



HAL
open science

L'Anti-Atlas : une archive de la glaciation de la fin de l'Ordovicien.

Jean-François Ghienne, Philippe Razin

► **To cite this version:**

Jean-François Ghienne, Philippe Razin. L'Anti-Atlas: une archive de la glaciation de la fin de l'Ordovicien.. Géochronique, 2020, Le Cambro-Ordovicien de l'Anti-Atlas marocain, 153. hal-03026126

HAL Id: hal-03026126

<https://hal.science/hal-03026126>

Submitted on 26 Nov 2020

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.

L'Anti-Atlas : une archive de la glaciation de la fin de l'Ordovicien

Ghienne J.-F. et P. Razin

À la fin des années 60, l'idée d'une glaciation d'âge Ordovicien supérieur s'impose à la communauté des Sciences de la Terre. Des indices concordants, tout d'abord identifiés de la Mauritanie au Tchad, laissent imaginer une glaciation d'envergure comparable à l'actuel inlandsis antarctique qui aurait essentiellement touché l'Afrique du Nord et de l'Ouest alors positionnée aux hautes latitudes australes. Depuis, des dépôts glaciaires de même âge ont été reconnus plus à l'est, jusqu'en Iran et en Oman, vers le sud, jusqu'au cap de Bonne-Espérance, et vers l'ouest, sur une grande partie du continent sud-américain. Au nord, en Europe, des dépôts à galets lâchés par des glaces dérivantes sont connus du Portugal à la Bulgarie, en passant par la France (Bretagne, Normandie, Corse) ; des icebergs circulaient jusqu'en Pologne par de-là le paléo-océan Rhéique. C'est en fait l'ensemble du Gondwana occidental (Afrique jointe à l'Amérique du Sud) qui fut affecté par cette glaciation (fig. 1). Au Maroc, les séries sédimentaires de l'Ordovicien de l'Anti-Atlas (au sud) mais aussi de la Meseta (au nord) recèlent des archives glaciaires tout à fait exceptionnelles. On doit leur mise en évidence à J. Destombes, qui publie en 1968 deux courts articles : l'un démontre que les glaciers issus de l'actuel Sahara s'écoulaient jusqu'au Maroc ; l'autre apporte une donnée fondamentale quant à l'âge de cette glaciation en précisant l'âge hirnantien de son maximum d'extension, soit l'Ordovicien tout à fait terminal (âge aujourd'hui estimé autour de 444-445 millions d'années). La poursuite du programme de cartographie géologique de l'Anti-Atlas aboutira à la synthèse de 1985 qui inspira

et reste encore aujourd'hui la base de nombreux programmes de recherche dédiés au Paléozoïque du Maroc en général (Voir Razin et al., ce numéro), et à l'Hirnantien glaciaire en particulier.

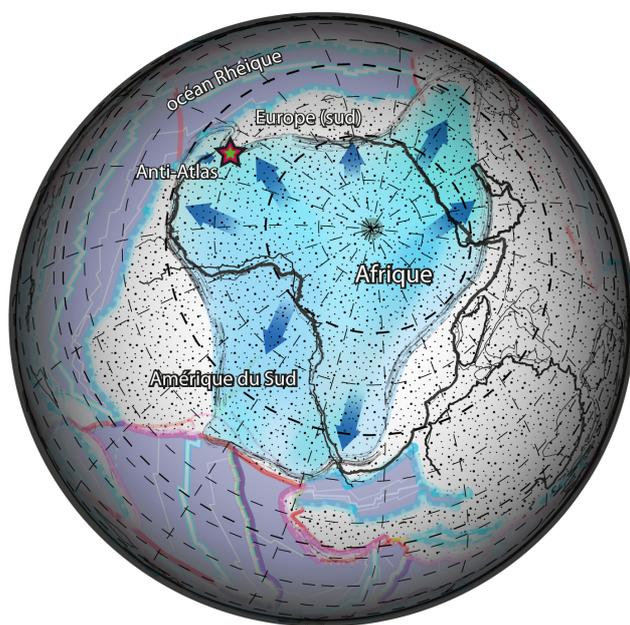


Fig. 1. – Reconstitution de l'inlandsis de la fin de l'Ordovicien sur le Gondwana occidental, à son maximum d'extension. L'Anti-Atlas était idéalement positionné pour enregistrer les fluctuations de la marge glaciaire (J.-F. Ghienne, in Nutz et al., 2013).

