

# Le lac d'Issarlès : du nouveau par 108 m de fond

*Le lac d'Issarlès lors du carottage effectué du 28 au 30 septembre 2020.  
La plateforme flottante UWITEC™ utilisée pour cette opération  
émerge de la brume au petit matin du 30 septembre*

1. - DELEBECQUE (André), *Les lacs français*, Chamerot et Benouard, Paris, 1898, 436 p.

2. - Fin du XIX<sup>e</sup> siècle pour les plus anciennes.

3. - Pente, existence de plages lacustres - appelées beines littorales lacustres - issues de l'accumulation de matériaux venus des versants.

4. - Sources, pertes, etc.

5. - Celle d'un cours d'eau, d'une zone humide, d'une nappe phréatique, etc.

6. - De *pyro* : feu et *claste* : fragment ; dépôts issus de roches fragmentées par l'éruption.

7. - Ici, l'aire au sein de laquelle toutes les eaux de pluie se rassemblent vers le lac.

8. - Terme allemand inventé dans la région de l'Eifel pour désigner un lac occupant un cratère d'explosion entouré d'un rempart de débris volcaniques.

9. - Point un peu plus bas dans le tuff ring, par où l'eau peut déborder et sortir du cratère.

Emmanuel CHAPRON  
Emmanuelle DEFIVE  
Victor ARRICAU  
Guillaume JOUVE  
Antoine THOUVENOT  
Jean-Paul RAYNAL

## 1) Sonder et cartographier les profondeurs lacustres

Depuis les travaux pionniers d'André Delebecque, ingénieur des Ponts-et-Chaussées, et la publication de son ouvrage « *Les lacs Français* » en 1898<sup>(1)</sup>, nous disposons d'un grand nombre de cartes qui précisent la topographie subaquatique de la majorité des lacs du territoire de la France métropolitaine. Ces cartes, dites « bathymétriques », permettent de savoir quelles étaient, à la date de leur établissement<sup>(2)</sup>, la profondeur maximale des plans d'eau et la morphologie de leurs rives<sup>(3)</sup>. Elles fournissent aussi des indications complémentaires sur le fonctionnement hydrologique de ces lacs<sup>(4)</sup>.

Dans le Massif central, ces travaux ont permis de caractériser la morphologie des principaux lacs de maar. Ces lacs d'origine volcanique occupent le creux formé par de très violentes éruptions volcaniques liées à la rencontre, non loin de la surface, entre

du magma très chaud en cours d'ascension et de l'eau<sup>(5)</sup> dont la vaporisation brutale est à l'origine d'explosions qui pulvérisent les roches dans l'axe du conduit éruptif (fig. 1). Ce matériel est mélangé aux fragments de la lave fraîche de l'éruption et propulsé très haut dans l'atmosphère. Il finit par retomber et se dépose au pourtour du cratère de forme circulaire : ainsi se construit un anneau de dépôts pyroclastiques<sup>(6)</sup> ou « tuff ring », formé de lits empilés correspondant à autant d'explosions jusqu'à épuisement de l'eau, de la lave ou des deux. Ces lacs ont généralement de tout petits bassins versants<sup>(7)</sup>. Néanmoins, les eaux de pluie et souvent l'eau qui circule dans les masses rocheuses finissent par occuper et remplir le cratère pour former un lac dit « de maar »<sup>(8)</sup>. Elles s'en échappent par des fissures dans la masse rocheuse (sortes de fuites dans le réservoir), ou à travers le tuff ring en profitant de sa porosité, ou bien encore après s'être élevées suffisamment pour trouver un exutoire<sup>(9)</sup> et y avoir ouvert une brèche par érosion.

## 22 | Le lac d'Issarlès : du nouveau par 108 m de fond

Le lac d'Issarlès est l'un de ces lacs de maar (fig. 2). Sa profondeur, 108 m, connue depuis les travaux de Delebecque, en fait le lac volcanique le

plus profond de France (fig. 3) et le troisième plus profond lac français derrière le Léman (309 m) et le lac du Bourget (145 m).

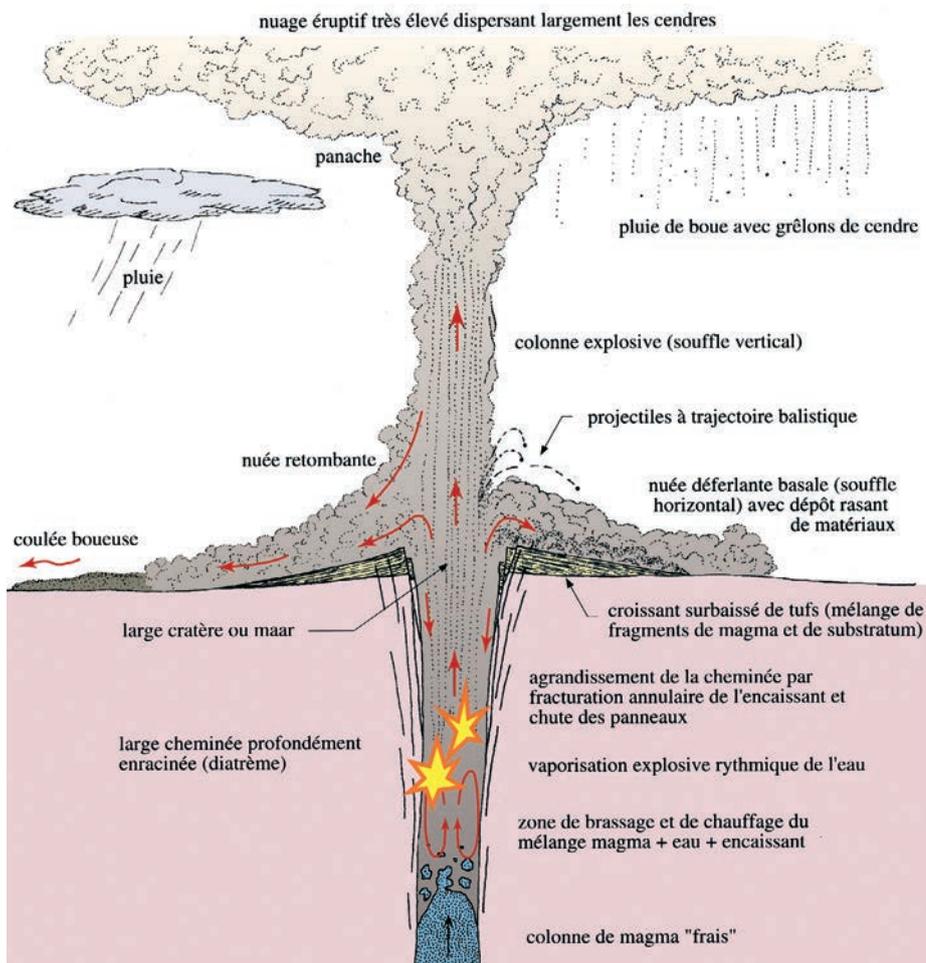


Figure 1 : Schéma-type d'une éruption phréatomagmatique (d'après Le volcanisme – Lexique, CRDP de Clermont-Ferrand, 1985, modifié)

