

Jean-Pierre Dugène
Dominique Rossier*

Etranges témoins du Dévonien en Ossau : *Volcans de sable ?*

C'était un jour presque comme les autres, voué à l'exploration d'un pâturage de la vallée d'Ossau, à la recherche de pierres gravées par les bergers au cours des siècles précédents. Cette fois, c'est vers la montagne d'Er, où estivent les bergers de Gère-Bélesten que je me dirigeais. Un vieux berger m'avait dit que dans le secteur appelé « lous Mourous », beaucoup de bergers s'étaient inscrits sur les pierres, je devais donc chercher près des anciennes cabanes.

Déjà à la montée, après une heure et demie de marche, sur un sentier bien tracé, mon regard est attiré par une crotte d'ours, juste sur le bord du chemin, toute fraîche, elle devait être de la nuit précédente ou du petit matin.

Toujours plaisant d'arriver au lac d'Er. Pas de randonneur, les troupeaux de brebis sont descendus, le calme absolu ! C'est un lieu où je m'arrête dix minutes, parce que la raillère au-dessus est assez raide et fatigante si l'on ne reprend pas quelques forces avant de l'aborder. Le seul souci est la météo, le ciel n'est pas vraiment dégagé. Je vais quand même vers « lous Mourous » (**figure 1**).

figure 1.

Versant nord-est du Pic d'Aulère. Sous la crête qui court du Pic d'Aulère au Pic de Houratatère, un vaste chaos rocheux marqué par des arcs et des cordons morainiques a été formé à l'âge glaciaire. Son extrémité vient mourir au fond du vallon pastoral de lous Mourous. Au fond se dresse le sommet bifide du Pic du Midi d'Ossau.

(Photo J.P. Dugène).



Les ruines des anciennes cabanes, les enclos et les parcs à traire sont répartis dans ce petit vallon, j'y trouve même une sorte d'ancienne grotte aménagée, vu l'orientation de l'entrée, la proximité du ruisseau, sa configuration : à moitié enfouie, je comprends que la cavité servait de saloir provisoire pour les fromages fabriqués sur le lieu.

Pas de chance, le brouillard m'empêche de me repérer correctement, il semble qu'il est installé pour un long moment, pourtant par instant il laisse deviner le soleil. Je connais un petit col au-dessus, c'est un peu raide, il faut franchir un éboulis de gros blocs, en principe il n'incite pas à le gravir, mais en marche vers le soleil !

Quelques minutes après, tout en regardant si les bergers se sont marqués sur ces pierres – à vrai dire ils n'aiment pas graver sur les éboulis – mon regard est attiré par une forme géologique arrondie, mais je continue à monter. Très rapidement autre forme ronde, vraiment particulière, je grimpe encore. Moins de cinq minutes et voilà une structure quasiment identique, celle-là est vraiment belle. Le bloc mesure au moins un mètre cube, sur la face qui apparaît à ma vue, deux figures remarquables. On dirait qu'un enfant a dessiné un soleil : un cercle et les rayons tout autour. Cela mérite un arrêt pour

*Membre de l'Association des Amis du Parc National des Pyrénées.

quelques photos. Je sors mon carnet de terrain et je marque : « le 24 septembre 1990, fossiles au-dessous d'une petite grotte ». Je schématise les deux structures que je photographie en indiquant les diamètres, le premier 20 cm, le second 24. A coup sûr, ce sont des fossiles, toutefois je ne suis pas certain de mon interprétation.

Je montre les photos de ma découverte à deux géologues ; après les avoir menés sur les lieux, je ne serai pas plus avancé. Ils ne voient pas à quelle famille de fossiles ceux qui nous intriguent pourraient être rattachés.

Je continue mes recherches de pierres gravées, quand Gwenaëlle, une jeune accompagnatrice en montagne, me signale une gravure où le berger, qui a du combattre les Allemands, a écrit « Vive la patrie. A bas la bochie ». Je ne connais pas cette inscription et les renseignements que Gwenaëlle me donne sont vagues. Je retourne à Er pour voir de mes yeux cette sentence, vers « Caillaou de Bot » ; ce doit être là, m'a dit Gwenaëlle, mais sans certitude (**figure 2**).



Figure 2.

Versant est du Pic d'Aule.

Le secteur exploré le 3 août 1997 est celui du petit lac au centre de la photo, non loin du « Caillaou de Bot ».

Ce secteur est à 1000 mètres à vol d'oiseau du secteur de lous Mourous (figure 1). Le lac d'Er est en contrebas à droite, mais caché par le relief.

(Photo J.P. Dugène).

Le 3 août 1997, j'explore ce quartier sans trouver cet écrit. J'agrandis mon périmètre de recherche jusqu'à un petit lac, le lieu me semble propice à l'écriture pour

les bergers lapidaires. Mais rien, si ce n'est que je retrouve le même style de structures fossiles qu'aux Mourous. Situé à 1 000 mètres à vol d'oiseau, à cause du relief il faut près d'une heure de marche pour aller de l'un à l'autre site.

Je trouve que, cette fois, l'intérêt géologique est supérieur à ma découverte de 1990, parce qu'il y a une magnifique plaque inclinée où se répartissent des structures fossilisées en nombre important. Peut-être 20, 30 ou même plus, s'étalent sur une surface d'une dizaine de mètres carrés. A proximité immédiate, une autre plaque a dû avoir à l'origine les mêmes structures mais là, elles apparaissent comme aplaties.

A une vingtaine de mètres, des affleurements de rochers inclinés ont eux aussi les mêmes structures, c'est magnifique ! Quelques photos, repérage sur la carte IGN pour y retourner... au besoin.

En redescendant dans la vallée, je suis sûr que c'est une belle découverte, mais y aura-t-il quelqu'un pour m'aiguiller afin de déterminer ces fossiles ?

