

Le coticule, un matériau d'exception!



par E. Goemaere*, C. Mullard*, X. Devleeshouwer* et J. Grogna**

* Service géologique de Belgique – Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique,
Rue Jenner 13 – 1000 Bruxelles.

E-mail : eric.goemaere@sciencesnaturelles.be - Tél. : 02/788.76.22

** Ingénieur géologue indépendant. Consultant carrières et mines. Vielsalm.

Qu'est ce que le coticule de Vielsalm?

Selon le dictionnaire de géologie (Foucault & Raoult, 1999), le coticule est un « schiste siliceux dur (quartzophyllade), et à grain très fin, parfois chargé en petits grenats, connu dans les séries paléozoïques métamorphisées de l'Ardenne (France et Belgique) et utilisé comme pierre à aiguiser ». Le mot est issu du latin « coticula » qui signifie pierre de touche, diminutif de « cos », pierre à aiguiser. Le nom désignerait tant une roche particulière qu'un usage! Pour les exploitants de Vielsalm, l'appellation coticule est réservée aux seules veines jaunes, exploitables. Selon la définition retenue, il pourrait y avoir d'autres coticules qu'à Vielsalm?

Pour la petite histoire, le mot « coticule » est, en Belgique, un nom masculin, alors qu'il est du genre féminin, tant pour les dictionnaires de la langue française que pour le dictionnaire de géologie (op.cit.). Cependant, par égard à l'usage local et à la littérature belge, nous lui garderons le genre masculin.

Comme le mentionne la définition ci-dessus, le coticule est une pierre à aiguiser. De ce fait elle est également dénommée « pierre à rasoir ». Au fil de son exploitation pluriséculaire, le coticule a toujours joui d'une grande renommée internationale basée sur ses qualités abrasives exceptionnelles. Exploitée

actuellement uniquement par la Société Ardennes-Coticule, le coticule n'a aucunement perdu sa réputation et dépasse, en terme de qualité et de vitesse d'affilage, les pierres abrasives synthétiques qui ont envahi le marché ces dernières décennies.

Une étude détaillée de ce matériau permet d'établir sa véritable identité et de comprendre ses remarquables qualités abrasives. Certains termes sont explicités dans un court lexique à la fin de ce chapitre.

Dans la nature, le coticule se présente en fines couches appelées veines épaisses de quelques centimètres, de couleur jaune ocre à jaune clair pour les variétés les plus pures. Si les géologues considèrent que toutes les veines jaunes sont du coticule, les exploitants ont utilisé ce terme dans un sens plus restrictif, réservé aux pierres ayant un intérêt commercial. D'autres nuances, vertes, grises ou rouges, permettent de singulariser certaines veines et d'établir des corrélations d'un gisement à l'autre. Ces veines sont séparées les unes des autres par des phyllades d'épaisseurs pluridécimétriques à décimétriques habituellement violacés, parfois plus gris bleu. Le contact souvent net entre le coticule et le phyllade (communément appelé schiste) matérialise le plan de dépôt du sédiment originel appelé plan de stratification. Parfois, le contact apparaît progressif sur quelques centaines de microns, dans ce cas, un liseré est observé et la teinte du coticule apparaît gris jaunâtre voire grise. Une stratification apparaît parfois

au sein même de la veine du coticule. Généralement, les exploitants ont donné des noms aux différentes couches de coticules.

Outre les « vrais » coticules et les phyllades, un troisième matériau sans intérêt économique, est appelé « grès » par les exploitants et « pseudocoticules » par quelques géologues. Sa position sert de repère pour positionner les couches de coticules. Ces roches se présentent en bancs, parfois très minces, souvent lités, de teinte variable à dominante jaune (d'où le nom de pseudocoticule) aux tons de gris, vert ou rouge. Minéralogiquement, le quartz et le grenat sont présents. Les grains de quartz sont de grande taille. Une telle abondance et une telle granulométrie disqualifient le matériau comme abrasif doux. Les pseudocoticules sont rejetés comme stériles.

Les veines de coticule

Les quatre gisements de coticule sont répartis entre les communes de Vielsalm, Lierneux (Sart et Lierneux)

et Saint-Vith (Recht). La figure 1 localise une série de fosses sur les sections d'Hébronval et de Regné.

Par leur couleur jaune, les veines de coticule ont attiré très tôt l'attention des scientifiques. Dès 1808, le géologue Omalius d'Halloy (1783-1875) évoque la concordance et l'interstratification entre les minces couches jaunâtres de coticule (< 10 cm) et les phyllades violets. En 1846, Baur démontre cette théorie alors qu'en 1824 von Oyenhausen et von Dechen les considèrent comme des filons primaires enchâssés dans le phyllade. Baur démontrera que les veines de coticules sont toujours parallèles à la stratification des couches encaissantes et qu'elles en suivent les ondulations. Von Oyenhausen (fameux géologue allemand du 19ème siècle) écrit en 1824 à un autre géologue Léonhard : « ... que de tous les phénomènes géologiques, celui qui l'a le plus intéressé dans notre pays, c'est le coticule de Vielsalm » (traduit et cité par Renard, 1978). De même le géologue allemand von Dechen écrit la même année à Nöggerath qu'il ne lui a jamais été donné de voir des roches plus remarquables (traduit et cité par Renard, 1978). Le coticule intrigue et voit l'objet

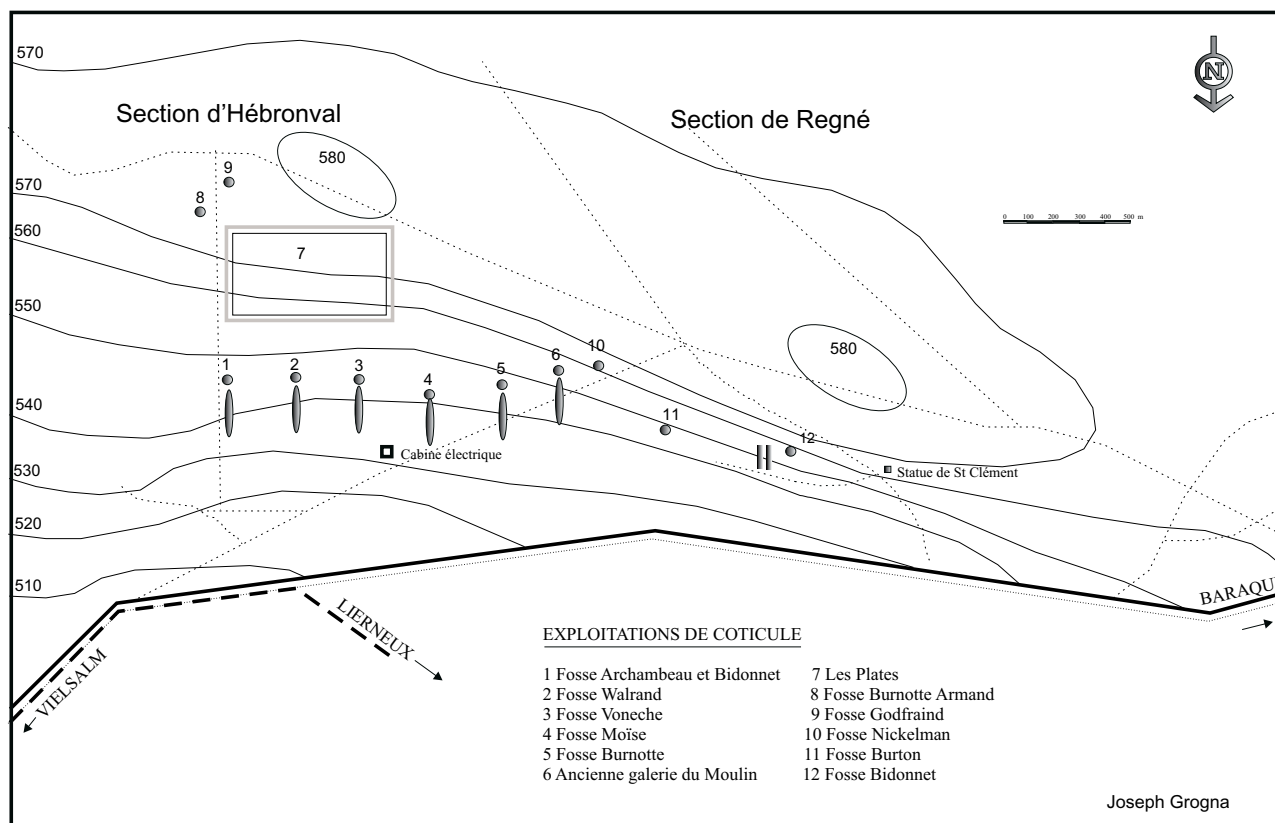


Figure 1 : Localisation de quelques fosses à coticule sur les sections d'Hébronval et de Regné (redessiné d'après Grogna, 1984)

de l'attention des scientifiques dès le début du 19^{ème} siècle. Renard (1878) publie une planche couleur (lithographie d'un dessin manuscrit) reprenant ses observations microscopiques.