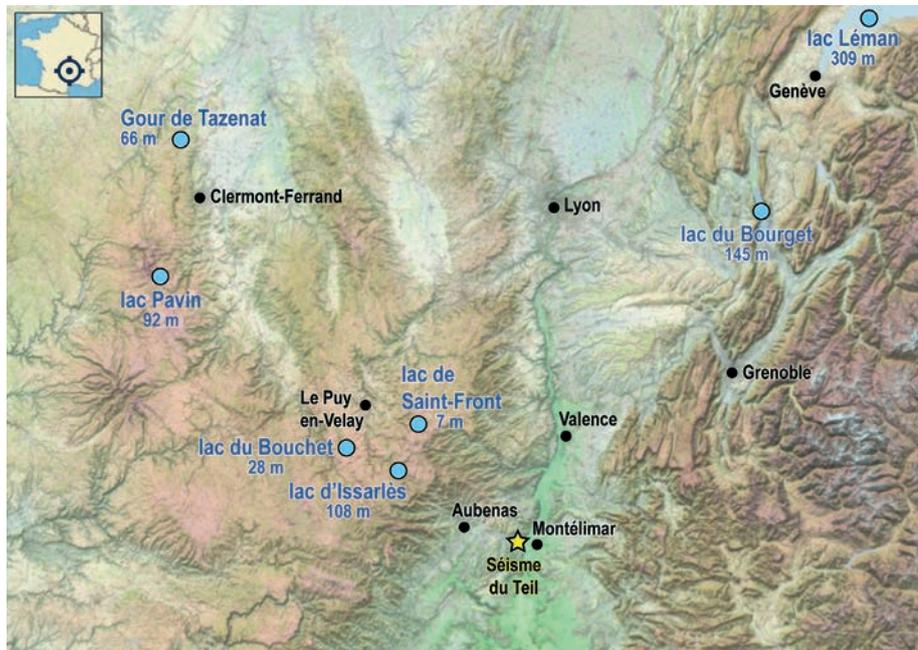


Figure 3 : Localisation et profondeur du lac d'Issarlès et d'autres lacs français remarquables évoqués dans l'article. L'étoile jaune permet de situer le séisme du Teil survenu le 11 novembre 2019 et dont il est question plus loin dans cet article





*Figure 2 :  
Montage photographique  
permettant d'imaginer très  
approximativement ce à quoi  
a pu ressembler l'éruption  
phréatomagmatique à l'origine  
du maar du Lac d'Issarlès*

Les cartes bathymétriques de Delebecque et de ses successeurs ont pu être réalisées notamment grâce au « Sondeur Belloc » (photo 2 et fig. 4), développé par André Belloc dans les lacs des Pyrénées quelques années plus tôt. Ce sondeur, transportable dans une boîte en bois de dimension modeste<sup>(10)</sup>, ne pesait que 5 kg. Il consistait en un câble fin en acier enroulé sur un tambour, passant par un système de poulies, et muni à son extrémité d'un lest de plomb de 2 kg qui était descendu dans l'eau depuis un bateau à l'aide d'une petite potence<sup>(11)</sup>. Un système de compte-tours suffisamment fiable (une poulie de circonférence bien déterminée) permettait de savoir précisément quelle longueur de câble avait été déroulée avant que le lest de plomb n'atteigne le fond du lac. La fiabilité des cartes d'André Delebecque repose aussi sur la précision des mesures que son équipe technique pouvait réaliser depuis le rivage pour positionner géographiquement le bateau d'où étaient effectués les relevés de profondeur. Ces mesures de position consistaient en un levé trigonométrique depuis le littoral, à l'aide d'une longue vue et d'un mât gradué placé sur le bateau. Chaque point de mesure de la profondeur (bathymétrie) pouvait ainsi être positionné par ses coordonnées en latitude<sup>(12)</sup> et longitude<sup>(13)</sup>. Le bateau réalisait plusieurs traversées parallèles les unes aux autres mais décalées, de manière à couvrir régulièrement, grâce à ces transects, toute la surface du lac. À partir de tous les points de mesure replacés sur une carte, il était possible de dessiner des lignes d'égale profondeur (appelées isobathes) espacées de 5 à 10 m<sup>(14)</sup> selon la profondeur du lac ou le niveau de précision souhaité.

Ainsi fut réalisée la carte bathymétrique du lac d'Issarlès publiée en 1898 (fig. 5). Entre le niveau de l'eau et la profondeur de 100 m, les isobathes, bien qu'équidistantes de 10 m, sont resserrées et témoignent de la forte pente des versants internes du cratère. Au-dessous de 100 m de profondeur, une courbe supplémentaire à 105 m est tracée en pointillés pour détailler la topographie aplanie du bassin central du lac, circulaire et large d'environ 300 m à 400 m, où le point le plus profond, à 108 m, est également positionné.

10. - 30 x 30 x 20 cm.

11. - Une flèche démontable.

12. - En degrés nord.

13. - En degrés est.

14. - On parle d'équidistance : sur une carte topographique (ou bathymétrique), la valeur de la dénivellation ou différence d'altitude entre deux courbes voisines est toujours la même, 10 m par exemple. Ainsi, lorsque l'on passe d'une courbe à l'autre, on monte ou on descend chaque fois de 10 m. La pente peut ainsi être exprimée par le plus ou moins grand resserrement des courbes. Lorsque les courbes sont espacées les unes des autres, la pente est faible ; lorsqu'elles se resserrent cela veut dire que la pente s'accroît.

