Le circuit géologique Giele Botter (Differdange-Pétange) – une vitrine à ciel ouvert du géopatrimoine des Terres Rouges luxembourgeoises

Robert Weis[1], Ben Thuy[1] & Laurent Garbay[1,2]

[1]Musée national d'histoire naturelle, section Paléontologie, 25, rue Münster, L-2160 Luxembourg · rweis@mnhn.lu https://orcid.org/0000-0001-8510-0227 · bthuy@mnhn.lu https://orcid.org/0000-0001-8231-9565

[2] Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn · s6lagarb@uni-bonn.de

Weis, R., B. Thuy & L. Garbay, 2022. Le circuit géologique Giele Botter (Differdange-Pétange) – une vitrine à ciel ouvert du géopatrimoine des Terres Rouges luxembourgeoises. *Bulletin de la Société des naturalistes luxembourgeois* 124 : 179-189.

Published online 10 October 2022 (ISSN 2716-750X), printed volume 6 December 2022 (ISSN 0304-9620).

Abstract. The geological trail Giele Botter was established back in 1991, as the first geological trail in the Grand Duchy of Luxembourg. Its setting in a former opencast iron mine allowed showing the different geomorphological, sedimentological, stratigraphical and palaeontological aspects of the worldwide renowned minette ironstones of Luxembourg and Lorraine (France). Thirty years after, the trail was re-designed under the guidance of the Luxembourg Natural History Museum. The current trail details the geological aspects of the minette ironstones on 10 panels, distributed along a walking tour of approximately 3 km.

Keywords. Geoheritage, minette, iron deposits, geological trail, Jurassic, Luxembourg.

1. Introduction

Depuis juillet 1991, la réserve naturelle Prënzebierg compte un circuit géologique aménagé appelé Circuit Giele Botter. Il a été le premier circuit géologique au Luxembourg qui a été suivi par d'autres circuits géologiques comme celui de la vallée de la Pétrusse à Luxembourg-ville, « Mir ginn op d'Grouf » à Stolzemburg ou le parcours transfrontalier « Geologischer Lehrpfad Machtum-Nittel-Wellen ». Le parcours du circuit au Giele Botter, long d'environ 3 km, suit les fronts de taille désaffectés de l'ancienne exploitation à ciel ouvert (Figs. 1, 2). La première concession pour l'exploitation de la minette au Prënzebierg remonte à 1870 et pendant les années 1930 du 20e siècle l'extraction par galerie fut intense au Giele Botter. L'exploitation à ciel ouvert n'a vu le jour qu'après la Deuxième Guerre mondiale pour s'arrêter en 1977 en raison des roches plus riches en minerai ferreux et en même temps moins chères de l'étranger (Mangen 1997). Depuis le 20 novembre 1991, le Prënzebierg est classé comme réserve naturelle nationale sur une superficie de 255 ha, et fait également partie du réseau européen Natura 2000. Depuis octobre 2021, le site est une des zones centrales de la nouvelle réserve de biosphère « Minett » (programme UNESCO Man and the Biosphere) (https://minett-biosphere.com/)

2. Contexte géologique

2.1. Géomorphologie

Le paysage actuel de la région Minett, Terres Rouges en français, a été formé par deux rivières, l'Alzette et la Chiers, et leurs affluents. La formation géologique de la minette, qui a été en grande partie exploitée à ciel ouvert, s'élève en une cuesta bien définie au-dessus de la plaine ondulée des marnes du Lias dans le sud du pays (Lucius 1945 ; Storoni 2010). En dessous de la minette