Pour les géologues, les lits jaunâtres observés dans le Membre Les Plattes sont considérés comme du coticule à l'inverse des exploitants qui restreignent cette dénomination aux seules veines économiquement exploitables. Les veines jaunes qui ne peuvent servir comme pierres abrasives, stériles du point de vue de l'exploitant, ont été dénommées « grès » par ces derniers et pseudo-coticule par les géologues (Grogna, 1984, Theunissen, 1971, Lessuise, 1981). Ce « grès » ne désigne pas une roche gréseuse mais un microquartzite grenatifère jaunâtre aux tons gris, verts ou rouges. Il se distingue du coticule uniquement par son litage régulier. Seul le microscope permet de différencier ces deux roches de minéralogie analogue. Le « grès » renferme d'abondants grains de quartz et de trop grande dimension expliquant sa « stérilité abrasive ».

Les terrains riches en veines de coticule ont une épaisseur variant de 25 à 40 m (33 m dans la zone d'exploitation du Thier de Regné). L'épaisseur moyenne des veines de coticule se situe entre 1 et 3 cm. En cas de renflement ou de déformation, elles peuvent atteindre 10 cm, voir 20 cm. La veine Lorraine (schiste bleu à grenats, mais qui ne peut être appelé coticule) mesure plus de 20 cm dans le gisement Regné – Hébronval – Ottré et 60 à 80 cm au gisement Thier del Preu – Thier du Mont.

L'ensemble des terrains à coticule se subdivise en quatre faisceaux superposés dénommés, du plus ancien au plus jeune: « la Minette », « les Fines », « les Dressantes » et « les Petas ». Chaque faisceau, séparé d'un intercalaire phylladeux stérile, regroupe un ensemble de veines, suffisamment proches les

unes des autres pour pouvoir être exploitées sur un même site souterrain. Ainsi le faisceau les Dressantes (figure 2) compte 10 niveaux de coticule et 5 de « grès ». Chaque veine porte un nom spécifique, qui peut changer d'un gisement à l'autre.

Chaque veine se distingue par ses propriétés propres. La structure, la composition minéralogique, les niveaux « gréseux » intercalaires détermineront des produits aux qualités intrinsèques selon la veine exploitée. L'épaisseur cumulée des veines est d'environ 53 cm plus 21 cm pour la Lorraine. Les veines représentent à peine plus de 2 % de l'épaisseur du Membre Les Plattes! Vu la très faible épaisseur des veines exploitables, on imagine aisément, les volumes de stériles à déplacer pour extraire la matière utile.

La répartition lithostratigraphique définie au Thier de Regné est valable pour l'entièreté des zones d'exploitation du gisement méridional. Tant l'épaisseur des faisceaux que celle des veines varie sensiblement d'une concession à une autre. Le gisement septentrional diffère plus fortement (moindre épaisseur totale du Membre Les Plattes, observation de trois faisceaux uniquement, veines de géométrie et de noms différents, etc.) à tel point qu'une corrélation entre les deux gisements s'avère difficile voire impossible dans l'état actuel des connaissances. La corrélation d'un gisement à l'autre est rendue délicate par manque de continuité de fins lits sédimentaires sur de grandes distances (érosion, non-dépôt, etc). Les accidents géologiques, failles et fractures, ajoutent encore à la complexité du problème.

Dumont (1847) décrit et cite les veines de coticule exploitées au Thier del Preu (carrière Walrant – lire article sur l'atelier Burton), près du moulin de « Salm-Château » et à « Sart-Clouse ». Ces deux derniers tableaux sont reproduits ci-dessous.

Salm-Château (Moulin)			Sart-Close		
Noms des couches	Ep (cm)	D (cm)	Noms des couches	Ep (cm)	D (cm)
Veine-Blanche	3	45	Trou-à-la-Blanche	3	175 à 200
Filet	0,7	15	Dure-Veinette	1,5	Jointe
Veine	3	206	Blanche (Blanque)	3	30
Veine-Sauvage 1 (Savage-Vone)	3	60	Dseutrine-de-Clawti	4,5	45
Veine-Sauvage 2 (Savage-Vone)	3	265	Clawti	3	265
Veine	4,5	Jointe	Veinette (Veine, Mal-Dure, Veinette, Petite-Veinette)	6	90
Mal-Dure	1,5				
Veinette	3				
Petite-Veinette (Tenne-Vonette)	1,5	118	Dseutrine-de-Jolie-Veinette	3	45
Jolie-Veinette 1	4,5	Jointe	Jolie-Veinette	3	206
Jolie-Veinette 2	1,5	100			
Dernière (Dieraine)	1,5	15	Dernière (Dieraine)	1,5	Jointe
Dure (Deure)	3	60	Dure (Deure)	4,5	45
Rousse (Rossette)	1,5	30	Rousse (Rossette)	1,5	9
Petite-Veine (Pitite-Vone)	1,5	18	Petite-Veine (Pitite-Vone)	3	Jointe
Veine-aux-Clous (Vone-à-Clâ)	4,5	147	Veine-aux-Clous (Vone-à-Clâ)	3	118
Dure-Veinette	1,5	60	Dure-Veinette	3	160
Veine-Piret	7,5	88	Veine-Piret	3	
Grosse-Veine	6 et 12		Grosse-Veine	9 à 12	

Ep : épaisseur de la veine exprimée en centimètres

D : distance exprimée en centimètres entre cette veine et la suivante

Jointe : indication lorsque la veine et la suivante sont jointes (selon Dumont, 1847).

Tableau 1 : Noms des veines de coticule exploitées sur deux sites, selon Dumont (1847). Ce tableau, comme la publication originelle (2 tableaux séparés) n'a pas pour objet de corréler les veines entre elles entre deux sites proches.

Dumont (1847) décrit aussi la carrière dite « Grande-Fosse », abandonnée et située dans le prolongement de la bande d'Ottre vers l'est, jusqu'au sud d'Hébronval :

« ... la carrière dite Grande-Fosse, qui paraît avoir été la plus considérable des environs d'Ottre et dans laquelle les couches ont une direction du S au N et

une inclinaison à l'E d'environ 40°. On y connaît sur une épaisseur d'environ 5 mètres, une dizaine de couches qui se succèdent de l'O à l'E et de bas en haut, de la manière suivante : Dsotraine ; Peta ; Grosse-Blanche ; Grosse-Sipenne ; Vone-di-l'Allemand ; Filet ; Les-Tennes-à-Grès ; Dressantes ; Dos ; Deure-Pai.

« L'espace qui sépare la Dsotraine du Peta est d'environ 2 mètres.

« La Grande-Fosse est abandonnée ; mais on exploite actuellement, au S, à l'endroit dit sur les Minières une couche de coticule dans laquelle il y a 0,m030 de bonne pierre et 0m,015 de mauvaise. On voit dans cette carrière, un grand nombre d'autres couches, mais qui paraissent être de mauvaise qualité. ».

Le même auteur précise : « Les pierres à rasoir d'Otré sont les plus avantageuses pour le commerce, parce qu'elles n'offrent pas ordinairement des taches ou dendrites manganésifères. Celles de Salm-Château sont les plus estimées à cause de leur finesse. Celles de Sart sont de moins bonne qualité. ».