Quelque temps après, je remonte avec une géologue qui trouve le site magnifique mais ne peut dire de quelle famille de fossiles il s'agit. Plusieurs pistes seraient possibles, aucune ne se révèle vraiment pertinente.

Plus de dix années passent sans que le problème ne trouve de solution.

Dans le cadre d'une animation à la Maison du Parc National des Pyrénées à Laruns, une rencontre avec Dominique Rossier venu parler du volcanisme de l'Ossau, va s'avérer fructueuse. Je lui signale ma découverte de fossiles dont certains dépassent cinquante centimètres de diamètre, mais dont la détermination n'a jamais pu être établie par ceux qui les ont observés.

A la vue des photos transmises par « e-mail », lui aussi est conquis par la beauté des structures, mais il faut absolument aller sur le site pour les étudier.

Nous avons donc rendez-vous le 24 octobre 2008 pour visiter le secteur proche du « Caillaou de Bot », celui-ci me semble propice à une étude géologique permettant une réponse plus pertinente qu'après une étude à faire à « lous Mourous ». C'est sous une fine couche de neige tombée les jours précédents que nous atteindrons le site. L'environnement et les structures fossiles laissent mon compagnon admiratif.

Un seul prélèvement de roche sera effectué, dès le premier regard, il me dit que l'identification sera difficile : « on dirait qu'il n'y a que de la silice ! »

Voilà une intuition qui s'avérera juste à l'observation microscopique.

L'hiver 2009 fut vraiment très enneigé, nous n'avions pas vu pareille épaisseur de neige depuis longtemps. Pourtant en montant vers le haut de la vallée, le 1^{er} juin, je trouve que la neige a fondu très rapidement. Du parking de Bious, je vois que le haut d'Aulère est déjà déneigé, c'est le moment d'aller photographier – en numérique – une inscription pastorale qui me tient à cœur : « Cauhapé Gabriel, berger du troupeau pépinière, triste souvenir de l'an 1944, trois mois sans pain, j'ai faim et pas de pain ». Le troupeau en question regroupait les meilleurs béliers et brebis de la vallée dans le but d'avoir des agneaux et des agnelles plus performants en production de laine, de viande et bien sûr de lait. Un bon éclairage me permet de prendre quelques photos, puis je m'installe pour manger sur place.

J'ai bientôt le regard attiré par des couches géologiques semblables à celles de ma découverte de 1997, elles se situent au-dessus de moi, à moins d'un quart d'heure de marche sur une pente un peu raide. Il faut absolument aller voir si par hasard ?...Pourtant je ne suis pas dans le même vallon, ils sont séparés par une crête élevée et abrupte, il y a quelques centaines de mètres depuis le site des Mourous ; toutefois, la ressemblance est troublante.

D'abord, j'observe toutes les surfaces qui pourraient comporter des structures semblables aux découvertes précédentes. Je ne parle plus de fossiles mais de structures puisque dorénavant nous en savons un peu plus sur ces observations. Rien de particulier pour cette fois. Alors que je pensais avoir terminé mes observations, quasiment en bordure des dernières plaques, voilà qu'apparaît le même style de renflements avec des diamètres plus petits, moins de dix centimètres. Sûr, ce sont les mêmes structures, mais moins développées. On y voit les « valves » centrales comme observé sur les deux autres sites. Les relevés GPS permettent d'indiquer que le site le plus proche – celui de 1990 – se situe à environ 400 mètres et le plus éloigné – celui de 1997 – est à plus de 1350 mètres. Ce phénomène peut donc s'observer sur une surface conséquente.

Suite à la visite d'un des sites et du minime prélèvement effectué, je laisse Dominique poursuivre la description scientifique de ces découvertes.

L'enquête commence.

L'affaire est sérieuse en effet ! Mais avant de se précipiter pour proposer une explication, essayons de réunir les éléments d'une véritable enquête.

Plaçons-nous devant la grande dalle découverte par Jean-Pierre : nous la désignerons dorénavant par le nom de « dalle de l'inventeur » ! Elle est située entre la mi-hauteur et le tiers supérieur du grand éboulis morainique¹ de lous Mourous. Décrire n'est pas si simple tant on se sent envahi d'émotion et de stupéfaction devant ces fleurs de pierre. Alors un peu de méthode est nécessaire, pour nommer, classer et même mesurer ces objets.

L'éboulis se présente comme un chaos dense de gros blocs enchevêtrés et souvent superposés les uns aux autres. La progression est malaisée ! Certains blocs font plusieurs mètres cubes de volume et à y regarder de près, ils présentent souvent la forme géométrique régulière de grands panneaux vaguement parallélépipédiques ; en tous cas les grandes faces planes abondent. Cette géométrie prendra tout son sens quand nous identifierons, plus haut sur la crête, l'origine physique des blocs entraînés par le glacier et leur nature géologique.

La grande « dalle de l'inventeur » que nous examinons maintenant est couverte sur toute sa surface² d'une multitude de formes circulaires en relief. Le temps manque pour croquer un relevé fidèle sur le carnet. Heureusement, en ce début d'après-midi de la fin août, l'inclinaison de la surface par rapport au soleil est favorable, les figures se détachent avec netteté et se prêtent bien à la photo : **figure 3**. C'est donc au retour, et à l'écran de l'ordinateur, que le relevé systématique va pouvoir se faire. La moisson est extraordinaire, car il y a là des dizaines de formes dont nous sélectionnons une quarantaine, suffisamment distinctes pour être décrites et mesurées. Nous avons également regroupé dans ce premier examen, un petit nombre de formes bien nettes, photographiées sur une dalle voisine de quelques mètres.

