



HAL
open science

Retour au lac d'Issarlès : un premier bilan d'étape

Jean-Paul Raynal, Emmanuelle Defive, Emmanuel Chapron, Léo Chassiot,
Guillaume Jouve, Anthony Foucher, Anaïs Tahri, Aude Bauger, Yannick Miras,
Olivier Voltaire, et al.

► **To cite this version:**

Jean-Paul Raynal, Emmanuelle Defive, Emmanuel Chapron, Léo Chassiot, Guillaume Jouve, et al.. Retour au lac d'Issarlès : un premier bilan d'étape. Bulletin de la Société géologique de l'Ardèche, 2025, 18, pp.59-71. <hal-05079208>

HAL Id: hal-05079208

<https://hal.science/hal-05079208v1>

Submitted on 22 May 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Retour au lac d'Issarlès : un premier bilan d'étape

■ Jean-Paul RAYNAL¹, Emmanuelle DEFIVE², Emmanuel CHAPRON³, Léo CHASSIOT, Guillaume JOUVE, Antony FOUCHER, Anais TAHRI, Aude BAUGER, Yannick MIRAS, Olivier VOLDOIRE, Gwénoél JOUANNIC, Arthur ANCRENAZ, Laurent AUGUSTIN, Jean-François BOUCULAT, Alain DE MOYA, Julien DIDIER, Giuseppe GRASSANO, Nicolas HEBERT, Trevor POPP, Alain QUEFFELEC, Antoine THOUVENOT
¹jpraynal@wanadoo.fr ²emmanuelle.defive@orange.fr ³emmanuel.chapron@univ-tlse2.fr

Le lac d'Issarlès, joyau touristique du volcanisme des « Jeunes volcans d'Ardèche » (Berger, 2007), se situe dans le très haut bassin de la Loire, sur la commune du même nom, à l'ouest du département de l'Ardèche, dans l'ancienne province du Vivarais (figure 1).

Dans un contexte de hautes terres à climat montagnard, à proximité immédiate de la bordure orientale du Massif central soumise aux événements cévenols, ce secteur connaît un soulèvement tectonique non négligeable, évalué entre 0,5 et 1 mm/an (soit 50 cm à 1 m par millénaire), à l'origine d'une activité sismique épisodique. Il a été le siège d'un volcanisme récent sub-contemporain de celui de la Chaîne des Puys; s'il appartient pour certains auteurs à la province volcanique vellave (Goer de Herve et Mergoïl, 1971), d'autres parlaient au même moment d'une province volcanique autonome du Bas-Vivarais (Brousse, 1971), la quinzième et la plus modeste du Massif central (figure 2).

C'est le lac d'origine volcanique le plus profond de France (Delebecque, 1898). Son origine explosive fut postulée très tôt par Faujas de Saint-Fond (1778), fondateur de la volcanologie en Vivarais. Elle fut ensuite affirmée par Poulett Scrope (1827), qui le rattacha à une catégorie de cratère résultant d'une dynamique éruptive particulière dont l'exemple régional était pour lui le « Gour de Tazana » (i.e. Tazenat, Puy-de-Dôme); il en soulignait en 1858 l'identité avec « the volcanic *maare* in the Eifel », les maars* (les mots accompagnés d'une étoile renvoient au lexique en fin de texte), définis trente ans auparavant par Steininger (1819, 1820). Steininger avait guidé Montlosier dans l'Eifel et ce dernier en fit un compte-rendu en 1822; il avait également visité le Massif central et comparé les volcans des deux régions (Steininger 1823, 1824); en 1825, il reçut Poulett Scrope qui introduisit dès lors le terme dans le vocabulaire géologique anglophone (1825, 1826). Les géologues allemands sont en fait les véritables précurseurs dans la connaissance de ce volcanisme particulier et de ses dynamiques (Lutz et Lorenz, 2013).

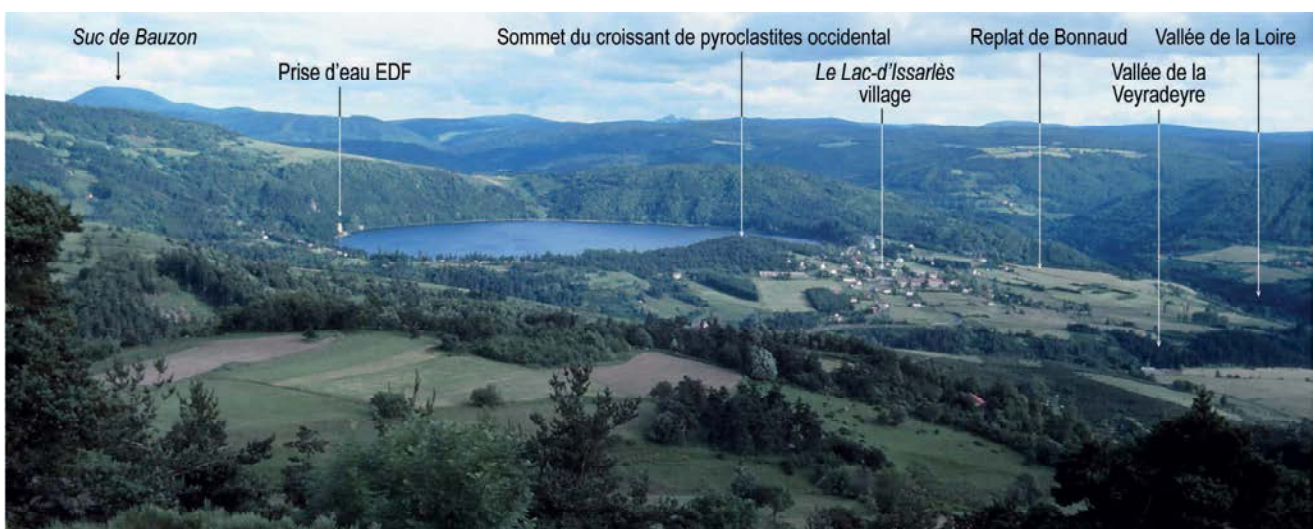


Figure 1 • Le lac d'Issarlès aujourd'hui (photo E. Defive).

