

Contribution des méthodes électriques de la géophysique appliquée à l'évaluation des bilans sédimentaires.

Exemple du bassin du lac Chambon (Puy-de-Dôme)*

André DUPIS ⁽¹⁾
Gilles BOSSUET ⁽²⁾
Alain CHOQUIER ⁽¹⁾
Patrick DE LUCA ⁽³⁾
Jean-Jacques MACAIRE ⁽³⁾

The contribution of applied geophysical electrical methods to sedimentary budgets: example of the Chambon lake basin (Puy-de-Dôme, France)

Géologie de la France, n° 4, 1996, pp. 79-87, 8 fig., 1 tabl.

Mots-clés : Sondage électrique, Levé magnétotellurique, Taux érosion, Taux sédimentation, Sédimentation lacustre, Quaternaire, Puy-de-Dôme.

Key Words: Electrical sounding, Magnetotelluric surveys, Erosion rates, Lacustrine sedimentation, Quaternary, Puy-de-Dôme.

Résumé

Les volumes sédimentaires accumulés dans les lacs au cours du Quaternaire ont été évalués par les méthodes électriques de la géophysique appliquée, appuyées sur l'étude géologique de forages comprenant des datations, de la palynologie et des analyses minéralogiques.

Ces méthodes ne fournissant pas une solution unique à l'interprétation de leurs mesures, la meilleure succession des opérations consiste en une étude préliminaire sur le terrain suivie de quelques mesures géophysiques de reconnaissance, puis d'une campagne simultanée de prospection de surface et de forages. Une dernière phase consiste en complément de forages et/ou de géophysique.

Cette procédure est indispensable à la production de résultats probants, l'obtention d'un modèle sérieux étant basé sur l'échange d'informations entre

les prospections de surface et les forages.

L'étude donne lieu à l'établissement de documents qualitatifs et quantitatifs qui contribuent à l'évaluation du taux de sédimentation dans le temps.

Dans le bassin du lac de Chambon (Puy-de-Dôme), on a pu ainsi calculer les volumes de sédiments de quatre unités lithologiques sur quatre zones géographiques représentant une surface totale de 250 ha. Pour le lac du Tartaret, le volume total est de 11.10^6 m^3 ce qui conduit à un taux d'érosion de $70 \mu\text{m/an}$ et de sédimentation de 1 mm/an . Le lac Chambon proprement dit est crédité du même volume de 11.10^6 m^3 et de taux respectifs de $110 \mu\text{m/an}$ et 2 mm/an .

English abridged version

Applied geophysical methods contributed to the quantitative evaluation of sedimentary rock volumes in lakes during the Pleistocene. The measure-

ments (Fig. 2) were made by electrical and electromagnetic methods in Puy-de-Dôme (France). Because of the limited resolution of geophysical methods due to their abundance in possible solutions, a multiple-method programme was carried out in well-situated boreholes, including ^{14}C age determination, palynological and mineralogic analysis. Preliminary field and experimental study was followed by almost synchronous geophysics and drilling, succeeded by additional geophysics and drilling where necessary.

This multi-method programme had the advantage of avoiding the multiple solutions produced by geophysics used alone, and resulted in a credible model based on an interchange of geologic information from drill holes and geophysical experimental results.

In general electrical soundings were used with an injection dipole length of 200-300 m and consequently an investigation depth of 50 m or so was sufficient to obtain the data required.

* Manuscrit reçu le 31 juillet 1995, accepté définitivement le 17 mai 1996.

(1) CNRS, 58150 Garchy, UMR 6530, LGO. 3D Av. de la Recherche Scientifique, CNRS, 45071 Orléans Cedex 2.

(2) Laboratoire de Chrono-écologie, UPR 7557 du CNRS, 16 route de Gray, 25030 Besançon Cedex.

(3) Laboratoire de Géologie des Systèmes Sédimentaires, Faculté des Sciences et Techniques Parc de Grandmont, 37200 Tours.

The geophysical program consisted of 52 electrical soundings, 16 Audio M-T soundings and 12 km of Radio M-T profiling.

In a few localities magnetotellurics were used (Dupis *et al.*, 1991) in the Audio M-T tests to attain greater penetration depth, Radio M-T was also used to verify — using continuous profiling — the presence of geological discontinuities or of abrupt facies variations in the sedimentary deposits.

Maximum error in electrical methods was estimated at 5%, which has an insignificant effect on the quality of the model.

The need for ^{14}C or palynologic dating methods to determine the age of the rocks was another reason for carrying out a drilling programme. Fig. 2 shows the locations of electrical soundings or Audio M-T soundings and Radio M-T profiling, and the four zones into which the basin was subdivided to take account of the sedimentary evolution in time and space.

Fig. 3 shows potential dipole iso-resistivity values at 2 m, 15 m and 40 m. The four zones can be distinguished by the values and by the density of the resistivity curves. Fig. 4 shows the relationship between electrical sounding curves and the sedimentary facies encountered in drill-holes. Geophysical interpretation was based on interpolation (or extrapolation) between drill-hole intersections.

A large number of qualitative and quantitative documents were contributed as sediment budget data. Four lithologic units were distinguished in four geographic zones over a total area of 250 ha. Two different formations were identified: (1) the Tartaret formation comprising lacustrine unit (L1) overlain by a more deltaic unit (D1) dated at 12.6-8.5 Ka BP; and (2) the present Lac Chambon formation, similarly divided in L2 and D2 units, and active 2600 years ago.

Figs. 5 and 6 show different sections to illustrate the geometry of the four sedimentary facies of the basin. Fig. 7 details geoelectric cross sections and situates the four phases of basin history.

Fig. 8 shows the volume of the sediments of the four lithologic units in the four zones (Fig. 1). Table 1 presents an evaluation of the volumes of the four lithologic formations based on area and mean thickness.

The contribution of unit L2 is very light in zones A and B but unit L1 is more equally distributed in the four zones. The rangest values are obtained, L2 in D (6,80 m thick) and for D2 and L2 (respectively 4 million and 3.5 million m^3 in volume).

The Tartaret formation has a total volume of 11.10^6 m^3 , giving an erosion rate of 70 $\mu\text{m}/\text{year}$ and a sedimentation rate of 1 mm/year .

Chambon lake itself has a volume of 11.10^6 m^3 but for a period of 2 600 years only and an area of 37.7 km^2 , leading to an erosion rate of 110 $\mu\text{m}/\text{year}$ and a sedimentation rate of 2 mm/year .

This second value is twice the first one: our interpretation is that clearing the land and planting both failed to protect the ground from a more intensive erosion as the forests disappeared.

Applied geophysics can contribute to estimation of sediment budget if geological and geophysical data are integrated. To obtain a reliable model it is more important to understand the geological situation than to cavil dispute inversion techniques, as the total error could reach values as high as 20-30 %, but without geophysics the problem has no solution at all.

Introduction

Depuis quelques années, nous avons introduit les méthodes de la géophysique appliquée dans l'étude des formations sédimentaires récentes. Dans le cadre du programme Dynamique et Bilan de la Terre (D.B.T.), de l'Institut National des Sciences de l'Univers (I.N.S.U.), nous avons travaillé dans le thème "Fleuves et Erosion" intitulé "Dynamique des systèmes fluviaux au cours du post glaciaire : étude de l'impact climatique dans les bassins représentatifs de moyenne latitude". Nos premières contributions ont eu pour cadre le bassin de la Combe d'Ain (Lamy Au Rousseau, 1991) ceux de

Chaillexon (Campy *et al.* 1985) et de Cerin (Bossuet *et al.* 1993) dans le massif du Jura, puis (J.J. Macaire *et al.*, 1992), celui du lac Chambon dans le Puy-de-Dôme. C'est ce dernier qui fera l'objet de l'article car il représente un ensemble bien circonscrit et bien limité géographiquement. Avec ses 35 km^2 , il couvre une ancienne vallée glaciaire façonnée dans des granites et des roches volcaniques sur le versant oriental du massif du Mont-Dore entre 875 et 1 885 m d'altitude. La géophysique devait participer à la détermination de la géométrie des corps sédimentaires avec le concours des méthodes sensibles à la résistivité électrique des terrains, soit principalement les sondages électriques classiques, puis quelques compléments de méthodes électromagnétiques (Dupis et Gibert 1977, Aubert *et al.* 1979). Nous avons calculé le volume des dépôts fluviaux et lacustres stockés au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène ainsi que les taux d'accumulation au cours des principales phases chronostratigraphiques dans ce bassin temporairement fermé. Ce type d'étude a été pratiqué depuis longtemps (Judson et Ritter 1964) et plus récemment (Kemp and Harper 1976, Kemp *et al.* 1978, Robinson 1978) sans qu'il y ait obligatoirement contribution des méthodes géophysiques. Avant de discuter les résultats, il convient d'exposer rapidement le principe des méthodes utilisées, puis la méthodologie adoptée sur le terrain, et enfin l'interprétation physique qualitative puis quantitative des mesures géophysiques.