¹ La photo aérienne de l'IGN fait apparaître clairement l'origine glaciaire du vaste éboulis de lous Mourous, grâce à la netteté des arcs et des cordons morainiques qui le cintrent.

² Sa surface triangulaire mesure environ 6 m².

Figure 3. La grande dalle du chaos morai-nique de lous Mourous est constellée sur toute sa surface de 6 mètres carrés de structures circulaires en relief. Vue plongeante sur son coin gauche inférieur. (photo D. Rossier).



Roues et bossages. Rayons, rides jointives et moyeux ... et boutons.

Utilisons des images pour mieux décrire ces figures circulaires, que nous allons classer en deux grandes familles.

Les plus spectaculaires évoquent exactement la forme d'une roue, comme on le voit sur la **figure 4**. C'est la roue d'autrefois, celle de nos charrettes ou de nos carrioles : de cet objet antique, elles ont bien le moyeu au centre et les rayons régulièrement disposés tout autour. Avec des variantes pour le moyeu : plat ou bombé, ou prenant parfois la forme d'un petit bouton bien dessiné comme la bouche d'un orifice qui aurait été comblé : nous verrons plus loin sa signification. Les rayons se distinguent nettement sur le cercle de la roue par leur crête au relief aigu et leur répartition périodique serrée, en *rides jointives*³, à intervalle très régulier de l'ordre du centimètre. Curieusement, ils ne sont pas « attachés » au moyeu, mais naissent souvent assez loin de lui. Enfin, le moyeu est parfois excentré.



Figure 4. « Roue » sur la grande « dalle de l'inventeur » de lous Mourous. Le diamètre extérieur est d'une vingtaine de centimètres.

(Photo J.P. Dugène).

³ Ce terme n'est pas choisi au hasard, et nous le retrouverons plus loin, quand nous aborderons la physique des milieux granulaires. Le qualificatif *jointif* exprime le fait que les rides ont été formées solidairement les unes des autres, et donc avec une disposition régulière.

Figure 5.

A l'extrémité de la panne du marteau de géologue, petits « bossages » sur la grande dalle de lous Mourous. Leur diamètre est inférieur à une dizaine de centimètres. (photo D. Rossier).

Ces « roues » sont majoritaires. Cependant on distingue bien aussi, presque aussi nombreuses, des formes circulaires plus simples, comme des bols renversés et bombés, dépourvus de rayons. Les plus compactes apparaissent comme des petits bombements à la surface, bien réguliers, parfois quasi hémisphériques, comme sur la **figure 5**. Faute de mieux, nous les nommons assez platement les « bossages ». Comme les roues, ils peuvent s'orne en leur centre du dessin d'une petite bouche circulaire comblée (voir aussi la **figure 13 b**, en fin d'article).



Classer et mesurer.

Roues et bossages sont plus ou moins nettement délimités par un cercle extérieur dont il est ainsi possible de mesurer le diamètre. Pour les 23 roues mesurées, le diamètre moyen est de 15 à 20 cm, tandis qu'il est de moins de 10 cm pour les 15 bossages sélectionnés. Ces valeurs sont des moyennes représentatives de la grande majorité des formes. Mais il y a des exceptions, et nous avons mesuré une ou deux roues géantes, dont le diamètre atteignait ou dépassait 70 cm.

Quant au bombement du moyeu des roues, il mesure de 4 à 7 cm de diamètre tandis que les petites « bouches » ou « valves » ne dépassent pas 2 cm. Là encore il peut y avoir des exceptions comme celle du moyeu de la grande roue mentionnée plus haut : il est multiple, atteint 20 cm, et ressemble à un chou-fleur ! Le relief de ces formes est remarquable, même si, dans certains cas elles sont en partie détruites par les chocs produits lors de la chute du bloc, ou effacés par l'érosion. Elles apparaissent en surépaisseur à la surface de la dalle, jusqu'à atteindre une hauteur de plus de 3 cm.

Retournant sur le site du haut d'Aulère, découvert par Jean-Pierre le 1^{er} juin, nous prenons quelques mesures sur la dalle ornée, dont la face dressée est constellée de petits bossages. Ils ont une forme de calottes sphériques assez parfaites, et leur diamètre n'excède pas 10 cm. Chaque calotte est ornée du dessin d'un orifice central de environ 1 cm, et elles sont si abondantes qu'elles se chevauchent en partie.

Une « Pierre de Rosette » pour le déchiffrement ?

Jean-Pierre nous conduit maintenant dans le haut de l'éboulis, à une centaine de mètres de nos premières observations. De bloc en bloc, rien de bien attirant, rien de semblable à la « dalle de l'inventeur ». Soudain l'un d'entre nous se retourne : cri d'admiration ! Un bloc trapu dresse l'une de ses faces, verticale et orientée vers le nord. Cette face n'est pas très grande, et fait 2 mètres de large sur une hauteur de 1 mètre : **Figure 6**. Elle est simplement et magnifiquement ornée de quelques grandes fleurs de pierre, mais quelle perfection !

Sa structure va nous apporter un grand nombre d'éléments nouveaux et déterminants pour la compréhension. A cause de cela, nous la baptisons notre « Pierre de Rosette » [8].

Figure 6.
La « Pierre de Rosette »
(Photo J.P. Dugène).



Canaux et cheminées.

En effet, à la différence des précédents blocs, la face ornée est à deux niveaux, manifestement superposés l'un à l'autre. Voici comment. Sur la photo de la **figure 6**, le bloc présente sa face ornée verticale, masquée dans sa partie inférieure par un placage épais de quelques centimètres. Mais en examinant ce placage, on réalise qu'il était lui-même orné d'une roue d'un diamètre d'environ 30 cm, qui a été littéralement sectionnée parallèlement au plan du placage. Paradoxe, c'est une chance inespérée. En effet le sectionnement a décapité proprement tout le relief de la roue. Il révèle alors en coupe **transversale**⁴ l'intérieur de la structure à plusieurs centimètres de la surface, et en particulier les traces en profondeur des deux attributs essentiels de la roue.