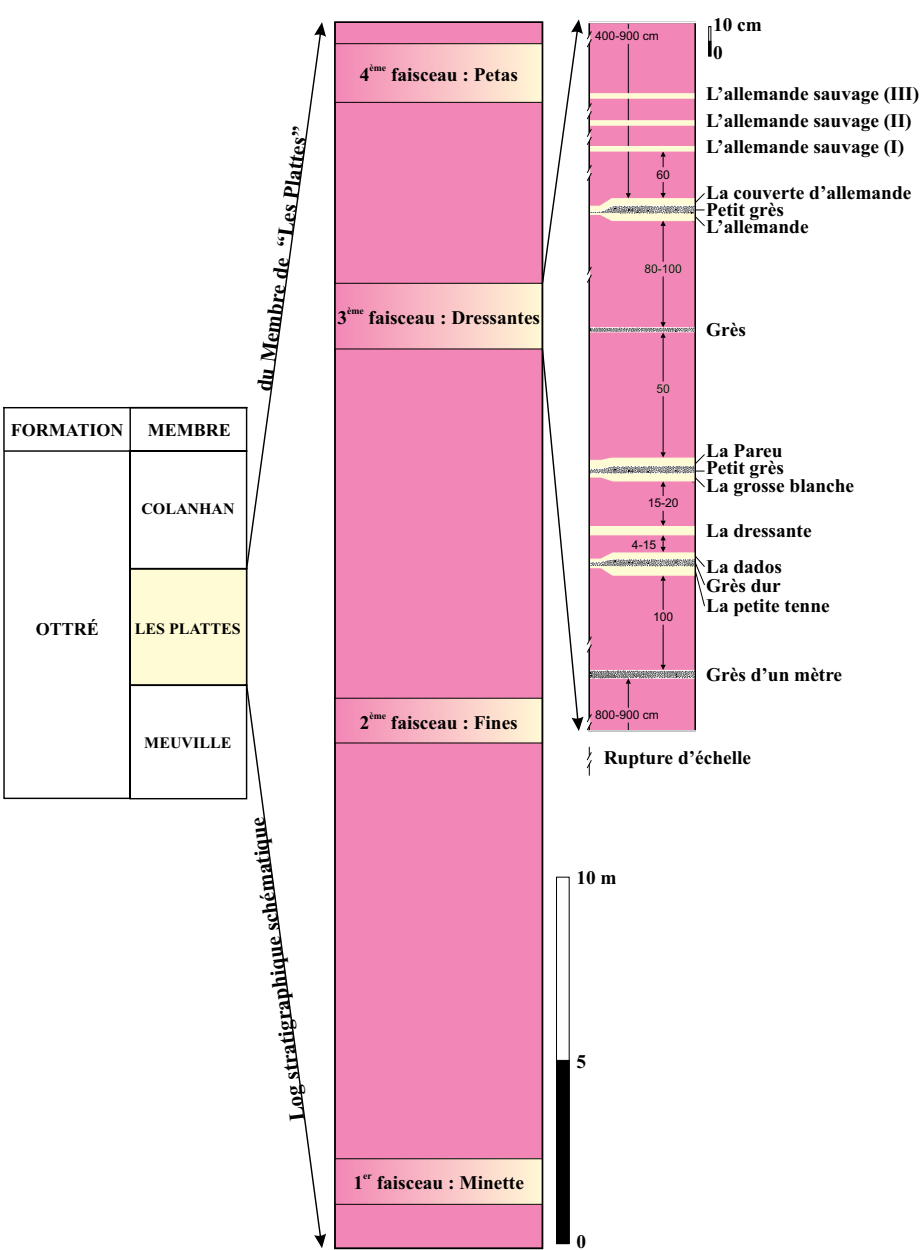


Figure 2 : Répartition des faisceaux et des veines de coticule au sein du Membre de Les Plattes à l'échelle du gisement méridional (colonnes stratigraphiques basés sur l'ancienne zone d'exploitation du Thier de Regné).

La typologie des veines de coticule (figure 3) a été établie par Grozna (1984). Elle se base sur les relations géométriques (à l'échelle de l'échantillon) entre le coticule et le phyllade et sur les méthodes d'extraction et de taille qui en découlent. Les rectangles bleus représentent la pierre à rasoir produite à partir des différents types de situations. Généralement, le coticule est extrait avec le phyllade adjacent excepté les exemples 4, 5 et 6 de la figure 3 où il peut être extrait seul auquel cas il sera ultérieurement collé sur un support phylladeux. Lors de la préparation des pierres, il arrive fréquemment qu'un manque d'adhérence apparaisse soit entre le coticule et le phyllade, entre le coticule et le grès ou même au sein de la veine de coticule. Ce manque d'adhérence nécessite un collage du matériau. Les collages ne sont pas illustrés à la figure 3.

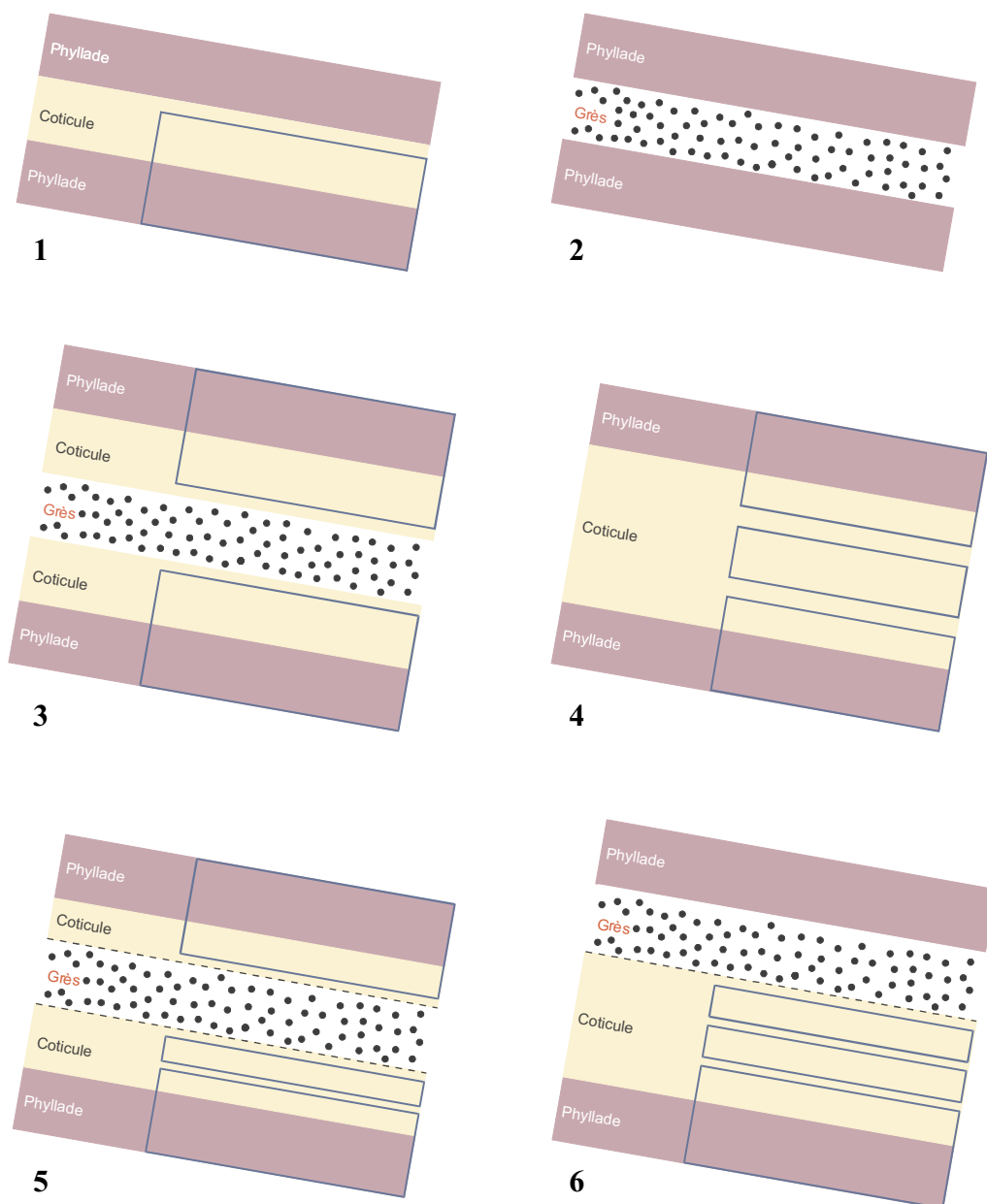


Figure 3 : Quelques schémas-types de veines de coticule (d'après Grozna, 1984)

1. coticule seul ; 2. « grès » seul ; 3. deux veines de coticule séparées par un « grès » ; 4. veine épaisse de coticule permettant la confection de 3 pierres ; 5, 6. veine épaisse de coticule accompagnée d'un niveau gréseux, 3 pierres extraites.

Les niveaux de « grès », également appelés « faux-filons » par les exploitants, ne revêtent aucun intérêt économique. Lors de la prospection et l'identification des bonnes veines de coticule, ils sont de précieux indicateurs pour l'exploration et le percement des galeries à travers-bancs. On utilisait également les grès pour progresser dans l'extraction des veines de coticule en y plaçant de petites charges explosives ; on évite ainsi d'abîmer le coticule. En fonction du grès d'un mètre, la veine Dados peut être située et la position de la veine Dressante, déduite.

Les veines ou bancs de coticule se présentent diversement selon les gisements (Papeleux, 1971).

Le gisement méridional :

- • • à Regné, les couches en dressants opposés, les unes inclinant vers l'est et les autres vers l'ouest ;
- • • à Hébronval, les veines sont en dressant (fortement redressée) et en « planesse » (faiblement inclinée sur le plan horizontal) ;
- • • à Otré, les veines sont dites en « crameux », c'est à dire dessinant une forme en auge (pli synclinal) ;

Le gisement septentrional :

- • • à Sart-Lierneux, les veines sont fortement plissées.