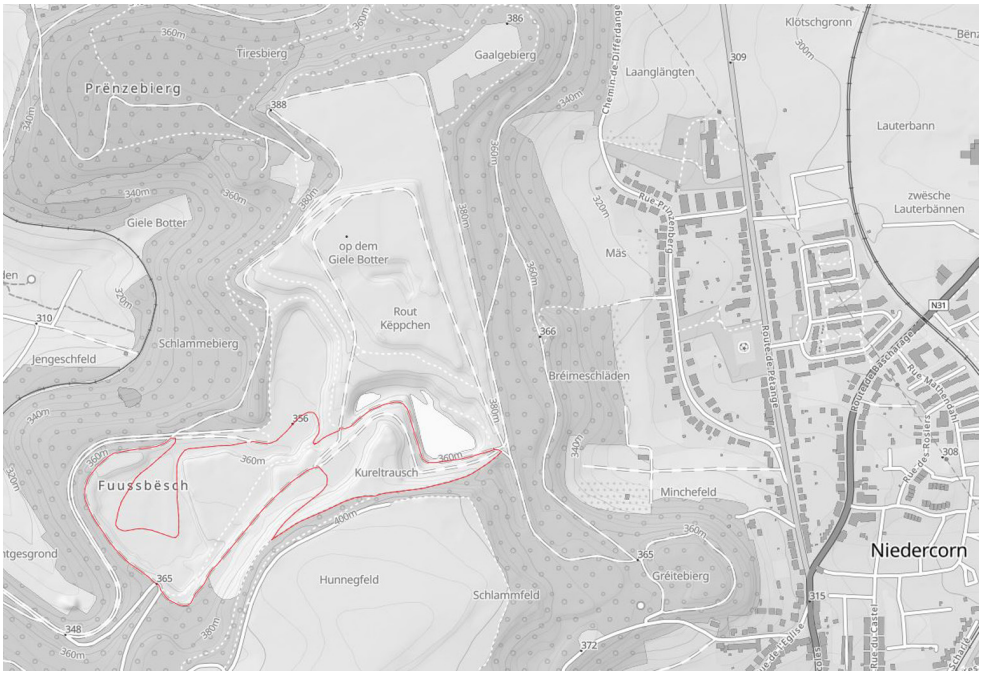


Fig. 1. Extrait de la carte topographique avec position des lieux-dits Prënzebierg et Giele Botter. Le tracé du sentier géologique Giele Botter est marqué en couleur rouge. Copyright de la carte : Administration du cadastre et de la topographie, Luxembourg, 2022.

affleurent des couches de sédiments peu perméables, dont les schistes bitumineux sont les plus connus. Malgré leur nom il ne s'agit pas d'un schiste et donc d'une roche métamorphique, mais d'une argilite donc d'une roche sédimentaire (Lucius 1951 ; Siehl & Thein 1989 ; Teyssen 1989). La nature stratifiée de cette roche est constituée par une lamination très fine des sédiments. Ceci suggère que les sédiments ont été déposés dans un environnement à faible énergie, qui n'a pas été influencé par l'activité des courants (Teyssen 1989). Au-dessus de la formation de la minette, l'escarpement s'élève vers une terrasse en pente douce correspondant à une couche argileuse appelée « Marnes micacées ». Puis, des calcaires fortement fissurés appelés « Calcaire à Sonninia », « Calcaire de Haut-Pont » et les calcaires à récifs de Rumelange forment une autre pente raide : ce sont les roches sédimentaires les plus jeunes du Luxembourg (Lucius 1945).

Toutes les unités géologiques dont nous avons parlé jusqu'à présent se sont formées pendant la période jurassique, entre 185 et 170 millions d'années. Au cours de l'histoire géologique plus récente, les rivières Chiers et Alzette, avec leurs affluents largement ramifiés, ont creusé de profonds sillons dans l'ancien massif du Minett. En posant le regard depuis le Giele Botter, près de Differdange, on peut se faire une idée des immenses forces érosives des rivières. Depuis le point de vue le plus élevé sur le sentier géologique (Station 10), plusieurs élévations, Zolverknapp, Letschet et Pakebierg, se détachent du relief de la plaine du Lias. Il s'agit de restes d'érosion, appelée buttes-témoins, qui indiquent l'ancienne extension de la formation de la Minette. Contrairement aux buttes-témoins complètement isolées, le Tëtelbierg et le Prënzebierg ont partiellement résisté à l'érosion et sont toujours reliés au massif principal par un côté.

2.2. Paléogéographie, climat et environnement sédimentaire

Les restes de coquillages, de bélemnites, reptiles marins et d'autres organismes marins attestent que les minerais de fer oolithiques

de la minette ont été déposés dans une zone de sédimentation marine (Lucius 1945, Teyssen 1984, 1989).

Jusqu'au Trias, la période précédant le Jurassique, tous les continents actuels ont formé une seule et énorme masse continentale, le supercontinent Pangée. Vers la fin du Trias, cependant, ce supercontinent s'est progressivement disloqué sous l'effet de la tectonique des plaques. Des zones auparavant sous influence continentale ont soudainement été confrontées à des conditions marines et vice-versa. Outre la géographie, le climat du Luxembourg au Jurassique différait également du climat tempéré actuel de l'Europe occidentale. Par rapport à aujourd'hui, le Jurassique présentait une augmentation moyenne de la température mondiale de 5 à 10 °C et le gaz à effet de serre CO_2 était présent dans l'atmosphère terrestre en une concentration trois à cinq fois plus élevée (Hallam 1982 ; Slater et al. 2019). Les températures des océans étaient également plus élevées et les calottes glaciaires actuelles des pôles Nord et Sud étaient beaucoup moins développées (Hallam 1982). Cependant, avant et après le dépôt de la minette, pendant les périodes appelées Pliensbachien et Aalénien, les températures étaient moins élevées comme le prouvent les analyses isotopiques dans les bassins circum-arctiques (Hallam 1982, Slater 2019). À ces « périodes froides » s'oppose l'événement océanique anoxique du Toarcien, avec l'augmentation du CO_2 atmosphérique et le réchauffement concomitant de la planète mentionné précédemment. Les roches, qu'elles soient sédimentaires, métamorphiques ou ignées, ont été exposées à des forces d'érosion continentale 400 à 800 % plus fortes au cours de cette période géologique qu'aujourd'hui (Hallam 1982). L'augmentation de l'érosion sur le continent a conduit à un apport sédimentaire accru de particules ferrugineuses dans les mers du Jurassique, via les réseaux fluviaux, et donc à la formation de la minette (Van Houten & Bhattacharyya 1982, Teyssen 1989). A cette époque, le Luxembourg actuel était situé entre deux grandes îles continentales, le massif Londres-Brabant et le Massif rhénan, à la marge nord du Bassin parisien, et était temporairement relié au Bassin nord-allemand par une connexion marine, appelé dans la littérature ancienne le Golfe du Luxembourg. Ce détroit orienté vers le NE a créé un environnement de dépôt à haute énergie dans la région de Luxembourg, qui a fourni des conditions idéales pour la formation de la Minette (Teyssen 1984, 1989).

