ce qui explique la forme tabulaire du fond de la retenue en allant vers l'aval. La

deuxième zone est plus en aval et est caractérisée par des zones d'érosion. En effet, les dépôts anciens dans le lac peuvent être repris et remobilisés par les eaux des crues et par les courants de turbidité. Enfin, la troisième zone est située au pied de la digue, il s'agit d'une zone de dépôt. Ceci est dû à la diminution de la vitesse du courant au cours de son écoulement, qui entraîne un dépôt de matériaux de plus en plus fins, parvenant jusqu'au pied du barrage. Le contour de la retenue est affecté par des effondrements de berges, ceci est mis en évidence par des valeurs négatives de l'élévation. Les zones ainsi formées tendent à rétablir des profils d'équilibre suite aux changements survenus dans la

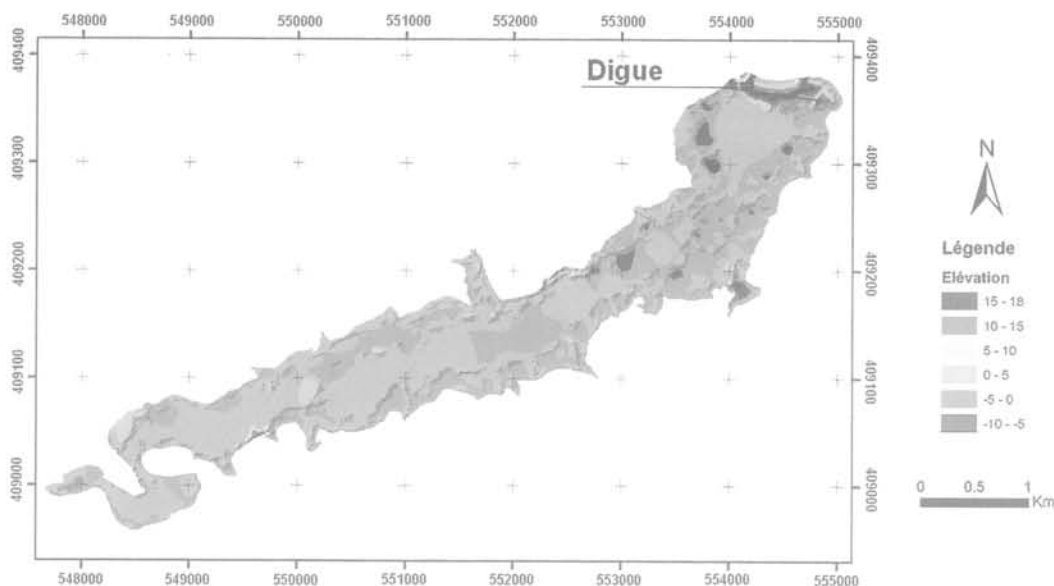


FIG. 6 Carte différentielle des deux modèles numériques de terrain initial et finale de la retenue du barrage Joumine.
Differential map of the two digital models of ground initial and final of Joumine reservoir.

morphologie de la retenue par une reprise des sédiments des berges par les courants de turbidité.

Les sédiments formé par l'alluvionnement de la retenue sont repris et remobilisés par les courants suite à la fluctuation du niveau de l'eau entre un maximum à la fin de la saison pluvieuse et un minimum à la fin de la saison sèche. Les courants entrants dans les retenues des barrages ont un pouvoir érosif important, ils peuvent remobiliser, en partie, les dépôts anciens et creuser des chenaux anastomosés dans la zone de remous.

L'évolution du profil en long de la retenue de l'an 2000 et de celui de la date de la mise en eau présente les mêmes zones déjà décrites. En effet, en queue de la retenue, on assiste à une nette accumulation des sédiments avec formation d'un cône sous-lacustre (Fig. 7). Au-delà, on est en présence de zones de sédimentation préférentielles. En se rapprochant de la digue, on retrouve une zone où les anciennes alluvions du lit de l'oued ont été érodées. Au pied de la digue, on constate une baisse du niveau des sédiments en raison des soutirages de dévasement.

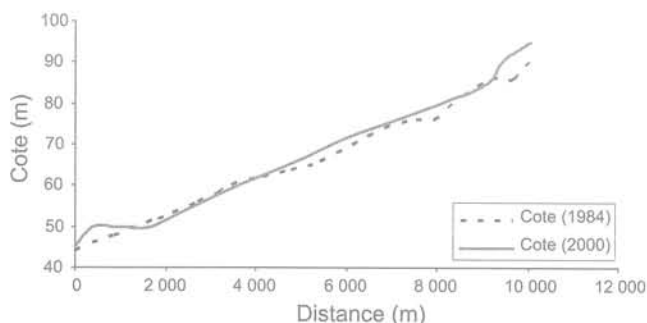


FIG. 7 Profil en long du fond de la retenue du barrage Joumine entre la date de la mise en eau et l'an 2000.
Profile longitudinally of the Joumine reservoir bottom between 1984 and 2000.

4.2

Lithologie

Les carottes prélevées dans la partie amont de la retenue (BJC1, BJC2, BJC3, BJC4, BJC5 et BJC6) présentent des alternances d'argile silteuse, d'argile grisâtre avec des fragments de coquilles, de tiges et de racines (Fig. 1). La colonne sédimentaire la plus en amont (BJC6) révèle la présence de séquences répétitives constituées de sables très fins surmontés de silts et d'argiles. Ces niveaux correspondent probablement aux horizons millimétriques de silts et d'argiles dans les carottes BJC1 et BJC3. Des terriers d'annélide oxydés ont été identifiés surtout dans les niveaux superficiels. Des niveaux noirâtres s'intercalent parfois entre les horizons argileux (Fig. 8). Les colonnes sédimentaires BJC2, BJC3 et BJC4 présentent des niveaux, situés à 33,5, 49 et 44 cm respectivement, tapissés par une couche d'oxyde. Ceci témoigne d'un arrêt de la sédimentation accompagné par une progradation du courant de turbidité au-delà de la zone de remous pour se décharger de ces particules en suspension dans un milieu plus calme. On a aussi noté l'existence de galets d'argiles à différentes profondeurs, qui témoignent de l'importance de l'agitation dans la zone de remous et de la remobilisation par les courants de densité des dépôts fins non encore consolidés.