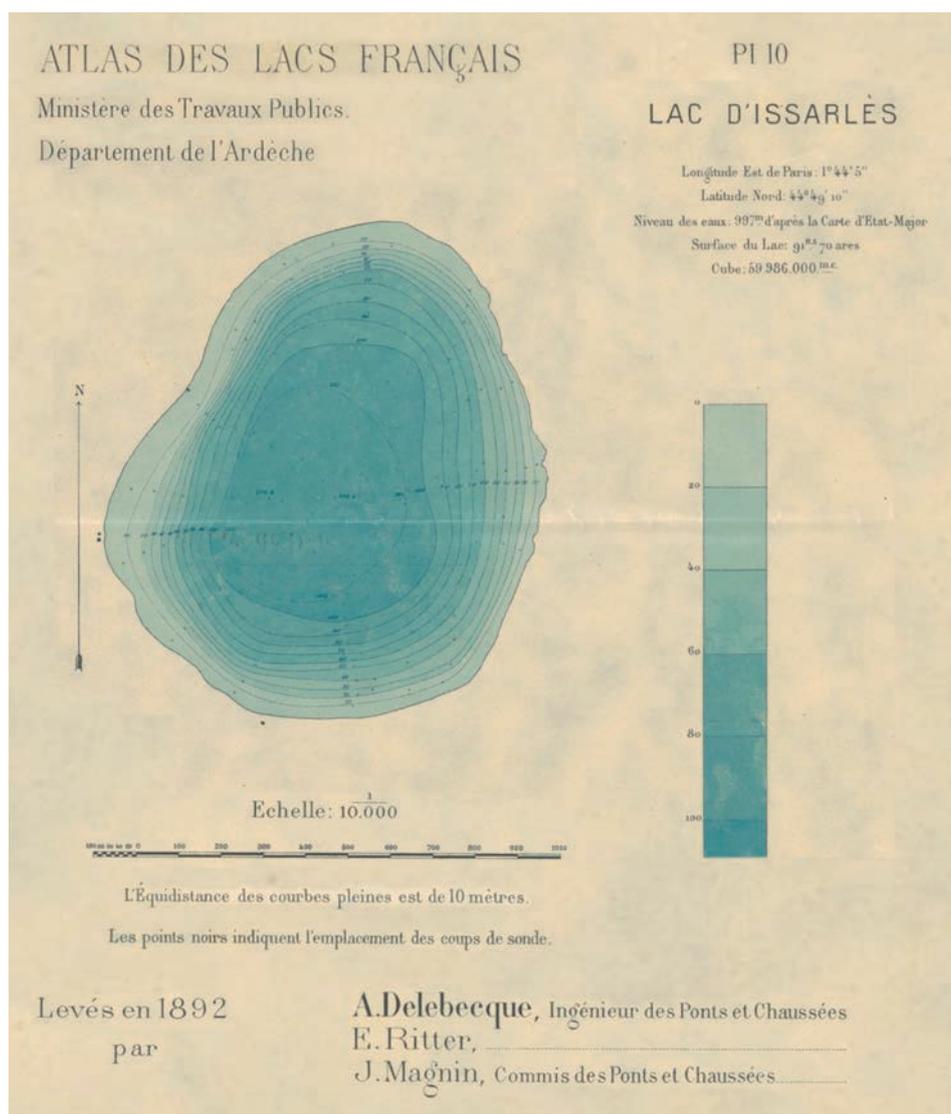


Figure 5 : Carte bathymétrique du lac d'Issarlès publiée par André Delebecque en 1898 ; document recomposé (source : DELEBECQUE (André), *Les lacs français*, Chamerot et Benouard, Paris, 1898, 436 p.)

## 2) Sous 108 m d'eau, 30 m de sédiments

Comme tous les lacs, les maars sont des pièges à sédiments. Dans leur fond s'accumulent des particules minérales et organiques qui proviennent de l'érosion des roches et des sols du bassin versant et que les cours d'eau et les ruissellements transportent jusqu'au lac. Le matériel se dépose en priorité sur les rives, d'autant plus qu'il est grossier, seules les plus fines particules parvenant en suspension jusqu'au milieu du lac avant d'y décanter. Dans le même temps, l'activité biologique végétale et animale liée à la masse d'eau<sup>(15)</sup> alimente également la sédimentation<sup>(16)</sup>.

Enfin, le vent peut apporter des particules fines<sup>(17)</sup>. Ainsi, au pourtour du lac, se forment des plages de dépôt (les beines lacustres) plus ou moins sableuses et riches en macro-débris végétaux (bois, charbons, feuilles), tandis qu'au cœur du lac s'accumulent des vases argileuses à argilo-limoneuses plus ou moins organiques, qui forment les dépôts de cœur de lac, normalement fins et bien lités. Des niveaux plus grossiers (sableux, sablo-graveleux) et en vrac liés soit à de grosses crues soit à des glissements de terrain<sup>(18)</sup> peuvent cependant s'y intercaler. En même temps qu'ils perturbent la sédimentation de cœur de lac, ils fournissent des indications intéressantes sur les événements qui les ont déclenchés.

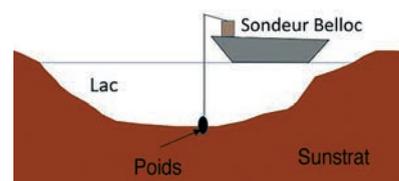


Figure 4 : Principe du relevé bathymétrique avec le sondeur « Belloc » (source : Arricau, 2020, modifié ; voir note 41 pour la référence complète)

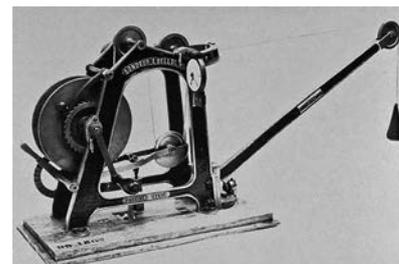


Photo 2 : Sondeur « Belloc » ayant permis d'établir la bathymétrie et de déterminer la profondeur du lac d'Issarlès à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle (source web : <https://www.lacsdespyrenees.com/belloc.php>)

15. - Végétation des berges, végétation aquatique poussant sur la partie immergée des plages lacustres (beines lacustres), micro-organismes planctoniques présents dans la masse d'eau, tels les diatomées.
16. - Macro et micro-débris végétaux, coquilles et squelettes des êtres vivants présents dans la masse d'eau et à son pourtour.
17. - Pollens de la végétation locale à régionale, poussières sahariennes, ou d'origine volcanique (les téphras), ou encore résidus d'essais ou de catastrophes nucléaires, etc.
18. - En lien avec le décrochement de masses de roche ou de terre depuis les versants dominant le lac, ou avec la déstabilisation de tout ou partie des dépôts de plage lacustre, le tout du fait d'un simple déséquilibre gravitaire, d'une surcharge sédimentaire, ou par suite d'une grosse crue ou d'un séisme.
19. - Aménagements liés au contrôle de la ressource en eau, activités agropastorales, aujourd'hui activité touristique, etc.
20. - En particulier pour la préservation de la qualité des eaux, de la biodiversité et des paysages.
21. - Variations de niveau des lacs, glissements de terrains, éruptions volcaniques, activité sismique, etc.
22. - Défrichements, agriculture, aménagements.
23. - Voir BONIFAY (Étienne) & TRUZE (Élisabeth), « Dynamique sédimentaire et évolution des lacs de maar : l'exemple du Velay », In BONIFAY (Eugène) (dir.), *Travaux français en paléolimnologie - Actes du colloque du Puy-en-Velay, 4, 5 et 6 octobre 1985*. Documents du C.E.R.L.A.T., mémoire n° 1,

Le Puy, 1987, pp. 29-60 ; BONIFAY (Étienne), « Le Lac du Bouchet, sa géologie, son histoire depuis 600 000 ans », *Les Cahiers de la Haute-Loire*, 2021, pp. 9-67 ; CHEDDADI (R.), MAMAKOWA (K.), GUIOT (J.), DE BEAULIEU (Jean-Louis), REILLE (Maurice), ANDRIEU (Valérie), GRANOSZEWSKI (W.) & PEYRON (Odile), « Was the climate of the Eemian stable? A quantitative climate reconstruction from seven European pollen records », *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, 143, 1-3, pp. 73-85 ; DE BEAULIEU (Jean-Louis), ANDRIEU-PONEL (Valérie), CHEDDADI (R.), GUITER (Frédéric), RAVAZZI (C.), REILLE (Maurice) & ROSSI (S.), « Apport des longues séquences lacustres à la connaissance des variations des climats et des paysages pléistocènes », *Comptes Rendus Palévol*, 2006, 5, pp. 65-72.