Les méthodes utilisées

Elles s'adressent à la résistivité électrique des formations, paramètre assez discriminant et facile à mesurer sur le terrain. Celles qui permettent la saisie de ce paramètre relèvent de l'électricité classique ou de l'électromagnétisme.

Dans la grande majorité des cas, le sondage électrique a été utilisé. Il consiste à injecter un courant dans le sol entre deux électrodes, et à recueillir aux bornes de deux autres prises de terre la tension créée par ce courant en circulant dans le terrain. Le dispositif est donc quadripolaire (fig. 1) ; sa profondeur d'investigation est proportionnelle à ses

dimensions en surface. Autrement dit, on progressera dans la connaissance de l'évolution de la résistivité des terrains en profondeur en effectuant des mesures partant de dispositifs très courts (métriques), que l'on allongera régulièrement pour atteindre des dimensions nettement supérieures (hectométriques). On considère classiquement que la profondeur de pénétration est environ le quart de la plus grande dimension du quadripôle (100 m pour 400 m), dans la présente situation la plupart des mesures ont été réalisées pour des longueurs de 200 à 300 m, ce qui autorisait une investigation de l'ordre de 50 m largement suffisante pour résoudre le problème posé.

C'est à titre accessoire seulement que l'on a mis en oeuvre une méthode électromagnétique, la magnéto-tellurique (Dupis 1989 et Dupis *et al.* 1991) dans ses versions Audio et Radio M-T. soit pour accéder aux structures plus profondes (kilométriques), soit pour vérifier à l'aide de profils continus l'existence d'accidents ou de brutales variations de faciès dans le remplissage sédimentaire. Cette méthode présente l'intérêt, de ne pas nécessiter l'injection de courants dans le terrain. Il n'y a donc que les capteurs à disposer sur le sol et, avantage supplémentaire, l'investigation progresse non plus en allongeant le dispositif mais en analysant, grâce à l'effet de peau, des phénomènes dont la période s'allonge progressivement.

Les sondages électriques fournissent des courbes telles que celles de la figure 1. L'évolution de la résistivité est tracée en fonction de la demi-longueur $AB/2$ du quadripôle. Le dispositif est orienté au plus près de l'axe d'allongement de la vallée. Cette courbe peut être analysée qualitativement en terme d'évolution relative de la résistivité en profondeur. Dans la pratique, ce premier stade de l'interprétation ne représente qu'une très faible fraction des opérations qui mèneront le géophysicien à proposer une solution bien argumentée aux problèmes du géologue.

La véritable interprétation consiste en l'établissement d'un modèle quantitatif de la distribution des résistivités de plusieurs couches successives de terrain dont on détermine l'épaisseur. C'est une

inversion en ce sens que l'on aboutit ainsi à transformer une information obtenue à l'aide d'un dispositif horizontal en une loi d'évolution selon la verticale.

Cette opération comporte une part d'imprécision et d'indétermination. Dans notre cas, l'erreur provenant des mesures de longueur ou de tension et d'intensité électriques peut-être considérée, sinon comme négligeable, du moins comme très faible, inférieure à 5 % et de ce fait elle n'altère pas significativement la qualité du modèle recherché. En revanche, l'indétermination qui caractérise l'évaluation des paramètres épaisseur-résistivité de certaines couches peut constituer un véritable obstacle à l'élaboration d'un modèle crédible. En particulier, les couches conductrices insérées entre deux formations plus résistantes sont elles difficiles à déterminer avec précision. L'exemple évoqué ci-dessus n'est pas exceptionnel, c'est le lot de toute interprétation géophysique, qui sauf cas très favorable, ne propose pas une solution unique à un problème géologique.

Ce fait établi, il convient évidemment d'exposer quelle solution on peut mettre en oeuvre pour améliorer la contribution de la géophysique. Le remède le plus efficace consiste à effectuer des forages dont les enseignements serviront en quelque sorte d'étalonnage à l'interprétation géophysique en fixant un des deux paramètres, l'épaisseur, dans le couple indéterminé : épaisseur-résistivité.

Or il se trouve que pour traiter le problème qui nous préoccupe, un autre élément impose la connaissance physique directe et réelle des formations de remplissage, c'est la détermination de leur âge et de leur chronologie relative. C'est donc pour cette double raison qu'il fallait envisager l'exécution de quelques forages judicieusement disposés pour satisfaire à la fois les exigences de la datation et celles du calage des interprétations ultérieures. Les premières concernaient la continuité de l'échantillonnage vertical en des situations différentes recouvrant la multiplicité des schémas structuraux possibles, les secondes requéraient davantage de systématique dans la répartition des sondages

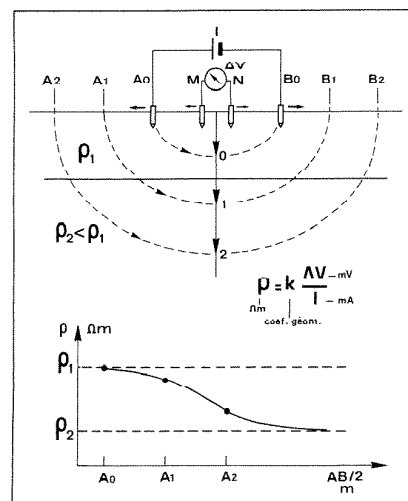


Fig. 1. – Schéma du quadripôle électrique et de son principe de fonctionnement. Exemple de courbe de sondage.

Fig. 1. – Sketch plan of the electric quadripole and principle of field measurement. Example of a sounding curve.

pour quadriller au mieux l'ensemble du bassin.

Le terrain, aspect qualitatif des résultats

Les exigences évoquées ci-dessus ne sont, en principe, pas contradictoires mais on s'est aperçu que sur certains sites il était parfois très difficile de recueillir une séquence complète de la sédimentation tant elle demeurait meuble, fluide, même après quelques milliers d'années de compaction.

Sur la figure 2, on a présenté une subdivision du bassin en quatre zones (A, B, C, et D) pour tenir compte de l'obliquité des faciès de l'amont vers l'aval. Les calculs ultérieurs seront effectués séparément pour chacune de ces zones. A cet égard on constate que le choix des sites des opérations mécaniques est moins satisfaisant pour les zones D et C que pour A et B. Il en va de même pour les sondages électriques dont la disposition géométrique atteint presque la régularité idéale pour ces dernières, alors qu'en zones C et D, leur implantation résulte des contraintes liées aux conditions d'accès au terrain et à la nature du couvert végétal (bois, friches, cultures).

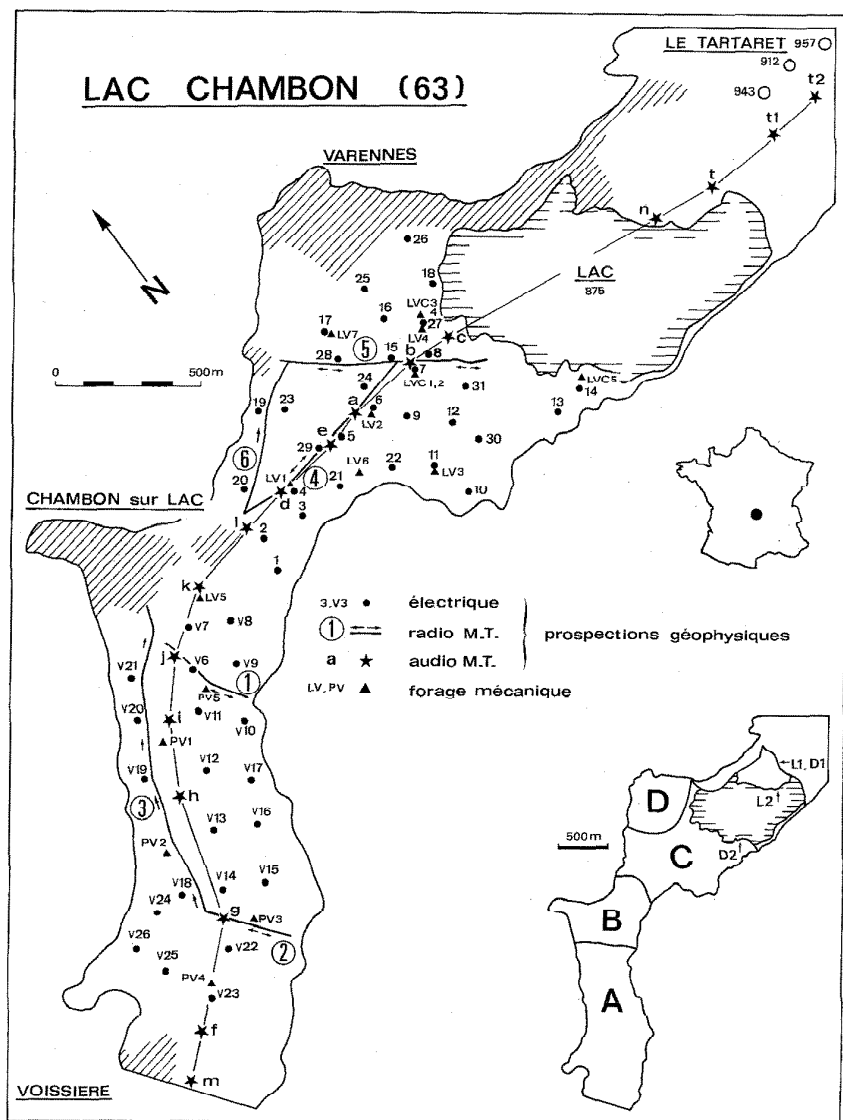


Fig. 2. – Plan du bassin du lac de Chambon, situation des forages, des sondages électriques et audio magnétotelluriques et des profils de radio M-T. Indication des quatre zones utilisées pour l'estimation des volumes.