4.3

Teneur en eau naturelle

La teneur en eau naturelle des sédiments varie de 25,5 % à 33 % pour la carotte BJC6 (Fig. 9). Plus en aval, la teneur en eau devient plus importante ; les valeurs moyennes passent de 29 % (BJC6) à 45 % (BJC1). La carotte BJC3 présente les pourcentages les plus élevés avec des valeurs comprises entre 14 % et 63 % (Fig. 8).

Afin d'expliquer la répartition de l'eau le long des colonnes sédimentaires, on a cherché une relation

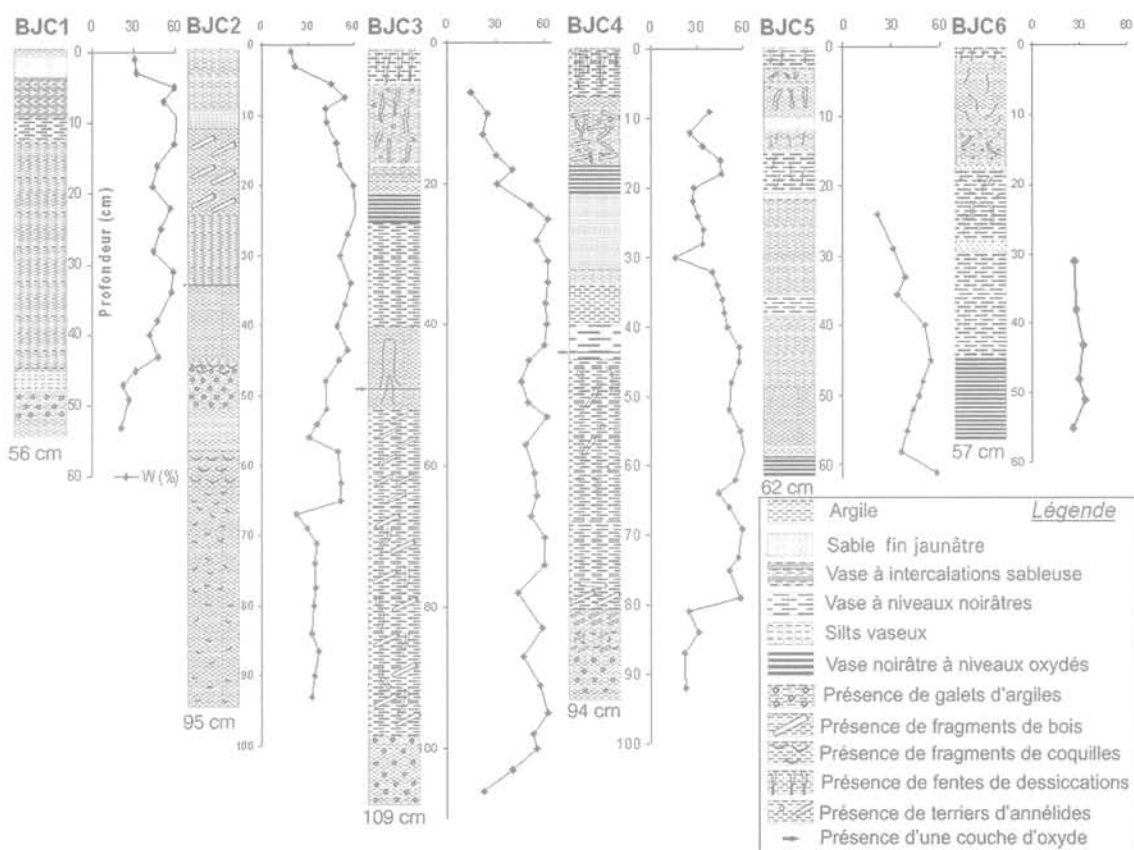


FIG. 8 Teneur en eau naturelle des carottes : BJC1, BJC2, BJC3, BJC4, BJC5 et BJC6.
Natural water content of sedimentary columns : BJC1, BJC2, BJC3, BJC4, BJC5 and BJC6.

entre la nature lithologique des échantillons prélevés et leur teneur en eau. La figure 9 montre que la teneur en eau présente une variation comparable à celle du pourcentage des fractions argileuses. La corrélation entre la teneur en eau et le diamètre moyen des grains montre une grande dispersion des résultats contrairement à De Lory (1960) qui a noté une forte variation de la teneur en eau suivant la granulométrie des lamines successives. Ceci peut être dû à l'échantillonnage centimétrique effectué sur les carottes.

L'examen de la variation des teneurs en eau en fonction de la profondeur montre que les valeurs les plus faibles sont situées au sommet et à la base des carottes, alors que la partie intermédiaire présente les plus importants pourcentages avec de faibles variations. Le sommet des carottes a subi de fortes dessiccations suite aux années successives de sécheresse (1998-2001) alors que la base est caractérisée par des galets d'argile bien consolidée, ce qui diminue la capacité d'absorption d'eau par ces couches. En effet, la consolidation par réarrangement des grains fait diminuer la porosité du sédiment et, par conséquent, entraîne une baisse de la teneur en eau. La zone intermédiaire présente une certaine homogénéité des teneurs en eau. Toutefois, on a noté une variation de ces valeurs en fonction des variations de la nature lithologique.