Les veines plissées de coticule varient entre de légères ondulations au chiffonnement intense. Dumont (1847), Corin (1924) et d'autres auteurs le décrivent dans la littérature. Elles peuvent également être affectées par des failles. Ces plis et plissotements s'atténuent rapidement dans le phyllade adjacent. Corin, en se basant sur les expériences tectoniques de Lohest (1913), estime qu'ils sont le résultat de la compression d'un niveau dur (coticule) intercalé entre deux niveaux plus tendres (phyllade). Selon Macar (1973), certains plis et amorces de faille résultent de déformations sub-contemporaines du dépôt,

induites par des glissements sous-aquatiques. Les structures sédimentaires particulières et la rhéologie attendue de ce matériau présentant une alternance de lits de compétences très différentes, associées à des déformations de type plis ou failles d'échelles différentes, génèrent localement des zones fortement déformées.

Ces structures pluricentimétriques, souvent associées à des veinules de quartz sont un obstacle à la confection de pierres à rasoir commercialisables. Ces pierres rejoignent les abondants stériles.

La composition minéralogique et pétrographique du coticule

De nombreux géologues dont Renard (1878), Gosselet (1888), De Dordolot (1910), Lohest (1911), Anten (1925), et plus récemment Theunissen (1969, 1970, 1971), Kramm (1976, 1980), Lessuisse (1981) et Grogna (1984) ont publié leurs observations minéralogiques sur le coticule et le phyllade qui l'encadre. Leurs données proviennent de différentes méthodes comme la microscopie, la diffractométrie des rayons X et les analyses chimiques.

Il s'agit d'une roche caractérisée par la présence de grenats spessartine, de micas blancs (muscovite,



Groupe de cristaux de grenat spessartine de taille atteignant 1 cm. Tongbei, Yun Xuiao, Fujian province, Chine, collection minéralogique de l'IRScNB.

paragonite, interstratifié muscovite-paragonite), de quartz et accessoirement de chlorite, d'andalousite, de kaolinite, de rutile, de tourmaline et enfin d'hématite. Le tableau n°2 donne la composition chimique de ces minéraux. La teinte jaunâtre du coticule est conférée par la couleur des grains de spessartine et des micas. La composition minéralogique du phyllade encaissant est proche de celle du coticule ; elle en diffère par les proportions des minéraux constitutifs, plus pauvre en spessartine et plus riche en hématite. C'est l'hématite qui confère sa coloration violette au phyllade.

Le coticule est une roche à grains extrêmement fins. Il est impossible de reconnaître un minéral à l'œil nu. La pétrographie en lames minces (tranches de roche, amincies à 30 microns d'épaisseur = 0,03 millimètres) permet d'identifier les différentes phases. Le grenat spessartine (grenat manganésifère) se présente sous la forme de grains en apparence « arrondis » ou ovales (allongement perpendiculaire à la stratification) de taille micrométrique (1 à 20 microns). Au sein d'une même veine, les grains de grenat présentent une remarquable homogénéité de taille. La teneur en grenat est variable d'une veine à l'autre et fluctue à l'intérieur de la veine (de 15 à 50 % pour le coticule) se matérialisant par un litage interne souligné par des teintes légèrement différentes. Le pourcentage de grenats conditionne leur répartition et leur agencement. Lorsque leur teneur est faible, ils sont nettement individualisés pour devenir jointifs lorsqu'ils abondent et pouvant aller jusqu'à s'agglomérer pour former des agrégats de grande taille dépassant les 100 microns. La teneur en grenat de l'encaissant phylladeux varie entre 1 à 30 %. Les grains y sont normalement séparés. Au microscope électronique à balayage, les grains de quartz apparaissent bien cristallisés et automorphes. Les faces cristallines y sont bien visibles et les angles entre les faces sont obtus. Par comparaison, la lame de phyllade attachée au coticule présente des grains de spessartine de plus petite taille (~15 microns), moins abondants que le coticule. Ils se rencontrent rarement sous forme d'agrégats.

Si les minéraux du groupe des grenats sont fréquents dans de nombreuses roches métamorphiques, le grenat spessartine est un des plus rares. Pour se former, il a

besoin de manganèse en suffisance dans le sédiment de départ! De par sa composition particulière et des conditions métamorphiques spécifiques, le coticule est relativement rare.

Les grains de spessartine sont enchâssés dans une matrice microphylliteuse composée de fines paillettes de taille micrométrique de micas blancs, muscovite et paragonite, et accessoirement de paillettes de chlorite magnésienne. Leur identification résulte de l'analyse diffractométrique aux rayons X. Ces paillettes de petite taille - appelées aussi séricite - sont orientées par la schistosité.

Le quartz est un constituant important du coticule. Sa teneur fluctue entre 17 et 32 % (Grogna, 1984). La taille inférieure au micron de ses grains ne permet pas de l'observer au microscope optique. Son identification est faite aisément par diffraction des rayons X et confirmée par l'analyse chimique. Le quartz s'observe aussi sous la forme de petites veinules perpendiculaires à la stratification. Les cristaux y sont alors de taille bien supérieure à celle des grenats. Les veinules de quartz constituent un défaut majeur du coticule qui rejoint alors les rebuts.

De rares échantillons renferment de la kaolinite. En 1924, Anten a déjà mis en évidence ce phyllosilicate. Le minéral apparaît sous la forme de paillettes micrométriques incolores à blanches se confondant avec les plages de séricite voisines. Elles sont regroupées en grandes plages éteintes (100 à 400 microns) au contour arrondi ou parfois découpé, appelé alors noyaux ou amas de kaolinite. Le minéral trouve son origine par un phénomène de rétro-morphose au départ de l'andalousite, minéral du métamorphisme. Le nombre de noyaux ou amas de kaolinite est relativement plus élevé dans le phyllade que dans le coticule voisin.

Les autres minéraux accessoires du coticule sont tous de taille micrométrique. Le rutile (oxyde de titane) formé de fines aiguilles, la tourmaline (silicate de bore) en petits prismes et l'hématite (oxyde de fer) en sont les principaux composants. L'hématite se présente en cristaux souvent anguleux et parfois très allongés. Si l'hématite est un composant minéral rare du coticule,

Minéral	Formule chimique théorique	Densité	Dureté (**)
Spessartine	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$ (*)	4.2	7
Muscovite	$KAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$	2.8-2.9	2.53
Paragonite	$NaAl_2(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$	2.8-2.9	2.53
Quartz	SiO_2	2.65	7
Chlorite Mg	$(Mg, Fe^{+2})_5Al(AlSi_3)O_{10}(OH)_8$	2.6-3.3	2-3
Hématite	Fe_2O_3	4.9-5.3	5-6
Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$	3.1-3.3	5
Rutile	TiO_2	4.2-4.4	6-6.5
Kaolinite	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	2.6-2.7	2-2.5
Andalousite	Al_2SiO_5	3.1-3.2	6.5-7.5

(*) : la spessartine contient aussi du Fe, du Ca et du Mg en remplacement partiel du Mn (Kramm, 1976) – solubilité partielle en grenats almandin, grossulaire et pyrope.

(**) : échelle de Mohs

Tableau 2 : Analyses chimiques (% en poids d'oxydes), % Volume des phases minérales (modifié d'après Grogna, 1984).

il se retrouve par contre de manière significative dans le phyllade encadrant. Les cristaux d'hématite dans le phyllade sont morphologiquement analogues à ceux du coticule. De taille variable, allant de 30 à 50 microns, ils sont généralement anguleux et parfois très allongés.

Pérogaphiquement, le coticule, d'apparence homogène exhibe de nombreuses microstructures. La stratification, tout d'abord, est caractérisée par l'alternance de lits plus ou moins riches en grenat spessartine indiquant le dépôt initial de lamines de composition légèrement différente. De surcroît, la stratification est généralement soulignée par l'allongement préférentiel des minéraux phylliteux formant la matrice du coticule.

Les contraintes tectoniques liées aux orogènes calédonien puis varisque sont à l'origine des deux schistosités développées et observées tant dans le coticule que dans le phyllade. Ces microstructures sont le reflet de structures macroscopiques de plus

grande dimension affectant les roches cambro-ordoviciennes du Massif de Stavelot. La première schistosité dénommée « clivage ardoisier » forme un plan parallèle ou subparallèle à la stratification, les feuillets des phyllosilicates sont donc orientés parallèlement à la stratification. La seconde schistosité reprend la schistosité ardoisière. Elle est caractérisée par un microplissement ou crénulation et s'observe principalement dans les échantillons de phyllade. Dans certains cas, la schistosité de crénulation contourne les noyaux de kaolinite ou de micas blancs (muscovite et paragonite), par conséquent, initialement indéformables. Certains échantillons révèlent des structures analogues mais celles-ci renferment des porphyroblastes d'andalousite entourés de kaolinite (Theunissen, 1971). Cette observation démontre que l'andalousite était déjà présente, sous la forme de noyaux indéformables, lors du développement de la seconde schistosité et que les noyaux de kaolinite observés dans le coticule et dans le phyllade associé auraient pour origine la pseudomorphose de l'andalousite (Grogna, 1984).