2.3. Géologie et pétrologie

La délimitation stratigraphique de la minette n'a jamais été définie officiellement, mais dans la littérature il existe un consensus qui suit Lucius (1945). A leur base, les strates de la minette reposent sur les grès à Dumortieria (parfois aussi appelé « Grès supraliasique »), avec un passage graduel entre les deux unités rocheuses. Au sommet de la formation, la minette est délimitée par les marnes micacées. L'ensemble des strates de la minette peut atteindre une épaisseur de 60 m. La structure interne de la minette, assez complexe, est toujours basée sur la subdivision par les mineurs en gisements (« Lagerfazies »). Sur la base des principaux fossiles et notamment des ammonites, les géologues ont pu déterminer que des dépôts similaires par leur composition géochimique peuvent avoir des âges différents, c'est-à-dire que ces couches ont été déposées à des endroits différents et à des époques différentes. Ceci peut s'expliquer par la migration latérale de milieux sédimentaires au sein du bassin et la subdivision du bassin de la minette en deux sous-bassins, l'un oriental (Esch-Ottange) et l'autre occidental (Differdange-Longwy) (Lucius 1945, Thein 1975, Achilles & Schulz 1980). Ces deux zones sédimentaires sont spatialement séparées par une faille importante, appelée faille d'Audun-le-Tiche.

Les couches de minerai des mineurs sont décrites aujourd'hui dans la littérature comme des « cycles ». Un cycle sédimentaire est une séquence de couches, qui se répète (Fig. 3). Un tel cycle commence généralement par une roche à granulométrie très fine dans laquelle on trouve à la base des fossiles non-fragmentés (bivalves, bélemnites, ammonites) et qui présente une bioturbation prononcée, c'est-à-dire des restes de terriers d'organismes mangeurs de sédiments, qui indiquent un fond marin meuble. Vient ensuite la partie ferrugineuse du cycle, la plus importante et généralement la plus épaisse, qui a été exploitée



Fig. 2. Front de taille dégagé près du panneau n° 5 (Les fossiles), montrant les cycles de la couche grise et de la couche rouge. Photo : R. Weis/MnhnL.

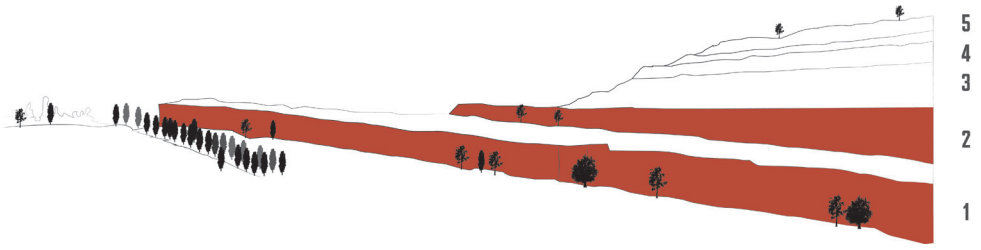


Fig. 3. Coupe schématique de la situation géologique au Giele Botter : 1 Minette, faisceau siliceux ; 2 Minette, faisceau calcaire ; 3 Marnes micacées ; 4 Calcaire à Sonninia; 5 Calcaire de Haut-Pont.

et que l'on appelle aussi le faciès du minerai. La granulométrie de la roche augmente et se situe maintenant dans la fraction de sable moyen à grossier, tandis que la proportion de restes de coquilles non endommagées diminue fortement. A l'échelle des sous-bassins d'Esch et de Differdange, il y a une différence dans le nombre de cycles. Dans les deux bassins, la minette commence par le cycle de la couche verte et se termine par les sédiments du cycle calcaire. Cependant, alors que jusqu'à onze cycles peuvent être comptés dans le bassin d'Esch, un maximum de neuf cycles est présent dans le bassin de Differdange (Thein 1975, Achilles & Schulz 1980).