24. - PROMPT (Docteur), *Les eaux de Paris. Projet du Lac d'Issarlès*. Allier Frères, Grenoble, 1900, 32 p. ; AUROY (M.-F.), « Chute de Montpezat. Le percement du lac d'Issarlès, la conduite forcée et l'usine souterraine de Montpezat », *Annales de l'institut technique du bâtiment et des travaux publics*, 1956, 108, Série Travaux Publics 41, pp. 1101-1124 ; HUGO (Bernard), « L'aménagement hydro-électrique du bassin de l'Ardèche », *Revue de Géographie de Lyon*, 1959, 34, 2, pp. 113-139 ; JOURDE (Jean-Louis) & VIGNAL (Georges), avec la contribution de EYRAUD (Fortuné), « Aménagement hydro-électrique du lac d'Issarlès (1947-1953) : témoignage d'un mineur », *Les Cahiers du Mézenc*, n° 25, 2013, pp. 69-78 ; GARDÈS (Jean-Marc), « Les eaux du lac d'Issarlès à Lyon », *Les Cahiers du Mézenc*, n° 34, 2022, pp. 13-20.

25. - COUTEAUX (Michel), « Bilan des recherches pollenanalytiques en Ardèche (France) », *Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique*, 1984a, 117, pp. 181-196 ; COUTEAUX (Michel), « Recherches pollenanalytiques au lac d'Issarlès (Ardèche, France) : évolution de la végétation et fluctuations lacustres », *Bulletin de la Société royale de botanique de Belgique*, 1984b, 117, pp. 197-217.

26. - Plages ou beines lacustres.

27. - Jusqu'à + 6 m d'élévation durant la période du Boréal, soit entre environ 10 200 et 8 300 ans avant aujourd'hui.

28. - COUTEAUX, 1984, *op. cit.* (voir note 25).

29. - PONEL (Philippe) & GADBIN (C.), « Apports de la paléontologie à un épisode de l'histoire de la végétation des bords du lac d'Issarlès », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 1988, Série III, 307, pp. 755-758.

30. - RIOUAL (Patrick), *Diatom assemblages and water chemistry of lakes in the French Massif Central: a methodology for reconstruction of past limnological and climate fluctuations during the eemian period*, Thèse de doctorat, University College London, 2000, 519 p. La position de la courte carotte étudiée dans ce travail (entre autres carottes d'autres lacs et avec d'autres objectifs que ceux de notre étude) n'est pas connue ; on peut supposer qu'elle a été prélevée dans la plaine centrale en cœur de lac.

Compte tenu de ce fonctionnement, les sédiments piégés dans ces lacs constituent de précieuses archives sédimentaires, accumulées au fil du temps, depuis le moment de la création du lac jusqu'à aujourd'hui, et dont le décryptage permet de retracer l'histoire du lac et du contexte environnemental dans lequel il a évolué : fluctuations du climat et de la couverture végétale, activité sismique et volcanique locale et régionale, impact des activités humaines<sup>(19)</sup>, le tout se traduisant par des changements écologiques et paysagers plus ou moins importants. Les sédiments des lacs font ainsi l'objet d'études paléoenvironnementales qui fournissent de nombreuses informations utiles pour pouvoir, grâce à cette connaissance du passé, construire des scénarios d'évolution future et guider les choix de gestion de ces sites fragiles<sup>(20)</sup>.

L'étude des séquences sédimentaires lacustres nécessite le prélèvement des sédiments accumulés. C'est l'objet des opérations de carottage, qui permettent d'extraire des carottes sédimentaires qu'il faut ensuite ouvrir, dater et analyser aussi finement que possible. Lorsque les lacs ont été totalement comblés, ces carottages se font assez facilement depuis la surface du sol. En revanche, lorsque le lac existe encore et d'autant plus qu'il est profond, la réalisation d'un carottage est une opération technique délicate, qui doit être effectuée depuis une barge flottante avec des moyens conséquents.

Durant les années 1980, Eugène Bonifay (1927-2019) et ses collègues ont réalisé, à partir de carottes prélevées au moyen d'un carottier Mackereth à air comprimé (photo 3), toute une série d'études pionnières des remplissages sédimentaires des maars du Velay (lacs du Bouchet et de Saint-Front

notamment ; voire précédemment fig. 3), afin de reconstituer la chronologie et l'histoire du climat et de la végétation régionale et, plus largement, des changements environnementaux d'origine naturelle<sup>(21)</sup> et/ou liés aux activités humaines<sup>(22-23)</sup>.

Le lac d'Issarlès faisait partie des sites à étudier. Un premier carottage, le sondage « Bonifay », y fut réalisé en 1982 à la faveur d'une baisse importante du plan d'eau exploité par EDF depuis 1954 comme un réservoir hydroélectrique<sup>(24)</sup>. Nous ne disposons malheureusement pas des coordonnées géographiques de ce carottage qui permet d'extraire du bassin profond du lac, tel que représenté sur la carte bathymétrique de Delebecque, une carotte sédimentaire de 6 m de long. Dans les deux seuls articles ciblés sur l'enregistrement sédimentaire du lac d'Issarlès<sup>(25)</sup>, Michel Couteaux souligne que l'essentiel de la séquence sédimentaire extraite en 1982 est composé de glissements de terrains subaquatiques développés au cours des derniers millénaires, avant les aménagements d'EDF. Sur la base également de l'étude des dépôts sédimentaires littoraux<sup>(26)</sup> exondés par la baisse du lac, Couteaux montre que le lac d'Issarlès a connu des fluctuations lacustres significatives<sup>(27)</sup> et parfois brutales, posant alors la question du rôle de la sismicité. Les difficultés d'étude liées à ces importantes perturbations expliquent sans doute que les chercheurs d'alors n'aient pas davantage poussé les investigations. Depuis les articles de Couteaux (1984)<sup>(28)</sup>, celui de Ponel et Gadin (1988)<sup>(29)</sup> et la thèse de Rioual (2000)<sup>(30)</sup> comportant l'analyse des diatomées d'une carotte des 28,5 premiers centimètres de la séquence sédimentaire prélevés en 1997, le lac d'Issarlès n'a plus fait l'objet d'aucune investigation scientifique.



Photo 3 : Mise à l'eau d'un carottier Mackereth au lac du Bouchet par Eugène Bonifay et son équipe dans les années 1980 (source de la photographie : Cahiers de la Haute-Loire, 2021, p. 34, voir référence complète à la note 23)

### 3) Entre préoccupations environnementales et valorisation géopatrimoniale, un contexte favorable à la reprise des recherches

Le développement des techniques de carottage en lac et la miniaturisation des « sondeurs de sédiments » ont permis de relancer, depuis deux décennies, les recherches paléoenvironnementales et paléoclimatiques dans les lacs du Massif central<sup>(31)</sup>. Les sondages acoustiques à travers la tranche d'eau et les sédiments permettent aujourd'hui une restitution très fine de la bathymétrie et une visualisation détaillée de la géométrie des remplissages sédimentaires<sup>(32)</sup>.