La composition chimique du coticule

Renard (1878), Lessuisse (1981) et Grogna (1984) ont publié des analyses chimiques réalisées sur des veines de coticule exploitées et leur phyllade associé. Leurs analyses sont reliées à des veines précises et à des produits manufacturés de qualité connue. Les analyses de Kramm (1973, 1976, 1980) divergent des précédentes mais concernent des veines de coticule de moindre qualité et apparemment impropres à la commercialisation et le phyllade. Les analyses sont reprises au tableau 3.

La singularité du coticule résulte de la présence d'un grenat particulier : la spessartine qui est caractérisée par la présence du manganèse et d'aluminium dans sa structure. Les veines exploitées montrent donc des teneurs remarquables en manganèse, exprimées en % poids d'oxyde de manganèse, comprises entre 7,8 et 23,5 %. Les analyses chimiques sont en parfait accord avec l'observation au microscope de l'abondance des grains de grenat. Les phyllades encaissants présentent également des concentrations élevées en MnO comprises entre 1 et 6 %. Les coticules de moindre qualité enregistrent les teneurs en MnO les plus faibles, y compris dans le phyllade (généralement inférieures à 1 %). Les teneurs en fer trivalent, exprimées par l'oxyde Fe_2O_3 , se relient à l'abondance d'hématite qui caractérise surtout les phyllades et est responsable de sa couleur violette. La teneur en Fe_2O_3 est faible dans le coticule (0,04 à 1,34 %) comparativement au phyllade (8,50 à 16,66 %). Sur la base de ces analyses chimiques, Grogna (1984) a calculé la composition normative de ces échantillons (pourcentage des minéraux dans la roche). Les résultats de cette étude sont repris au tableau 2 et confirment l'examen pétrographique. Le grenat spessartine, les phyllosilicates (muscovite – paragonite – chlorite - kaolinite) et le quartz totalisent ensemble et en volume 95 % du coticule. Les veines de coticule montrent des variations minérales relatives importantes où dominent tantôt la spessartine, tantôt les phyllosilicates ou même le quartz.

Le phyllade et le coticule possèdent donc la même association minérale, mais les minéraux se présentent en proportions différentes. La présence de grenat, parfois en abondance, dans des phyllades a fait que certaines bandes violacées ont été exploitées comme « pierre à aiguiser », comme par exemple la Veine Lorraine (base du 1er faisceau), exploitée jadis au Thier du Mont (Theunissen, 1970). Cette pierre était considérée de qualité moyenne par les fabricants et est de couleur violette à violet bleuté. De faibles variations de coloration indiquent la présence d'un fin litage. La minéralogie est similaire à celle des autres phyllades mais les grenats, de forme globuleuse, y sont de plus grande taille (30 μm) et moins nombreux, le quartz est observable au microscope et l'hématite, abondante, est présente en cristaux jusqu'à 40 μm . Cette pierre abrasive a surtout été utilisée dans les tanneries et les corroieries.

Les qualités commerciales du coticule

Les exploitants ont établi une échelle de qualité pour les pierres à rasoir et pour les bouts, comportant respectivement 15 et 4 qualités différentes. Parmi les critères figurent : a) la finesse du grain de la pierre qui mesure la qualité finale du polissage, b) la dureté qui exprime l'aptitude de la pierre à user le métal et en relation directe avec la teneur en grenat, d) le collage et c) les défauts qui diminuent le prix de vente. Les défauts concernent les veinules de quartz qui abîment le fil acquis à l'intervention des grenats, le litage colorimétrique et compositionnel et les tâches de couleur (pur effet inesthétique). Les prix tiennent compte aussi de la forme de la pierre et de sa dimension (voir chapitre ultérieur).

Les propriétés abrasives singulières du coticule sont liées à plusieurs critères qu'il convient d'associer. Le paramètre déterminant est lié à la présence et à l'abondance du grenat spessartine, minéral doté d'une dureté de 7 sur l'échelle de Mohs. Sa dureté est supérieure à celle de l'acier. Cette échelle empirique (ni linéaire, ni logarithmique) comporte 10 niveaux. Elle est basée sur 10 minéraux de référence et est liée

			Eléments chimiques										Minéralogie (%)							
N°	Veine correspondante	Source	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Autres	Spessartine	Hématite	Quartz	Phyllosilicates	Apatite	Rutile			
1	Coticule	Renard	46,5	23,5	1,1	17,5	1,1	0,8	0,3	2,7	4,9	35	1	17	46	1	1			
2	Coticule : veine « Fine »	Grogna	52,5	21,2	0,6	18,1	0,6	0,6	0,9	2,3	3,6	35	1	27	36	1	1			
3	Coticule : veine « Allemande »		54,6	20,0	0,7	17,1	0,4	0,5	0,8	2,3	3,7	33	1	32	34	1	1			
4	Coticule : veine « Allemande »		54,7	20,1	0,8	16,9	0,5	0,4	0,8	2,2	3,3	32	1	32	34	1	1			
5	Coticule : veine « Couverte d'Allemande »		53,4	17,0	0,4	23,5	0,4	0,4	0,5	1,1	3,0	48	1	32	19	1	1			
6	Coticule : veine « Grosse Jaune »		51,8	26,2	0,9	7,2	0,5	0,2	1,2	2,7	8,5	13	1	22	64	1	1			
7	Phyllade associé à la veine « Fine »		48,6	21,6	9,6	11,2	0,8	0,4	1,0	2,3	4,2	21	5	24	48	1	1			
8	Phyllade associé à la veine « Allemande »		47,4	23,6	10,2	7,8	0,8	0,4	1,4	3,8	4,5	15	5	21	57	1	1			
9	La Lorraine		50,3	18,8	17,2	2,2	1,8	0,1	1,2	3,1	5,2	4	10	31	54	1	1			
10	Coticule : veine « Peta Fin Double »	Lessuisse	58,5	23,7	1,3	5,6	0,9	0,1	1,3	3,8	5,0	9	1	32	57	--	1			
11	Phyllade : associé à la veine « Peta Fin Double »		54,2	24,0	8,5	1,0	1,4	<0,1	1,5	3,9	5,4	2	5	28	64	--	1			
12	Coticule : veine « Grosse Blanche »		51,0	29,3	1,1	6,0	0,4	0,2	1,8	4,3	5,4	10	1	17	72	--	1			
13	Phyllade : associé à la veine « Grosse Blanche »		49,9	20,8	14,2	1,9	0,8	0,1	1,6	3,5	4,4	4	8	29	58	--	1			
14	Coticule	Kra mm	63,8	18,7	0,5	8,3	0,6	0,6	1,4	1,8	3,7	15	1	44	39	1	1			
15	Phyllade associé au Coticule n°2		51,0	20,8	15,7	0,6	1,5	0,4	1,5	2,3	5,1	1	9	30	59	1	1			
16	Coticule		73,7	16,4	0,5	2,1	1,0	0,3	0,7	1,6	3,6	3	1	56	40	1	1			
17	Phyllade associé au Coticule n°4		56,4	23,1	9,0	0,7	1,2	0,3	0,9	2,5	5,6	1	5	32	61	1	1			
18	Phyllade associé au Coticule n°4		55,0	21,1	13,0	0,4	1,1	0,3	0,8	2,5	5,6	1	7	34	57	1	1			
19	Coticule		69,1	16,2	0,0	6,0	1,4	0,4	1,1	1,5	3,8	10	0	53	36	1	1			
20	Phyllade associé aux veines de coticule		50,9	23,1	14,0	1,4	0,9	0,1	0,6	2,6	5,7	2	8	26	63	1	1			
21	Phyllade associé aux veines de coticule		50,5	19,7	16,6	3,2	1,2	0,6	1,5	2,4	4,2	6	10	31	52	1	1			
22	Phyllade associé aux veines de coticule		52,7	21,0	14,2	0,8	1,4	0,5	1,6	2,7	4,7	1	8	32	58	1	1			
23	Phyllade associé aux veines de coticule		54,0	23,1	9,7	0,8	1,3	0,3	0,8	2,6	6,1	1	5	30	63	1	1			
24	Phyllade associé aux veines de coticule		52,0	18,6	16,7	0,6	1,9	0,5	0,9	2,9	4,3	1	10	35	54	1	1			

Autres : $\text{TiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{FeO} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{C} + \text{S}$ (Renard)

Tableau 3 : Analyses chimiques (% en poids d'oxydes), % Volume des phases minérales (modifié d'après Grogna, 1984).



Dessins de lames-minces taillées dans du cotile.

Coticule de Viel-Salm (1, 4 et 6), coticule d'Hébronval (2), coticule d'Ottrez (3), coticule de Sart (5).

Figure extraite de Renard, A. (1878), planche 1, page 42.

à la capacité de l'un à rayer l'autre. Les minéraux de dureté 1 et 2 sont considérés comme tendres et ceux au-dessus de 6 comme durs.