Fig. 2. – Sketch map of the Chambon lake basin showing location of drill holes, electrical and audio magnetotelluric soundings, and Radio M-T. profiles. The four zones used for volume calculation are shown in the lower right corner.

Pour l'ensemble du bassin, on totalise 52 sondages électriques et 14 sites de forages auxquels, on peut ajouter 16 sondages Audio M-T. et environ 12 km de profils Radio M-T. qui n'ont détecté aucun accident structural important. Seuls, deux forages (LVC1 et 2) ont été entièrement carottés, les autres ont donné lieu à une exploitation directe des échantillons remontés par la tarière.

L'interprétation des données recueillies directement ou déduites des mesures liées au matériel ainsi réuni a permis l'écriture de l'histoire de cette sédimentation fluvio-lacustre reposant

parfois sur des dépôts morainiques (Macaire *et al.* 1992). Les sondages électriques, quant à eux, présentent un caractère commun c'est-à-dire une succession quasi régulière de couches résistantes et conductrices qu'il était cependant difficile, dans un premier temps, d'identifier aux différentes formations recherchées.

Les premières images, non interprétées, que l'on peut tirer des courbes de sondages sont des cartes d'isoresistivités pour des demi-longueurs données de quadripôles électriques. Quinze de ces cartes ont été tracées correspondant à chacune des mesures nécessaires à l'éta-

blissement des courbes. On présente, sur la figure 3, les trois cartes qui ont paru le mieux synthétiser les informations contenues dans cet ensemble. Elles sont établies pour des valeurs de $AB/2$ respectivement de 2 m, 15 m et 40 m.

Elles confirment l'individualisation des quatre zones naturelles retenues ultérieurement pour effectuer les calculs. L'aire de la zone A correspond à la partie la plus inclinée du bassin en amont. En B, la pente est faible, il s'agit d'une zone de transition, en partie habitée. Avec la zone C dont le relief à l'exception d'un témoin du socle ou d'un glissement de terrain vers le sud, est très proche de celui du lac actuel, la zone D est distinguée par son relief, cône fluvial au débouché de la vallée du ruisseau de Quancouve, par le fait qu'elle est en début d'urbanisation et parce que son sol est moins sableux que celui de la zone C.

Si l'on compare les cartes d'isoresistivités avec le plan réduit des quatre zones on constate effectivement dès la première dimension (2 m) une relation assez nette entre ces deux représentations. La zone A est caractérisée, à la différence de la zone B qui lui succède, par des isovaleurs assez serrées notamment à l'aplomb des formations détritiques subafléurantes. En zone C, on retrouve des variations moins importantes que celles qui isolent vers le nord l'espace D correspondant à l'emprise du cône fluvial. L'image est assez identique pour $AB/2 = 15$ m avec un renforcement du contraste entre zones à gradient fort (A et C) ou faible (B et D) il est à remarquer que globalement les résistivités ont ici des valeurs deux fois moindres que sur la carte précédente. Pour la dernière représentation, avec $AB/2 = 40$ m soit une investigation en profondeur d'au moins 20 mètres, les résistivités conservent à peu près les valeurs précédentes, seuls subsistent en zone A deux pointements de fortes valeurs aisément mis en relation avec des formations volcaniques localisées dont l'enracinement est ainsi confirmé. A l'inverse, l'anomalie liée à la présence du cône fluvial devient négligeable puisqu'il ne représente plus qu'une petite partie des terrains intéressés par la circulation des courants.

Interprétation quantitative

On sait que les limites du pouvoir de résolution de la méthode entraînent, compte tenu du type de courbes obtenues ici, une incertitude telle qu'elle rend délicat l'établissement d'un modèle unique du remplissage étudié.

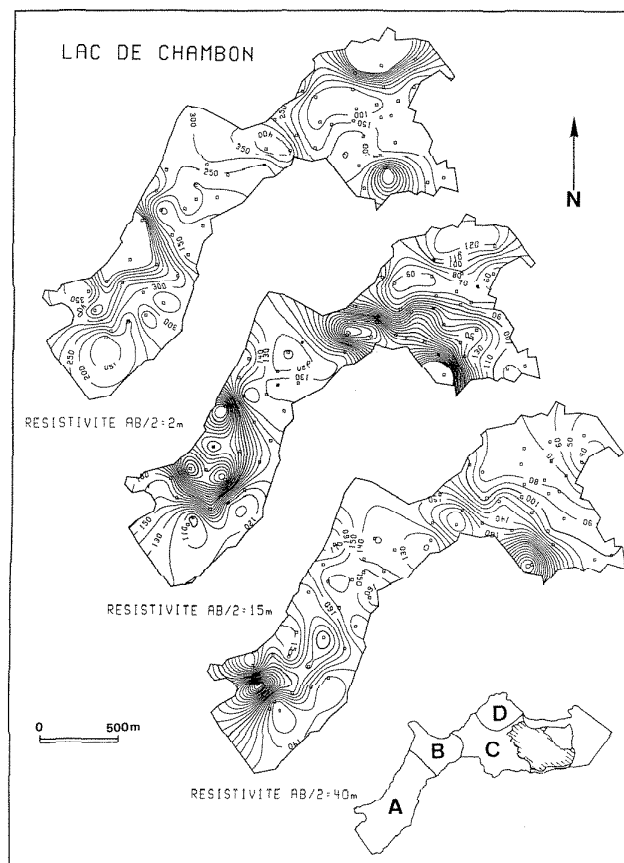
Les forages s'avéraient donc nécessaires au calage de l'interprétation quantitative. J.J. Macaire *et al.* en 1992 ont montré que le remplissage se subdivisait en deux unités, constituées elles mêmes de deux niveaux réguliers. Ce sont en effet deux épisodes lacustres suivis chacun d'une formation davantage deltaïque qui ont été identifiées et répertoriées en L1-D1 pour le lac du Tartaret, et en L2-D2 pour le lac Chambon actuel, mais elles ne sont pas obligatoirement présentes partout dans le remplissage. Dans les zones A et B, la phase D2 a été remplacée par D'2 de façon à distinguer une formation qui relève davantage de la coulée boueuse que du deltaïque, la limite D2-D'2 aux confins des zones B et C a été fixée un peu arbitrairement dans le détail.

Les études géologiques directes sur le terrain mais aussi les datations faites au ^{14}C , et grâce à la palynologie ainsi que les analyses minéralogiques aux rayons X ont permis les datations et par conséquent, l'évaluation des durées de sédimentation. On sait ainsi que le lac du Tartaret a débuté à 12,6 Ka B.P. et qu'il s'est vidé 4,1 Ka plus tard tandis que le lac Chambon créé par l'écroulement de la Dent du Marais à 2,6 Ka B.P. fonctionne encore actuellement.

La figure 4 (A et B) illustre le processus mis au point pour optimiser l'interprétation quantitative. Il repose sur l'existence d'un forage carotté ou suffisamment échantillonné pour fournir une coupe lithologique fiable. Un sondage électrique est alors centré sur le forage et son interprétation est conduite en privilégiant les épaisseurs d'interfaces fournies lorsqu'elles sont estimées devoir correspondre à des variations sensibles de la résistivité. C'est le meilleur moyen d'échapper à l'indétermination du rapport e/ρ (épaisseur sur résistivité) qui caractérise les courbes obtenues sur ce site. Comme on le voit sur cette figure, une solution est obtenue qui satisfait les

Fig. 3. — Sélection de cartes d'isoresistivités apparentes pour AB/2 égal à 2 m, 15 m et 40 m.