La répartition spatiale des résultats montre que les teneurs en eau les plus faibles sont enregistrées au niveau des carottes les plus en amont alors que les plus importantes valeurs sont détectées dans les prélèvements les plus en aval. Ceci est en relation avec la fluctuation du niveau de l'eau. En effet, la partie amont est

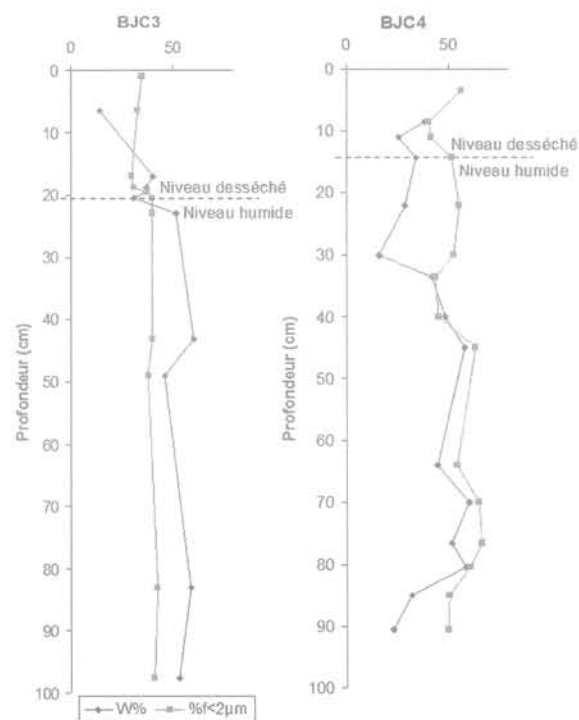


FIG. 9 Teneur en eau et du pourcentage des argiles en fonction de la profondeur des carottes : BJC3 et BJC4.
Water content and the percentage of clays according to the depth of sedimentary columns : BJC3 and BJC4.

affectée par une submersion des dépôts et par conséquent une dessiccation.

4.4

Densité humide

Ben Mammou (1997) a montré que la rythmicité des valeurs de la densité humide avec la profondeur traduit l'organisation des sédiments en séquences turbiditiques. On a cherché cette rythmicité dans les alluvions du barrage Joumine. Les densités sèches (γ_d/γ_w) et humide (γ_h/γ_w) ont été déterminées sur toutes les colonnes sédimentaires. La densité sèche des sédiments étudiés est comprise entre 1,2 et 1,93 et la densité humide varie entre 1,62 et 2,2. Les variations de ces valeurs en fonction de la profondeur ont été reportées sur la figure 10. Cette dernière révèle une rythmicité des valeurs de la densité, ce qui traduit l'organisation des sédiments en séquences turbiditiques. La partie intermédiaire des carottes présente des valeurs de densité qui n'augmentent pas avec la profondeur. Le sédiment dans cette partie a donc peu évolué depuis son dépôt. Cependant, on a noté une augmentation des valeurs de la densité coïncidant avec les niveaux à galets d'argiles. Ces niveaux correspondent vraisemblablement à des sédiments consolidés au préalable, puis repris par les courants.

4.5

Consistance, surface spécifique et limites d'Atterberg

La surface spécifique des échantillons étudiés varie de 120 m²/g à 300 m²/g, au niveau des sédiments carotés. Alors que les échantillons superficiels présentent des valeurs nettement plus élevées qui varient de 310 m²/g à 405 m²/g avec une moyenne de 380 m²/g. Les valeurs les plus élevées correspondent aux échantillons prélevés au pied de la digue.

Les valeurs des limites d'Atterberg permettent de situer les échantillons étudiés dans le diagramme de Casagrande. On constate qu'ils s'alignent selon une droite parallèle à la ligne « A ». Ceci indique que les sédiments du barrage Joumine sont situés dans leur majorité entre les deux domaines : des argiles très plastiques et des limons très plastiques (Fig. 11). On peut donc attribuer aux échantillons analysés les symboles « At » et « Lt ».

La variation de l'indice de plasticité en fonction de la limite de liquidité de ces sédiments montre une bonne corrélation avec $R^2 = 0,97$ (Fig. 12) et peut être exprimée par la relation : $I_p = 0,66 w_L - 9$.