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

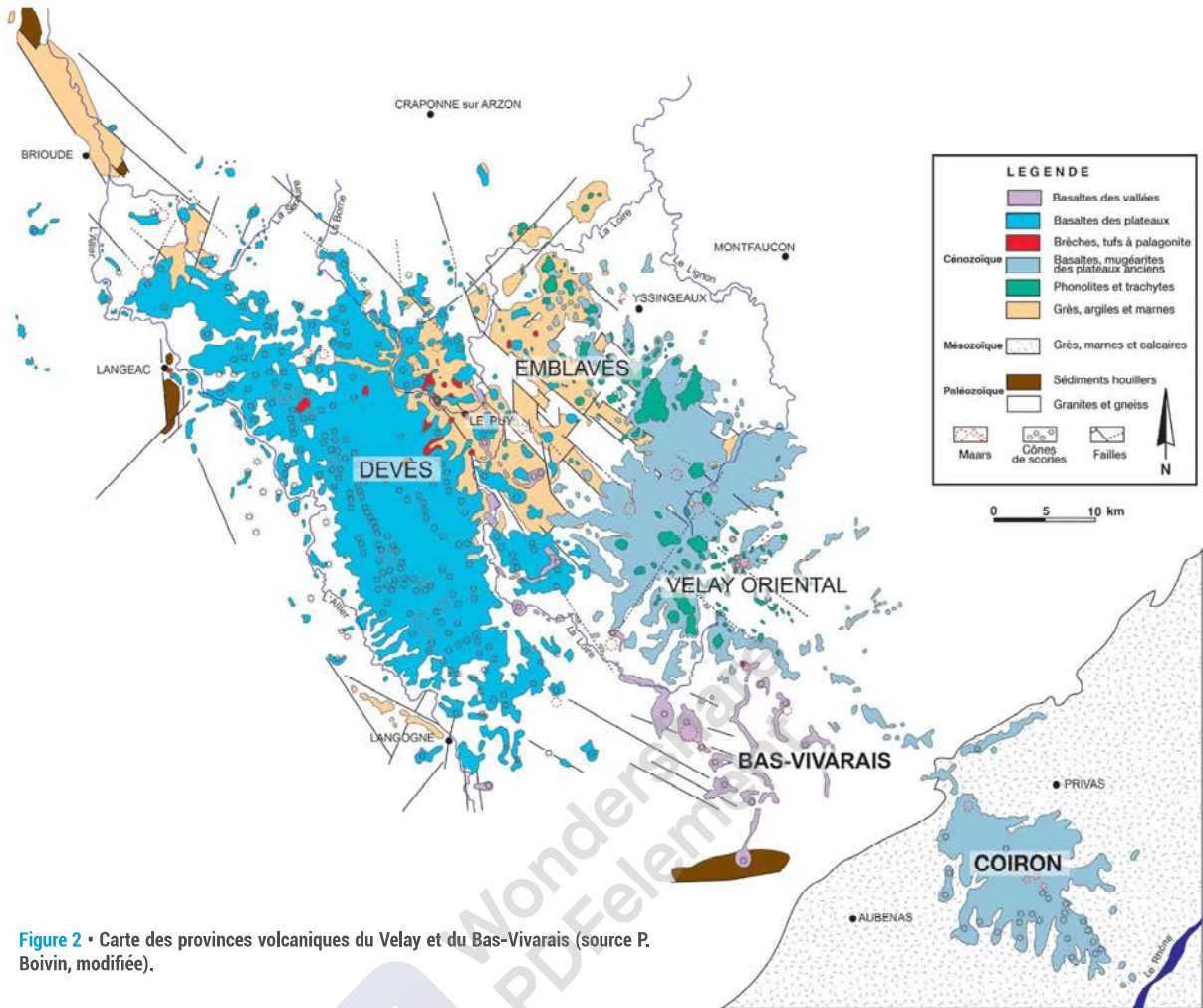


Figure 2 • Carte des provinces volcaniques du Velay et du Bas-Vivaraïs (source P. Boivin, modifiée).

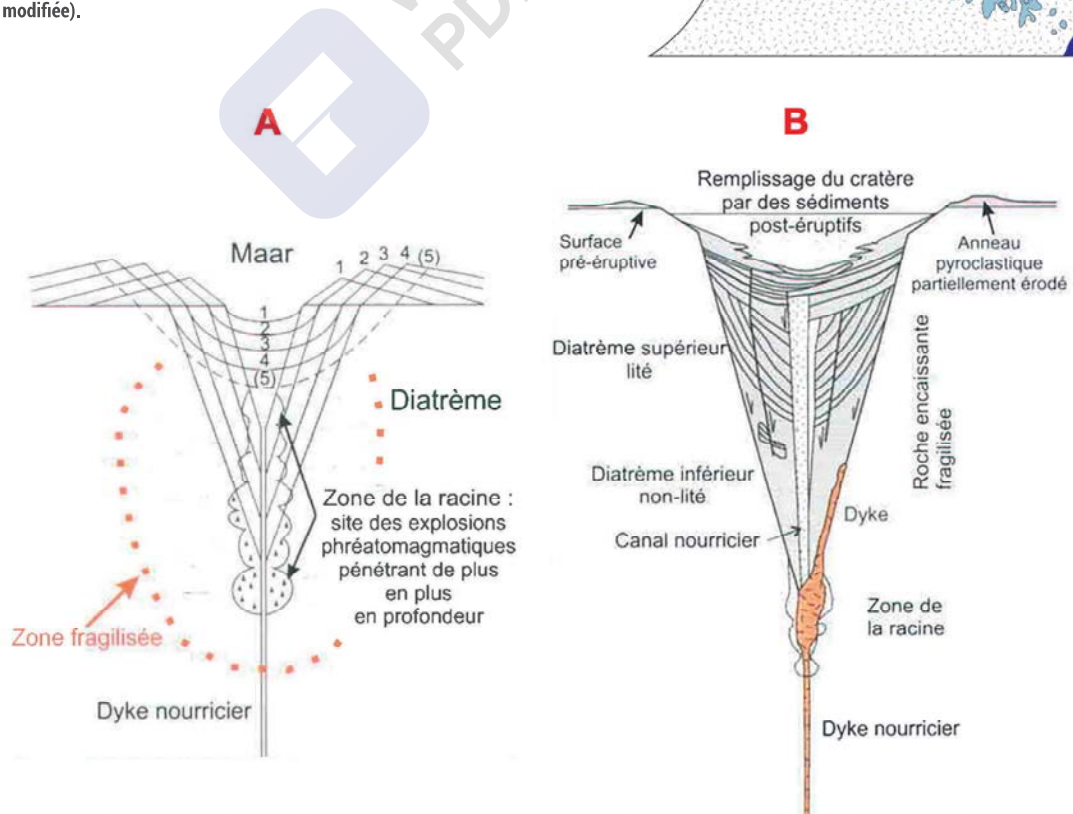


Figure 3 • Fonctionnement et organisation d'un maar-diatrème selon Lorenz (source Delpit, 2013). A : élargissement et approfondissement du diatrème au fur et à mesure des explosions. B : morphologie finale du système maar-diatrème.

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

Le cratère du lac d'Issarlès est donc aujourd'hui identifié comme un maar-diatrème (Lorenz, 1973, 1975, 2017), d'origine éruptive explosive de nature phréatomagmatique (figure 3). L'éruption de ce volcan est datée de $54\,000 \pm 8\,000$ ans par thermoluminescence sur les matériaux de la partie nord de son croissant occidental de pyroclastites (Defive *et al.*, 2023) (figure 4).

Plus méridional et oriental que les lacs et paléo-lacs du Velay qui ont livré des enregistrements polliniques couvrant plusieurs centaines de millénaires (De Beaulieu *et al.*, 2006; Dejeai *et al.*, 2013), plus jeune aussi, ce système lacustre est donc susceptible de contenir des dépôts accumulés depuis l'ouverture du cratère et sa mise en eau: ils pourraient représenter quelques dizaines de milliers d'années d'enregistrement de l'histoire environnementale de cet arrière-pays de l'emblématique Grotte Chauvet-Pont-d'Arc, une période qui vit régionalement et pour la même tranche de temps une co-évolution Sapiens / Néanderthal, puis l'effacement de ce dernier au profit de notre seule espèce. Qui plus est, avec un indice d'explosivité volcanique estimé au degré 3 (sur une échelle de 0 à 8; Newhall & Self, 1982) qui génère des panaches éruptifs de 10 à 15 km de hauteur, cette éruption ne passa certainement pas inaperçue (Raynal et Defive, 2019).

Plus de quarante ans après les premiers travaux d'investigation de ses dépôts, menés en 1982 dans le cadre du programme européen Géomars (Bonifay, 2021), partiellement exploités et publiés (Couteaux, 1984 a et b; Ponel et Gadbin, 1988) et des recherches postérieures très ponctuelles (Rioual, 2000), de nouvelles investigations ont débuté en 2019 au pourtour du lac d'Issarlès et dans ses profondeurs (Chapron *et al.*, 2022, 2024; Defive *et al.*, 2023, 2024; Jouve *et al.*, 2023) et leurs résultats justifiaient le souhait de procéder à un carottage intégral de cette archive lacustre.