Fig. 3. — Apparent isoresistivity map for AB/2 = 2 m, 15 m and 40 m.



distinctions de faciès indiquées par le géologue. On constate que ces différences stratigraphiques sont bien marquées par les valeurs de résistivités adoptées pour le forage PV5 : 400 Ωm en surface et 97 Ωm pour le faciès coulée de boue du D'2, 540 Ωm pour le détritique assez grossier de D1, et 23 Ωm pour le faciès lacustre à dominante argileuse de L1. Ensuite on atteint le socle S1 constitué de sables et graviers fluviaux, puis le socle S2 identifié comme arène granitique ou granite altéré. La situation géographique montre que les sondages V6 et V11 sont situés à 85 m environ de PV5, il est donc légitime d'y retrouver une séquence assez proche de la précédente, ce qui est effectivement vérifié. Le sondage V10, lui, est éloigné d'environ 175 m vers le sud et on peut s'attendre à des variations dans les épaisseurs de chacun des faciès, la solution obtenue ne surprend donc pas, d'autant moins que qualitativement la courbe présente par elle même une allure différente des trois précédentes. A 135 m à l'est de PV5 le sondage V9, proche des bords du lac se différencie encore davantage des précédents ce qui

traduit l'évolution à la fois des faciès et de la puissance des formations. D'autre part au sud-est de PV5, le forage PV1 distant de 250 m environ permet de vérifier la solution de continuité adoptée avec des variations tant de l'épaisseur que de la résistivité des faciès précédents et même avec la suppression de la formations D1.

Procédant ainsi de proche en proche et par pondération selon la distance entre le sondage et la référence, on parvient à l'obtention d'une solution très raisonnable et fondée du problème posé.

Sur la figure 5, on a représenté, à l'aide de coupes sériées, le remplissage total des quatre faciès en (A) pour la partie proche du lac Chambon ; on y remarque l'évolution de ce remplissage quand on se déplace vers l'ouest à partir du lac, avec la perception d'une nette diminution de volume à l'approche de la zone de Voissière (B) caractérisée par un amincissement remarquable en son centre (coupe 5) et par le rétrécissement naturel du bassin en amont avant sa fermeture (coupe 8). Pour l'ensemble du

bassin, on dispose de six coupes longitudinales (fig. 6), dans chaque zone, elles présentent une vue complémentaire des précédentes en soulignant l'évolution de la géométrie du fond du lac. On y retrou-

ve le seuil évoqué à Voissière et le net approfondissement vers l'est à l'approche du lac, surtout du côté nord, vers le sud en revanche cet approfondissement a lieu dans la partie centrale de la zone.

L'étude détaillée nécessaire à l'estimation des volumes de chaque faciès n'est pas représentée ici, la figure 7 en donne un exemple sur trois coupes dont l'échelle verticale est multipliée par 4.

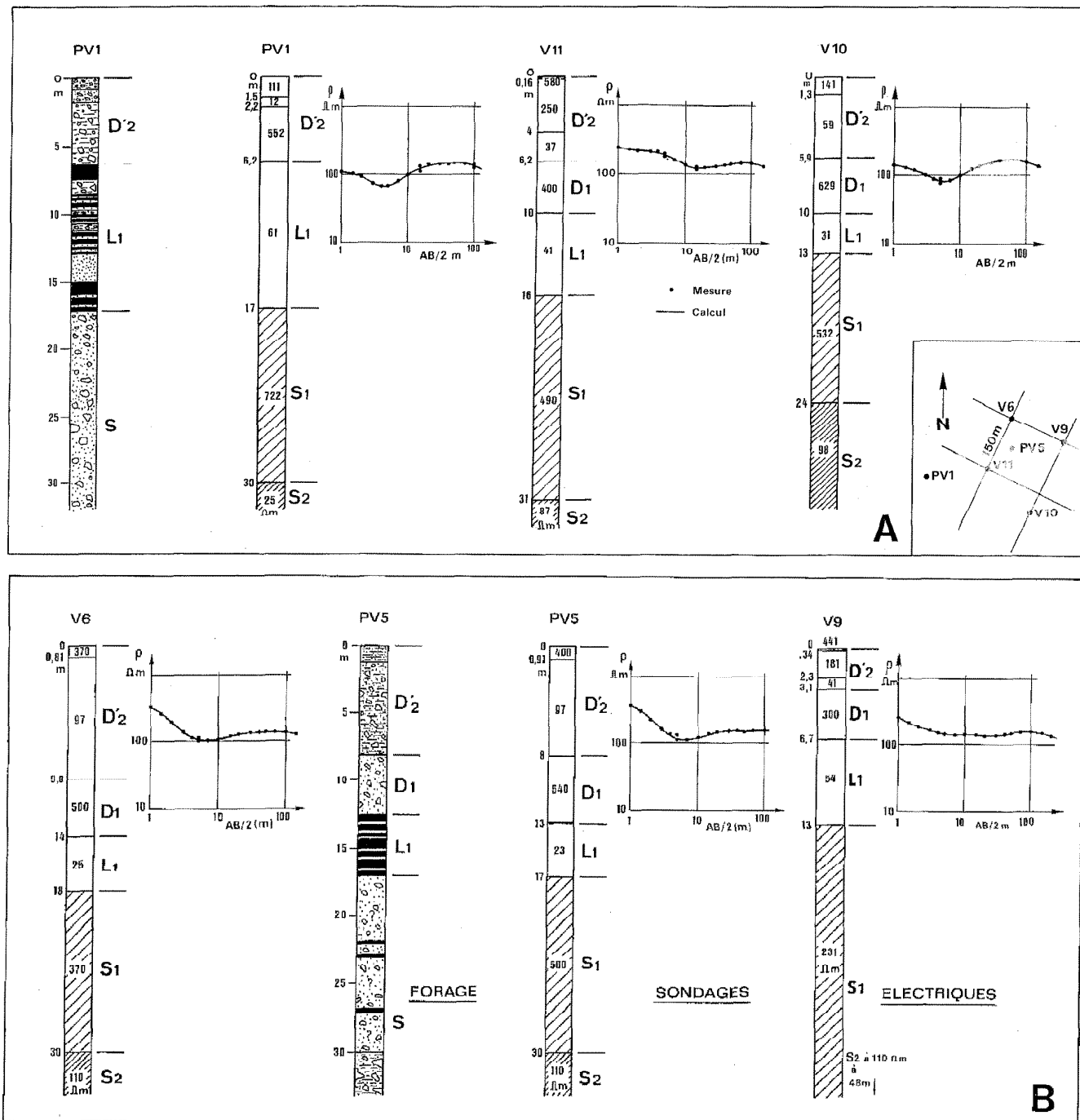


Fig. 4. – Calage de l'interprétation des sondages électriques sur les logs lithologiques des forages, évolution progressive.

A) autour du forage PV1. B) autour du forage PV5. D'2 : coulée boueuse à blocs ; D1 : graviers et galets roulés fluviaux ; L1 : formation lacustre, argile grise avec présence de matière organique - intercalations sableuses ; S : moraine (PV1) - moraine ou graviers et galets roulés fluviaux sur coulée boueuse à blocs (PV5).

Fig. 4. – Interpretation of electrical soundings adjusted to fit lithologic drill-hole log, showing progressive evolution.

A) around the drill-hole PV1. B) around the drill-hole PV5. D'2: mud flow with blocks; D1: fluvial gravel and rounded pebbles; L1: lacustrine formation: grey clay with organic matter and sand intercalations; S: moraine (PV1) - moraine or fluvial gravel and rounded pebbles overlying mud flow with blocks.