- Premier attribut : des traces disposées radialement comme les rayons. Elles apparaissent en clair sur le fond, et dessinent ainsi de fins **canaux**, larges d'environ 2 mm et allongés radialement sur plusieurs centimètres. Ceci veut dire que les rayons de surface, les « rides jointives », sont les débouchés de canaux linéaires, s'enfonçant profondément dans la roche, de plusieurs centimètres. La **figure 7** donne une représentation schématique de leur disposition par rapport à l'axe de la roue. Le choix des termes est important : celui de « canaux », suggère qu'ils ont servi d'alimentation au relief des rides jointives !
- Deuxième attribut : la trace circulaire, ou légèrement ovoïde, d'une cheminée centrale comblée, qui débouchait à l'extérieur de la forme. Son diamètre est de 3 cm, à rapprocher aussitôt de notre description des jolis boutons observés à la surface des formes.

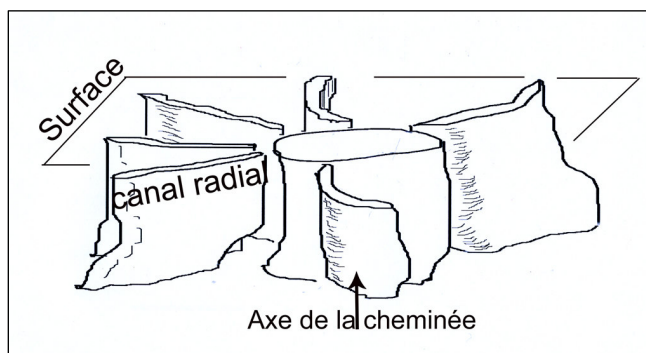


Figure 7. Modèle de l'intérieur d'une roue.
(Dessin D. Rossier)

«Kouglof » et glaçage.

Examinons maintenant le haut de la face verticale du bloc. Son placage a dû sauter lors des chocs consécutifs à l'éboulement, permettant le dévoilement de la couche inférieure, intacte et d'une fraîcheur remarquable ! Comme si les chocs avaient naturellement et délicatement « démoulé » les structures.

Une belle roue très typique attire les regards : **figures 8 a et b**.

⁴ On comprendra le choix du terme un peu plus loin, dans le paragraphe « **encore des canaux** ».

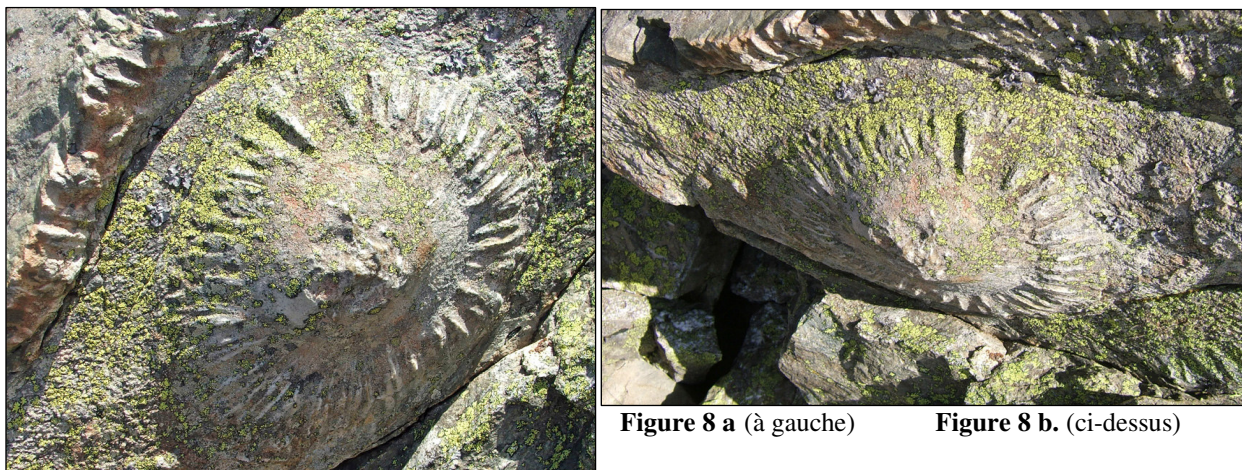


Figure 8 a (à gauche)

Figure 8 b. (ci-dessus)

Figures 8 a et b. La grande roue de la « pierre de Rosette », vue de face et de profil. (Photos J.P. Dugène et D. Rossier).

Elle est complète et équipée d'une bonne cinquantaine de rayons régulièrement espacés. Ils sont limités extérieurement par une bordure bien marquée de 20 cm de diamètre et intérieurement par un cercle virtuel de 14 cm de diamètre. A l'intérieur de ce cercle virtuel, le centre est occupé par un moyeu fortement bombé, de 7 cm de diamètre et épais de plus de 3 cm. La roue semble recouvrir en partie les formes voisines, qui sont aussi assimilables à de grandes roues.

Cependant, à une quarantaine de centimètres plus haut et à droite de la roue, un bossage montre des caractéristiques remarquables, révélées par son état exceptionnel de fraîcheur : **figures 9 a et b.**



Figures 9 a et b. Le « Kouglof » de la « pierre de Rosette », de face et de profil. (Photos Dugène et Rossier).