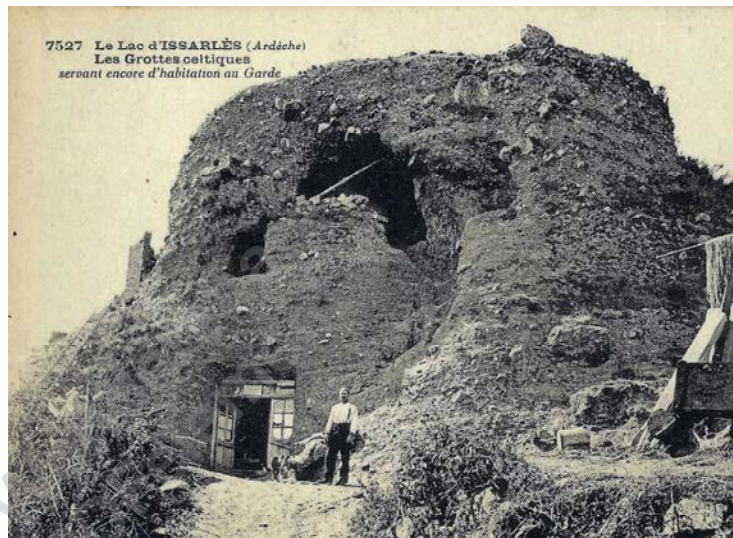


Figure 4 • Vue partielle du croissant de pyroclastites occidental dans lequel fut aménagé un habitat troglodyte. D'après une carte postale ancienne des éditions d'Art Margerit-Brémont, recadrée.

1. Physiographie du maar-diatrème d'Issarlès

Les caractéristiques topographiques du lac furent établies dès la fin du XIX^e siècle par Delebecque (1898): altitude du plan d'eau 997 m, longueur 1200 m, largeur 1050 m, superficie du plan d'eau 91,70 ha, profondeur maximale 108,60 m, volume de 59,986 millions de m³. Le Géoportail indique aujourd'hui des altitudes et dimensions similaires. La profondeur du lac est plus importante lorsque le stockage de l'eau par E.D.F. est porté à une altitude supérieure à 997 m.

Dès 1924, Glangeaud insistait sur le contrôle structural de ce « cratère-lac » et le plaçait sur le trajet de deux accidents supposés de direction nord-est, qui est celle des gorges de la Veyradeyre (figure 5). La fracturation en grand du substratum granitique offre de multiples possibilités de progression lors de l'ascension d'un magma basaltique fluide mais elle favorise



Figure 5 • Contexte structural du lac d'Issarlès selon Glangeaud (1924), modifié.

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

également le stockage d'eau: ces deux conditions réunies ont favorisé un dynamisme explosif de nature phréatomagmatique et il n'est pas besoin d'évoquer ici l'existence d'un cours d'eau à l'emplacement actuel du cratère (Boivin et Mergoïl, 2022): l'estimation de profondeur du cratère (cf. *infra*) s'oppose à cette interprétation et si l'âge d'environ cinquante millénaires est correct, les cours de la Loire et de la Veyradeyre étaient à l'époque déjà encaissés pratiquement à leur altitude actuelle (Defive, 1996). L'éruption a ainsi très vraisemblablement remblayé la gorge de la Veyradeyre qui s'est ensuite rapidement ré-encaissée dans ces dépôts.

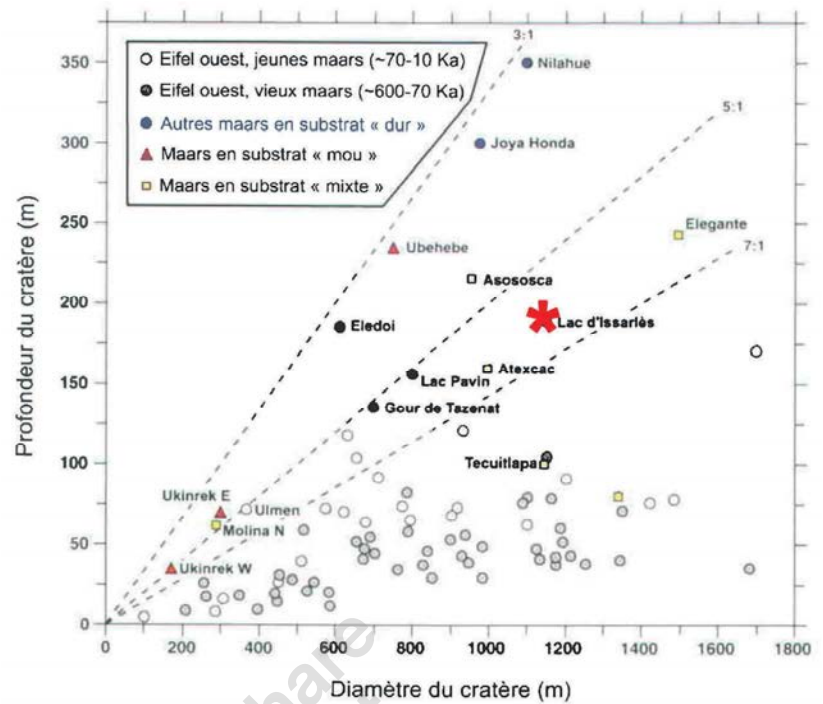


Figure 6 • Position du cratère de Issarlès sur un diagramme largeur x profondeur établi à partir d'une population de cratères de maar mesurables (Ross, 2011).