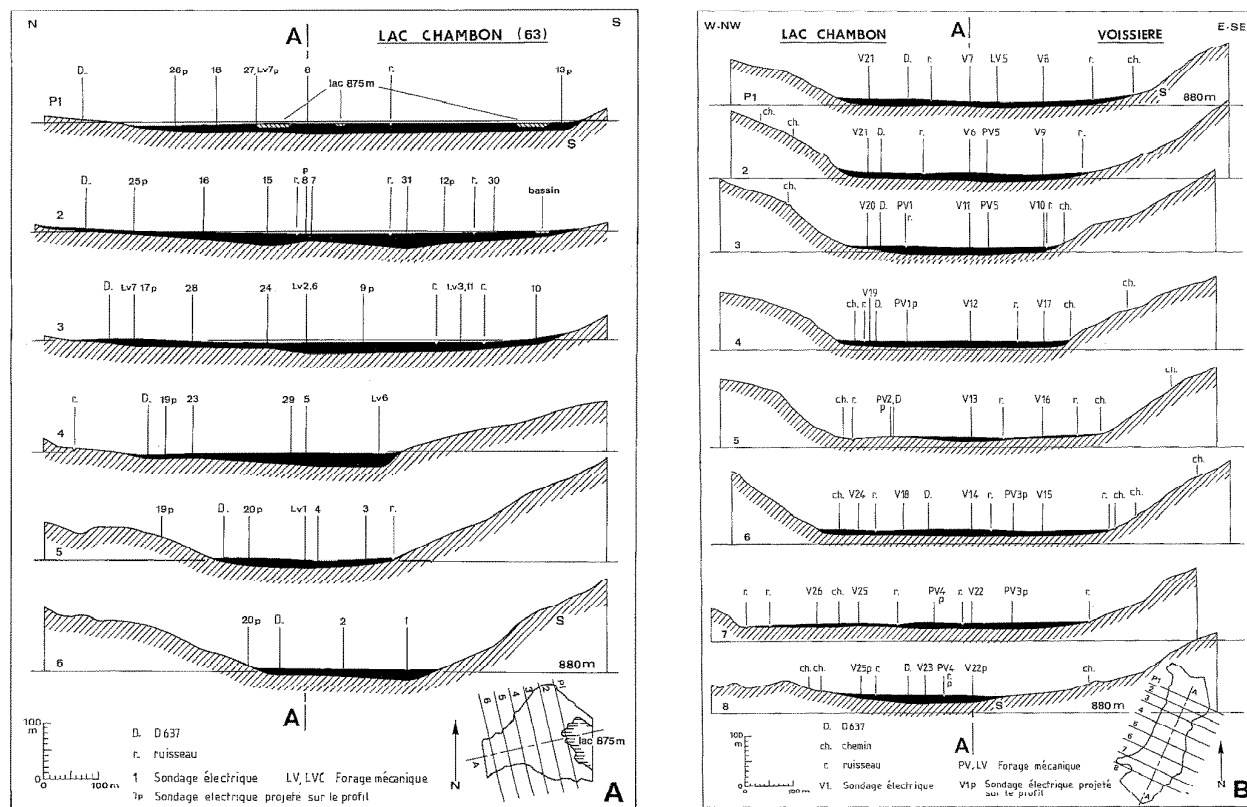


Fig. 5. — Coupes transversales montrant le remplissage sédimentaire total pendant la période considérée. A) dans la région de Chambon. B) dans la région de Voissière.

Fig. 5. — Transverse cross-section showing total sedimentary fill during the period under consideration. A) in the Chambon region. B) in the Voissière region.

On saisit alors l'importance relative de l'évolution de chacune des phases retenues pour la mesure complète, ainsi que l'existence d'au moins deux types de substratum, S1 qui peut être fluvial ou morainique et S2, de type granitique plus ou moins altéré.

Les calculs de volume ont été effectués à partir de données représentant la géométrie du bassin : contour et topographie en surface, situation des interfaces liées à chaque faciès puis au socle. Ils sont effectués après établissement de grilles dont les valeurs sont obtenues à partir des données initiales par interpolation aux noeuds d'un réseau régulier. Ces données initiales sont constituées par les paramètres des forages et les valeurs obtenues par l'interprétation des sondages électriques. La figure 8 est l'exemple d'un élément du résultat des calculs illustrant, pour les quatre zones de la figure 2, l'importance prise par chacune des phases du remplissage. On

remarque ainsi que dans la zone C (cf. fig. 3) se concentrent les contributions maximales des faciès de L1, D1 et L2, tandis que dans la zone A c'est le faciès D2 (en fait D'2) qui domine. C'est l'unité lithologique L2 qui prévaut en zone D, en B aucune dominante n'est à souligner, seul le faciès L2 se caractérise par la faible part qu'il prend dans le remplissage.

Le résultat final est indiqué par le tableau 1 qui donne pour chacune des zones la surface du domaine de cubage, puis l'épaisseur moyenne de la formation et son volume en milliers de mètres cubes relatifs à chaque unité lithologique en partant de la plus ancienne. On voit que seule l'unité L2 n'apporte qu'une contribution négligeable à la sédimentation dans les zones A et B, alors que l'unité L1 se distribue plus équitablement, seule la zone D paraissant un peu moins favorisée de ce point de vue. Les chiffres importants concernent les épais-

seurs qui atteignent quelques mètres (maximum 6,80 m pour L2 en D) et les volumes qui peuvent atteindre plusieurs millions de mètres cubes (environ 4 pour D2 et 3,5 pour L2).

L'aboutissement de ce travail consiste à proposer un volume de sédiment pour chacun des épisodes lacustres et deltaïques. Des déterminations plus fines pourront être effectuées par les géologues à partir de datations correspondant à des faciès distingués par les mesures électriques, surtout dans les formations les plus superficielles. Pour notre part, les chiffres que nous retiendrons concernent le lac du Tartaret avec un volume global accumulé de 11 millions de mètres cubes à partir d'un bassin versant de 36,5 km² sur une durée de 4 100 ans, ce qui donne un taux d'érosion de 70 m³/km²/an ou de 70 µm/an, et en considérant une surface cubée de 250 ha un taux de sédimentation de 1 mm/an. Les mêmes opérations relatives au lac Chambon actuel conduisent

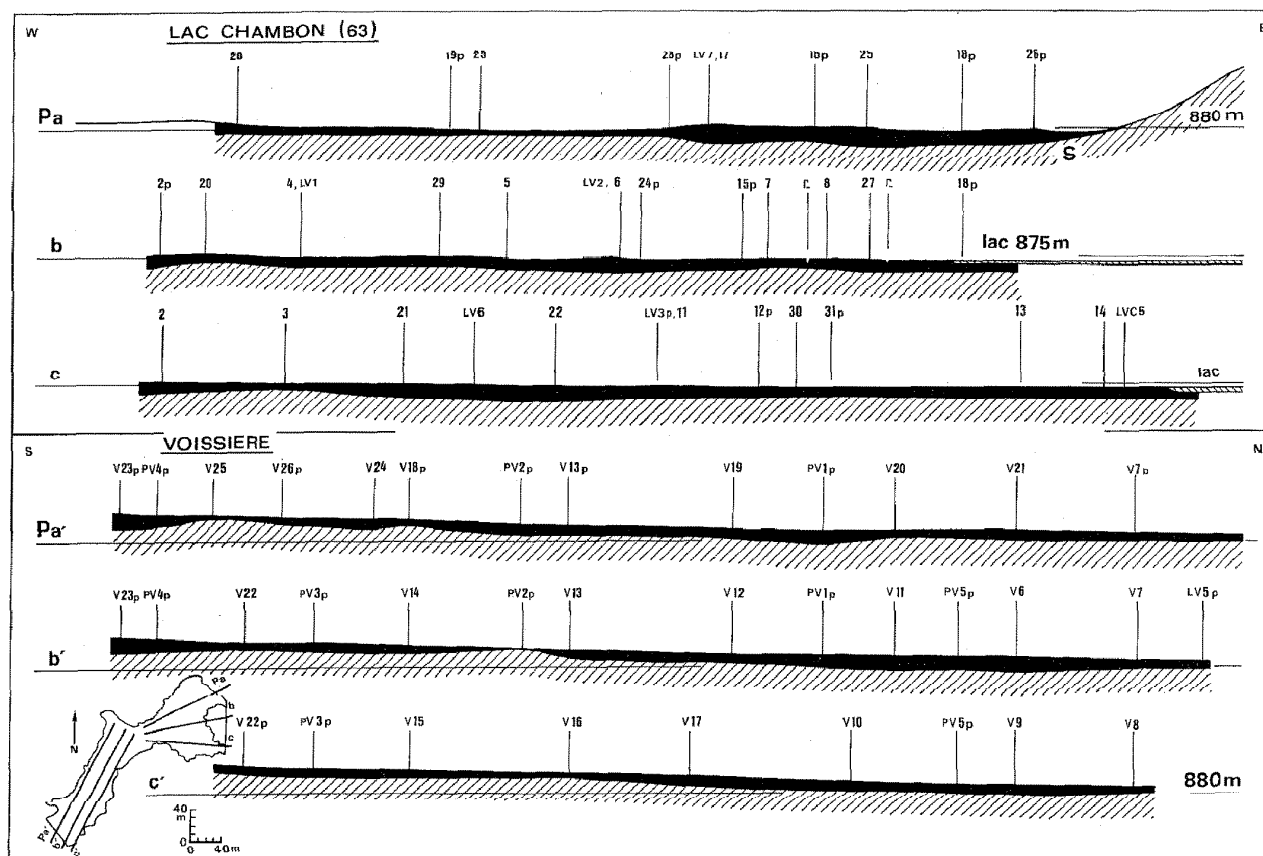


Fig. 6. – Coupes longitudinales de l'ensemble du bassin montrant le remplissage sédimentaire total pendant la période considérée.

Fig. 6. – Longitudinal section showing total sedimentary fill during the period under consideration.