Malgré les différences verticales et latérales des cycles, les faciès du minerai ont un point commun, à savoir qu'ils sont tous composés de micro-concrétions minérales, appelées informellement « ooïdes » (Fig. 4) malgré les différences de genèse et de composition minéralogique par rapport aux vraies ooïdes calcaires. Ce sont des corps minéraux sphériques à ellipsoïdaux composés de minéraux ferreux qui se forment à partir d'un noyau souvent formé par un grain de limonite brun rougeâtre, arrondi à allongé ; dans certains cas, des débris « d'ooïdes » plus anciens, des débris de minerai limonitique, du quartz ou des débris de coquilles organiques peuvent également constituer le noyau (Siehl & Thein 1978 ; Dahanayake & Krumbein 1986). Ces « ooïdes », dont la taille moyenne est inférieure à 1 mm, se forment là où les eaux côtières chaudes et peu profondes sont

affectées par de forts courants ou des vagues. Les courants maintiennent les « ooïdes » en mouvement constant et le fait qu'ils soient occasionnellement remués peut entraîner la formation de couches concentriques de fer tout autour du noyau. La formation de nouvelles couches ne prend fin que lorsque « l'ooïde » devient si lourd qu'il ne peut plus être maintenu en suspension par le courant. Les « ooïdes » s'accumulent alors dans le sédiment. Une hypothèse alternative de formation des « ooïdes » ferrugineuses met l'accent sur l'érosion de paléosols riches en fer du type latérite, formant le sous-sol des terres émergées avoisinantes, impliquant que les « ooïdes » sont le résultat d'un processus de transport fluvial et de re-sédimentation dans le milieu marin peu profond (Siehl & Thein 1978).

D'un point de vue géochimique, la minette est divisée en deux groupes de gisements (Siehl & Thein 1989). La classification est basée sur les propriétés métallurgiques, et dans le bassin de Differdange les cycles allant de la couche verte à la couche rouge sont appelés le faisceau « siliceux », tandis que les suivants constituent le faisceau « calcaire » (limonitiques), qui comprend les cycles des couches calcaires inférieurs et supérieurs. La séparation entre les deux groupes de strates est basée sur le rapport entre CaO et SiO_2, qui est important pour la fusion des métaux (< 1,4 = siliceux, > 1,4 = calcaire). Contrairement au bassin de Differdange, dans le bassin d'Esch les cycles calcaires comprennnent les cycles des couches grise, jaune, et rouge principal. Ils peuvent être facilement corrélés dans presque tout le bassin d'Esch. Avec une épaisseur allant jusqu'à 6 m, le cycle de la couche grise est le plus important de tout le bassin d'Esch. En 1945, Lucius a interprété le groupe des couches calcaires supérieures uniquement sur la base des formations oolithiques, concluant qu'il n'y a pas de couche de minerai continue, mais plutôt des accumulations locales de minerai dans une séquence de strates calcaires. Achilles & Schulz (1980) ont ajouté, en plus des « ooïdes » de fer, la stratification oblique comme caractéristique du faciès de dépôt et a ainsi pu diviser ce groupe de dépôts en trois groupes cycliques plus ou moins bien développés (Groupe des couches calcaires supérieurs 1 à 3). Cependant, cette classification ne peut être appliquée qu'au bassin d'Esch, puisque de telles recherches n'ont jamais eu lieu dans le bassin de Differdange. Le dépôt du groupe des couches siliceuses s'est déroulé dans un environnement calme, d'où la grande répartition uniforme de ce groupe et le passage progressif des couches ferrifères aux couches intermédiaires. Dans le groupe des couches calcaires inférieur, certaines couches ferrifères sont nettement séparées de la couche intermédiaire par une brèche grossière ou

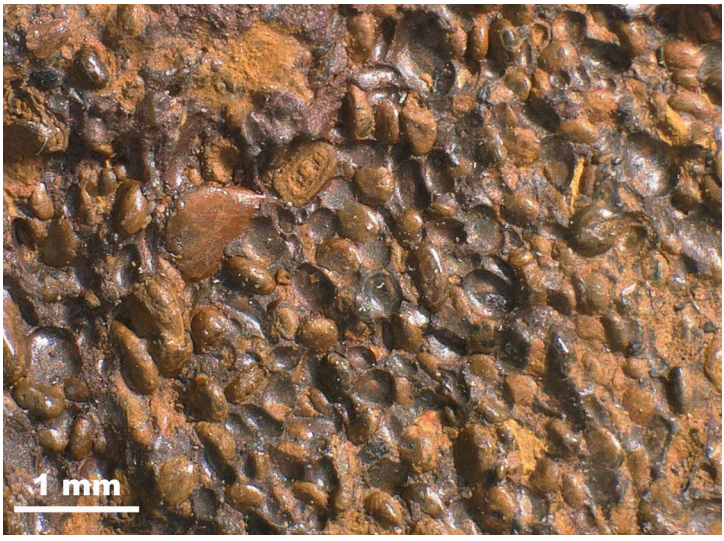


Fig. 4. Détail des ooïdes de fer (panneau n° 4). Photo : C. Rollinger/MnhnL.

un calcaire bioclastique dur, le « Bengelick » des mineurs, qui indique des conditions sédimentaires altérées.