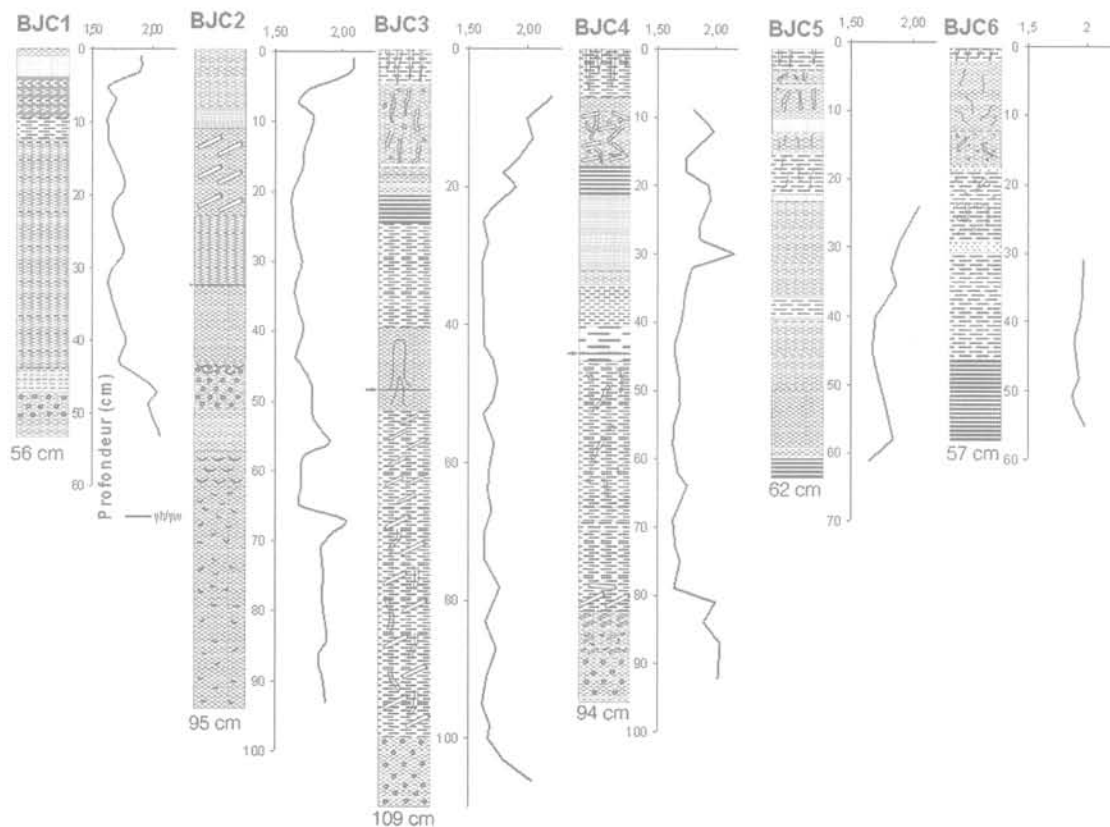


FIG. 10 Densité humide en fonction de la profondeur des carottes BJC1, BJC2, BJC3, BJC4, BJC5 et BJC6.
Wet density according to the depth of sedimentary columns : BJC1, BJC2, BJC3, BJC4, BJC5 and BJC6.

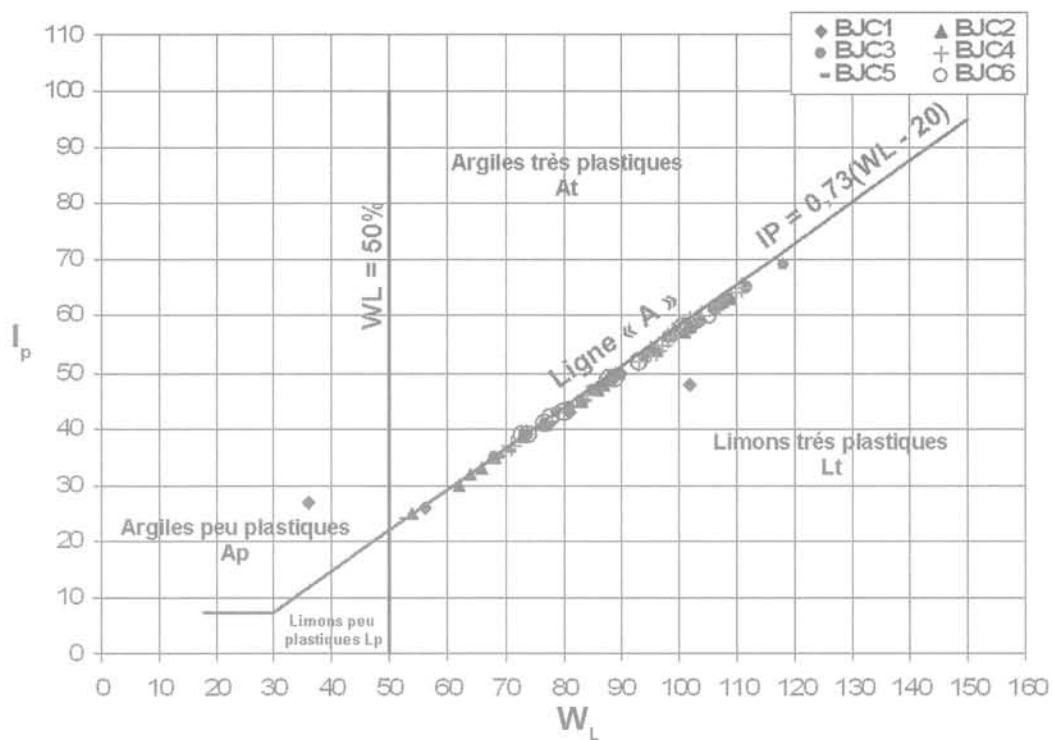


FIG. 11 Situation des échantillons des carottes BJC1, BJC2, BJC3, BJC4, BJC5 et BJC6 dans le diagramme de plasticité de Casagrande.
Situation of BJC1, BJC2, BJC3, BJC4, BJC5 and BJC6 cores samples in the Casagrande diagram.

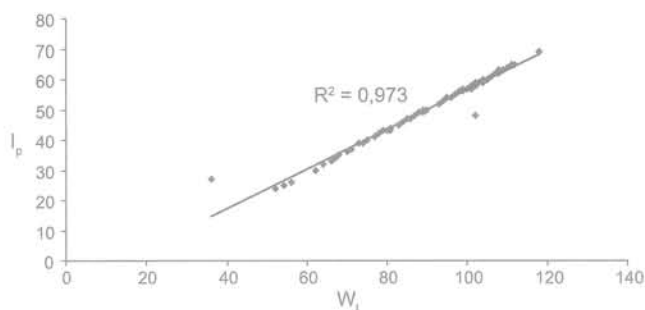


FIG. 12 Indice de plasticité en fonction de la limite de liquidité.
Plasticity index according to the liquidity limit.