Il est fortement bombé, en forme de « Kouglof⁵ », marqué par quelques rayons grossiers. C'est la première fois que nous rencontrons ici cette forme, même si, en définitive, elle appartient à la famille des bossages⁶. Au centre un cercle, légèrement ovalisé, est finement gravé. Son diamètre est de 4 à 5 cm, et il ne ressort pas en relief comme les boutons décrits plus haut. La fraîcheur de l'état de surface peut être attribuée à la conservation à l'abri de l'érosion sous le placage.

Le bossage en « Kouglof » est flanqué d'un petit satellite ébréché. Sa formation semble postérieure à celle du bombement principal.

La surface du « Kouglof » fait apparaître des franges dentelées à la périphérie, en léger relief ; il apparaît que la couche de surface a été créée par un écoulement régulier de matière, analogue à un « glaçage », ce dernier masquant les rayons ou plutôt atténuant leur relief. Sous la fine couche de surface, plusieurs écoulements ont eu lieu et sont également visibles sur la photo prise sur le profil. Ils dépassent largement le périmètre de la dernière couche. L'épaisseur des couches est de l'ordre du mm.

⁵ Kouglof : grosse brioche alsacienne traditionnelle, en forme de couronne.

⁶ La forme « Kouglof » a été identifiée aussi sur le site du laquet près de « Caillaou de Bot ».

Encore des canaux.

Nous avons déjà vu comment une coupe accidentelle (dite *transversale*), mais bien placée pouvait nous apporter de précieuses observations. En voici un autre exemple.

La belle roue des **figures 8**, on l'a vu, semble déposée ou étalée par-dessus d'autres grandes roues dont on n'aperçoit que des fragments. Examinons de plus près le fragment visible juste au-dessus de la roue. Il apparaît une bande étroite marquée par une ondulation faite d'un alignement régulier de rides jointives (rayons) marquées par le relief de leurs crêtes ; en regardant bien, on s'aperçoit qu'elles sont disposées en éventail et qu'elles forment la frange externe d'une vaste roue, interrompue par le rebord de la dalle. C'est là notre chance, car le flanc de ce rebord, perpendiculaire à la surface de la dalle, offre une coupe de la roche qui est cette fois *latérale* (et non plus *transversale*). Or voici qu'apparaissent les traces des sections de nombreux petits canaux qui, à la surface, aboutissent tous aux crêtes des rides. Le contraste des canaux, plus clairs sur le fond gris, apparaît plus nettement en projetant une ombre sur la structure, au moment de la prise de vue : **figure 10**. Les canaux, légèrement sinueux, s'enfoncent profondément dans la roche, de plusieurs centimètres au moins, comme nous l'avons observé sur la coupe *transversale*⁷ de la figure 6. Ils sont rangés régulièrement avec un intervalle d'environ un centimètre⁸.



Figure 10.

En coupe *latérale*, apparaissent les canaux d'alimentation des rides jointives (rayons).
(Photo D. Rossier).

Le modèle géométrique de la **figure 7** est ainsi confirmé⁹. Une conclusion importante s'impose :

Toutes ces structures, visibles à la surface des blocs ou des dalles, se prolongent dans la masse. Elles prennent leurs racines dans la profondeur de la roche.

Un matériau simple : le grès.

C'est probablement l'observation la plus directe et la plus simple de notre enquête :

La composition et la texture de la roche, sur tous les sites découverts par Jean-Pierre et sur lesquels nous avons échantillonné, sont celles d'un grès¹⁰ quartz, qui est une roche sédimentaire. Sa patine est ocre claire, et de cassure gris à gris foncé. La détermination sur une lame mince taillée sur le matériau du site du laquet, près de « Caillaou de Bot », est celle d'un grès siliceux très pur. Les grains de quartz sont nettement séparés, anguleux, avec une calibration assez homogène qui augmente régulièrement de 0,4 mm en profondeur, à 0,1 mm près de la surface : **figure 11**.

La formation des structures a donc été accompagnée d'un classement gravitaire des grains de quartz, processus habituel dans la formation des roches sédimentaires détritiques, en présence d'un courant de transport. Les grains de quartz sont liés par un fin ciment sombre, sauf à l'intérieur des canaux où il est nettement plus clair, comme le montre la **figure 11**. Les canaux, de largeur d'environ 1 mm, débouchent toujours au sommet de la petite crête de la ride. Il n'y a pas de trace de calcaire.

⁷ On comprendra que le plan d'une coupe *transversale* est perpendiculaire à celui de la coupe *latérale*.

⁸ Cette disposition a été vérifiée par examen au microscope d'une lame mince taillée dans un échantillon prélevé sur le site du laquet près de « Caillaou de Bot ».

⁹ Cette disposition a été également vérifiée par examen au microscope d'une lame mince taillée dans un échantillon prélevé sur le site du laquet près de « Caillaou de Bot ».

¹⁰ Grès : roche sédimentaire déritique très majoritairement composée de grains de quartz. Dans un grès quartz, les plans de cassure contournent les grains et sont d'aspect rugueux. C'est ce que nous avons vérifié sur nos prélèvements.

Figure 11.

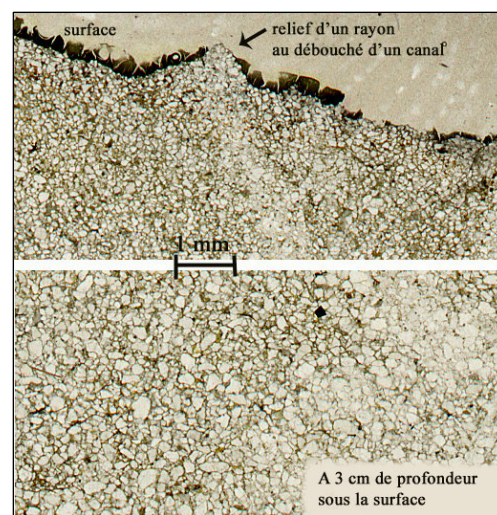
Photo en transmission d'une lame mince taillée¹¹ dans un échantillon prélevé sur le site du laquet, près de « Caillaou de Bot ». La technique du microscope polarisant permet d'identifier du quartz pur. La taille des grains augmente régulièrement avec la distance à la surface et triple ou quadruple à 3 cm de profondeur. Les taches noires à la surface sont du lichen. (Photo D. Rossier).