2.4. Paléontologie

Les nombreux fossiles conservés dans les roches de la minette donnent un aperçu intéressant de la vie des fonds marins à l'époque du Jurassique inférieur-moyen (Fig. 5) (Benecke 1905 ; Lucius 1945). Le contenu fossile de la minette varie assez fortement entre les différentes couches et aussi au sein d'un cycle sédimentaire : l'intermédiaire et la base du cycle contiennent généralement des bivalves fouisseurs ainsi qu'une faune de céphalopodes y inclus les ammonites (Maubeuge 1947, 1950 ; Di Cencio et al. 2020),



Fig. 5. Reconstruction paléoécologique des fonds marins pendant le dépôt de la Minette (panneau n° 5). Illustration : J. Knüppe pour MnhnL.

bélemnites (Weis 1999) et nautilidés. On connaît également des traces fossiles diversifiées (ichnofaunes) dans cette zone, notamment des terriers d'organismes fouisseurs. Le gisement de minerai proprement dit ne contient généralement pas de fossiles complets, tandis que la dernière strate (« banc coquiller » ou « Bengelick » selon le nom du mineur) est presque exclusivement composée de coquilles de bivalves généralement fragmentées en raison du transport et de l'action des vagues. Plus rarement, des ossements isolés de reptiles marins sont présents dans la minette. On connaît des vertèbres isolées et des os d'ichtyosaures, de plésiosaures et de crocodiles marins primitifs (Teleosauridae) (Benecke 1905 ; Johnson et al. 2019 ; Fischer et al. 2021). Parmi les fossiles rarement conservés figurent également des gastéropodes et des restes d'échinodermes, y inclus des lys de mer et des oursins. Des restes isolés de plantes terrestres et de bois pétrifié témoignent de la proximité des dépôts marins de la minette avec la terre ferme.

2.5. De remarquables « archives de la Terre »

La formation de la minette est géologiquement connue dans le monde entier et le nom de minette caractérise même un type particulier de minerai de fer oolithique (« minette-type ironstones») (Siehl & Thein 1989). Sur le plan géologique-pétrographique, la minette peut donc être classée comme un monument naturel digne de protection, mais aussi sur le plan paléontologique, la minette et les fossiles qu'elle contient jouent un rôle d'importance au-delà du contexte régional. Les géologues allemands W. Branco (1879) et Benecke (1905) notamment ont décrit de nombreuses nouvelles espèces d'ammonites et d'autres invertébrés de la minette, dont certaines jouent un rôle particulier comme fossiles-index, permettant de classer les couches selon leur âge stratigraphique. Plus récemment, d'autres espèces d'ammonites ont été décrites de la couche grise de Dudelange par le géologue lorrain Maubeuge (1947, 1950). Ces dernières années, ce sont surtout les couches supérieures de la minette, d'âge aalénien, qui ont fait l'objet de recherches scientifiques. Des fouilles récentes menées par le Musée d'histoire naturelle à Rumelange ont mis en évidence une nouvelle espèce de bélemnite (Weis & Mariotti 2008) ainsi que de nombreuses ammonites (Guérin-Franiatte & Weis 2010 ; Sadki et al. 2020). Par ailleurs, les os isolés de reptiles marins de la minette ont contribué de manière significative à une meilleure connaissance du changement faunistique que subissaient les reptiles marins entre le jurassique inférieur et moyen (Fischer et al. 2021). Les restes calcaires d'organismes, tels que les rostres de bélemnites ou les dents de poissons, sont également utilisés, grâce aux isotopes qu'ils contiennent, comme « thermomètres préhistoriques » pour la recherche sur le changement climatique du Jurassique, une période qui bénéficie actuellement d'une grande attention dans la recherche internationale en raison de ses parallèles avec le changement climatique actuel (Lécuyer et al. 2003 ; Dera et al. 2009). Dans ce contexte, il est important de garder accessibles au moins quelques affleurements représentatifs de la minette, afin que les générations actuelles et futures de chercheurs aient la possibilité d'utiliser ces archives uniques pour la recherche paléoclimatologique et paléobiologique. Le Giele Botter, sur le territoire des municipalités de Differdange et Pétange, ainsi que le « Hutberg » sur le territoire des municipalités de Rumelange et Kayl-Tétange revêtent une importance particulière dans ce contexte (Weis 2022).