Dans le même temps, l'attention croissante portée aux questions environnementales<sup>(33)</sup> et l'intégration récente des objets géologiques et géomorphologiques aux politiques de gestion des milieux et de préservation / valorisation des patrimoines<sup>(34)</sup> font ressortir les lacs comme des sites sensibles à enjeux multiples et pour partie contradictoires. Le lac d'Issarlès en est un parfait exemple dans la mesure où doivent s'y concilier :

- les nécessités de gestion d'un site « industriel » envisagé comme réservoir d'eau pour la production hydroélectrique et le soutien des étiages de l'Ardèche et de la Loire<sup>(35)</sup> ;

- la gestion d'un site touristique très fréquenté en période estivale et nécessitant pour cela à la fois le maintien d'un haut niveau d'eau, des eaux de qualité pour la baignade et l'entretien d'un cadre paysager attractif ;

- la gestion d'une masse d'eau également exploitée à l'année pour la consommation domestique de la commune et impliquant des eaux de qualité sanitaire irréprochable et une limitation des baisses de niveau qui risqueraient de tarir les sources captées sur les flancs externes du cratère ;

- la préservation d'un objet géologique et géomorphologique, d'un milieu écologique et d'un site paysager remarquables.

C'est dans ce contexte que de nouvelles recherches ont été relancées au lac

d'Issarlès<sup>(36)</sup>. Elles ont débuté, en juin 2019, par une campagne de cartographie sismique réflexion à haute résolution à l'aide d'un sondeur de sédiments KNUDSEN de 4 kHz<sup>(37)</sup> (fig. 6 et photos 4 et 5). Ce sondeur de sédiments est composé d'un sonar immergé comportant un émetteur et une dalle de réception, connecté à une unité d'acquisition numérique des signaux acoustiques, elle-même pilotée par un ordinateur portable et connectée à un GPS. Ce système canadien peut être alimenté par une simple batterie et donc facilement embarqué sur un bateau gonflable à motorisation électrique. Une nouvelle série de sondages acoustiques à plus haute fréquence

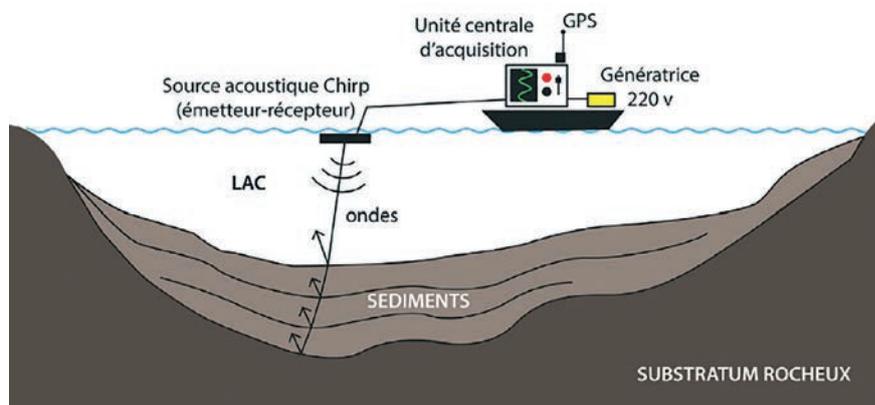


Figure 6 : Schéma illustrant le principe de la sismique réflexion. L'onde envoyée est réfléchiée par chaque interface en fonction des variations de densité du milieu entre l'eau, les différentes couches sédimentaires et le substrat rocheux (modifié, d'après CHASSIOT (Léo), Forçages naturels et anthropiques sur la sédimentation holocène en domaine lacustre. Application aux lacs d'Auvergne et aux réservoirs des bassins versants de la Loire et de l'Adour Garonne, Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre, Université d'Orléans, 2015, 500 p.)

(10 kHz) a été réalisée en septembre 2020<sup>(38)</sup> afin de collecter des profils de sismique réflexion encore plus détaillés.

La réalisation, en quelques heures, de grilles de navigation pilotées par GPS a permis, d'une part, de conforter la bathymétrie de Delebecque et de confirmer la valeur de 108 m pour la profondeur du lac (fig. 7), d'autre part, de déterminer l'épaisseur du remplissage sédimentaire : 30 m environ entre le fond du lac situé à 108 m sous la surface, et le toit du substrat rocheux<sup>(39)</sup> (fig. 8). La structure de ce remplissage a également pu être imagée. La ligne sismique réflexion 2 (fig. 9) révèle la géométrie chaotique du secteur où avait été réalisé le carottage « Bonifay » (1982) étudié par Couteaux<sup>(40)</sup>. Ce site semble

31. - CHAPRON (Emmanuel), FOUCHER (Anthony), CHASSIOT (Léo), FLEURDEUS (W.), ARRICAU (Victor), PERDEREAUX (Laurent), GAY-OVEJERO (Isabelle), LAVRIEUX (Marlène), MOTELICA-HEINO (Mikael) & SALVADOR-BLANES (Sébastien), « Evaluating Holocene natural hazards in the French Massif Central from a regional lake sediment approach », *Quaternary International*, 2021, accepté (20 p.), doi: 10.1016/j.quaint.2021.05.018.

32. - Visualisation possible de couches de dépôts épaisses de 20 à moins de 10 cm, suivant la fréquence utilisée (4 kHz / 10 kHz).

33. - En particulier à la bonne gestion des masses d'eau : quantité et qualité ; et à la préservation de la biodiversité.

34. - Notion de géopatrimoine.

35. - Cette exploitation est à l'origine de fluctuations importantes et répétées du niveau d'eau (marnage). Elle a aussi totalement transformé l'origine des eaux par la connexion de trois lacs de barrage (sur la Veyradeyre, le Gage et la Loire à La Palisse) avec le lac d'Issarlès. Le bassin hydrologique actuel du lac d'Issarlès est ainsi un bassin artificiellement agrandi, de manière considérable, par rapport au bassin versant topographique naturel du lac, et les eaux du lac résultent du mélange artificiel d'eaux provenant des bassins de la Veyradeyre, du Gage, du Tauron et de la Loire amont qui ont stagné un temps dans les lacs de barrage avant d'être déversées dans le lac d'Issarlès.