Les courbes des limites de liquidité et d'indices de plasticité en fonction de la profondeur ont des profils en dents de scie de même allure (Fig. 13 a, b et c). Les limites de liquidité varient de 118 % à 52 % avec une moyenne de 90 %, alors que les indices de plasticité sont compris entre 70 % et 24 % avec une moyenne de 50 %.

L'indice de consistance calculé à partir des limites d'Atterberg et de la teneur en eau naturelle selon la formule

$$I_c = (w_L - w_{nat.})/I_p \quad (2)$$

varie entre -0,01 et 1,5. La majorité des échantillons présente des valeurs de l'indice de consistance supérieures à zéro (Fig. 13), caractérisant des horizons de dépôts en cours de consolidation. Cette catégorie peut être subdivisée en deux groupes. Le premier présente une consistance comprise entre 0 et 1 indiquant un dépôt inconsistant à consistant. Le second groupe est

prédominant dans les prélèvements les plus en amont et dans les niveaux superficiels des carottes avec un indice de consistance supérieur à 1 ; ils sont qualifiés de très consistants. La présence de cette dernière catégorie est liée à l'assèchement de la partie amont de la retenue.

Les valeurs de l'indice de liquidité calculées par la formule :

$$I_L = (w_{nat.} - w_p)/I_p \quad (3)$$

sont comprises entre -0,75 et 0,93. Les valeurs négatives sont plus fréquentes au niveau des colonnes sédimentaires les plus en amont, indiquant une teneur en eau naturelle inférieure à la limite de plasticité. Ceci est dû aux années consécutives de sécheresse (1998-2001). En effet, les carottes ont été prélevées lors de l'assèchement de la queue de la retenue en août 2001.

4.6

Cohésion non drainée

La cohésion non drainée a été déterminée à l'aide du *fall cone* sur les échantillons prélevés dans les colonnes sédimentaires (échantillons intacts) et dans des échantillons remaniés obtenus par malaxage à la teneur en eau naturelle. Les valeurs de la cohésion non drainée des échantillons intacts varient de 0,2 à 25 kPa, et celles des échantillons remaniés de 0,18 à 25 kPa. Ceci fait varier la sensibilité de 1 à 4 : il s'agit d'un matériau peu sensible. On rappelle que la sensibilité d'une argile S_t est le rapport de sa résistance à l'état intact à sa résistance à l'état remanié :

$$S_t = C_u/C_u \text{ (remaniée)}$$

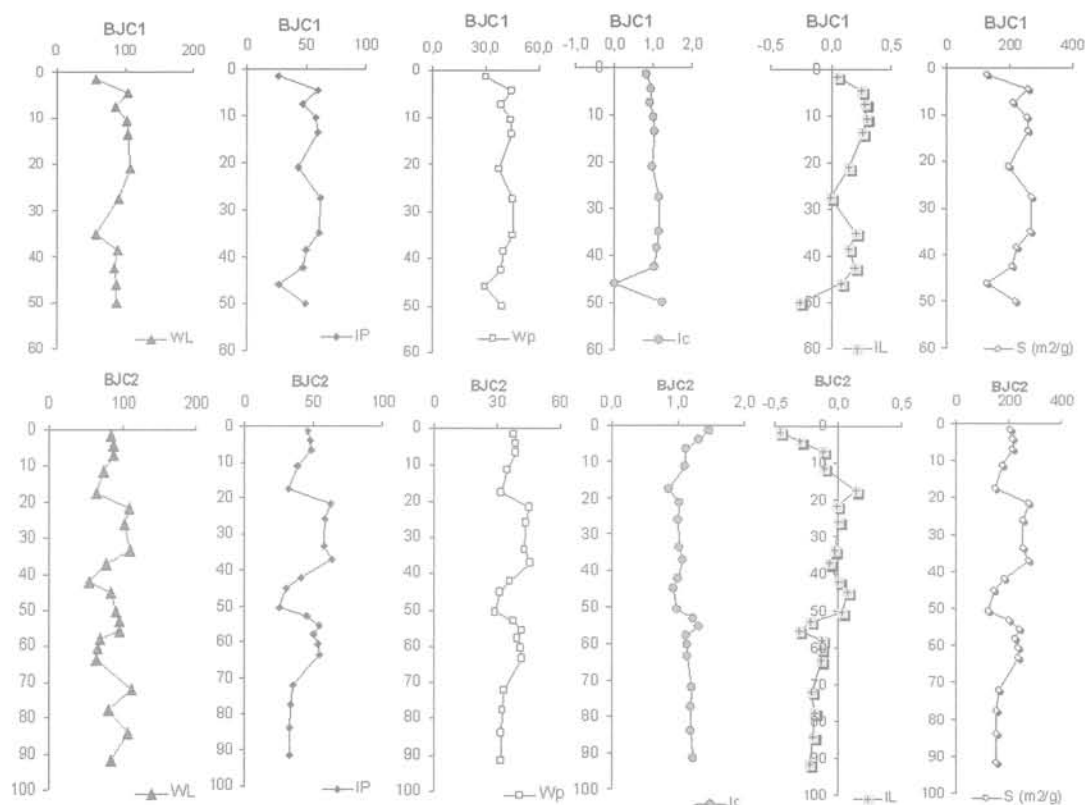


FIG. 13a Limites d'Atterberg, indices de plasticité, de consistance, de liquidité et surfaces spécifiques en fonction de la profondeur (BJC1 et BJC2).
Atterberg limits, plasticity index, consistency index, liquidity index and specific surfaces according to the depth (BJC1 and BJC2).