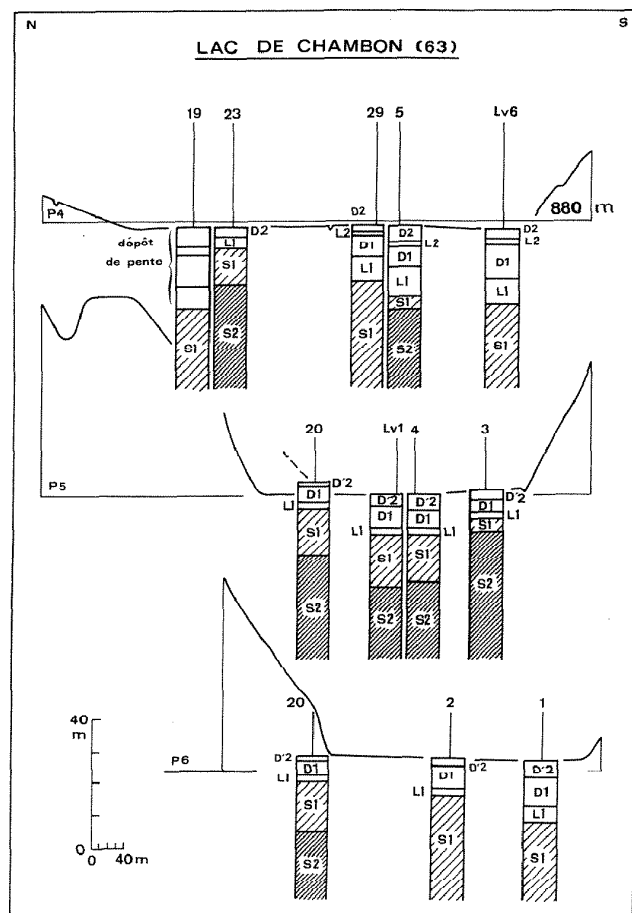


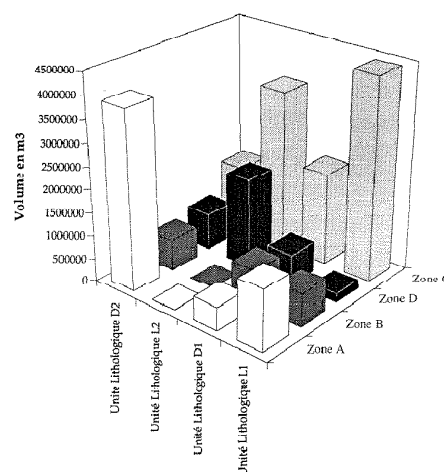
Fig. 8. – Diagramme détaillant les volumes respectifs de sédiments des quatre unités lithologiques dans les quatre zones de la figure 1.

Fig. 8. – Diagram showing the respective volumes of each lithologic unit in the four zones on Fig. 1.

Fig. 7. – Coupes géoélectriques détaillées d'un profil transversal individualisant les différents niveaux identifiés à l'interprétation - échelle verticale multipliée par 4.

Fig. 7. – Detailed geoelectric cross-section defining the various formations identified by geophysical interpretation; vertical scale is forty times horizontal scale.

Lac de Chambon (63)



Unités lithologiques	D2 ou d'2	L2	D1	L1
ZONE A : Surface cubée : 70 ha Volume des sédiments en 10^3 m^3 Distance entre les surfaces en mètres	3 900 5,50	7 0,01	530 0,70	1 350 1,90
ZONE B : Surface cubée : 35,5 ha Volume des sédiments en 10^3 m^3 Distance entre les surfaces en mètres	650 1,85	10 0,01	800 2,26	730 2,05
ZONE C : Surface cubée en ha Volume des sédiments en 10^3 m^3 Distance entre les surfaces en mètres	52,5 1 500 2,82	103 3 500 3,43	117 2 250 1,92	117 4 400 3,80
ZONE D : Surface cubée : 28 ha Volume des sédiments en 10^3 m^3 Distance entre les surfaces en mètres	800 2,83	1 950 6,81	650 2,35	240 0,63

Tabl. 1. – Résultat de l'évaluation des volumes de sédiments pour les quatre unités lithologiques dans les quatre zones de la figure 1.

Table 1. – Results of the volume evaluation of the sediments of the four lithologic units in the four zones of figure 1.

aux valeurs suivantes : 11 millions de mètres cubes également pour un bassin de $37,7 \text{ km}^2$ et une durée de 2 600 ans conduisent à un taux d'érosion de $110 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ ou $110 \mu\text{m}/\text{an}$, et à un taux de sédimentation de $2 \text{ mm}/\text{an}$, soit le double du précédent. Cette forte augmentation traduit, pour la période la plus récente de cette sédimentation, une influence anthropique déterminante, due à la fois au défrichement et aux plantations qui protègent beaucoup moins les sols de l'érosion.

Nous limitons le nombre de chiffres significatifs pour tenir compte de la

marge d'erreur due aux mesures et aux calculs. S'agissant des erreurs qui résultent de ces derniers elles sont, avec le logiciel utilisé, minimisées lorsque la hauteur à cuber diminue vers les bords. Cette condition est remplie pour le bassin lacustre de Chambon dont la morphologie restituée par les mesures géophysiques s'apparente de très près à celle d'un réservoir. A partir de simulations, on peut estimer que la cubature est faite avec une erreur maximale de 3 %, et on peut considérer que les mesures et l'établissement du modèle portent cette marge à un taux de 20 à 30 %.

Conclusion

Nous constatons qu'effectivement la géophysique appliquée peut contribuer à l'évaluation des taux d'érosion et de sédimentation sur une aire géographique bien déterminée, et pour des périodes de temps précises.

La preuve en est donnée par le fait que le programme de calcul des volumes n'a pu fonctionner avec les seules données des forages, car l'incertitude sur les résultats, dépassant 50 %, devient prohibitive.

C'est un exemple de réussite d'un travail pluridisciplinaire illustrant les difficultés de ce type d'entreprise, chaque spécialiste devant accepter la contribution majeure d'une discipline différente pour parvenir à un résultat. Cela implique aussi, pour le géophysicien en particulier, d'adopter une démarche originale pour mener à bien ses interprétations.

Même si les marges d'erreurs demeurent importantes, les géologues obtiennent ainsi une évaluation du taux de sédimentation caractérisant à la fois une situation géologique et une aire géographique, ainsi que son évolution dans le temps avec le climat et avec la nature des activités humaines. Ces valeurs sont certes très ponctuelles dans l'espace et dans le temps et elles doivent, pour être bien valorisées, contribuer à l'alimentation d'une banque de données dont la consultation autorisera l'élaboration de schémas plus généraux.

Références

- AUBERT M., DUPIS A., LENAT J.F., ROUX J., SENAUD G. (1979). – Exploration géophysique de la fosse volcano-tectonique du Cantal, *C.R. Acad. Sci., Fr., Paris*, (D), **288**, pp. 215-218.
- BOSSUET G., RUFFALDI P., MARTIN J., CHOQUIER A. (1993). – Reconnaissance du contexte géologique et de la nature du remplissage d'un bassin lacustre du Jura Méridional - le Lac Ccrin, *Eclogae Geol. Helv.*, **86**, n° 2, pp. 355-376.
- CAMPY M., HEIM J., RICHARD H. (1985). – Dynamique du comblement et contexte climatique du remplissage tardi et postglaciaire du lac de Chaillexon (Doubs, France), *Ecologia Mediterranea*, **10**, (1), pp. 135-146.
- DUPIS A., GIBERT J.P. (1977). – Apport de la magnéto-tellurique de faible profondeur aux études hydrogéologiques : l'exemple de l'aire d'émergence d'eaux hyperthermales de Chaudes-Aigues (Cantal, France), *C.R. Acad. Sci., Fr., Paris*, (D), **285**, pp. 139-142.
- DUPIS A. (1989). – Selected examples of induction studies in continental regions, including A-M-T prospection, for natural resources, *Géodynamique*, **4**, (1), pp. 19-38.
- DUPIS A., VINCENT B., GAUTHIER F., BOSSUET G. (1991). – Application de la Radio magnéto-tellurique aux études préalables au drainage agricole, *Sci. sol.*, **29**, 3, pp. 231-243.
- JUDSON S., RITTER D.F. (1964). – Rates of regional denudation in United States, *J. Geophys. Research*, **69**, pp. 3395-3401.
- KEMP A.L.W., HARPER N.S. (1976). – Sedimentation rates and a sediment budget for Lake Ontario, *J. Great Lakes Res.*, **2**, 2, pp. 324-340.
- KEMP A.L.W., DELL C.L., HARPER N.S. (1978). – Sedimentation rates and a sediment budget for Lake Superior, *J. Great Lakes Res.*, **4**, 3-4, pp. 276-287.
- LAMY A., ROUSSEAU R. (1991). – Dynamique sédimentaire dans un lac proglaciaire, Thèse, Mém. géol., Univ. Dijon, **15**, 120 p.
- MACAIRE J.J., COCIRTA C., DE LUCA P., GAY I., DE GOER DE HERVÉ A. (1992). – Origines, âges et évolution des systèmes lacustres tardi et postglaciaires dans le bassin du lac Chambon (Puy-de-Dôme, France), *C.R. Acad. Sci., Fr., Paris*, **315**, II, pp. 1119-1125.
- ROBINSON A.R. (1978). – Relationship between soil erosion and sediment delivery, *Int. Ass. Hydrol. Sci., Pub.*, **122**, pp. 159-161.