Photo 4 : à gauche, mise à l'eau de l'embarcation équipée du sondeur pour l'acquisition des données de sismique réflexion en juin 2019 et ayant permis de préciser la bathymétrie et la géométrie du remplissage sédimentaire du lac d'Issarlès



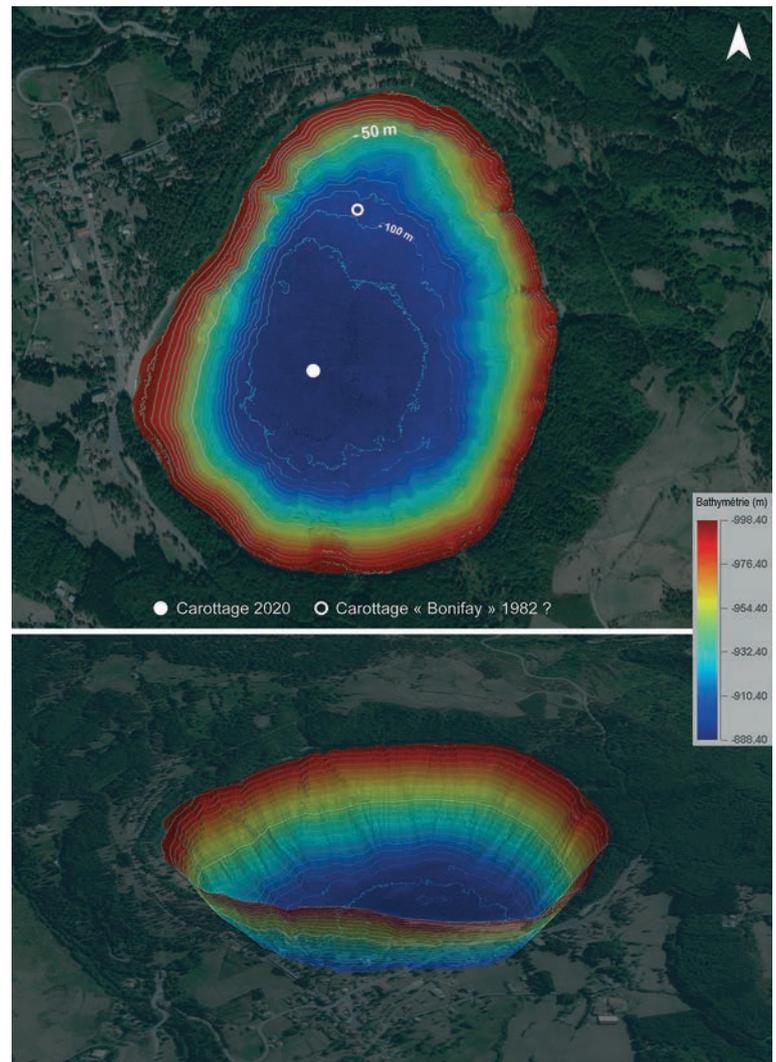
Photo 5 : à droite, acquisition en cours des données de sismique réflexion pendant la campagne de navigation de juin 2019 sur le lac d'Issarlès



essentiellement composé de glissements sub-aquatiques accumulés au pied des pentes du cratère dans sa partie nord. La ligne sismique réflexion 3 (fig. 10) montre au contraire un secteur constitué de dépôts lacustres finement stratifiés sur les sept à huit premiers mètres d'épaisseur de la séquence

sédimentaire. En-deçà, un faciès acoustique chaotique remarquable témoigne de la présence d'une accumulation sans structure faisant largement écran à la propagation du signal acoustique et dont la nature reste à déterminer (masse glissée ou autre origine ?).

Figure 7 : Bathymétrie du lac d'Issarlès. Images (vue en plan et vue 3D) réalisées par la société iXblue dans le cadre des recherches en cours, avec une équidistance de 5 m (valeur de la dénivellation entre chaque isobathe). L'isobathe - 50 m correspond au niveau jusqu'auquel l'eau du lac a été abaissée par EDF lors des travaux d'aménagement hydroélectrique (1947-1954). Les carottages réalisés en 1982 (sondage « Bonifay ») et en 2020 (nos travaux de recherche) sont positionnés sur la carte



36. - Au travers de plusieurs programmes de recherche, d'un collectif de chercheurs aux compétences complémentaires relevant de plusieurs laboratoires français et d'étudiants en stage de master (et prochainement en thèse) et grâce à l'implication et au soutien matériel et financier de plusieurs structures et institutions que nous remercions ici car rien ne pourrait se faire sans ce soutien : le Géoparc Mondial UNESCO des Monts d'Ardèche ; La Maison des Sciences de l'Homme, le laboratoire GEOLAB, l'Université Clermont Auvergne et la Fédération des Recherches en Environnement à Clermont-Ferrand ; le laboratoire GEODE et l'Université Jean Jaurès à Toulouse ; la municipalité du Lac d'Issarlès et sa maire, Laurence Prévost ; enfin les associations Les Amis du Mézenc et Archéo-Logis/CDERAD.

37. - Disponible au laboratoire GEODE de l'Université de Toulouse.

38. - Coordonnée par la société iXblue, La Ciotat.

39. - Cette épaisseur est déduite du temps nécessaire au signal acoustique envoyé par le sonar pour traverser la tranche d'eau, puis l'épaisseur des sédiments, buter contre le substrat rocheux et de là être renvoyée vers la surface en retraversant donc les sédiments puis la tranche d'eau jusqu'à la dalle de réception du sondeur acoustique à la surface du lac, soit 190 millisecondes (voir figure 6) ; 108 m d'eau + 30 m de sédiments équivalent à 190 millisecondes temps double.

40. - Couteaux, 1984, *op. cit.* (voir note 25).