Cadre stratigraphique

Les archives dites *glaciaires*, sont constituées de dépôts glaciogéniques témoignant de l'activité de glaciers anciens aujourd'hui disparus. Il s'agit au sens strict de moraines et de deltas juxtaglaciaires, par exemple, mais plus généralement de tout dépôt sédimentaire ou processus de déformation en lien avec le développement de masses de glaces d'échelle continentale.



Fig. 2. – La coupe de référence du groupe du Deuxième Bani (Bou Ingarf, au SW de Tazzarine). Le contact avec les pélites vertes du groupe du Ktaoua y est conforme (absence d'érosion basale). L'arrivée brutale de faciès gréseux (entablement sommital) sur des faciès marins argileux reflète une des premières chutes majeures de niveau marin en lien avec le développement de la glaciation de la fin de l'Ordovicien. La hauteur de l'affleurement est d'environ 350 m. © J.-F. Ghienne.

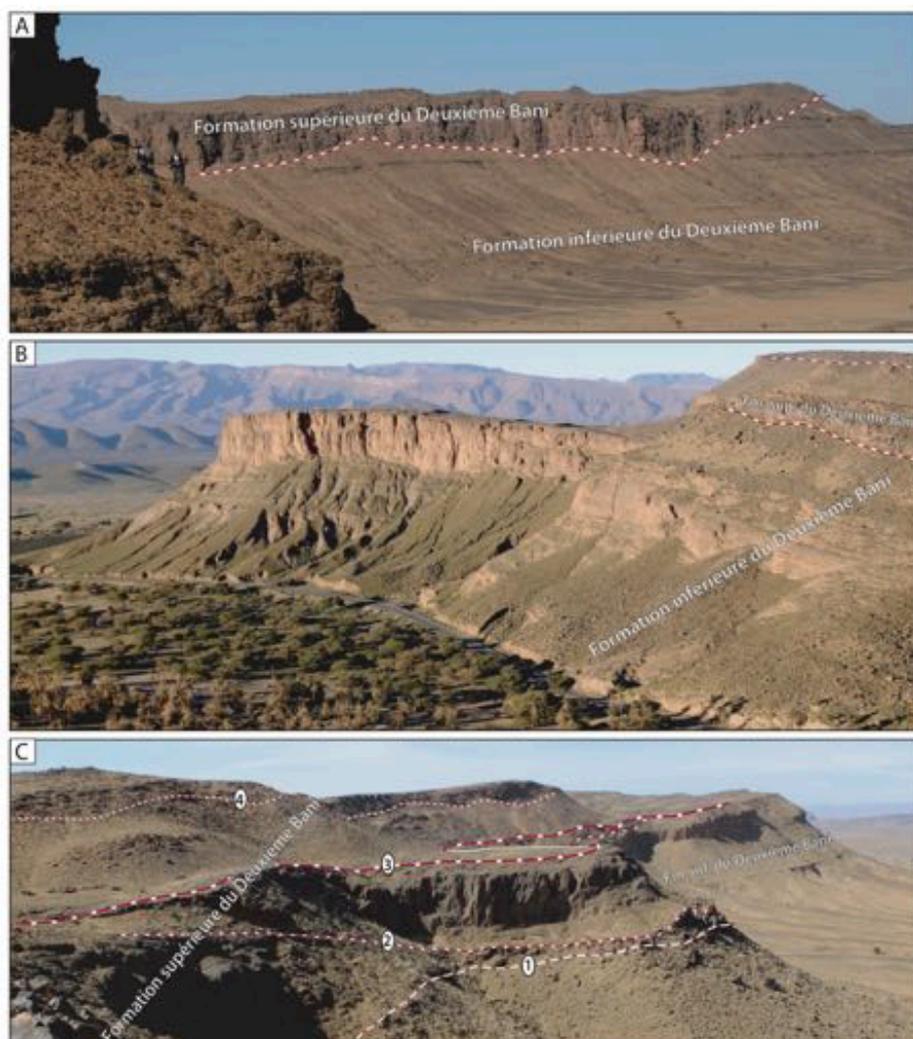
À la lisière nord du Sahara, les archives glaciaires hirnantiennes sont rassemblées dans l'unité lithostratigraphique dite « groupe du Deuxième Bani », du nom du jbel que l'on peut suivre en quasi-continuité de l'Anti-Atlas occidental (Foum el Hassane, Akka, Tissint...) jusqu'à l'Anti-Atlas central (Tagounite, Tazzarine, Oumjrane...), soit sur plus de 600 km (fig. 2 et 3). Vers l'est, à partir d'Alnif et autour d'Erfoud, les affleurements du groupe du Deuxième Bani constituent le remplissage