RECOMMENDATIONS TO AUTHORS

Géologie de la France is a journal aiming at researchers, teachers, those to whom the knowledge of geology is essential to their work and the general interested public in France and elsewhere. It is devoted to the publication of results of projects related to all disciplines of the Earth Sciences, both in France and in the surrounding regions.

Papers may cover fundamental geological knowledge, or be related to specific research or applied geology programmes.

The aim is to cover all aspects of both subsurface and surface geology. By taking into account surrounding regions, studies need not be restricted by national boundaries, but can take into account entire geological entities.

The journal welcomes publications from both French and other authors, both full-length papers and short notes.

MANUSCRIPTS

Three copies of typed manuscript (accompanied by a 3.5" diskette [PC or Macintosh] in Microsoft Word or revisable format such as RTF) and of the illustrations should be addressed to the Chief Editor. These will be sent to two referees for review. On acceptance, authors will be invited to return the final corrected manuscript (accompanied by a 3.5" diskette) and the original of the figures.

LANGUAGES

Both French and English are accepted languages for *Géologie de la France*.

PAPERS

Length

Articles should not exceed 15 printed pages, including illustrations and references.

As an indication, 80 typed lines of 80 characters of spaces correspond approximately to one printed page.

Layout

The Layout of the article should be as follows:

- *Title*.
- *Running title*: maximum of 60 characters, including spaces, when the full title exceeds this length.
- *Author(s)*: provide the name, given name (in full), and address (in full) of each author.
- *List of contents*.
- *Abstract* in the language of the text (maximum 2,000 characters, including spaces).
- *Extended Abstract* of between one and two printed pages (about 6,000 to 12,000 characters, including spaces). The Extended Abstract, which will be published in the second language of the *Chronicle* (i.e. French or English) should be accompanied, if possible, by a translation into this second language. The Chief Editor will arrange for the translation to be verified or for the original to be translated.
- *Text of the article*.
- *Acknowledgements*.
- *References* for all authors cited in the text and figure/table captions.

– *List of illustrations* (figures, tables and photo plates) with their titles and captions (if possible in both French and English)

– *The illustrations*, each on a separate page.

Technical data

Manuscripts should be typed double-spaced in 12 pt characters on one side only of size A4 paper (21 × 29.7 cm), with approximately 3 cm margins to either side.

The text, including *title* and *author names* should be in lowercase letters, with uppercase being used only where required by normal practice, such as for the first letter of sentences and of proper names.

Standard abbreviations should be used (cm, m, Ma, t, °C, NW-SE, Pb, etc.), and units of measurement should comply with international standards.

Citations

References in the text to other articles should merely indicate the name of the author (or both authors when there are two) followed in parenthesis by the publication date of the article; if the article in question has more than two authors, the expression "*et al.*" should be used (in italics) after the first author; if the citation does not form an integral part of the sentence then the whole reference should be parenthesis – e.g. "according to Köppel (1983), Robert and Kelly (1987a) and Bastos Neto *et al.* (1991) this approach is perfectly valid..." or "... such an approach has been used successfully in other fields (Köppel, 1983; Robert and Kelly, 1987a; Bastos Neto *et al.*, 1991)".

List of References

The References should include all the citations quoted in the text and only those citations. It should list the authors alphabetically and then chronologically when several references by a same author are given. If references are made to different articles by a same author for a given year, these should be distinguished by appending a, b, c etc., to the year (e.g. 1990a). References with more than two authors beginning with the same author (the rest may be different) in the course of a single year, should also be distinguished by adding a, b, c, and so on, to that year.

Citations should be listed as follows and as shown in the examples below: *the name(s)* of the *author(s)*, (each) followed by the author's initial(s) or name; the *date of publication* (in parentheses); then:

for articles in a journal: the full title of the article; the full name of the journal (in italics); the volume number (in bold), and the first and last page numbers.

for books: the full title of the book; the name of the publisher; the number of pages in the book.

for articles in a book or volume of collected papers: the name(s) of the editor(s); the title of the book or volume; the name of the publisher; the first and last page numbers of the article in question.

References should be typed complete with accents in lower case, and should follow the punctuation given in the examples below:

Bastos Neto A., Charvet J., Touray J.-C., Dardenne M. (1991) – Evolution tectonique du

district à fluorine de Santa Catarina (Brésil) en relation avec l'ouverture de l'Atlantique. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **162**, 503-513.

Deroin J.P., Girault F., Rouzeau O., Scanvic J.Y. (1993) – Cartographie géologique en Velay : aspects méthodologiques de l'étude par télé-détection et présentation des résultats. *Géologie de la France*, n° 1, 3-13.

Illustrations (figures, tables, photographic plates)

The original illustrations should only be submitted with the final manuscript. They should each be on a separate sheet and numbered according to the order in which they are cited in the text.

Authors must ensure that all the place names mentioned in the text are shown on the corresponding figures, or that they are cited with reference to another location shown on one of the figures (e.g. "10 km northeast of Paris").

All figures must be submitted on a medium that allows quality reproduction (tracings or black and white prints). Lines, patterns and lettering must be of a suitable weight and size that they can (if necessary) be reduced to fit one or more columns of a *Chronicle* page; for this reason only graphic scales are acceptable on maps and diagrams.

Tables should, where possible, be prepared so that they can be reproduced directly onto one or more columns of a *Chronicle* page.

Photo plates, in black and white, should be of high quality and no larger than the *Chronicle's* effective page size (18 × 25 cm).

Colour reproductions of figures and photo plates are possible at the specific request (and also at the expense) of the author(s).

Copyright

It is entirely the author's responsibility to obtain permission to use previously published material and the *Chronicle* will request a relevant release form from the author that this has been done.

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COMMUNICATIONS

Scientific and technical communications should not exceed 5 printed pages in length including the text, references and illustrations. The presentation should be outlined above for scientific articles, except that the *abstracts* in French and English should be of the same length and should not exceed 1500 characters (including spaces). The text will be reviewed by a single referee.

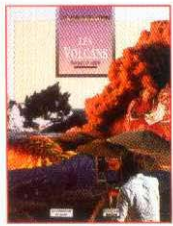
CORRECTION OF PROOFS

Only one set of proofs will be sent to authors for proof-reading. If a paper has several authors, the proofs will be sent to the author who originally submitted the paper.

Corrected proofs should be returned to the editor within two weeks.

The editor reserves the right to make any necessary corrections, without incurring liability, should the author fail to return proofs within the specified time, thereby jeopardising the publication deadline. Corrections must be limited to typographical errors only.

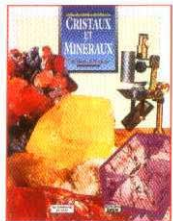
LES SECRETS DE LA TERRE



A la fois redoutés pour leurs imprévisibles colères destructrices et fascinants par le spectacle grandiose de leurs éruptions, les volcans dispensent aussi des bienfaits grâce à l'extraordinaire fertilité de leurs sols, aux matériaux qu'ils rejettent et aux eaux thermales qu'ils réchauffent en leur sein. Jadis, sièges des dieux ou de l'enfer, les volcans font maintenant l'objet d'études scientifiques de plus en plus sophistiquées visant à reconstituer leur histoire individuelle, à comprendre leur fonctionnement et à diminuer les risques qu'ils font encourir. Les volcans seront encore pour quelques milliards d'années les fidèles et dangereux compagnons des hôtes de notre planète.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.

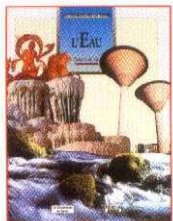
Référence 000204 - **Prix : 96 FF.**



Bien que toute naturelle la perfection des cristaux répond à des règles physiques et chimiques ordonnées. Naître, grandir et vieillir telle est la destinée du cristal à l'intérieur des roches qui composent la croûte terrestre. La minéralogie est la science qui permet de découvrir cette merveilleuse organisation où se mêlent, en toute modestie, les simples cristaux aux extraordinaires joyaux. Dès la préhistoire, l'Homme s'intéresse au minéral, depuis, une large place lui est consacrée dans l'évolution du savoir, des sciences et des techniques les plus modernes. Avec cet ouvrage nous vous invitons à découvrir une extraordinaire saga du règne minéral.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.

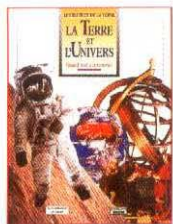
Référence 000205 - **Prix 96 FF.**



L'eau, source de vie, à l'origine de la formation de la terre, est une substance extraordinaire aux propriétés multiples, c'est aussi un des éléments clés avec le ciel et la terre. La molécule d'eau "H₂O", est présente dans notre quotidien sous trois formes : l'eau, la glace et la vapeur. La valeur de l'eau est inestimable, première ressource minérale du monde, sa protection et sa gestion sont indispensables à la survie de l'humanité, du règne animal et végétal. Alors, partons à la découverte de ce formidable élément indispensable à notre vie.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.