La composition des grès formant les dalles des Mourous, décrites plus haut, est proche de celle du « Caillaou de Bot », avec cependant une moins grande homogénéité. On observe localement un passage du grès quartzueux pur à un grès à ciment plus sombre. Dans le chaos, certains blocs ont une composition de pélite¹², et il n'est pas rare de trouver des schistes ardoisiers gris foncés, y compris en fragments enclavés dans les grès quartzueux clairs. La lame mince fait apparaître l'ondulation régulière caractéristique des rides jointives en relation avec l'alimentation par les canaux. Les canaux peuvent parfois communiquer entre eux.

Plus haut, sous la crête, un peu de géologie.

Assis sur un bloc, nous levons les yeux vers la crête au-dessus de nous, pour observer la source du grand éboulis morainique : **figure 12**. Plein sud, dans l'axe de l'éboulis, un puissant escarpement de 50 mètres de haut se dresse jusqu'à la crête. Sa géométrie robuste est faite d'un empilement régulier, jusqu'au sommet, de bancs compacts, d'épaisseur constante sur toute leur longueur de 2 à 3 mètres, au-dessus d'un socle d'une dizaine de mètres. Les bancs ont été décollés les uns par rapport aux autres, et ce caractère tectonique essentiel est commun à tous les sites pour lesquels les structures décrites (roues, bossages...) ont été découvertes¹³. Le socle lui-même, sur lequel repose l'empilement des bancs épais, est aussi construit par un empilement rythmé, mais cette fois de lits minces d'apparence schisteuse. Tout l'édifice est légèrement plissé et basculé d'une trentaine de degrés vers l'est-nord-est.

L'alimentation des blocs et des dalles ornées de l'éboulement morainique semble être située dans les bancs épais à mi-hauteur de l'escarpement. Mais seule une exploration de la falaise permettrait de la localiser précisément.



Le problème de la localisation des structures observées ne se pose pas pour le site du haut d'Aulère. Là il ne s'agit pas de grands blocs dans un éboulis, mais bel et bien d'un affleurement in-situ, comme on peut le voir sur les photos des **figures 13 a, b**. Ce site devrait permettre en principe de déterminer la position, dans l'empilement des bancs de grès, du niveau orné de ces étranges structures.

Figure 12. L'escarpement sous la crête, d'où est issu l'éboulis morainique du premier plan (Lous Mourous). On distingue bien les bancs épais, régulièrement espacés, décollés les uns des autres, et orientés vers l'est. (Photo J.P. Dugène).

¹¹ Réalisée par le laboratoire de géologie du Muséum d'Histoire Naturelle, Jardin des Plantes, Paris.

¹² Pélite : roche sédimentaire détritique à grains très fins, composée majoritairement de minéraux argileux et de quartz.

¹³ Le décollement et la dissociation en bancs épais et réguliers de grès/quartzite sont encore plus nets, et même spectaculaires, sur les deux autres sites : « Caillaou de Bot », et haut d'Aulère.

Figure 13 a.

En haut d'Aulère, sur le versant sud du Pic de Houratatère, la crête se dresse sur un édifice imposant de bancs massifs de grès, épais de plusieurs mètres, plissés et décollés les uns des autres. La surface de l'un d'eux (cercle blanc) est ornée d'une multitude de « bossages ».

(Photo J.P. Dugène).



Figure 13 b.

Petit « bossage » en calotte, équipé de son orifice circulaire bien dessiné et ponctué d'un petit trou !

(Photo J.P. Dugène).

La formation à laquelle appartiennent les bancs épais décrits plus haut est bien connue et clairement identifiée sur la carte géologique : il s'agit d'une importante succession de quartzites¹⁴, de grès et de schistes du début du Dévonien supérieur. Ce terme désigne une série de l'ère primaire¹⁵ et la formation qui nous intéresse a un âge compris entre 385 et 365 millions d'années avant notre ère¹⁶. A cette époque, s'étendait un vaste littoral, avec les deltas de puissants fleuves déposant d'énormes quantités de sédiments terrigènes, sables et argiles, provenant de l'érosion du relief continental. L'escarpement ne correspond qu'à une fraction de l'épaisseur totale déposée. Pour nous, le point important est que cette formation sédimentaire siliceuse est essentiellement d'origine continentale. Quelques dizaines de millions d'années plus tard, ces sables et ces argiles accumulés, avaient été compactés et transformés en roches, le sable transformé en grès, ou en quartzite... Mais leur belle ordonnance horizontale allait être bouleversée par la formation d'une chaîne de montagnes géantes, la chaîne hercynienne, à la fin de l'ère primaire. C'est ce qui explique leur soulèvement en grands plis décollés encore visibles dans le paysage, et conservés jusqu'à nous, bien que de nouveau bousculés lors de la formation de nos Pyrénées¹⁷.

Portrait robot des fleurs de pierre.

Notre enquête a maintenant suffisamment avancé pour nous permettre de diffuser le portrait robot en six points des « fleurs de pierre » découvertes par Jean-Pierre.

- ***1. Roues et bossages en fort relief, d'une vingtaine de centimètres de diamètre, apparaissant groupées, parfois en grand nombre, à la surface de dalles d'un beau grès compact, de patine ocre à grise. Les formes, circulaires à l'origine, sont souvent***

¹⁴ Quartzite : même composition que le grès quartzueux, mais les grains de quartz sont plus intimement soudés, souvent dentelés et engrenés ; les roches que nous avons analysées correspondent plus à des grès.