de paléovallées et sont plus discontinus. Dans l'Anti-Atlas central, le groupe du Deuxième Bani est lui-même subdivisé en deux sous-unités appelées formations inférieure et supérieure du Deuxième Bani (fig. 3A). La formation inférieure, plus ancienne, dépasse localement 200 m d'épaisseur. Reposant sans discontinuité d'érosion sur les sédiments marins sous-jacents du groupe du Ktaoua (fig. 2), elle enregistre sous la forme de cycles régression-transgression les variations de niveau marin glacio-eustatiques qui ont précédé l'arrivée des glaciers sur le domaine paléogéographique correspondant à l'Anti-Atlas d'aujourd'hui (fig. 3B). Ces cycles se marquent dans le paysage par des reliefs en cuesta caractéristiques, d'extension pluridécakilométrique, alternant des grès, anciens sables marins parfois fossilifères, et des niveaux plus argileux correspondant à des paléo-environnements plus profonds. Ces sédiments représentent des phases de chute ou de montée du niveau marin dans le premier cas, et des périodes interglaciaires de hauts niveaux marins dans le second. La formation supérieure du Deuxième Bani, à dominante gréseuse et non fossilifère, repose en discordance de ravinement sur la formation inférieure (fig. 3A). La formation supérieure, qui a une épaisseur moyenne de 50-75 m, peut dépasser 150 m au droit des ravinements majeurs. Elle reste cependant pelliculaire là où aucune érosion antérieure n'a eu lieu. La formation supérieure du Deuxième Bani est formée par la juxtaposition de séquences discontinues encadrées par des surfaces d'érosion pour la plupart d'origine glaciaire (fig. 3C). Ces séquences, qui englobent des dépôts sous-glaciaires, glaciofluviaux, deltaïques, estuariens ou encore glaciomarins, traduisent une série d'avancées-retraits glaciaires associés à un inlandsis dont la marge fluctuait du sud au nord de l'Anti-Atlas. Lors du maximum de glaciation, la marge glaciaire dépassa le Haut Atlas pour atteindre le sud de la Meseta. La formation supérieure du Deuxième Bani se termine par un entablement gréseux constitué d'anciens sables transgressifs postglaciaires montrant une rapide recolonisation du milieu par les faunes benthiques et annonciateurs de la grande transgression de la base du Silurien.