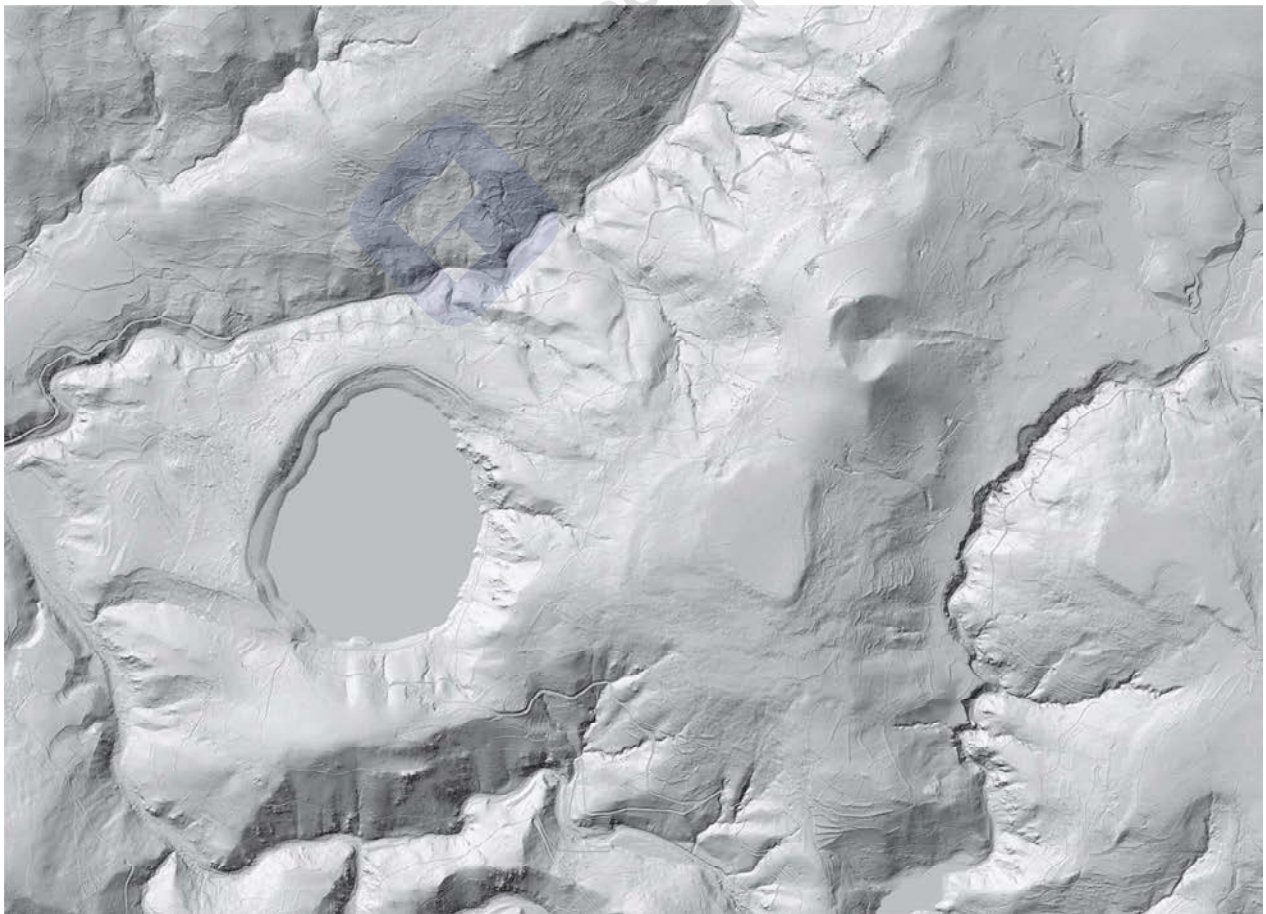


Figure 7 • Image LiDAR aéroportée du secteur du lac mettant en évidence son contexte structural et morphologique (le niveau du lac y apparaît plus bas qu'à sa cote estivale de 997 m).

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

Les pyroclastites culminent à 1 039,30 m à l'ouest du cratère. Sous 108 m d'eau, le fond du lac se situe vers 889 m d'altitude. Des dépôts lacustres sont accumulés à partir de là sur trente mètres d'épaisseur environ, plaçant leur base autour de 859 m d'altitude, soit 180 m en contrebas du sommet actuel des pyroclastites. Sous les dépôts lacustres, on ignore totalement la puissance des dépôts d'effondrement et d'explosion qui obstruent le diatrême au-dessus du sommet de la colonne d'alimentation magmatique: quelques mètres, plusieurs dizaines de mètres? Une estimation de la profondeur du cratère à l'aide d'un diagramme diamètre-profondeur (Ross *et al.*, 2011) conclut à une valeur de l'ordre de 180 m, qui apparaît sous-estimée (figure 6). En supposant *a minima* une cinquantaine de mètres d'épaisseur de produits d'explosion, le fond réel du cratère se situerait vers 800 m d'altitude. La Loire coule actuellement en contre-bas du lac à 902 m d'altitude au Pont de la Borie, soit plus de 100 m au-dessus du point supposé d'explosion. Ceci plaide en faveur de notre hypothèse de la rencontre de magma ascendant

avec une nappe phréatique profonde dans le granite fissuré du substratum, possiblement alimentée par infiltration des eaux de la Loire et de ses affluents.

Le maar-diatrême apparaît bilobé (figure 7), de 1 200 m de diamètre dans son grand axe (700 à 1 000 m de diamètre dans l'axe perpendiculaire), laissant supposer l'ouverture de plusieurs cratères emboîtés formant une profonde cuvette aux versants redressés et marquée par la dissymétrie entre son versant ESE, plus élevé, sculpté dans le granite et accidenté de ravins ouverts sur le lac et son versant ONO, dont la bien moindre élévation est liée à la seule présence du croissant de pyroclastites occidental dominant le lac et dont la base est immergée à 35 m sous sa surface en hautes eaux estivales.

Cette dissymétrie se retrouve au niveau de la partie immergée de la cuvette lacustre (figure 8) avec:

- un flanc ONO très pentu, très peu couvert par les sédiments et comportant des abrupts à roche souvent directement apparente;

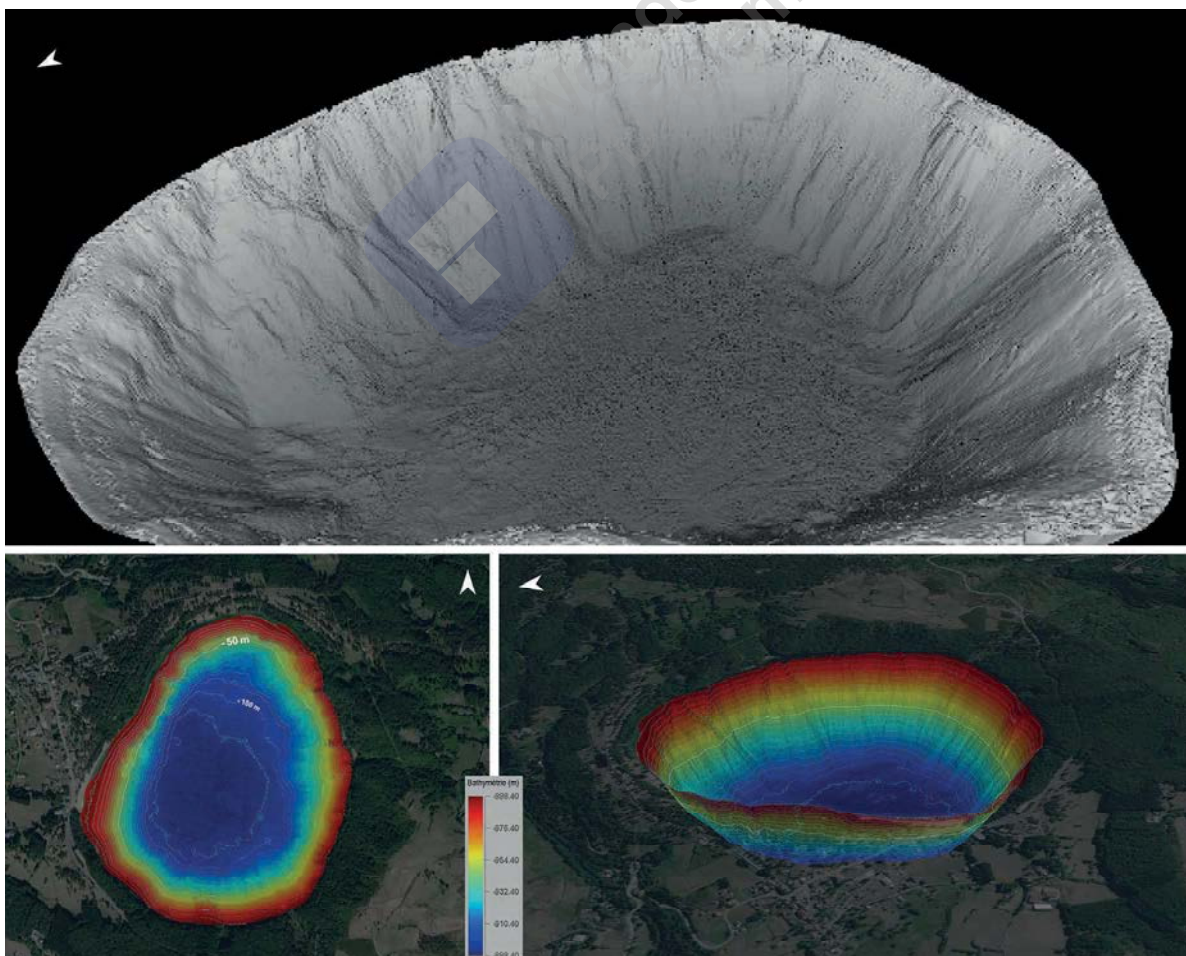


Figure 8 • La cuvette du maar-diatrême d'Issarlès d'après les données bathymétriques EDF 2012. Les flèches indiquent le nord.