De manière empirique, Grogna (1984) a relié la teneur en grenat spessartine avec la qualité du coticule (déterminée par les exploitants). Pour des teneurs inférieures à 5 % en volume, les coticules sont de qualité médiocre. De 5 à 20 %, les pierres sont de bonne qualité. Les meilleurs coticules correspondent à une teneur en grenat élevée, de 20 à 40 %. Enfin, au delà de 40 %, la qualité du coticule diminue avec l'augmentation de l'abondance du grenat spessartine et la formation d'agrégats de plus grande taille. Les meilleures pierres renferment des grenats de taille inférieure à 20 microns et avec des grains séparés les uns des autres. Au-delà de cette dimension ou lorsque les agrégats de grenats sont nombreux, la qualité décroît.

De surcroît, une bonne pierre à raser doit être composée presque exclusivement de trois phases minérales en proportions volumiques proches : le grenat, les phyllosilicates et le quartz. Cette condition est remplie pour trois échantillons issus des veines « Fine » et « Allemande » considérées par les exploitants comme des veines d'excellente qualité. Le quartz doit obligatoirement être de taille submicroscopique, les veinules de quartz sont donc extrêmement pénalisantes. La matrice composée de fines phyllites joue un rôle essentiel car elle sert de liant aux grenats. Ce liant est doux et permet de mettre en micro-relief les grains de grenats (faces et arêtes des cristaux). Après usure partielle, ces grains peuvent être arrachés de leur gangue et mettre à vif de nouveaux grains intacts disponibles pour poursuivre le processus d'affilage du métal. Un liant trop dur, en empêchant la libération des grains polis par le mouvement de l'acier, aurait eu pour conséquence un auto-polissage de la pierre à affiler qui aurait alors perdu rapidement ses propriétés. Si la pierre abruse le métal, le métal, lui, polit la pierre. La présence de quartz en très fins grains permet aussi d'éviter une érosion trop rapide du matériau naturel. Comme on le voit, tout est question d'équilibre ! Les veines de coticule décrites par les exploitants comme de

qualité médiocre sont généralement hétérogènes. Elles sont pourvues de nombreuses irrégularités de structure : veinules de quartz, fin litage, noyaux de kaolinite ou micacés, schistosité de crénulation. Ces défauts nuisent considérablement à la qualité abrasive du coticule. Enfin, la couleur originelle jaune ocre à jaune clair, caractéristique du coticule, ne doit pas être dégradée par exemple par la précipitation d'oxydes noirs de manganèse ou une coloration plus grisâtre due à la présence d'hématite. L'épaisseur de la veine de coticule ainsi que l'adhérence de son encaissant phylladeux est aussi à prendre en considération.

Un coticule de très bonne qualité est donc le résultat de l'addition de nombreux critères difficiles à rencontrer dans la nature. Chaque veine connue possède donc ses caractéristiques propres obligeant l'exploitant à n'exploiter que les meilleures veines, très peu épaisses et éliminer les défauts externes liés aux « accidents de terrain » (pli, faille, diaclases, altération). On comprend déjà ici que le risque lié à l'exploitation est grand, que le rendement en bonnes pierres est faible, et qu'un véritable savoir-faire sous-tend toute cette industrie nécessairement artisanale.

Le mode de formation du coticule

De nombreuses hypothèses ont été avancées pour tenter d'expliquer l'origine du coticule. Le premier problème est de comprendre l'anomalie en manganèse du sédiment d'origine (avant le métamorphisme). Woodland (1939) évoque une précipitation chimique de carbonate de manganèse ($MnCO_3$). Clifford (1960), ainsi que Roy & Purkait (1968) parlent de niveaux sableux enrichis en manganèse. Schiller & Taylor, (1965) ainsi que Doyle (1985) parlent de cherts formés par précipitation chimique de silice et de sels manganésifères. Enfin Kramm (1976), puis Lamens et al. (1986) impliquent l'occurrence de cendrées volcaniques riches en manganèse.

Le dernier modèle géologique de formation des niveaux à coticule développé dans ce paragraphe a été proposé par Lamens et al. (1986). La Formation d'Ottre, et plus précisément le Membre de les Plattes,

se dépose à l'Arenigien (485-470 Ma) dans un bassin marin calme qui s'approfondit vers le sud-est et qui est limité au nord-ouest par une plate-forme. Au fond de ce bassin, des composés ferrifères et manganésifères en suspension correspondant probablement à des exhalaisons volcaniques (présence de roches volcaniques contemporaines du dépôt du Membre de les Plattes) et des particules terrigènes argileuses et silteuses sédimentent. La plate-forme est le siège de la formation de carbonate de calcium, principalement d'origine organique. Les figures 4a, 4b et 4c schématisant cette histoire sont empruntées à Dejonghe et Jumeau, 2007.

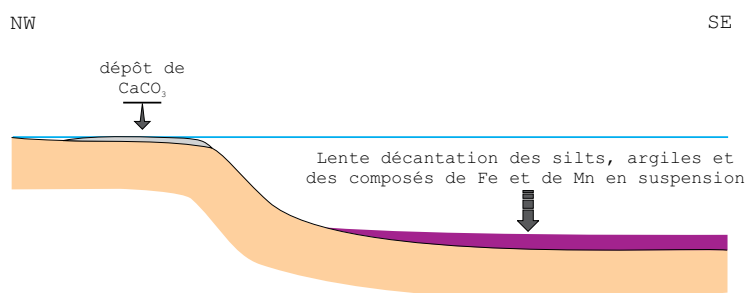


Figure 4a, avec l'aimable autorisation des auteurs; Dejonghe et Jumeau, 2007 (pages 36 et 37).

Occasionnellement, des sédiments carbonatés provenant de la plate-forme atteignent le bassin, probablement par des courants de densité. Les éléments grossiers se déposent rapidement et ne dépassent pas la zone de Chevron alors que les particules plus fines parcourent de plus longues distances et atteignent la région de Vielsalm au sud-est du bassin.

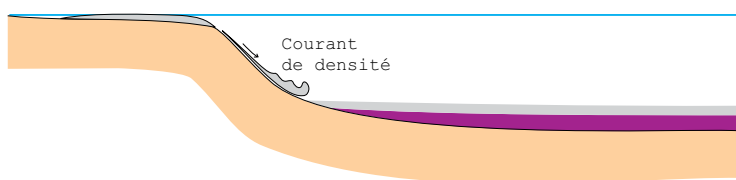


Figure 4b avec l'aimable autorisation des auteurs; Dejonghe et Jumeau, 2007 (pages 36 et 37).

La Formation d'Otré est donc caractérisée par une alternance de dépôts argilo-silteux riches en fer et en manganèse et de rares lits carbonatés. Ces derniers

se sont déposés si rapidement qu'ils sont quasiment dépourvus de fer et de manganèse. Les processus diagénétiques (transformation du sédiment après le dépôt) engendrent une remobilisation des ions Mn^{2+} d'origine volcanique présents dans les dépôts argilo-silteux adjacents. Par réaction chimique, les ions Mn^{2+} remplacent les ions Ca^{2+} des carbonates de calcium pour former la rhodocrosite (carbonate de manganèse). A ce stade, les lits interstratifiés sont composés d'un mélange d'argile, de quartz et de rhodocrosite. Plus tard, lors des dernières phases de l'orogénèse calédonienne (450-420 Ma) et pendant l'orogénèse varisque (325-300 Ma), des contraintes tectoniques importantes plissent et faillent ces couches. Contrairement au synclinal de Chevron, la région de Vielsalm est affectée par des processus métamorphiques d'âge varisque qui ont transformé la rhodocrosite et les micas originels en un nouvel assemblage centré sur le grenat spessartine donnant ainsi naissance au coticule. La paragenèse formée est : quartz + spessartine + muscovite + paragonite + chlorite ± andalousite ± hématite + rutile. Il s'ensuit une phase hydrothermale (circulation d'eaux chaudes) tardive marquée principalement par la rétro-morphose de l'andalousite en kaolinite et micas. Les formations argilo-silteuses originelles se sont transformées en phyllades et en ardoises et les couches plus siliceuses en bancs de « quartzophyllades » (alternance fine et régulière de lits de quartzites et de phyllades).

Les anomalies en manganèse ont donné naissance aux fameux minerais de manganèse de la Lienne. Le degré trop faible du métamorphisme a là empêché la formation du grenat.

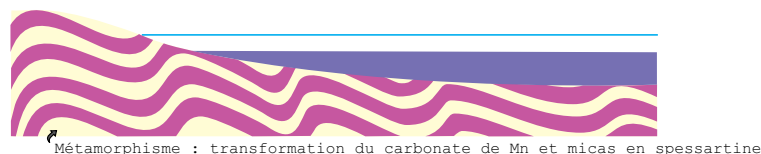


Figure 4c avec l'aimable autorisation des auteurs; Dejonghe et Jumeau, 2007 (pages 36 et 37).