Dans l'Anti-Atlas occidental, le schéma stratigraphique est différent. La formation inférieure est ici absente et la base du groupe du Deuxième Bani correspond à une surface d'érosion glaciaire composite et irrégulière, dans la continuité de la discordance de ravinement de l'Anti-Atlas central. Cette discordance entaille des dépôts préglaciaires de plus en plus anciens en se déplaçant de l'est vers l'ouest, jusqu'à atteindre l'Ordovicien inférieur ou le Cambrien dans le Zemmour (voir Razin et Ghienne, ce numéro). Le groupe du Deuxième Bani est ici constitué de sa seule formation supérieure. La dernière phase d'avancée-retrait est particulièrement bien préservée, puisque non reprise par un stade d'érosion glaciaire ultérieur. Cette disposition stratigraphique, les directions d'écoulements glaciaires, mais aussi des sédiments préglaciaires de plus en plus proximaux de l'est vers l'ouest dans l'Anti-Atlas occidental, indiquent une polarité amont-aval globalement du SW vers le NE. Cette orientation tourne du SE au NW dans l'Anti-Atlas central, se parallélisant avec la direction structurale de l'Ougarta en Algérie, et semble finalement s'inverser de l'est vers l'ouest ($\pm 45^\circ$) dans l'Anti-Atlas oriental. Cette organisation reflète une zone de bassin, plus subsidente le long d'un axe d'orientation SE-NW, qui a accueilli et préservé les dépôts hirnantiens les plus anciens constituant la formation inférieure du Deuxième Bani (Razin et al., Fig. 6, ce numéro).

Fig. 3. – Stratigraphie du groupe du Deuxième Bani.

A) Les formations inférieure (bien stratifiée) et supérieure (massive, à base érosive soulignée par le pointillé rouge ; environ 100 m d'épaisseur) du Deuxième Bani au sud de Tagounite. La formation supérieure constitue ici pour l'essentiel le remplissage d'une vallée en tunnel préalablement creusée par les eaux de fontes circulant sous le glacier. B) La formation inférieure du Deuxième Bani au nord de Tazzarine ; le ressaut gréseux et les deux niveaux argileux qui l'encadrent traduisent un grand cycle régressif-transgressif d'origine glacio-eustatique (de la route au toit du ressaut : 115 m). La formation supérieure, à base érosive, chapeaute les affleurements sur la droite. C) La formation supérieure du Deuxième Bani au NE de Tazzarine, montrant un aspect caractéristique plus chaotique, en fait organisé en vastes lentilles délimitées ici par 4 surfaces d'érosion. Au premier plan, la limite entre formations inférieure et supérieure du Deuxième Bani est la surface glaciaire n°1 ; à l'arrière-plan, elle correspond à la surface n°3 qui est associée au maximum d'extension glaciaire. © J.-F. Ghienne.



Les indicateurs de glaciation

La nature glaciaire du groupe du Deuxième Bani a initialement été suggérée par J. Destombes sur la base (1) de galets d'origine exotique (granites, rhyolites) découverts en plusieurs points de l'Anti-Atlas, (2) d'un unique plancher glaciaire mis à jour dans la région de Fom Zguid, et (3) d'une analogie avec les roches de même âge, qui partout au Sahara voisin avaient montré une discordance de ravinement basal. Cette interprétation est maintenant corroborée par une large panoplie de structures de dépôt, d'érosion ou de déformation à toutes les échelles, du centimètre à la dizaine de kilomètres. Depuis une quinzaine d'année, ont en effet été identifiés :

- de nombreux planchers glaciaires sur substrat meuble associant des stries centimétriques, des cannelures décimétriques et des flûtes glaciaires métriques à plurimétriques à divers autres indicateurs de cisaillement sous-glaciaire tels que fractures, plis en fourreaux ou bourrages (fig. 4A et B). Ces déformations ont affecté des sables chevauchés par la glace en mouvement. La direction des linéations est très constante régionalement pour une même surface glaciaire ;