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

- un flanc ESE un peu moins pentu et avec une transition moins brutale entre le versant et la plaine lacustre du fait des apports sédimentaires par les ruisseaux installés sur ce versant et convergeant vers le lac.

Une large plaine centrale se développe à une profondeur très constante autour de 108 m, mesurée par Delebecque dès la fin du XIX^e siècle et confirmée par toutes les mesures bathymétriques postérieures.

Lors de ses investigations, Delebecque (*op.cit.*) signale de faibles variations du niveau du lac, de l'ordre de 0,30 à 0,40 m, qu'il impute à une alimentation par des sources sous lacustres. Le lac a trois petits affluents principaux, à bassin d'alimentation restreint, responsables de la construction de petits deltas: le ruisseau de la Clède, le ruisseau du ravin

des charbonneyres et le ruisseau du ravin du Gage, soumis à des variations saisonnières de débit. Le lac n'a pas de déversoir et la question d'une surverse fossile reste entière. Il montre sur ses flancs sud, ouest et nord-ouest un écoulement souterrain assez important marqué par le jaillissement de sources - alimentant notamment la commune en eau potable - et des infiltrations plus ou moins importantes, à un niveau de 30 à 60 m plus bas que celui du plan d'eau, ce qui représente peu ou prou la base des dépôts du croissant de pyroclastites occidental et la partie supérieure du substratum granitique fortement fissuré; depuis 1953 le débit de ces différents émissaires est perturbé par les variations de niveau du lac imposées par le fonctionnement du complexe hydroélectrique de Montpezat (figure 9).



Figure 9 • Variation du niveau du lac d'Issarlès entre le 31 octobre 2023 et le 20 novembre 2024 (données libres EDF, DAO E, Defive).

2. 2020 : le nouveau carottage et ses acquis

En 2020, une première colonne sédimentaire fut acquise par 108 m de fond. L'opération de carottage fut conduite en trois jours incluant le montage et le démontage d'une barge UWITECH classique et le carottage « tout manuel » (figure 10). La séquence récoltée représente les 7,5 mètres supérieurs des dépôts accumulés au fond lac. Le couplage entre observation macroscopique (à l'œil nu), imagerie (optique, CT-Scan, Radiographie, RX) et analyses magnétiques (SM) et géochimiques (ITRAX ou Core-scanner) a permis la description détaillée des caractéristiques litho-stratigraphiques de la séquence (succession, épaisseur et autres caractères des différents niveaux) et de construire la carotte-maîtresse* qui a pu être datée grâce en particulier

à la méthode du radiocarbone. L'étude des téphras (retombées volcaniques) contribue également au calage chronologique de la séquence. Un modèle âge-profondeur* a ensuite été construit, permettant d'attribuer un âge à tout niveau de la séquence non daté directement.

Sur la base des 15 datations ¹⁴C et des analyses effectuées (radiographie RX, géochimie, radionucléides, comptage de lamines, étude des diatomées* fossiles, premiers tests palynologiques*...), il ressort les faits suivants:

- les bio-indicateurs les mieux étudiés sont pour le moment les diatomées: 65 genres et 302 espèces ont été déterminés, dont une connue uniquement

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

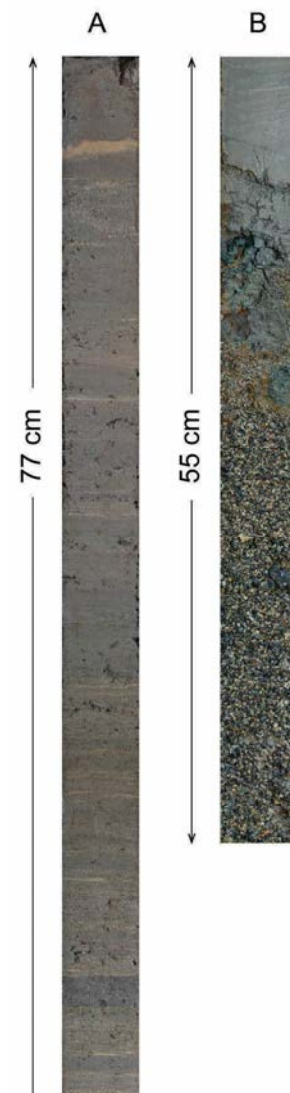


Figure 10 • Le carottage 2020 en cours avec une barge UWITECH (photo Hubert-Marie Piteux).

au lac Ohrid (Grèce) et au lac Baïkal (Russie) (Tahri, 2021, 2022; Tahri et al., 2022, 2023). Elles témoignent de la variabilité écologique du milieu lacustre au cours du temps avec une tendance récente à l'eutrophisation, sans doute largement gouvernée par l'activité humaine et, à partir de 1955, par le fonctionnement du complexe hydroélectrique de Montpezat qui impose depuis lors un régime lacustre avec de forts marnages (Boyer, 2024);

- une séquence couvrant tout l'Holocène, du Dryas récent jusqu'à l'actuel d'après les premiers tests polliniques réalisés, avec, vers le haut de la séquence, de clairs indices d'anthropisation;
- une séquence présentant des sections bien litées (figure 11), mais verticalement et latéralement perturbée par au moins 20 dépôts événementiels ou RDL (Rapidly deposited layers: glissements, turbidites, dépôts de crue; 4 m sur 7,7 m soit près de 40%; les diatomées et les pollens aident à détecter ces niveaux en cas de doute) et comportant au moins deux niveaux réflexifs correspondant probablement à des téphras (Jouve *et al.*, 2023, 2024);
- la présence localisée de dépôts événementiels grossiers et parfois épais, comme celui graveleux à éléments cristallins et volcaniques pouvant correspondre au sommet d'un gros glissement (méga-turbidite) remaniant des produits phréato-magmatique, sur le dos duquel s'est arrêté le carottage de 2020.

Figure 11 • Différents faciès de la carotte de 2020 (photos E. Defive). A : section marquée vers le haut par un niveau clair et fin correspondant à la décantation finale d'un dépôt événementiel. B : Faciès grossier et riche en matériel volcanique de la base de la carotte.



En résumé, des dépôts à la signature sédimentaire caractéristique témoignent de l'histoire particulière du lac et caractérisent plusieurs types d'évènements :

- des crues possiblement liées, en majorité, à des épisodes cévenols;
- une paléo-sismicité d'origine tectonique et/ou volcano-tectonique;
- des impacts de l'anthropisation progressive de la « montagne ».

Les recherches en cours s'intéressent en outre aux arrivées d'autres matériaux: des retombées volcaniques plus ou moins lointaines et des poussières sahariennes.

Des arrivées de radionucléides issus des essais nucléaires dans l'atmosphère ou d'accidents remarquables au cours du dernier siècle ont également été détectées.

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

3. 2024 : première tentative de carottage intégral

Face aux résultats très encourageants obtenus sur la carotte 2020 extraite manuellement depuis une petite barge, un carottage des 30 m de sédiments reconnus au fond du lac, avec des moyens mécanisés plus conséquents, paraissait alléchant et a donc été tenté en juin 2024 avec les moyens nationaux de l'INSU (figure 12).