3. Présentation du circuit géologique

Le circuit géologique dans sa présente forme (été 2021) a été retravaillé de juillet 2020-juillet 2021 dans le cadre d'un groupe de travail sous la conduite du Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg, groupe comprenant des représentants des communes de Differdange et Pétange, de l'Administration de la nature et des forêts, du Minett Park Fonds-de-Gras, de l'Office régional du tourisme Sud, avec la collaboration externe du Service géologique national. Les thématiques traitées couvrent de nombreux aspects et phénomènes géologiques régionaux et suprarégionaux. Le

projet graphique (Fig. 6), qui a été créé par le Service graphique du Mnhn Luxembourg (A. Faber), s'inspire de l'esthétique du Steam Punk, un courant présent dans les oeuvres artistiques et le monde de la création, et qui renvoie à l'époque de la révolution industrielle en jouant sur une vision fantasmée de la place de l'Homme au sein d'une société automatisée. Cette thématique est bien présente sur le site, du moment que le Steam Punk Festival est organisé chaque septembre sur le site du Minett Park Fonds-de-Gras, à quelques encablures du circuit géologique.

Les 10 stations suivantes font partie du circuit (titres et textes des panneaux) :

1 La Minette : patrimoine mondial

Les roches de la minette forment un des plus grands gisements de minerai de fer connu au monde. Il s'étend du Luxembourg vers le centre du bassin parisien, en Lorraine jusqu'à la région de Nancy, bien que la majeure partie soit souterraine. Ce n'est que dans la région du Luxembourg que la roche de la minette affleure à la surface et pouvait donc être aussi exploitée à ciel ouvert. L'exploitation industrielle du minerai de fer sur le territoire luxembourgeois a commencé vers 1850 et s'est terminée en 1981 avec la fermeture de la mine du Thillenberg.

2 Les dunes sous la mer

Reconnaissez-vous les stries inclinées sur les fronts de taille ? S'agit-il des traces des grandes machines à l'époque de l'extraction du minerai ? Non, ce sont les restes de grandes dunes sous-marines ! Lorsque les roches ont été déposées il y a environ 175 millions d'années, il y avait de forts courants de marée à cet endroit. Ces derniers ont transporté les grains de sable qui se trouvaient au fond de la mer sous la forme de grandes dunes, un peu comme le vent dans le désert.

3 D'où vient tout ce fer ?

Il y a environ 180 millions d'années, la minette se trouvait près du littoral d'une grande île. Sous un climat tropical, une forêt tropicale y a prospéré sur le continent. Tout comme l'Amazonie actuelle, le sol sous cette forêt tropicale était très altéré et enrichi en fer. Lorsque le climat est devenu plus frais et plus pluvieux, la forêt tropicale a disparu et la terre rouge sous-jacente a été emportée par les rivières dans la mer et déposée sous forme de sable riche en fer. La minette est née.

4 Du fer partout ?

Le fait que la roche de la minette contienne du fer est clairement reconnaissable à sa couleur rouge rouille. Les minéraux de fer qui provoquent cette coloration sont répar-



Fig. 6. Vue du panneau n° 10 (géomorphologie), avec la butte-témoin du Zolverknapp en arrière-plan. Photo : R. Weis/MnhnL.

tis différemment dans la roche. La concentration la plus élevée de fer se trouve dans ce qu'on appelle les ooïdes de fer : de petits grains de minéraux de fer brillants, ressemblant à des dragées, parfois composées en couches comme un oignon. Plus une roche contient de tels ooïdes, plus sa teneur en fer est élevée, allant jusqu'à 34%. Cette concentration relativement basse de fer donna son nom à la minette (minette = petite mine).

5 Les fossiles

Les roches de la minette sont parfois riches en fossiles. Ils témoignent des animaux marins qui vivaient ici dans la mer jurassique il y a 180 millions d'années : les ammonites, semblables aux nautiles actuels, les bélemnites avec leur squelette interne en forme de balle de fusil, et de nombreux coquillages. Une particularité locale est une grande espèce d'huître en forme de bol qui vivait sur le fond sablonneux de la mer jurassique. Reconnaissez-vous les coquilles d'huîtres sous forme de fine couche blanche dans la paroi rocheuse ?

6 Jurassic World dans la Minette

Les roches de la minette ont été déposées dans une mer peu profonde pendant la période jurassique, il y a 175 à 170 millions d'années. À cette époque, le climat de la Terre était différent de celui d'aujourd'hui : il était globalement plus chaud et les saisons des pluies étaient plus prononcées. La répartition des continents était également différente. L'Europe se trouvait plus au sud et était un archipel avec plusieurs grandes îles. L'une d'entre elles s'étendait de l'actuelle Londres à travers les Ardennes, au nord du bassin de la Minette.