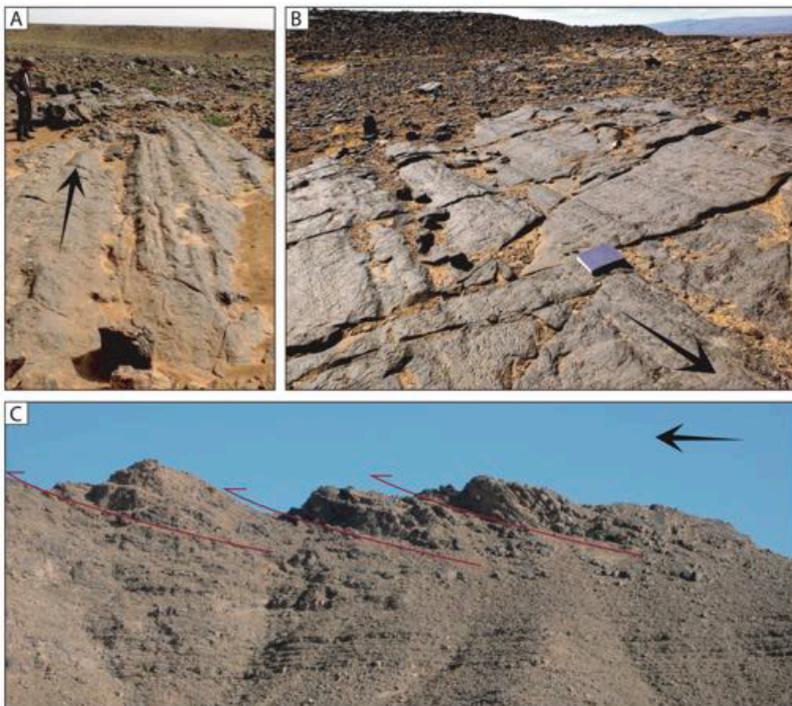


Fig. 4. – Indicateurs d'écoulements glaciaires dans l'Ordovicien de l'Anti-Atlas (flèches noires). (A) et (B) Exemples de planchers glaciaires à stries et cannelures entre Fom Zguid et Tagounite. (C) Écaillage glaciotectionique au nord d'Alnif (épaisseur : environ 40 m). © J.-F. Ghienne.

- des complexes glaciotectioniques (fig. 4C), véritables chaînes de montagne miniatures montrant sur des dizaines de kilomètres carrés des plis, des chevauchements et des nappes de charriage décollés sur un horizon liquéfié intrudé de dykes sableux. Affectant des épaisseurs de sédiments proglaciaires pouvant dépasser 50 m, ces complexes glaciotectioniques peuvent marquer une stabilisation de front glaciaire, ou au contraire avoir été mis en place lors d'un épisode de crue glaciaire ;
- des tillites de déformation (ou 'glaciotectionites') de 1 à 5 m d'épaisseur, constituées de sédiments sous-glaciaires montrant de bas en haut un gradient de déformation de plus en plus intense, avec, en parallèle, un mélange croissant d'éléments locaux et transportés ;
- des dépôts glaciomarins, scellant parfois directement les planchers glaciaires, dont la principale caractéristique est la présence d'éléments lâchés surdimensionnés (galets et blocs) dans une matrice argilo-gréseuse (fig. 5A). Ces éléments sont

d'origine locale (grès, nodules) ou lointaine (quartz filonien, roches métamorphiques et magmatiques) ; certains sont striés sur une ou deux faces (fig. 5B et C), présentant ou non des facettes d'usure traduisant leur façonnement sous-glaciaire ;