¹⁵ Ere primaire : ce terme est familier, mais, en toute rigueur, n'est plus utilisé et est remplacé par « ère paléozoïque ».

¹⁶ Cet étage particulier est dénommé le Frasnien, et se retrouve dans la zone primaire axiale, jusque dans les Hautes-Pyrénées. Les grès et quartzites sont dénommés « série de Sia », du nom d'un lieu-dit des Hautes-Pyrénées, où ils présentent une stratigraphie complète.

¹⁷ La chaîne des Pyrénées que nous connaissons aujourd'hui est beaucoup plus récente et date de l'ère tertiaire. Plus précisément de l'Eocène, entre 60 et 40 millions d'années avant notre temps.

ovalisées et déformées comme sous l'action d'un faible courant de transport lors de leur formation sédimentaire.

- *2. Elles apparaissent comme délicatement démoulées, dans l'interface entre deux bancs de grès qui se seraient décollés. Quand elles n'ont pas été érodées, ou quand elles n'ont pas subi de chocs, elles sont dans un état de grande fraîcheur de surface.*
- *3. Quand une nouvelle forme se superpose à une première à la surface, elle l'efface, du moins en partie. Les roues sont munies de moyeux, bombés en fort relief, parfois comme perforés par une cheminée comblée s'enfonçant dans la roche.*
- *4. Des rayons, formant des rides jointives, sont disposés autour du moyeu ; leur répartition périodique en éventail serré se fait avec un intervalle de l'ordre du centimètre. Elles font un relief aigu à la surface ; mais en réalité, ces traces au relief aigu sont les débouchés de canaux s'enfonçant en profondeur, comme la cheminée, sur au moins dix centimètres dans le grès.*
- *5. Lors de leur formation, ces structures ont éjecté de l'eau et du sable par leur cheminée et leurs canaux, et l'étalement des écoulements peut dépasser les contours de la forme. L'alimentation des canaux est distincte de celle de la cheminée. Il y a un effet de classement gravitaire sur la taille moyenne des grains de sable. Elle varie du simple au quadruple, de la surface à quelques centimètres de profondeur.*
- *6. La formation semble se déployer sur plusieurs lits ou bancs centimétriques à décimétriques au sein de la puissante série sédimentaire des quartzites et grès du Dévonien supérieur (« série de Sia » du Frasnien), bien connue des géologues.*

Les « volcans de sable », ou l'énigme pas tout à fait dissipée.

Ayant réuni toutes les observations et tous les indices de notre enquête, nous allons maintenant tenter de leur donner un cadre explicatif.

Les structures que nous avons décrites sont plus ou moins proches de structures connues des géologues depuis le XIX^{ème} siècle. Celles-ci ont été observées sur plusieurs continents, en Australie, au Canada, en Espagne et en Irlande, ... toujours sur des affleurements très anciens, du Précambrien au Carbonifère [1]. Dans les publications jusque dans les années 1960, elles se trouvaient mentionnées comme s'il s'agissait de fossiles d'espèces disparues, de type méduse (!), et un paléontologue réputé les avait pourvues d'un nom latin savant :

« *Astropolithon hindii* » [2]

On sait maintenant qu'il ne s'agit pas de fossiles biologiques [3], mais de structures sédimentaires inorganiques, « fossilisées », d'origine détritique. Elles pourraient avoir été créées par un phénomène semblable à celui des « volcans de sable », observables de nos jours. De quoi s'agit-il ?

Il s'agit d'un phénomène plutôt rare, qui se produit dans des régions côtières, sur des plages ou des étendues de sable gorgées d'eau en profondeur, voire sous une faible couche d'eau. Il s'agit de l'extrusion, vers la surface libre, de sable saturé d'eau et stocké en dépôts profonds. Ces dépôts peuvent devenir instables si le poids des sédiments augmente : le sable se liquéfie alors, c'est-à-dire que son mélange avec l'eau lui confère les propriétés proches de celles d'un liquide. Les conditions sont alors réunies pour que ce fluide particulier fasse « éruption » à la surface, à travers les couches superficielles de sable. Comme les couches de sable ont enfermé, au fur et à mesure de leur accumulation, des couches de matière organique (algues, micro-organismes, bactéries...), la décomposition de cette matière produit des gaz dont la pression peut devenir importante et favoriser l'éruption du sable liquéfié [4].

D'autres causes physiques peuvent apporter l'énergie nécessaire à la liquéfaction du sable, comme un glissement de terrain, ou même un séisme ! Ce dernier cas pourrait être le plus fréquent. En tous cas il est assez souvent observé de nos jours : l'énergie apportée par le séisme liquéfie une couche de sable en profondeur, et celle-ci, mobilisée sous pression par l'énergie sismique, jaillit à la surface à

travers une cheminée comme un petit geyser et crée un cône de dimensions décimétriques à métriques [5].

C'est donc par analogie que les géologues ont baptisé ces structures « *volcans de sable* ». Toutefois, l'élégante structure en roue, telle que nous la décrivons, est rarement reproduite par les phénomènes contemporains mentionnés plus haut et documentés dans la littérature.

Avec quelle source d'énergie, avec quelle proportion d'eau mélangée au sable, dans quelles conditions de pression de gaz expulsé, la nature a-t-elle réalisé au Dévonien ces formes si élaborées ? Nous ne disposons pas encore d'un modèle complètement satisfaisant. Toutefois nous entrevoyons bien la piste qu'il faudra suivre.

Une nouvelle physique, la physique des milieux granulaires.