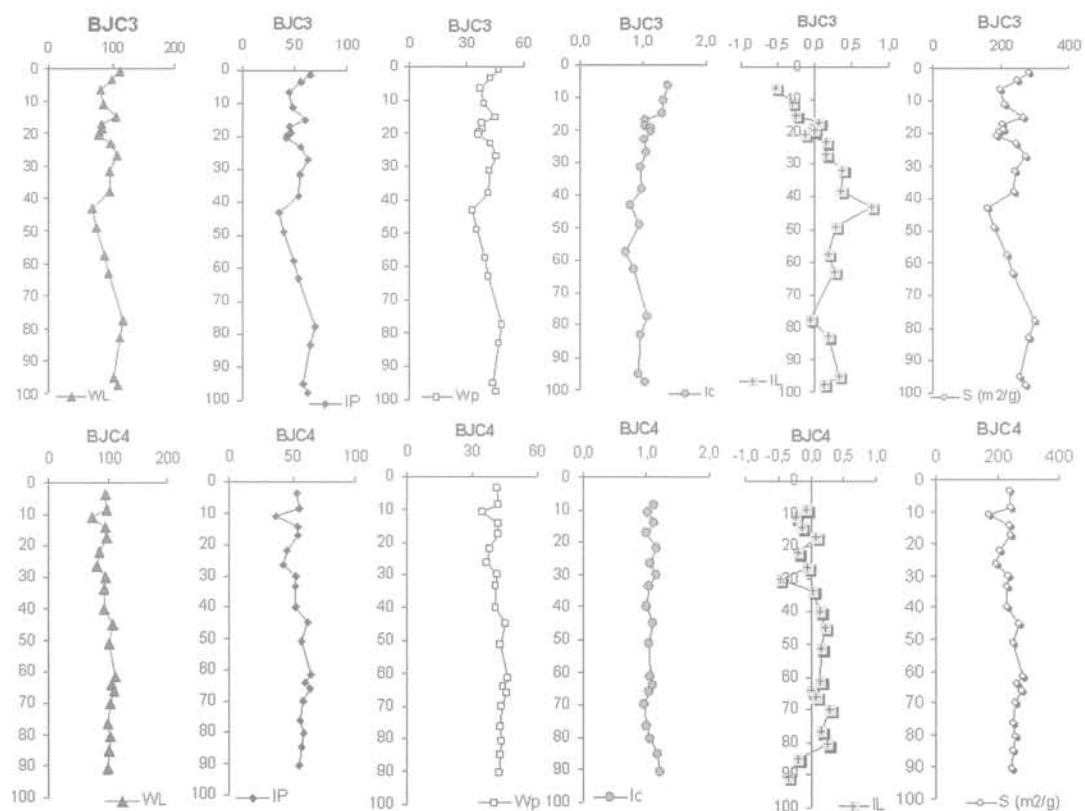


FIG. 13b Limites d'Atterberg, indices de plasticité, de consistance, de liquidité et surfaces spécifiques en fonction de la profondeur (BJC3 et BJC4).
Atterberg limits, plasticity index, consistency index, liquidity index and specific surfaces according to the depth (BJC3 and BJC4).

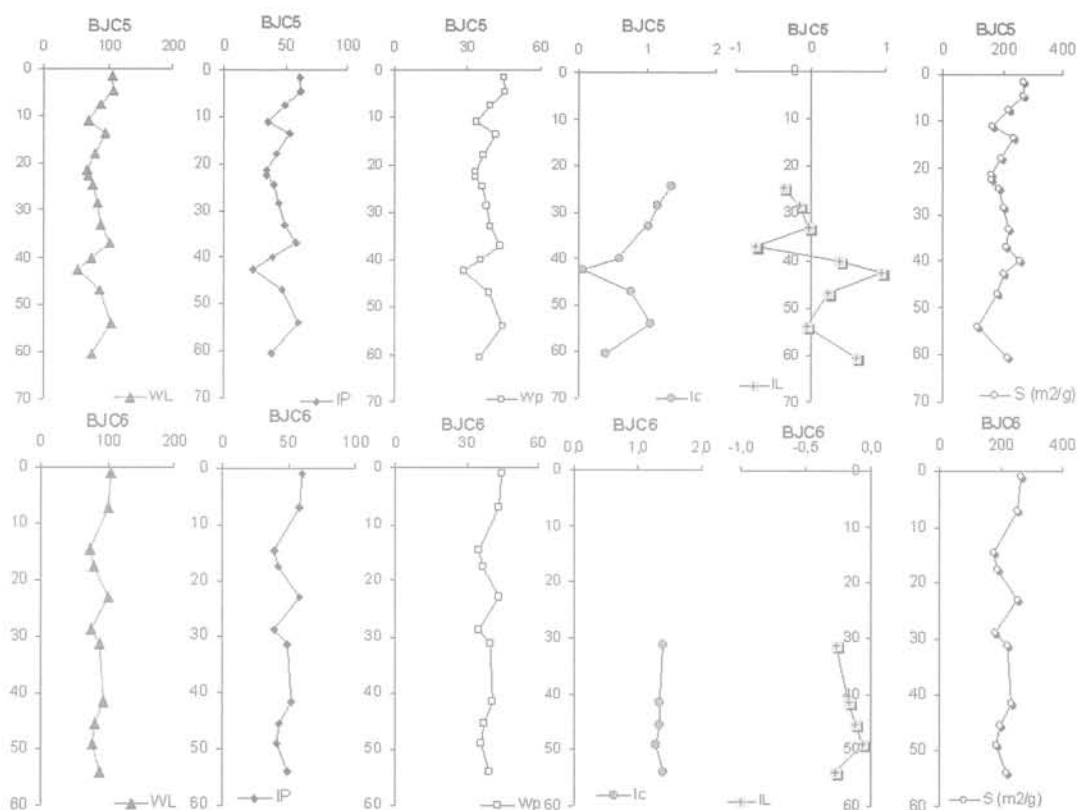


FIG. 13c

Limites d'Atterberg, indices de plasticité, de consistance, de liquidité et surfaces spécifiques en fonction de la profondeur (BJC5 et BJC6).