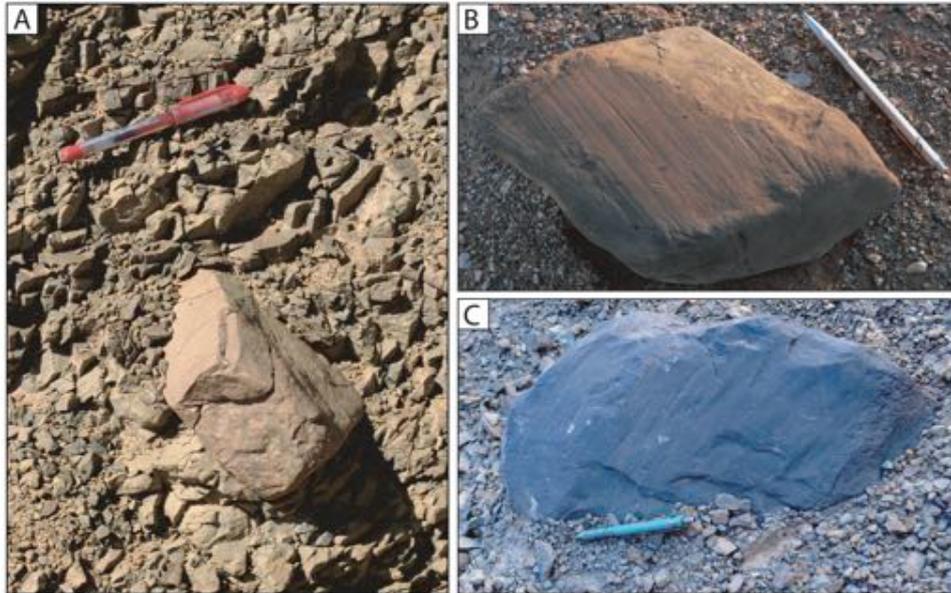


Fig. 5. – Dépôts glaciomarins. (A) galet lâché par des glaces dérivantes dans une matrice argilo-gréseuse (Jbel Amessoui, au sud de Mcissi). (B) et (C) blocs striés (secteur d'Erfoud). © J.-F. Ghienne.

- des planchers glaciels, montrant des stries, cannelures et bourrelets frontaux résultant du passage de glaces flottantes (icebergs, banquise, débâcles) dont la quille griffait ou labourait un fond sableux non consolidé (fig. 6C). Les directions sont alors très variables à l'échelle de l'affleurement ;
- des incisions glaciaires correspondant à des surfaces d'érosion d'ampleur pluridécamétrique taillées dans le substrat sous-glaciaire (fig. 3C). Elles sont soulignées à l'affleurement par des planchers glaciaires et/ou des tillites de déformation ;
- des vallées en tunnel, creusées par les eaux de fontes circulant sous la glace (fig. 3A). Elles forment de vastes structures chenalisantes, de 50 à 150 m de profondeur, pour des largeurs de 0,5 à quelques kilomètres, et dont l'extension cartographique peut largement dépasser la dizaine de kilomètres. Les vallées en tunnel montrent peu de déformation glaciaire associée ; dans certains cas, leur substratum ou leur remplissage initial est traversé d'injections sableuses ;
- des indices de permafrost discontinu, sous la forme d'ensembles de structures circulaires juxtaposées de 10 à 50 m de diamètre, témoignant de la fonte de lentilles de glace de ségrégation. Chacune fonctionnant comme un mini-bassin en affaissement, elles accueillent des dépôts sableux préservant des rides de vagues surimposées par des empreintes de cristaux de glace (fig. 6A et 6B) ;
- des dépôts de hautes énergies (faciès proglaciaires de crue, écoulements sous-glaciaires d'eau de fonte, conglomérats, figures d'échappement d'eau, glissement en masse sur les fronts de delta, systèmes chenaux-levées, etc) qui ne se rencontrent ni dans l'Ordovicien et le Cambrien préglaciaire (à l'exception du thalweg de quelques structures de type canyons sous-marins), ni dans le Silurien postglaciaire. Ces dépôts sont eux aussi de bons indicateurs de l'environnement glaciaire au sens large.