Le site du lac d'Issarlès présente cependant des contraintes spécifiques : séquence reconnue comme fortement perturbée dans les secteurs précédemment sondés ; tranche d'eau de 108 m à traverser avant d'atteindre l'accumulation sédimentaire, d'une trentaine de mètres d'épaisseur au moins ; rapport diamètre/profondeur ne permettant pas un ancrage idéal de la barge ; forts marnages entre mi-septembre et mi-juin du fait de l'utilisation du lac comme réservoir principal dans le cadre du fonctionnement du complexe hydroélectrique de Montpezat ; courte période adéquate pour carotter, entre la remise du lac à sa cote estivale fixée à 997 m NGF au 15 juin et la période de forte fréquentation touristique à partir du 15 juillet.

Compte-tenu de ces diverses contraintes, il convenait donc, avant d'entamer un carottage

intégral, de s'assurer de la faisabilité de l'opération et de l'exploitabilité scientifique de la séquence, d'où les diverses démarches (auprès d'EDF pour garantir la cote et la stabilité du niveau d'eau ; avec la DREAL pour les autorisations d'opérer en site classé ; avec la municipalité pour le stockage temporaire des carottes et autres nécessités logistiques) et analyses engagées (investigations bathymétriques multiples, très dense couverture sonar sismique offrant une image de la structuration et des variations verticales et latérales de faciès, Lidar-drone aérien et sous-aquatique, imagerie des flancs et du fond du lac, profil thermique, carottage exploratoire en septembre 2020 puis analyse multi-proxys et datation des 7,8 m de la séquence prélevée - voir point 2.).

C'est forte de tout ce travail de vérification préalable que s'est engagée la tentative de carottage de l'intégralité des 30 m de la séquence sédimentaire du lac d'Issarlès, réalisée par la DT-INSU en juin 2024.

Les opérations ont consisté en :

- deux jours et demi pour le montage de la barge ;
- deux jours d'ancrage ;
- neuf jours de carottage ;
- deux jours de désancrage-démontage.



Figure 12 • La barge utilisée en 2024 (photo E. Defive).

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS : UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

Le public et les habitants ont été tenus informés de l'opération en cours et, à l'initiative de la municipalité, une importante médiatisation a accompagné l'opération (figure 13).

Malheureusement, dans des conditions météo pas idéales mais non entravantes, l'opération s'est soldée par un échec total : problèmes d'ancrage, problèmes de frappe et d'impossible enfoncement du carottier dans les sédiments, difficultés à contrôler les cotes... Deux casses matérielles sont en outre intervenues et il n'a donc pas été possible de prélever des carottes exploitables dans les dépôts plus anciens que ceux

déjà échantillonnés en 2020. Pourtant, les tests de cohésion effectués au scissomètre sur la partie supérieure des dépôts donnent des valeurs entre 0,5 et 2,2 gr/cm² qui prouvent que les sédiments se prêtent à la pénétration du carottier.

Il faut donc passer sur l'échec de la tentative de carottage intégral de juin 2024 et rebondir. Cette opération sera réitérée en juin 2025, avec des soutiens institutionnels reconduits, un matériel reconditionné et une équipe technique et scientifique toujours aussi motivée.

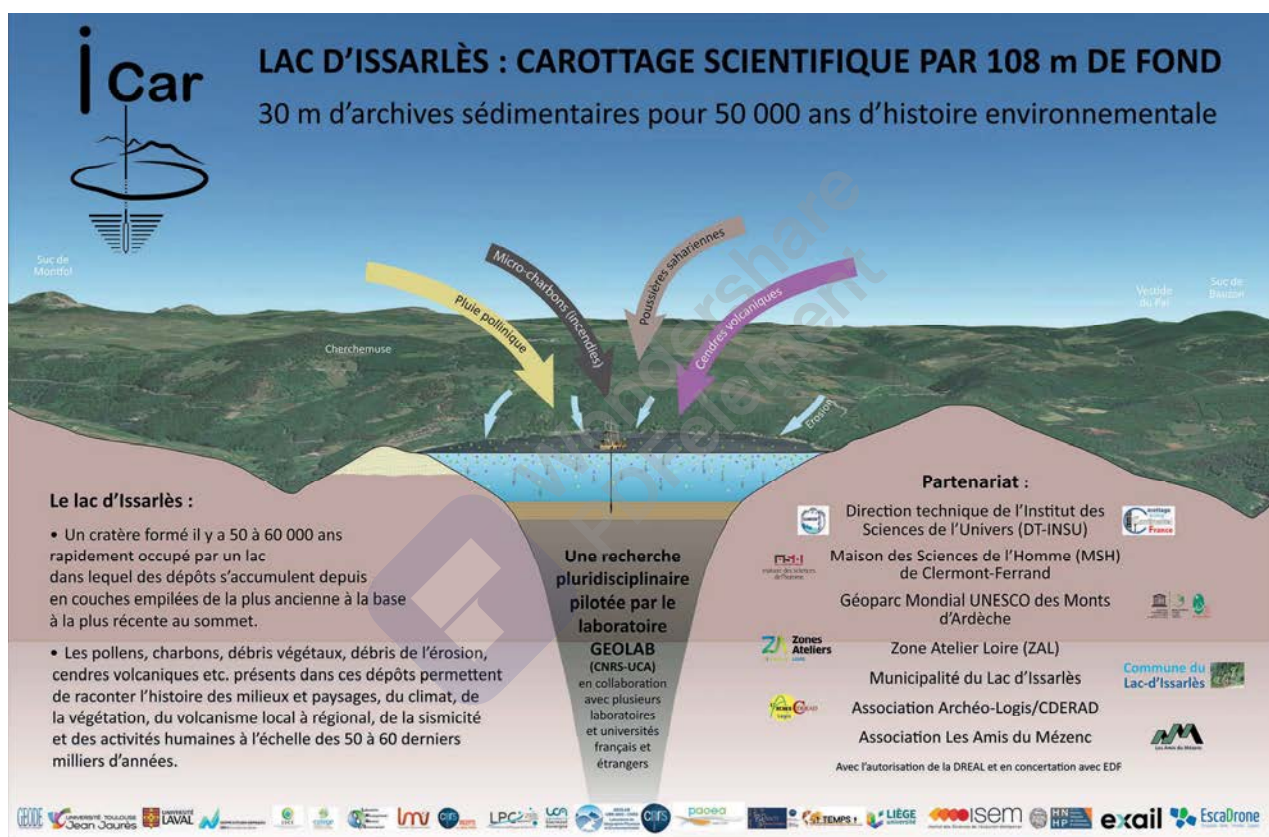


Figure 13 • Médiatisation au cours de l'opération 2024 (photos L. Prévost et J.-P. Raynal ; panneau explicatif E. Defive).

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

Remerciements

Nos vifs remerciements à Laurence Prévôt, maire et à l'équipe municipale de la commune du Lac d'Issarlès pour leur soutien actif au cours des différentes phases du projet, des études préliminaires avec l'acquisition des données Lidar à l'aménagement de la plage pour recevoir le matériel de la DT-INSU ; à Julien Didier venu avec le matériel de Besançon pour mettre en œuvre une solution de secours ; à Pierre Boivin pour la carte générale du volcanisme du Velay-Vivarais ; aux éditions Pastre à Brioude, détentrices du fonds de cartes postales Margerit-Brémond ; au Géoparc Mondial UNESCO du PNR des Monts d'Ardèche pour son intérêt et son soutien ; à Thierry Leclerc et Gérard Marcq qui ont construit la chambre froide de Laussonne financée par l'Université Clermont-Auvergne et la Maison des Sciences de l'Homme de Clermont-Ferrand ; à la Zone Atelier Loire pour son aide complémentaire ; à tous les bénévoles qui ont prêté leur concours à différents moments de ce programme.

Petit lexique

Carotte-maîtresse (Master core): Séquence reconstituée en raccordant les différents tronçons récoltés au cours du carottage grâce à des niveaux-repère. C'est à partir de cette carotte-maîtresse que peut être assurée la lecture en continue de la succession des dépôts, que l'on peut alors dater puis analyser.