7 Les terrasses de la Minette

La vue panoramique révèle les terrasses de l'exploitation du minerai de fer. Elles correspondent aux différentes couches de roches. Les terrasses inférieures sont constituées de roches de la minette, brun rouillé à cause du minerai de fer, et appartiennent géologiquement au Toarcien supérieur et à l'Aalénien. Les terrasses du dessus sont constituées de calcaires et de marnes gris-jaune d'une époque appelée Bajocien. Ils font partie des plus jeunes strates rocheuses du territoire luxembourgeois.

8 Le toit du minérai

Les couches grises-jaunes situées directement au-dessus de la roche de la minette, appelées Marnes micacées et couches à Sonninia, sont stériles du point de vue minier, c'est-à-dire qu'elles ne contiennent aucun minerai digne d'être extrait. Pour aggraver les choses, elles sont sujettes à de dangereux glissements de terrain et ont donc été largement enlevées pendant les périodes d'exploitation minière. Pour les paléontologues, cependant, ces strates sont extrêmement passionnantes : en particulier ici, sur le Giele Botter, elles contiennent des bancs calcaires avec des fossiles de gastéropodes, de coquillages, d'oursins et de coraux exceptionnellement bien conservés et divers.

9 Sable calcaire de la mer à coraux

Le climat dans la région de l'actuel Luxembourg était presque comme celui des Bahamas lorsque le calcaire jaune, appelé Calcaire de Haut Pont, a été déposé au Jurassique moyen. Si vous examinez le calcaire de près, vous verrez d'innombrables petits fragments de coquilles et d'autres organismes marins. Ces fragments ont formé des dunes sous-marines de sable calcaire il y a 170 millions d'années, à proximité immédiate de récifs coralliens.

10 Des buttes solitaires et des rivières séparées

Ici, sur l'un des points les plus élevés du plateau du Dogger, en regardant vers le sud-est, le paysage de la Minette révèle l'une de ses caractéristiques les plus connues : trois collines proéminentes, Zolverknapp, Lëtschet et Pakebierg, qui se dressent isolées comme des buttes dites témoins devant la cuesta de la Minette (ici le Galgenbierg de Belvaux). Ce sont les vestiges d'une ancienne extension plus importante des strates de minette. En outre, ils forment ce qu'on appelle une ligne de partage des eaux : la Chiers se jette dans la Meuse, tandis que l'Alzette et

la Mess, de l'autre côté de la chaîne de collines, appartiennent au bassin versant du Rhin.

4. Conclusion

Le trentième anniversaire du circuit géologique Giele Botter a été l'occasion d'une remise à jour tant graphique que conceptuelle. Le circuit géologique est désormais prêt à jouer un rôle éducatif et géotouristique dans le cadre de la nouvelle réserve de biosphère et plus particulièrement aussi dans le contexte du Minett Park Fonds-de-Gras, qui en assurera en partie la promotion touristique. Les informations contenues sur 10 panneaux explicatifs peuvent être approfondies grâce à un lien avec le site www.geologie.lu. Une exposition de fossiles de la minette est également accessible au Musée Pesch, à Lasauvage (https://minettpark.lu/activites/musee-eugene-pesch/).

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. Robert Haas (Hautcharage) pour son engagement des années durant pour la promotion du circuit Giele Botter et le professeur Frank Wagner (Trêves) pour la relecture du manuscrit. Un merci également aux institutions ayant contribué à la réalisation du circuit, notamment les administrations communales de Differdange et Pétange, l'Administration de la nature et des forêts et le Service géologique du Luxembourg.

Bibliographie

Achilles, H. & H. J. Schulz, 1980. Geologische Untersuchungen in der Minette des Escher Beckens (Luxemburg). *Revue Technique Luxembourgeoise* : 93-141.

Benecke, E. W., 1905. Die Versteinerungen der Eisenerzformation von Deutsch-Lothringen und Luxemburg. *Abhandlungen zur Geologischen Spezial Karte von Elsaß-Lothringen, N.F.* 6: 1-598.

Branco, W., 1879. Der Untere Dogger deutsch-Lothringens und Luxemburg. *Abhandlungen zur Geologischen Spezial Karte von Elsaß-Lothringen* 2: 1-160.

Dahanayake, K. & W. E. Krumbein, 1986. Microbial structures in oolitic iron formations. *Mineralium Deposita* 21 (2): 85-94.

Dera, G., Pucéat, E., Pellenard, P., Neige, P., Delsate, D., Joachimski, M.M., Reisberg, L. & M. Martinez, 2009. Water mass exchange and variations in seawater temperature in the NW Tethys during the Early Jurassic: evidence from neodymium and oxygen isotopes of fish teeth and belemnites. *Earth and Planetary Science Letters* 286 (1-2): 198-207.