## 28 | Le lac d'Issarlès : du nouveau par 108 m de fond

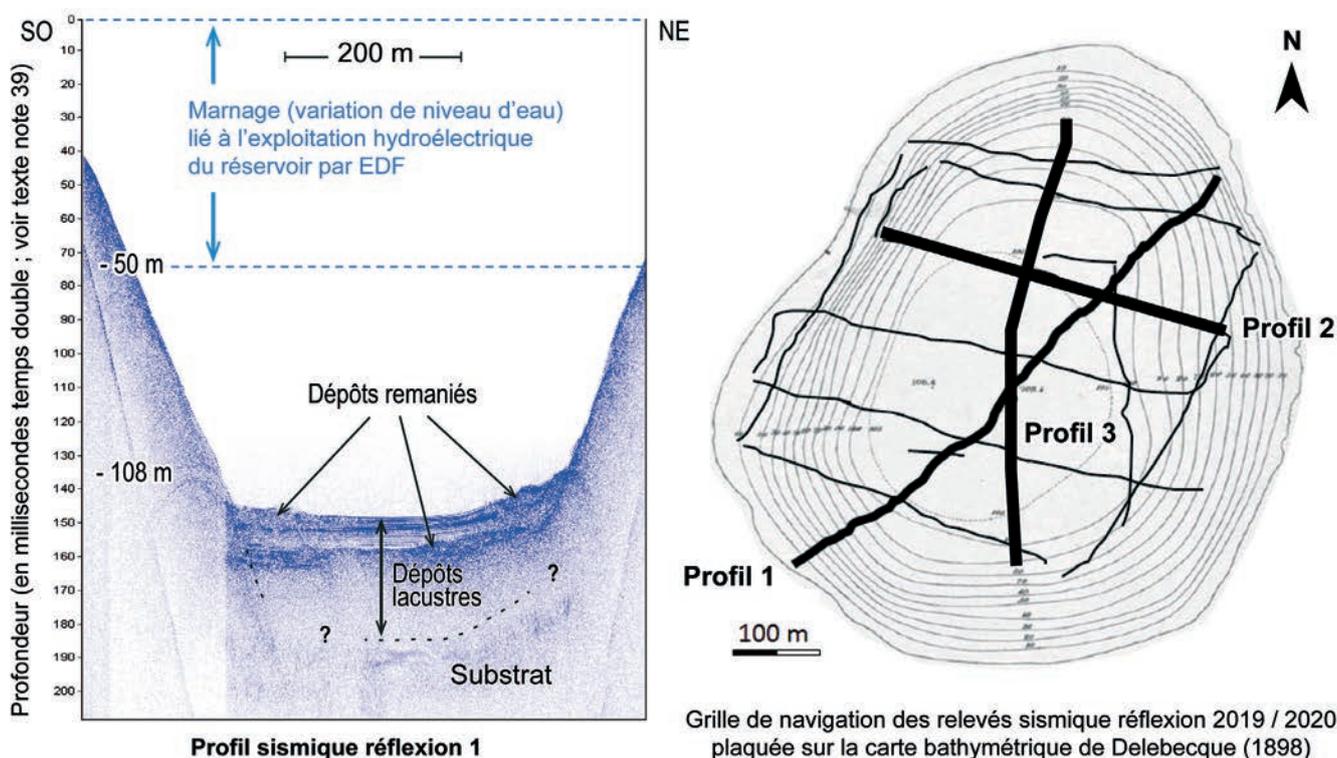


Figure 8 : Coupe au sondeur de sédiments (4 kHz) réalisée en 2019 en travers du lac d'Issarlès suivant la ligne de sismique réflexion n° 1 (sud-ouest / nord-est). L'isobathe 50 m correspond au niveau jusqu'auquel l'eau du lac a été abaissée par EDF lors des travaux d'aménagement hydroélectrique (1947-1954). L'enregistrement permet d'évaluer à une trentaine de mètres l'épaisseur des sédiments accumulés au fond du lac. La localisation des lignes de sismique réflexion 1 (cette figure), 2 et 3 (voir fig. 9 et 10) est surlignée en gras sur la grille de navigation de 2019 superposée à la carte bathymétrique de Delebecque publiée en 1898. La ligne sismique réflexion 1 montre des dépôts sédimentaires déstructurés (remobilisation) accumulés au pied des versants du cratère. Dans le centre du bassin, des dépôts bien liés forment le tiers supérieur de l'accumulation ; ils reposent sur une masse sans structure résultant sans doute d'un important mouvement de terrain et faisant écran à la propagation des ondes acoustiques en profondeur

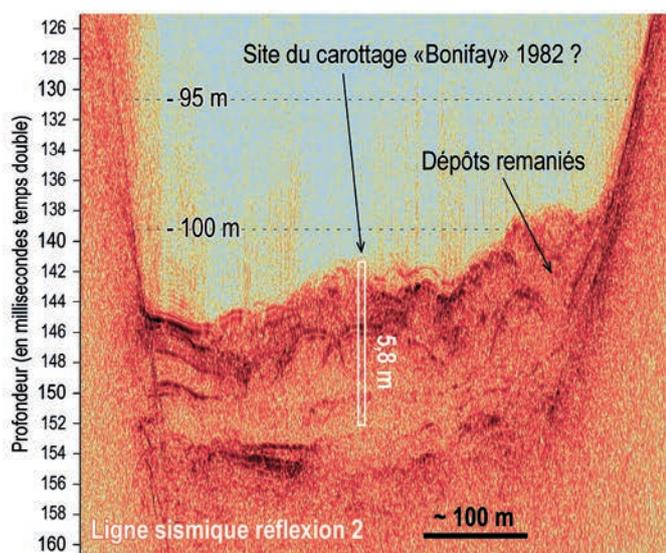


Figure 9 : Profil de sismique réflexion n° 2 issu des données collectées en 2019 au nord du bassin central du lac d'Issarlès et coïncidant probablement avec le site du sondage de 1982 (sondage « Bonifay »). Les dépôts sédimentaires y apparaissent très perturbés et sans doute issus de glissements de terrain

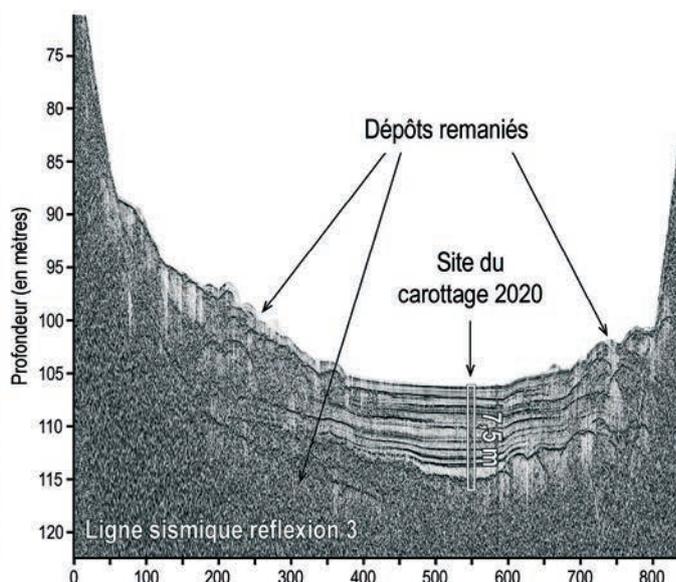


Figure 10 : Profil de sismique réflexion n° 3 réalisé en septembre 2020 avec l'Echos 10 000 (10 kHz Chirp system d'iXblue). Le centre du bassin lacustre montre un remplissage beaucoup plus organisé que dans le secteur précédent, bien lié sur les 7,5 premiers mètres d'épaisseur de la séquence sédimentaire. L'alternance des dépôts plus ou moins réfléchifs (plus ou moins sombres sur l'image) dans le bassin profond met en exergue la variabilité et la récurrence des dépôts événementiels issus de crues ou de glissements de terrain. Les dépôts remaniés en pied de versant sont révélés sur le profil par des structures chaotiques et lobées

Figure 11 : Principe du carottage en milieu lacustre, montrant comment les tronçons carottés peuvent être raccordés entre eux grâce à l'utilisation de marques et niveaux-repère (source : CHASSIOT (Léo), 2015, voir fig. 6 pour la référence complète)

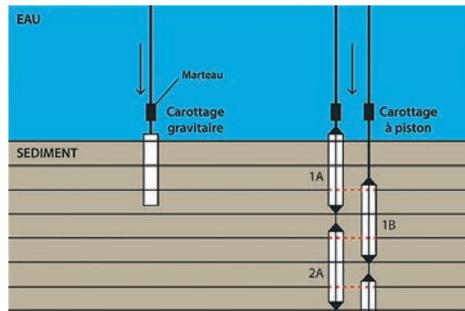


Photo 6 : Carottage en cours au cœur du lac d'Issarlès depuis la barge flottante UWITEC™, fin septembre 2020



Photos 7 et 8 : Exemples de carottes remontées au cours de l'opération de carottage au lac d'Issarlès fin septembre 2020. À droite, prélèvement des premiers décimètres de l'accumulation sédimentaire