Atterberg limits, plasticity index, consistency index, liquidity index and specific surfaces according to the depth (BJC5 and BJC6).

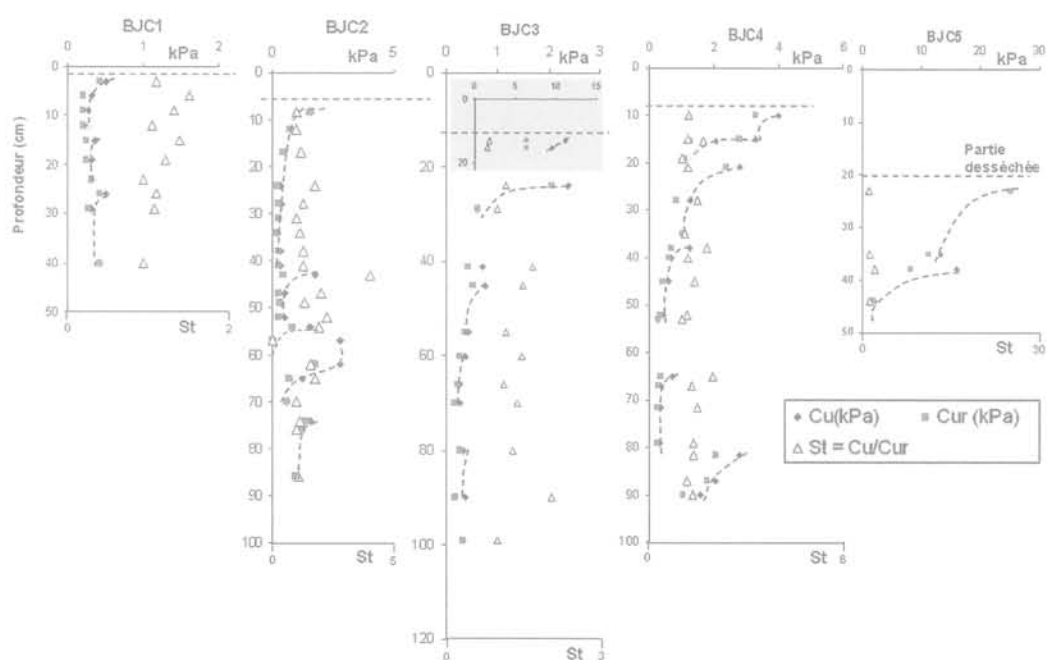


FIG. 14

Cohésion non drainée et sensibilité en fonction de la profondeur des prélèvements BJC1, BJC2, BJC3, BJC4 et BJC5.

Undrained shear strength and sensibility according to the depth of sedimentary columns: BJC1, BJC2, BJC3, BJC4 and BJC5.

L'examen de la figure 14 montre que les valeurs de la cohésion non drainée les plus faibles sont enregistrées au niveau des carottes prélevées en aval (BJC1 et BJC2) alors que les prélèvements effectués en amont BJC3, BJC4 et BJC5, présentent deux niveaux : un niveau superficiel caractérisé par des valeurs élevées de la cohésion et un niveau sous-jacent présentant des valeurs beaucoup plus faibles. La carotte BJC6 présente une teneur en eau très faible, ce qui confère aux sédiments une cohésion assez élevée, et supérieure à la limite du *fall cone* (cône n° 4 : 400 g). La répartition spatiale des résultats montre une augmentation de l'épaisseur du niveau sec en allant vers l'amont. Ceci est en relation étroite avec la teneur en eau. En effet, la diminution de la teneur en eau entraîne une augmentation de la cohésion des sédiments.

Les carottes étudiées montrent, à des niveaux différents, des valeurs élevées de la cohésion non drainée. Cette variation est due à l'organisation des sédiments en séquences de dépôts où les parties sommitales présentent des cohésions élevées qui diminuent vers les parties basales. Ceci peut être expliqué par une augmentation de la cohésion des sédiments sous l'effet de la charge des dépôts sus-jacents. En profondeur (vers la base de la séquence), la cohésion évolue plus lentement en raison des faibles drainages des eaux.

5

Conclusion

L'étude faite sur la retenue du barrage Joumine montre que la baisse du niveau de l'eau peut provoquer une reprise des sédiments par érosion hydrique dans sa partie découverte. Cette fluctuation se traduit par la progradation des cônes de déjection de plus en plus vers l'aval. En effet, Han et Tong (1982) ont montré que l'exploitation des retenues à un niveau bas déplace l'ensemble des corps sédimentaires vers l'aval, en particu-