Diatomées ou Bacillariophycées: micro-algues brunes unicellulaires eucaryotes (possédant un noyau) pratiquant la photosynthèse.

Maar: terme allemand inventé par Steininger (1819, 1820) pour désigner des petits lacs de l'ouest de la province volcanique de l'Eifel occupant des cratères d'explosion ceinturés de divers matériaux volcaniques. Terme redéfini par Lorenz (1973, 1975) : *A large volcanic crater cut into country rock below general ground and possessing a low rim composed of pyroclastic debris (tuff or lapilli-tuff). Approx. 100-2000 m wide; approx. several 10 to more than 200 m deep; height of rim above general ground may reach a few m to nearly 100 m* (grand cratère volcanique creusé dans la roche du substratum et possédant une lèvre basse composée de débris pyroclastiques (tuf ou tuf à lapilli). Environ 100 à 2000 m de large ; plusieurs dizaines de mètres à plus de 200 m de profondeur ; la hauteur du bord au-dessus de la topographie locale peut atteindre quelques mètres à près de 100 mètres).

Modèle âge-profondeur (modèle d'âge): Il permet de mettre en relation l'âge et l'épaisseur des dépôts. La courbe ainsi produite permet d'attribuer un âge à tout niveau de la séquence, même non daté. Ce modèle âge-profondeur permet aussi de mettre en évidence les variations de vitesse de la sédimentation : si 20 cm de sédiment se sont accumulés en 100 ans, le taux de sédimentation est plus rapide que si, pour la même durée, ne se sont accumulés que 10 cm de sédiments.

Palynologie (adjectif pollinique, palynologique): Etude des pollens.

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS : UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

Bibliographie

- **Arricau, V.** (2020). *Géohistoire des risques naturels de trois lacs de cratère emblématiques du Massif central français (lacs Pavin, Tazenat et Issarlès)*. Rapport de stage de Master 2, Géographie et aménagement, Géographie des changements environnementaux et paysagers, Université de Toulouse, 103 p.
- **Beaulieu (de), J.-L., Andrieu, V., Cheddadi, R., Guiter, F., Ravazzi, C., Reille, M., Rossi, S.** (2006). Apport des longues séquences lacustres à la connaissance des variations des climats et des paysages pléistocènes. *Comptes Rendus Palevol* 5 (1-2), 65-72.
- **Berger, E. T.** (2007). *Les Jeunes Volcans d'Ardèche*. Éditions Sud-Ouest.
- **Boivin, P.** (2019). Régions volcaniques : Velay-Vivarais-Coiron. In : *Histoire de la découverte géologique du Massif central français*. SNNA, Mémoire n° 8, 134-135.
- **Boivin, P. & Mergoïl J.** (2022). À la découverte du volcanisme du Velay et du Haut-Vivarais (Massif central français). *Revue des Sciences Naturelles de l'Auvergne*, 86, 27-72.
- **Bonifay, E.** (1982). Les maars du Velay et leurs remplissages volcano-sédimentaires. *Colloque Géologie profonde de la France*, Paris, juin 1982, BRGM, Docum. 39.
- **Boyer, E.** (dir.) (2024). Le génie intemporel de Montpezat. *L'éveil*, hors-série, septembre 2024.
- **Brousse, R.** (1971). Magmatologie du volcanisme néogène et quaternaire du Massif central. In : *Symposium J. Jung : Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif central français*; Plein Air Service Éd., Clermont-Ferrand, pp. 377-478.
- **Chapron, E., Defive, E., Arricau, V., Jouve, G., Thouvenot, A. & Raynal, J.-P.** (2022). Le lac d'Issarlès : du nouveau par 108 m de fond. *Les Cahiers du Mézenc*, 34, 21-30.
- **Chapron, E., Defive, E., Jouve, G., Bichet, V., Didier, J., Raynal, J.-P. & Arnaud, F.** (2024). Bilan des opérations de cartographie géophysique et de carottage dans les lacs de maars du Massif central depuis 2008 (lacs Pavin, Chauvet, Tazenat, Bouchet, St-Front et Issarlès). 19^e Congrès Français de Sédimentologie, Lille 26-29 novembre 2024, *Livre des résumés*, Publ. ASF n° 83, Paris, 80.
- **Couteaux, M.** (1984a). Bilan des recherches pollenanalytiques en Ardèche (France). *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, 117, 18-196.
- **Couteaux, M.** (1984b). Recherches pollenanalytiques au lac d'Issarlès (Ardèche, France) : évolution de la végétation et fluctuations lacustres. *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*, 117, 197-217.
- **Defive, E.** (1996). *L'encaissement du réseau hydrographique dans le bassin supérieur de la Loire. Contribution à l'étude des rythmes d'évolution géomorphologique en moyenne montagne volcanisée*. Thèse de Doctorat, Université Paris I Panthéon-Sorbonne, Paris, 577 p.
- **Defive, E., Chapron, E., Raynal, J.-P., Jouve, G., Chassiot, L., Foucher, A., Ancrenaz, A., Didier, J., Augustin, L., Popp, T., De Moya, A., Thouvenot, A., Hebert, N., Grassano, G., Bouculat, J.-F., Scabello-Abadie, L., Tarhi, A., Beauger, A. & Voldoire, O.** (2024). Première tentative de carottage intégral des sédiments du lac d'Issarlès - juin 2024. 19^e Congrès Français de Sédimentologie, Lille 26-29 novembre 2024, *Livre des résumés*, Publ. ASF n° 83, Paris, 104.
- **Defive, E., Miallier, D., Pilleyre, T., Nomade, S., Guillou, H., Moska, P., Tudyka, K., Chapron, E., Miras, Y., Virmoux, C., Queffelec, A., Jouannic, G., Cortial, C., Goslar, T. & Raynal, J.-P.** (2023). New investigations about three young volcano-sedimentary systems of Velay-Vivarais (France) and co-evolution humans-volcanoes in the background. *Quaternaire* 34 (2), 93-122.
- **Degeai, J.-Ph., Pastre, J.-F., Gauthier, A., Robert, V., Nomade, S., BoutRoumazeilles, V. & Guillou H.** (2013). La séquence lacustre du maar d'Alleret (Massif Central, France) : téphrochronologie et évolution paléoenvironnementale en Europe occidentale au début du Pléistocène moyen. *Quaternaire*, 24 (4), 443-459.
- **Delpit, S.** (2013). *Du maar au diatrème : les champs volcaniques de Pali Aike (Argentine) et Missouri River Breaks (États-Unis)*. Thèse, Université du Québec, 320 p.