Courtes conclusions

Le coticule de Vielsalm est une roche naturelle rare, née du métamorphisme d'un sédiment riche en manganèse. Une composition particulière, des conditions de métamorphisme très spécifiques lui ont donné un grain très fin et une minéralogie où le grenat et les micas dominant. Ces conditions ne sont réunies en Belgique que dans le bord sud du Massif de Stavelot et plus particulièrement sur le territoire de la commune de Vielsalm. Le coticule conjugue donc un ensemble de paramètres exceptionnels fruit d'une histoire complexe et non encore totalement élucidée.

Quelques termes

Aiguiser : Aiguiser une lame consiste à retoucher le tranchant pour qu'il devienne coupant. On dit généralement affûter et affiler. Il y a par contre plusieurs définitions de « bien aiguisé ». On peut, selon la façon dont on va aiguiser, donner à la lame un comportement choisi qui la rendra plus pratique pour telle ou telle application. Ainsi, on peut optimiser une lame pour une coupe sans mouvement de sciage (ex: rasage, sculptage du bois) ou avec (ex: coupe de matériaux fibreux comme une corde). L'aiguisage est un compromis à faire, en fonction des utilisations prévues et de la durée de vie du tranchant avant l'aiguisage suivant.

L'affûtage est le premier travail à réaliser sur une lame, en conférant un angle de 20 à 30° à la partie tranchante de la lame. Il doit être symétrique de façon à ce que la lame pénètre droit sans dévier. C'est un travail d'ébauche il doit être réalisé avec un affûteur carbure ou une pierre naturelle ou synthétique au corindon, à l'émeri.

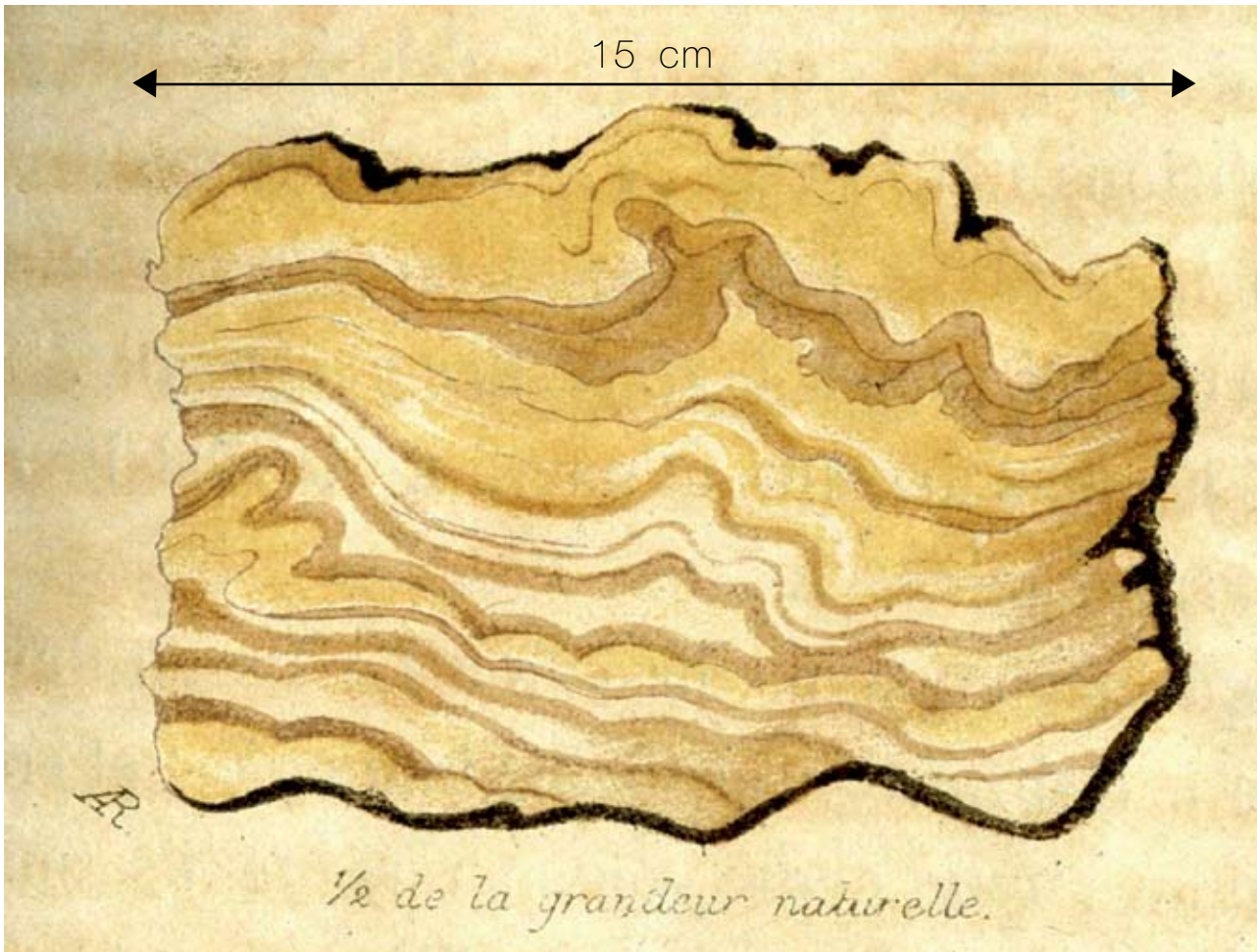
L'affilage est l'action qui consiste à redonner du fil au couteau affûté, elle se réalise par frottement du fil sur la pierre selon un angle de 20 à 30° à l'aide d'un fusil ou d'une pierre à aiguiser. Cette opération doit être effectuée régulièrement. La pierre doit avoir



Plaques de coticule prêtes à être envoyées à l'atelier.
Collection du Musée du Coticule.

un grain très fin supérieur à 600 (25 microns). Plus le grain est fin, meilleure sera la coupe. Après affilage, une lame coupe la feuille de papier sans l'arracher.

Le fil : une lame tranchante comporte une arête vive appelée le « fil ». Le fil est la partie qui pénètre en premier dans la matière que l'on coupe, et c'est lui qui va supporter la pression de coupe et effectivement rompre la matière à couper. Vu au microscope, ce fil n'est pas à proprement parler un angle vif, mais un très petit arrondi. Le but de l'aiguisage est de réduire au minimum le rayon de cet arrondi, afin d'augmenter la pression de contact entre la lame et la matière à couper. Le fil n'est pas régulier. Il comporte des



Première illustration dans la littérature d'une tranche de corticule plissé, Renard, 1878, page 15.

oscillations latérales ou verticales, des endroits où la matière manque (craquelures, écailllements...), ou encore des stries ou des dents plus ou moins visibles à l'œil nu ou au microscope. Ces défauts ou irrégularités peuvent contribuer positivement ou négativement au tranchant. Si un fil pour coupe avec mouvement de sciage devra comporter des stries de quelques dizaines ou centaines de micromètres qui agiront comme des dents, à l'opposé un fil pour coupe sans sciage (d'un rasoir ou d'une hache) devra être aussi poli que possible.

Comment aiguiser? L'aiguisage se fait essentiellement par enlèvement de matière. L'enlèvement de matière se fait en frottant la lame contre un matériau à structure granulaire, couramment appelé « pierre », qui peut être une pierre naturelle ou un objet synthétique,

comme les pierres de céramique ou les pierres au diamant. La taille du grain influe sur la rapidité de l'enlèvement de matière et sur la qualité de celui-ci. Plus le grain de pierre est gros, plus vite on enlève du métal de la lame. Les pierres à gros grains (80 à 200) sont ainsi utilisées comme première passe pour restaurer un tranchant très abîmé. Par contre, un grain fin laissera moins de marques dans le métal, et l'état de surface à proximité du fil sera plus lisse. Les pierres fines ou très fines sont utilisées en phase de demi-finition lors des aiguisages très fins (rasoirs). La finition et l'entretien des lames de grande finesse ont lieu sur un cuir.

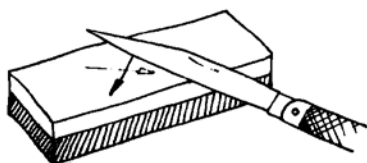
Forme et technique : ces pierres peuvent se présenter sous plusieurs formes. La plus traditionnelle est la pierre plate. La pierre a simplement été taillée et aplaniée, et l'affûtage se fait en déplaçant à la main

la lame sur la surface de la pierre. Cette technique demande un certain tour de main. La plupart des pierres naturelles demandent une lubrification. Le lubrifiant assure deux rôles distincts : assurer le refroidissement et la suspension des particules. Le coticule requiert de mouiller la surface avant affilage. Les frottements qui sont à la base de l'aiguisage engendrent un échauffement préjudiciable du métal de la lame. Sur une pierre plate où l'énergie est fournie par l'utilisateur, une simple « flaque d'eau » sur la pierre suffit au refroidissement. L'abrasion du métal et de la pierre crée de fines particules métalliques et minérales. Sur une pierre naturelle, si aucun liquide ne baigne la pierre, ces particules s'immiscent dans les pores de la pierre et en lissent la surface, la rendant incapable d'attaquer le métal. Le nettoyage d'une pierre ainsi abîmée passe par un décapage de la surface au jet d'eau. Si la pierre est suffisamment

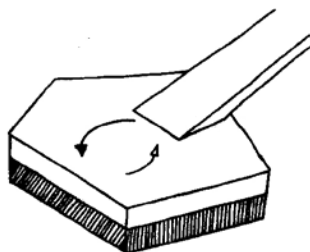
mouillée, les particules restent en suspension dans le liquide et sont évacuées par simple rinçage en fin d'aiguisage. Garder une pierre propre est indispensable à sa longévité.