Photo 9 : Difficultés d'accès à l'eau lors du carottage de septembre 2020 au lac d'Issarlès

Ces investigations géophysiques ont ainsi permis de bien choisir l'emplacement du carottage à conduire pour l'étude de la séquence sédimentaire en vue de la reconstruction de l'histoire environnementale locale et régionale<sup>(41)</sup> (fig. 7 à 10). Ce carottage, positionné dans la zone de cœur de lac dans un secteur caractérisé par des dépôts bien lités, a été réalisé à la fin du mois de septembre 2020 avec l'aide de la Société ATHOS Environnement depuis une barge flottante<sup>(42)</sup> équipée d'un trépied auquel est fixé un système de poulies et d'enrouleurs (photo 6). De là, un carottier lesté est descendu au bout d'un système de câbles. Un premier câble tient le carottier. Sur ce câble est « enfilé » un poids mobile positionné au-dessus du carottier et tenu par un second câble qui, une fois le carottier positionné pour la récolte d'une carotte, permet de soulever manuellement depuis la barge puis de laisser retomber le poids, provoquant l'enfoncement du carottier dans les sédiments (fig. 11 et photos 7 et 8). La longueur de câble déroulée peut être connue afin de contrôler l'arrivée à l'interface eau/sédiment puis la profondeur d'enfoncement du carottier dans la vase et les sédiments. Il faut ensuite remonter l'ensemble en ré-enroulant les câbles. Il existe des systèmes motorisés, mais dans le cas des systèmes manuels utilisés au lac d'Issarlès, l'opération demande beaucoup « d'huile de coude », d'autant plus que la profondeur d'eau est importante, et cela limite les possibilités de progression en profondeur<sup>(43)</sup>.

La période choisie pour effectuer le carottage a compliqué les opérations : d'une part, le niveau du lac avait déjà été abaissé par EDF et l'accès au rivage pour la mise à l'eau de la barge et du zodiac devait se faire le long du versant interne du cratère, caillouto-sableux et très pentu (photo 9) ; d'autre part, durant l'opération de carottage qui a duré trois jours, le niveau d'eau, toujours en cours d'abaissement, nous a obligés à de nombreux réajustements pour tenir compte de la diminution d'épaisseur de la tranche d'eau afin de carotter aux bonnes profondeurs et que les tronçons de carotte extraits se raccordent sans trop de recouvrement ou à l'inverse sans que risque d'être "manquée" une partie de la séquence.

41. - ARRICAU (Victor), *Géohistoire des risques naturels de trois lacs de cratère emblématiques du Massif Central français (lacs Pavin, Tazenat et Issarlès)*, Mémoire de Master 2, Université Toulouse Jean Jaurès, 2020, 104 p.

42. - Plateforme UWITEC™.

43. - 10-15 m au maximum.

Cette opération de carottage a finalement abouti au prélèvement des 7,5 premiers mètres de la séquence sédimentaire accumulée au fond du lac d'Issarlès (photos 10 et 11). Comme le laissaient prévoir les données de sismique réflexion, le carottage s'est terminé au toit d'un dépôt en vrac de matériel sableux grossier à sablo-graveleux présentant en mélange des grains basaltiques bien noirs et des grains clairs de sable provenant du socle cristallin (granite et gneiss) (photo 11). La nature de ce dépôt reste à déterminer (voir plus haut). Dans l'attente de pouvoir compléter ce carottage afin d'acquérir la totalité des 30 m d'épaisseur de la séquence sédimentaire et, ainsi, de pouvoir reconstituer les fluctuations paléoenvironnementales sur une période de temps plus longue et a priori sub-égale à l'âge de l'éruption qui forma le cratère, la carotte déjà prélevée est en cours d'étude et de datation. Les résultats ne manqueront pas d'être publiés dans de prochains numéros des *Cahiers du Mézenc*.

Il importe de souligner que les investigations en cours sur le lac d'Issarlès s'inscrivent dans le cadre de recherches comparées sur trois maars emblématiques du Massif central (voir figure 3) : le lac d'Issarlès, sans doute un peu plus ancien que les deux autres, le plus profond et occupant une position intéressante à proximité de sa bordure orientale ; le lac Pavin, à la transition entre massif du Sancy et plateau du Cézallier, occupant le cratère du plus jeune volcan métropolitain connu ; enfin le Gour de Tazenat, édifice volcanique le plus septentrional de la Chaîne des Puys, sur le plateau des Combrailles au-dessus de Combronde, daté d'environ 35 000 ans et qui a fait l'objet d'un nouveau carottage en octobre 2020<sup>(44)</sup> dans la foulée du carottage effectué au lac d'Issarlès. De ces trois lacs de maar, celui d'Issarlès est de loin le moins étudié<sup>(45)</sup>, ce qui justifie pleinement les nouvelles recherches engagées. Par-delà les spécificités de chacun de ces trois lacs, les premiers résultats de cette étude comparée témoignent d'un fonctionnement influencé à la fois par les variations du climat, par l'histoire corrélative de la végétation sur laquelle les sociétés ont également eu un impact de plus en plus marqué au cours des derniers millénaires, par le contexte topographique et son évolution,



Photos 10 (gauche) et 11 (droite) : Faciès des sédiments sur deux tronçons des carottes extraites lors du carottage de septembre 2020 au lac d'Issarlès. Le tronçon A2B (gauche) a été prélevé entre 2 et 4 m de profondeur environ ; le tronçon C2B (droite) correspond à la base du carottage, qui s'arrête sur le dos d'une importante masse glissée à matériel grossier

en particulier au niveau de l'exutoire des lacs<sup>(46)</sup>, enfin par l'histoire tectonique et volcanique locale et régionale : cette dernière est à l'origine de retombées volcaniques<sup>(47)</sup> bien caractérisées qui fournissent des jalons chronologiques au sein des séquences sédimentaires, mais aussi de perturbations de la sédimentation en lien avec la déstabilisation des versants et/ou des dépôts accumulés sur les berges ou les flancs internes des lacs. Ainsi peut-on s'interroger, au lac d'Issarlès, sur l'incidence du tout récent séisme du Teil, près de Montélimar (11 novembre 2019), bien ressenti dans le massif du Mézenc.

Rendez-vous est donc pris pour un prochain épisode de la restitution de ces recherches : elles contribuent, certes, à la science, mais aussi à la valorisation au bénéfice de tous d'un géopatrimoine dont le site du lac d'Issarlès est un exemple remarquable.

44. - Projet Paleobloom.

45. - Géologie, volcanologie, reconstructions paléoenvironnementales.

46. - Ces exutoires ont pu s'abaisser progressivement au fur et à mesure du travail d'érosion de l'eau s'échappant du lac, ou de manière plus brutale par rupture d'une partie de l'anneau de dépôts enserrant le cratère, souvent à la suite de glissements de terrain engendrant dans le lac une vague de type tsunami comme cela est bien connu au Pavin (T. SIME-NGANDO *et al.* (eds.), *Lake Pavin*, Springer International Publishing Switzerland, 2016, 421 p.).

47. - Les téphras.