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

- **Faujas de Saint-Fond, B.** (1778). *Recherches sur les volcans éteints du Vivarais et du Velay* Grenoble, Paris.
- **Glangeaud, P.** (1924). Le volcan et le cratère-lac d'Issarlès (Ardèche). Leurs rapports avec la terrasse alluvio-glaciaire de la Loire et de la Veyraderre. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* Paris, 1351-1355.
- **Goer de Herve, A.** (de) & Mergoïl, J. (1971). Structure et dynamique des édifices volcaniques tertiaires et quaternaires. In: *Symposium J. Jung: Géologie, géomorphologie et structure profonde du Massif central français*; Plein Air Service Éd., Clermont-Ferrand, pp. 345-376.
- **Jouve, G., Chapron, E., Chassiot, L., Foucher, A., Raynal, J.-P. & Defive, E.** (2023). What triggered Mass Movement Deposits in the maar Lake Issarlès (Ardèche, France)? R.S.T. Rennes, sciencesconf. org: rst2023-rennes: 484653
- **Jouve, G., Chapron, E., Chassiot, L., Foucher, A., Raynal, J.-P. & Defive, E.** (2024). Mid-to-Late Holocene history of mass movement deposits at maar Lake Issarlès (Ardèche, France): a paleosismological record? EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-321, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-321>, 2024.
- **Lorenz, V.** (1973a). On the formation of maars. *Bulletin volcanologique*, 37, 138-204.
- **Lorenz, V.** (1973b). Formation of maar-diatreme volcanoes and its relevance to kimberlite diatremes. *International Kimberlite Conference: Extended Abstracts*, 1, 203–205.
- **Lorenz, V.** (1975). Formation of phreatomagmatic maar-diatreme volcanoes and its relevance to kimberlite diatremes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 9, 17-27.
- **Lorenz, V., Suhr, P. & Suhr, S.** (2017). Phreatomagmatic maar-diatreme volcanoes and their incremental growth; a model. In: Németh, K., Carrasco-Nunez, G., Aranda-Gomez, J.-J. & Smith, I. E. M. (eds) *Monogenic Volcanism*, Geological Society, London, Special Publications, 446, 29-59.
- **Lutz, H. & Lorenz, V.** (2013). Early volcanological research in the Vulkaneifel, Germany, the classic region of maar-diatreme volcanoes: the years 1774–1865. *Bulletin of Volcanology*, 75, 743.
- **Montlosier, F., D., de Reynaud, (de)** (1822). Verdeutschter Auszug eines Briefes an den Herausgeber, die Vergleichung der Eifeler Vulkane mit jenen in Auvergne enthaltend, vom Herrn Grafen von Montlosier aus Auvergne. *Gebirge Rheinland-Westphalen*, 1, 101–105.
- **Newhall, C. G. & Self, S.** (1982). The volcanic explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87C2, 1231-1238.
- **Ponel, P. & Gadbin, C.** (1988). 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. Série III*, 307, 755758.
- **Poulett Scrope, G.J.** (1825). *Considerations on volcanoes*. Philipps, London.
- **Poulett Scrope, G.J.** (1826). Observations on the volcanic formations on the left bank of the Rhine. *The Edinburgh Journal of Science*, V, April-October, 145–161.
- **Poulett Scrope, G.J.** (1827). *Memoir on the geology of central France: including the volcanic formations of Auvergne, the Velay, and the Vivarais*. London, Longman, Rees, Orme, Brown, and Green.
- **Poulett Scrope, G.J.** (1843). Mémoire sur la géologie de la France centrale. Traduction des parties de cet ouvrage qui ont pour objet le département de la Haute-Loire. *Annales de la Société d'Agriculture, Sciences, Arts et Commerce du Puy*, pour 1841-1842, Le Puy; 153-215.
- **Poulett Scrope, G.J.** (1858). *The Geology and Extinct Volcanos of Central France*. London, Murray.
- **Raynal, J.-P. & Defive, E.** (2019). Qui a vu quoi? Un essai de calendrier éruptif pour Néanderthal et Sapiens en Vely-Vivarais. *Société géologique de l'Ardèche*, Bulletin n° 12, Bulletin spécial Géoparc Mondial UNESCO, 21-36.
- **Raynal, J.-P., Prevost, L. & Gardes, J.-M.** (2023). De 108 à 180 mètres: le yoyo du lac! *Les Cahiers du Mézenc* N° 35, 10-16.
- **Rioual, P.** (2000). *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.

RETOUR AU LAC D'ISSARLÈS: UN PREMIER BILAN D'ÉTAPE

- **Ross, P.-S., Delpit, S., Haller, M.J., Nemeth, K. & Corbella, H.** (2011). Influence of the substrate on maar-diatreme volcanoes: an example of a mixed setting from the Pali Aike volcanic field, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 253-27
- **Smith, I. E. M. & Németh, K.** (2017). Source to surface model of monogenetic volcanism; a critical review. In: Németh, K., Carrasco-Nunez, G., Aranda-Gomez, J.-J. & Smith, I. E. M. (eds) *Monogenic Volcanism*, Geological Society, London, Special Publications, 446, 1-28. First published online November 7, 2016, <https://doi.org/10.1144/SP446.8>
- **Steininger, J.** (1819). *Geognostische Studien am Mittelrhein*. Kupferberg, Mainz.
- **Steininger, J.** (1820). *Die erloschenen Vulkane in der Eifel und am Nieder Rheine. Ein Bericht an die Gesellschaft nützlicher Forschungen zu Trier*. Kupferberg, Mainz.
- **Steininger, J.** (1823) *Die erloschenen Vulkane in Südfrankreich*. Kupferberg, Mainz
- **Steininger, J.** (1824). *Bemerkungen über die Eifel und die Auvergne*. Kupferberg, Mainz
- **Tahri, A.** (2021), *Le lac d'Issarlès: reconstitution paléo-environnementale des 60 derniers millénaires en Velay-Vivarais par les diatomées fossiles*, mémoire de stage Master 1, Université Clermont Auvergne, 60 p.
- **Tahri, A.** (2022), *Le lac d'Issarlès: reconstitution paléo-environnementale des 60 derniers millénaires en Velay-Vivarais par les diatomées fossiles*, mémoire de stage Master 2, Université Clermont Auvergne, 63 p.
- **Tahri, A., Defive, E. & Beauger, A.** (2023). Les diatomées: passé, présent et futur du lac d'Issarlès. *Les Cahiers du Mézenc*, 35, 17-26.
- **Tahri, A., Beauger, A., Voldoire, O., Allain, E., Raynal, J.-P. & Defive, E.** (2022). Diatomées fossiles et actuelles du lac d'Issarlès (Ardèche, France): premiers enseignements. *BIOM* 3, 68-81.
- **White, J., Ross, P.-S.** (2011). Maar-diatreme volcanoes: a review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 1-29

■ Jean-Paul RAYNAL¹, Emmanuelle DEFIVE², Emmanuel CHAPRON³, Léo CHASSIOT⁴, Guillaume JOUVE⁵, Antony FOUCHER⁶, Anaïs TAHRI², Aude BAUGER², Yannick MIRAS⁷, Olivier VOLDOIRE², Gwénoél JOUANNIC², Arthur ANCRENAZ², Laurent AUGUSTIN⁸, Jean-François BOUCULAT⁹, Alain DE MOYA⁸, Julien DIDIER¹⁰, Giuseppe GRASSANO¹¹, Nicolas HEBERT¹¹, Trevor POPP⁸, Alain QUEFFELEC¹, Antoine THOUVENOT¹²

¹ Université de Bordeaux, CNRS, UMR 5199 PACEA, F-33615 Pessac.

² Université Clermont Auvergne, CNRS, GEOLAB, F-63000 Clermont-Ferrand.

³ Université Toulouse Jean Jaurès, UMR 5602 CNRS, Géode, F-31058 Toulouse.

⁴ Département de Géographie, Université Laval & INRS-ETE, Québec, Canada

⁵ Exail, Sonar Systems Division, F- La Ciotat.

⁶ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement LSCE, Unité Mixte de Recherche 8212CEA/CNRS/UVSQ, Université Paris-Saclay

⁷ HNHP - Histoire Naturelle de l'Homme Préhistorique UMR 7194 / CNRS, Muséum National d'Histoire Naturelle, Institut de Paléontologie Humaine, 1 rue René Panhard, 75013 Paris France

⁸ CNRS, DT-INSU, UAR 855

⁹ MARITECH, Pertuis, France

¹⁰ UMR 6249 Chrono-environnement, Université de Franche-Comté

¹¹ EscaDrone, Montbonnot Saint Martin, France

¹² ATHOS Environnement