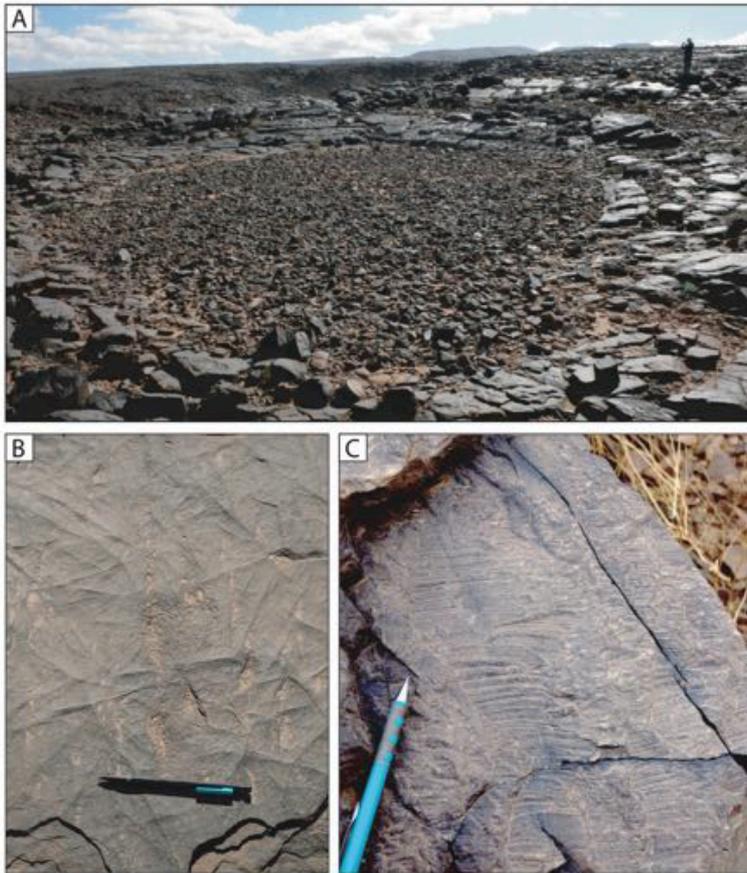


Fig. 6. – Indication de glaces non associées à des glaciers. (A) Structure circulaire formée par la fusion progressive d'une lentille de glace de permafrost (ouest de Taghbalt). (B) empreintes de cristaux de glace dans le remplissage des structures circulaires. (C) Stries glacielles, probablement formées par un radeau de glace dérivante griffant le fond sableux. © J.-F. Ghienne.

Les recherches en cours

L'Hirnantien de l'Anti-Atlas apparaît comme l'une des archives les plus complètes à l'échelle mondiale pour la glaciation de la fin de l'Ordovicien. Son intérêt premier avait été de montrer l'extension vers le nord des glaciers sahariens. Leur étude a également permis de reconstituer un véritable scénario de glaciation, avec des récurrences d'avancées et de retraits glaciaires, formant ensemble une longue séquence d'englaciation progressive entrecoupée de phases de déglaciation, suivie d'une déglaciation rapide mais comprenant des phases de stagnation, voire de ré-avancée. Aujourd'hui, les travaux en cours par différentes équipes sur le groupe du Deuxième Bani sont de trois ordres : (1) affiner le scénario paléoclimatique, en particulier celui de la déglaciation, et si possible en préciser le calendrier biostratigraphique et quantifier les amplitudes de variation de niveaux marins associées ; (2) comprendre, à partir de l'étude de sédiments glaciaires anciens – qui donnent accès à des observables indisponibles si on se limite aux glaciers actuels ou même quaternaires –, certains des mécanismes de dépôts/déformation glaciaires au sens large (hydrologie sous-glaciaire ; processus glaciotectoniques) ; (3) évaluer à l'échelle continentale les flux d'érosion/transfert/sédimentation en contexte de glaciation, en utilisant l'Anti-Atlas comme un jalon incontournable entre les enregistrements les plus proximaux (Mauritanie, Algérie) et les réceptacles sédimentaires ultimes à la marge du Gondwana (Meseta marocaine, Europe). En dépit de plus de 50 années de recherches, le groupe du Deuxième Bani n'a pas encore livré tous ses secrets.

Jean-François Ghienne, Institut de Physique du Globe de Strasbourg, UMR 7516 CNRS – Université de Strasbourg, 1, rue Blessig, 67084 Strasbourg - France

Philippe Razin Université Bordeaux Montaigne, EA 4592 - Géoressources & Environnement, 1, allée Fernand Daguin, 33607, Pessac - France