lier, le cône de déjection. Cette remobilisation dépend de l'état de la consolidation des dépôts, de la granulométrie des sédiments et de la vitesse du courant de fond. Les dépôts anciens dans la retenue peuvent être repris et remobilisés par les courants de turbidité dans le cas où ils n'ont pas atteint leur degré de compaction maximal. En effet, l'étude de l'évolution morphologique du fond de la retenue du barrage Joumine montre des zones d'érosion et donc de reprise des sédiments du fond par les courants de turbidité. Par ailleurs, la connaissance du comportement des matériaux dans les retenues des barrages est une donnée essentielle pour adopter les solutions les plus appropriées aux problèmes du dévasement. La cohésion non drainée est un paramètre qui donne une caractérisation rapide de l'état mécanique des alluvions. Les résultats obtenus montrent une variation de la cohésion des matériaux en fonction de leurs positions dans la retenue. Ceci est en concordance avec les travaux de Drouhin *et al.* (1951) au niveau du barrage Cheurfas, de Thevenin (1968) dans la retenue de Fodda et de Ben Mammou (1998) dans la retenue du barrage Sidi Salem. Ces auteurs ont montré que les alluvions se consolident d'autant plus rapidement sous la masse d'eau qu'elles sont plus éloignées du barrage. Les limites d'Atterberg des alluvions sont élevées ; ceci est comparable aux valeurs importantes de la surface spécifique. Lors de leur mise en place, les alluvions de la retenue du barrage Joumine avaient un comportement liquide. Ceci est confirmé par les valeurs positives de l'indice de liquidité. Les niveaux superficiels des carottes étudiées présentent des indices négatifs montrant qu'ils ont perdu leur comportement liquide suite au dessèchement de la queue de la retenue durant les années consécutives de sécheresse. Ces niveaux présentent des indices de consistance nettement supérieurs à 1 caractérisant un sédiment très consistant. Les alluvions de la retenue du barrage Joumine forment une croûte surmontant un niveau plus mou, ce qui rend les opérations de dévasement inefficaces.

Bibliographie

- Beaulieu J. – *Identification géotechnique de matériaux argileux naturels par la mesure de leurs surface au moyen du bleu de méthylène*. Thèse de 3^e cycle, université Paris-Sud centre d'Orsay, 1979, 133 p.
- Ben Mammou A. – *Identification et caractérisation géotechnique des sédiments des retenues des barrages de Tunisie*. *Bulletin de l'Association internationale de géologie de l'ingénieur*, n° 55, 1997, p. 65-76.
- Ben Mammou A. – *Barrages Nabeur, Sidi Salem, Sidi Saad et Sidi Boubaker. Quantification, étude sédimentologique et géotechnique des sédiments piégés. Apports des images satellitaires*. Thèse de doctorat ès Sciences géologiques. FST, 1998, 345 p.
- De Lory F. – *A preliminary study of the geotechnical properties of varved clays as reported in Canadian Engineering Case Records*. *NRC Tech. Memo.*, 69, 14th Canadian Soil Mechanics Conf., 1960.
- De Vente J., Poesen J., Verstraeten G. – *The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain*. *Journal of Hydrology*, n° 64 305, 2005, p. 63-86.
- Drouhin G., Mallet M., Pacquant – *La sédimentation des barrages réservoirs en Algérie*. IV^e Congrès des Grands Barrages, New Delhi, 1951.
- Giovanni C.R. – *Alluvionnement des retenues par courant de turbidité*. Thèse Génie civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1998, 168 p.
- Han Q. W., Tong Z.J. – *The impact of Danjiangkou reservoir on the downstream river channel and the environment*. XIV^e Congrès des Grands Barrages, Rio de Janeiro, Q. 54 R. 13, 1982, p. 189-200.
- Kallel M.R. – *Hydrologie du lac Ichkeul*. BIRH, 1990, 43 p. + Annexe.
- Lahlou A. – *Envasement des barrages au Maroc*. Édition Wallada « coll. Sciences et Techniques », Maroc, 1994, 286 p.
- Lambert A.M., Lthi S.M. – *Lake circulation induced by density currents: an experimental approach*. *Sedimentology*, n° 24, 1977, p. 735-741.
- Marzougui A., Ben Mammou A. – *Identification et caractérisation géotechnique des alluvions piégées dans la retenue du barrage Joumine*. 11^{es} Journées scientifiques sur les résultats de la recherche agricole. Volume des actes, Tunis, 2004, p. 544-554.
- Migniot C. – *Étude des propriétés physiques de différents sédiments très fins et leur comportement sous des actions hydrodynamiques*. *La Houille Blanche*, n° 7, 1968, p. 591-619.
- Rădoane M., Rădoane N. – *Dams, sediment sources and reservoir silting in Romania*. *Geomorphology*, n° 71, 2005, p. 112-125.
- Remini B. – *Les sédiments des barrages : mécanismes et soutirages des courants de densité*. Agence nationale algérienne de développement de la recherche universitaire, 2006, 178 p.
- Sikirdji L. – *Étude sédimentologique et géotechnique des alluvions déposées dans la retenue du Chambon (vallée de la Romanche-Isère) après 45 années d'exploitation*. Thèse de 3^e cycle, Institut de recherches interdisciplinaires de géologie et de mécanique, USM Grenoble, 1982, 195 p.
- Strum M., Matter A. – *Turbidites and varves in Lake Brienz (Switzerland): deposition of clastic detritus by density currents*. *Modern and Ancient Lake Sediments* (A. Matter and M.E. Tucker eds), Spec. Publ. Int. Ass. Sediment, 1978, p. 145-166.
- Thevenin M.J. – *La sédimentation des barrages réservoirs en Algérie et les moyens mis en oeuvre pour préserver les capacités*. *Annales de l'ITBTP*, n° 156, 1968, p. 1277-1293.
- Tourenq C., Tran Ngoc L. – *Mise en évidence des argiles par l'essai au bleu de méthylène. Applications aux sols, roches et granulats*. *Bull. de liaison P. et Ch.*, n° 152, 1989, p. 79-92.
- Tran Ngoc L. – *Un nouvel essai d'identification des sols : l'essai au bleu de méthylène*. *Bull. de liaison P. et Ch.*, n° 88, 1977, p. 136-137.