Le terme « *volcans de sable* » peut prêter à confusion, car il désigne aussi les expériences faites en laboratoire dès le XIX^{ème} siècle par le grand physicien anglais Faraday, en soumettant une plaque recouverte d'une fine couche de sable **sec** à des chocs répétés¹⁸. On retrouve là une situation qui nous rapproche en apparence des secousses d'un séisme ! Dans cette expérience, facile à reproduire, les grains doivent impérativement avoir une taille bien inférieure à 0,1 mm. L'agent moteur est l'air. Des petits cônes répartis uniformément apparaissent tout d'abord. Chacun est édifié par un petit jet de sable jaillissant au centre du « volcan » à chaque choc, et Faraday l'avait bien observé. Toutefois la cheminée d'éjection disparaît au repos puisque le sable fin et sec la remplit instantanément et efface toute trace. Si maintenant on épaissit la couche de sable fin déposée sur la plaque jusqu'à plusieurs millimètres, voire plusieurs centimètres, il apparaît tout un réseau complexe de *rides jointives* disposées entre les cônes, et radialement autour des cônes. Cette dernière expérience a été faite à l'Ecole de physique et chimie de Paris par Jacques Duran [7]. Dans l'article cité, il explique que toute la structure de volcans et de rides est entretenue par le mouvement cyclique des grains entraînés par la circulation de l'air en relation avec les vibrations de la plaque/support. Comme nous le mentionnions dans la note 3 du premier paragraphe, le qualificatif *jointif* exprime le fait que les rides sont, lors de leur formation, solidaires les unes des autres dans leur disposition régulière. Néanmoins, dans ces expériences et à notre connaissance, les canaux d'alimentation des rides jointives (les rayons) ne sont pas mentionnés, car avec du sable fin et sec, ils sont instantanément effacés au repos.

Même si les formes obtenues dans les expériences classiques sur sable **sec** diffèrent de celle de nos « fleurs de pierre », elles ont au moins un intérêt. C'est que des études et des calculs récents ont permis de les expliquer de façon satisfaisante, sur la base d'une nouvelle physique, *la physique des milieux granulaires*. De plus, les principes de cette physique ne la limitent pas au cas où les grains sont propulsés par l'air comme pour du sable sec. Ils peuvent être mis en mouvement par un liquide, seuls changent les paramètres physiques.

Cependant ceci est une autre histoire, certes passionnante mais qui nous entraînerait trop loin...

Le lecteur curieux pourra s'initier à cette physique paradoxale et peu intuitive en lisant l'ouvrage de Jacques Duran, « sables émouvants », au titre évocateur [6]. Dans ce livre écrit avec simplicité et humour, l'auteur s'adresse à un large public. Le lecteur découvrira, à côté des expériences maintenant bien comprises sur sable ou poudre sèche, un chapitre consacré au sable mouillé soumis à une contrainte ou une pression. En réfléchissant, il devinera que le soulèvement d'une bosse ou d'un petit volcan de sable gorgé d'eau, crée autour de lui une zone circulaire plus vaste où les conditions physiques sont modifiées et sans doute favorables à la formation d'un système radial et périodique de rides jointives, si quelque énergie est apportée...

Souhaitons qu'un jour un nouveau Faraday suive cette piste et élucide complètement l'énigme des « *volcans de sable* » des temps dévoniens.

Remerciements.

Notre reconnaissance va à nos amis géologues du Muséum national d'histoire naturelle de Paris. Tout d'abord à Annie Cornée, qui a su écouter avec une infinie patience, conseiller dans les

¹⁸ L'expérience est d'une grande simplicité et facile à reproduire. Faraday avait su parfaitement décrire la formation du « volcan », mû par la force de l'air ; mais sans pouvoir l'expliquer sur le fond.

interprétations, orienter les recherches bibliographiques et faire réaliser les lames minces. Nous souhaitons remercier tout particulièrement Jean-Pierre Roucan, qui nous a lancé sans hésiter sur la piste des volcans de sable.

Des échanges passionnants avec Jean Knobel, géologue, nous ont permis de mieux comprendre les rôles respectifs des tectoniques hercynienne et pyrénéenne dans la disposition des affleurements.

Bibliographie

- [1] Pour une revue, consulter Seilacher, A. 2007 : *Trace fossil Analysis*. Springer Verlag, Heidelberg.
- [2] Dawson, J.W., 1890. *On burrows and tracks of invertebrate animals in Paleozoic rocks, and other markings*. Quat. jour. geol. Soc. London ; v. 46.
- [3] Pickerill R.K. and Harris I.M., 1979. *A reinterpretation of astropolithon hindii Dawson 1878*. Journal of Sedimentary Petrology, vol. 49, N° 3.
- [4] Subir Sarkar et al. 2006. *Microbial mat-induced sedimentary structures in siliciclastic sediments: examples from the 1.6 Ga Chorhat Sandstone, Vindhyan Supergroup, M.P. India*. J. Earth Syst. Sci. 115.
- [5] consulter par exemple: geology.about.com/od/volcanoes/ig/mudvolcs/sandvolc.html
Et : geomaps.wr.usgs.gov/sfgeo/liquefaction/image_pages/boils_fissure22.html
- [6] J.Duran. 2003. *Sables émouvants*. Éd. Pour la science, Belin.
- [7] J.Duran. 2002. *Les volcans de sable*. Pour la science. N° 299.
- [8] « Pierre de Rosette » : *fragment d'une stèle découverte à Rosette, sur la branche ouest du Nil, lors de la campagne de Bonaparte en Egypte en 1799 (aujourd'hui au british museum). Comportant le texte gravé en hiéroglyphes, en démotique et en grec, d'un décret de Ptolémée V, elle permit à Champollion de déchiffrer (1822) les hiéroglyphes*. Tiré du petit Larousse (1998).