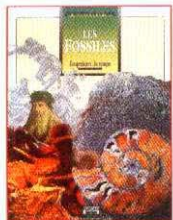
Référence 000206 - **Prix : 96 FF.**



Il y a quinze milliards d'années, le commencement de notre univers a été marqué par une colossale explosion, le big bang. Il est le coup d'envoi simultané de l'énergie, du temps, de l'espace et de la matière, c'est-à-dire de tout ce qu'il faut pour faire un monde. Dix milliards d'années plus tard, dans un système stellaire en formation, une petite planète, qui deviendra bleue, connaît une évolution géologique et biologique étonnante. L'Homme d'aujourd'hui, qui en est un des extraordinaires aboutissements, a su reconstituer cette histoire inouïe.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.

Référence 000201 - **Prix : 96 FF.**

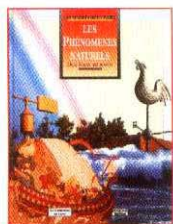


Des mythiques dinosaures, aux plus petites coquilles marines, c'est un voyage dans le monde de la paléontologie qui nous invite à la découverte de l'histoire de notre planète à travers sa fantastique évolution biologique.

Les fossiles, rouage d'une fabuleuse machine à remonter le temps, nous entraînent si près des frontières de l'étrange, que vous ne pouvez l'imaginer.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.

Référence 000203 - **Prix : 96 FF.**



Les phénomènes présentés sont naturels, certes, mais ils étonnent soit par leur soudaineté, soit par leurs conséquences catastrophiques, soit par leur beauté ...

Des cyclones aux marées, de l'orage à l'arc-en-ciel, des geysers aux aurores boréales, une promenade à travers la météorologie, la géologie, l'océanographie et aussi l'histoire des Sciences.

64 pages en couleurs, format 28 x 21 cm, relié.

Référence 000202 - **Prix : 96 FF.**

A paraître :

Environnement, la vie de notre planète

Dinosaures, la nuit des origines

Espèces disparues, les oubliés de l'histoire

Tremblements de Terre, la colère des profondeurs

Les climats, de la pluie et du beau temps

Les richesses de la Terre, mode d'emploi

BON DE COMMANDE à remettre à votre librairie ou à défaut, à retourner aux
Editions BRGM - BP 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2, France

A EXPÉDIER :

Nom

Prénom

Adresse

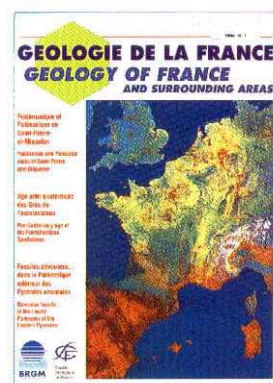
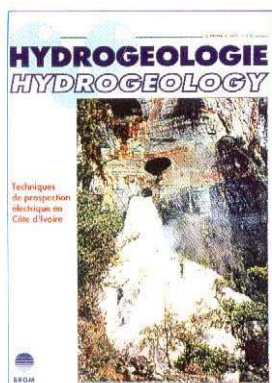
.....

.....

Date

Signature

		PRIX UNITAIRE	TOTAL
☐ LA TERRE ET L'UNIVERS	exemplaire(s)	96 FF	FF
☐ LES FOSSILES	exemplaire(s)	96 FF	FF
☐ LES PHÉNOMÈNES NATURELS	exemplaire(s)	96 FF	FF
☐ LES CRISTAUX ET MINÉRAUX	exemplaire(s)	96 FF	FF
☐ L'EAU	exemplaire(s)	96 FF	FF
☐ LES VOLCANS	exemplaire(s)	96 FF	FF
FRAIS DE PORT		15 F par exemplaire	
TOTAL GÉNÉRAL			



Revue scientifique et technique, Hydrogéologie est destinée aux spécialistes de l'eau souterraine : chercheurs conduisant des travaux sur les processus hydrodynamiques et géochimistes, modélisateurs, ingénieurs et praticiens de la prospection, de l'exploitation et de la gestion des nappes. Dedicée à un seul objet, l'eau souterraine et ses interfaces, Hydrogéologie publie des travaux concernant aussi bien les milieux de climat tempéré que les zones tropicales et arides.

Les articles peuvent porter sur des avancées dans la connaissance fondamentale et son application, des présentations de nouveaux outils, des études de cas ou encore des synthèses thématiques ou régionales. Régulièrement, la revue publie des numéros thématiques. Elle procède également à des analyses d'ouvrages et à des présentations de séminaires et colloques.

Hydrogéologie is a scientific and technical journal aiming at ground-water specialists, including researchers studying hydrodynamic processes, and geochemists, modellers, engineers and technicians prospecting for, exploiting or managing ground-water. Entirely devoted to ground water and related subjects, Hydrogéologie publishes papers on topics in temperate as well as in tropical and arid zones.

Papers may cover advances made in fundamental knowledge and their applications, introduce new tools, discuss case histories or review particular themes or regions. The journal publishes entire issues devoted to specific themes on a regular basis. It also presents book reviews and covers seminars and conferences.

Prix de vente au numéro :

Année en cours et année précédente : 190 F
Année antérieure (réduction de 50 %) : 95 F

Règlement par chèque bancaire libellé au nom des Éditions BRGM - BP 6009
45060 Orléans Cedex 2

La Chronique de la recherche minière s'adresse aussi bien aux scientifiques qui font progresser les connaissances fondamentales sur la géologie des gîtes minéraux qu'aux géologues d'exploration.

Les contributions proposées à la revue doivent être inédites et traiter de sujets relatifs aux gisements de métaux et de minéraux industriels (descriptions de gisements, synthèses régionales ou thématiques, case histories de découvertes) et à leur prospection (méthodes et outils d'exploration) ; elles peuvent également concerner les méthodes de traitement et l'économie minière.

A côté des articles scientifiques, les communications scientifiques et techniques sont destinées à favoriser la publication rapide de résultats nouveaux sur des sujets qui n'ont pas encore fait l'objet d'études scientifiques détaillées (par exemple une découverte de gisement), ou pour présenter de courtes contributions sur des sujets techniques d'intérêt général.

Chronique de la Recherche Minière is a journal aiming at both researchers studying the fundamental geology of mineral deposits and exploration geologists.

Contributions to the journal must not have been previously published and should cover topics relating to metalliferous and industrial mineral deposits (descriptions of deposits, regional and thematic reviews, case histories of discoveries) and their prospecting (methods and tools used); contributions will also be welcome on methods of processing and on mining economics.

Apart from scientific papers, the scientific and technical communications are aimed at enabling rapid publication of new results relating to work which has not yet been the subject of detailed scientific study (for example, the discovery of a deposit), or at providing short contributions on technical subjects of general interest.

Destiné aux chercheurs, enseignants, praticiens, tout public français ou étranger, Géologie de la France a pour vocation de diffuser les résultats de travaux relevant de toutes les disciplines des Sciences de la Terre et concernant le territoire français et les régions voisines.

Ces travaux peuvent relever de la connaissance géologique de base, correspondre à des actions de recherche ou être liés à des opérations de géologie appliquée.

L'objectif est d'appréhender tous les aspects de la géologie du substrat comme ceux de la surface. La prise en compte des régions voisines traduit le souci de ne pas être lié à des limites administratives mais de favoriser la compréhension d'ensembles géologiques cohérents.

Géologie de la France est ouvert à tous, auteurs français et étrangers. La revue accueille tout à la fois des articles importants et des notes brèves.

Géologie de la France is a journal aiming at researchers, teachers, those to whom the knowledge of geology is essential to their work and the general interested public in France and elsewhere. It is devoted to the publication of results of projects related to all disciplines of the Earth Sciences, both in France and in the surrounding regions.

Papers may cover fundamental geological knowledge, or be related to specific research or applied geology programmes.

The aim is to cover all aspects of both sub-surface and surface geology. By taking into account surrounding regions, studies need not be restricted by national boundaries, but can take into account entire geological entities.

The journal welcomes publications from both French and other authors, both full-length papers and short notes.

Abonnement 1997 :

Abonnement par revue :

Abonnement aux 3 revues, 12 numéros

France : 650 F

France : 1 800 F

Étranger : 700 F

Étranger : 1 900 F

Chèque à établir à l'ordre de : Éditions BRGM, 3 avenue Claude Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2

ISSN 0246-0874 © Éditions BRGM - BP 6009
45060 Orléans Cedex 2 - France
Directeur de la publication : Gérard Sustrac
Commission paritaire : N° 624 ADEP
Dépôt légal : 4^e trimestre 1996
Imprimerie P. Oudin, Poitiers, France.



9 780246 087409