Di Cencio, A., Sadki, D. & R. Weis, 2020. Les ammonites de la Minette. Ferrantia – Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle, Luxembourg 83 : 1-129.

Fischer, V., Weis, R. & B. Thuy, 2021. Refining the marine reptile turnover at the Early–Middle Jurassic transition. *PeerJ* 9 (3–4): e10647. (DOI: 10.7717/peerj.10647)

Guérin-Franiatte, S. & R. Weis, 2010. Le Passage Aalénien-Bajocien près de Rumelange: La série biostratigraphique dans le bassin d'Esch-Sur-Alzette (Grand-Duché de Luxembourg). *Ferrantia – Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle, Luxembourg* 62 : 73-96.

Hallam, A. 1982.The Jurassic climate.Studies in Geophysics: Climate in Earth History. National Academy Press Washington, DC: 159-163.

Johnson, M.M., Young, M.T., Brusatte, S., Thuy, B. & R. Weis, 2019. A catalogue of teleosauroids (Crocodylomorpha: Thalattosuchia) from the Toarcian and Bajocian (Jurassic) of southern Luxembourg. *Historical Biology* 31 (9): 1179-1194.

Lécuyer, C., Picard, S., Garcia, J.-P., Sheppard, S.M.F., Grandjean, P. & G. Dromart, 2003. Thermal evolution of Tethyan surface waters during the Middle-Late Jurassic: Evidence from δ18O values of marine fish teeth. *Paleoceanography* 18 (3): 1076, doi:10.1029/2002PA000863.

Lucius, M., 1945. Die Luxemburger Minetteformation und die jüngeren Eisenerzbildungen unseres Landes. *Beiträge zur Geologie von Luxemburg. Service de la carte géologique de Luxembourg* 4: 1-347.

Lucius, M., 1951. Übersicht über die Geologie Luxemburgs. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*: 178-208.

Mangen, J.C., 1997. Les mutations du bassin minier Luxembourgeois: l'influence de l'industrie minière et sidérurgique sur la vie sociale et le milieu naturel. Dissertation Université Paul Verlaine-Metz, 274 pp.

Maubeuge, P. L., 1947. Sur quelques ammonites de l'»Aalénien Ferrugineux» du Luxembourg et sur l'échelle stratigraphique de la formation

ferrifère franco-belgo-luxembourgeoise. *Archives de l'Institut Grand-Ducal de Luxembourg, Section des Sciences naturelles* XVII: 73-87.

Maubeuge, P. L., 1950. Nouvelles Recherches Stratigraphiques et Paléontologiques sur l'Aalénien Luxembourgeois. *Musée d'Histoire Naturelle Luxembourg* XIX: 365-396.

Siehl, A. & J. Thein, 1978. Geochemische Trends in der Minette (Jura, Luxemburg/ Lothringen). *Geologische Rundschau: Zeitschrift für allgemeine Geologie* 67 (3): 1052-77.

Siehl, A. & J. Thein, 1989. Minette-Type ironstones. *Geological Society, London, Special Publications* 46 (1): 175-93.

Slater, S.M., Twitchett, R.J., Danise, S. & V. Vajda, 2019. Substantial vegetation response to Early Jurassic global warming with impacts on oceanic anoxia. *Nature Geoscience* 12: 462–467.

Storoni, A., 2010. Les paysages géologiques du Luxembourg. Editions Schortgen, 58 pp.

Teyssen, T., 1984. Sedimentology of the Minette oolitic ironstones of Luxembourg and Lorraine: a Jurassic subtidal sandwave complex. *Sedimentology* 31 (2): 195-211.

Teyssen, T., 1989. A depositional model for the Liassic Minette ironstones (Luxemburg and France), in comparison with other Phanerozoic oolitic ironstones. *Geological Society, London, Special Publications* 46 (1): 79-92.

Thein, J., 1975. Sedimentologisch - stratigraphische Untersuchungen in der Minette des Differdinger Beckens (Luxemburg). *Publications du Service Géologique du Luxembourg* 24: 5-53.

Van Houten, F. B. & D. P. Bhattacharyya, 1982. Phanerozoic oolitic ironstones-Geologic record and facies model. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences 10* (1): 441-57.

Weis, R., 1999. Die Belemniten der Minette-Formation (ob. Toarcium-ob. Aalenium) Luxemburgs. *Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle, Luxembourg* 32: 207-249.

Weis, R., 2022. Geoheritage in the Minett UNESCO Biosphere (southern Luxembourg): inventory, evaluation, and conservation aspects of representative geosites. *Geoheritage* 14: 19 (2022). https://doi.org/10.1007/s12371-022-00658-z

Weis, R. & N. Mariotti, 2008. A belemnite fauna from the Aalenian-Bajocian boundary beds of the Grand Duchy of Luxembourg (NE Paris Basin). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana* 46 (2-3): 149-174.