Un prospectus (non daté) de la société Burton-Rox s.a. fournit les conseils d'utilisation (figure 5). Pour les petits tranchants courbes (couteau, bistouri, etc), la pierre est maintenue sur une surface plane et le tranchant, avec l'inclinaison correcte, est frotté en oblique sur la pierre ; les faces sont aiguisées en alternance. Pour les petits tranchants plats (ciseau, rabot de menuisier, etc), la pierre est maintenue fixe sur une surface plane et le tranchant, avec l'inclinaison correcte, est frotté sur la pierre en tournant et en exerçant une pression de contact plus forte lorsque la lame « entre » dans la pierre. Quand le tranchant est trop long (hache, serpe) pour être manipulé, il reste

Petits tranchants courbes



Petits tranchants plats



Grands tranchants

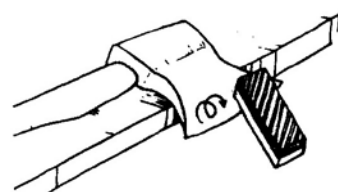
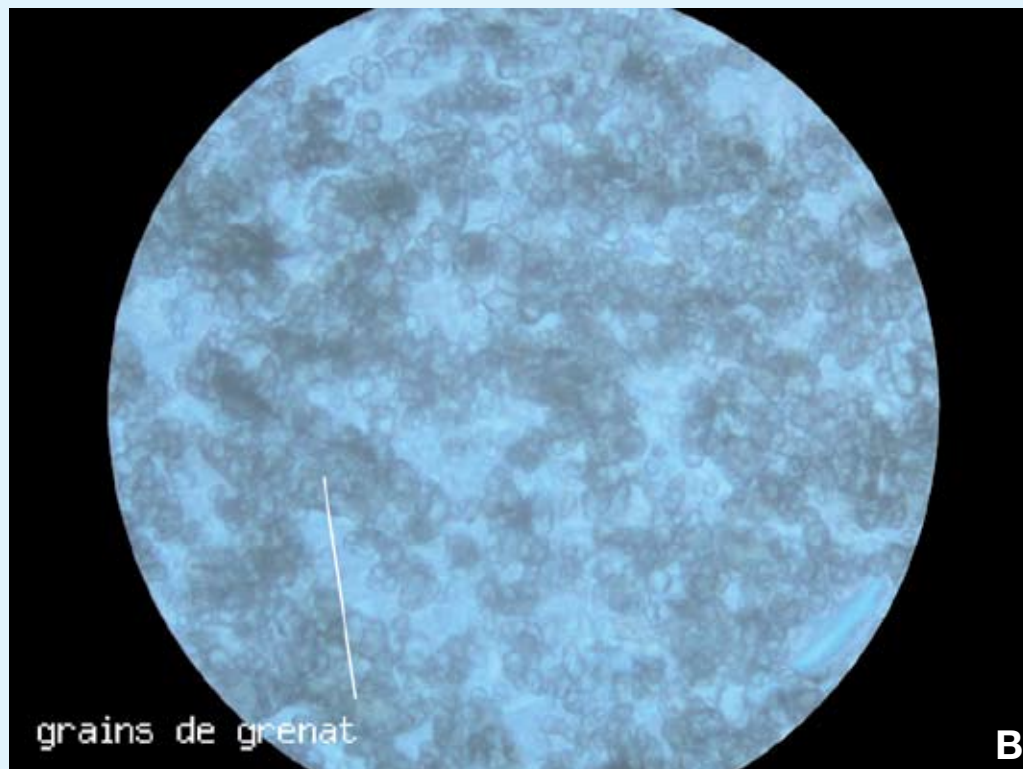
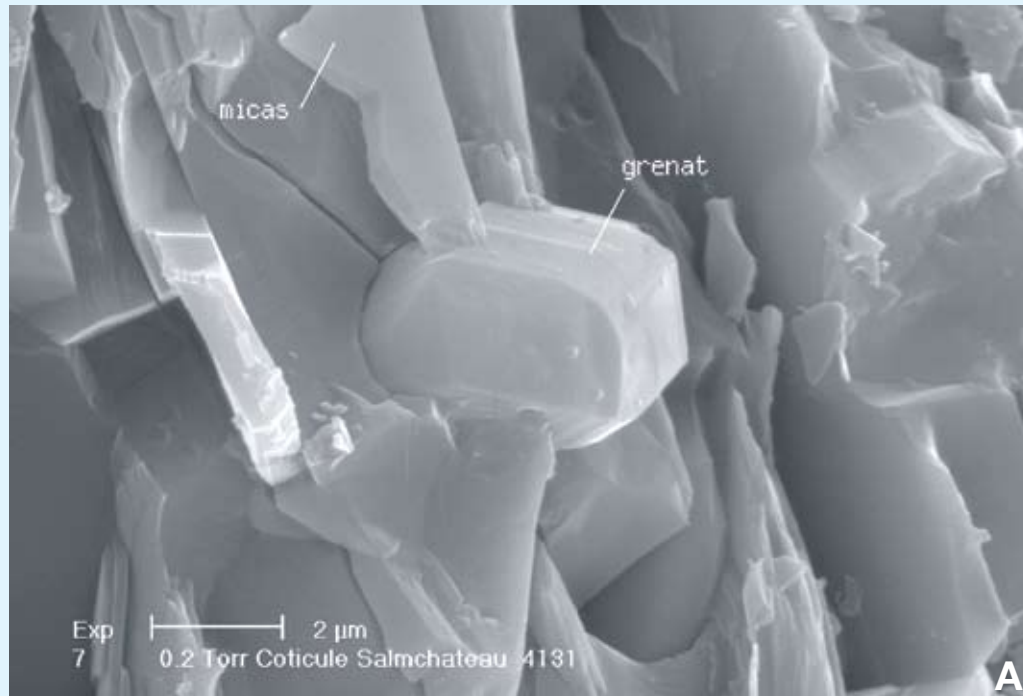


Figure 5 : Dessin extrait du prospectus de Burton-Rox (non daté).

fixe et c'est la pierre de forme allongée qui est déplacée, toujours par des mouvements de rotation. La pierre peut être utilisée avec de l'eau ou du pétrole (éventuellement de l'huile ou de la térébenthine) mais jamais à sec.

Le cuir : le passage du cuir est destiné à lisser les microrayures laissées par la pierre la plus fine avec laquelle vous avez terminé votre affilage. Il faut donc utiliser un cuir très dur ou très tendu et un angle beaucoup plus plat que celui de l'affûtage.



A : Fragment de veine de coticule vu au microscope électronique à balayage avec mise en évidence d'un cristal de grenat de 4/1000 de mm, exhibant ces facettes et ces arêtes, et enchâssé dans une matrice de micas. EG.

B : Vue au microscope polarisant d'un fragment de coticule. Tous les grains de grenat spessartine sont de taille inférieure à 1/100 de mm. On note des zones où la concentration en grenat est plus forte. De nombreux cristaux de grenats se touchent. Les plages limpides entre les grenats sont constituées de micas et de quartz. L.N., le diamètre du cercle mesure 0,45 mm. EG.



Les échantillons ont été récoltés à Lierneux par le Professeur F. Geukens (collections de la KUL). Les échantillons ont été sciés, polis et la surface a été vernie afin d'augmenter les contrastes. L'échelle est donnée par la pièce de 20 centimes d'euro soit un diamètre de 22 mm.

- 1** : Veine de cotichile jaune. Le plan de stratification (= plan de dépôt) est marqué par des lignes horizontales plus sombres et plus riches en quartz et en andalousite (1er défaut). Des veines de quartz gris clair, appelés « cheveux » perpendiculaires à la stratification coupent le cotichile (2ème défaut). Au sommet de l'échantillon, on observe un contact net avec le phyllade violet. Des taches violettes de phyllades parsèment le tiers supérieur de l'échantillon (3ème défaut). Deux fractures ouvertes irrégulières avec une altération noirâtre aux épontes sont visibles dans la partie gauche (4ème défaut). EG.
- 2** : Veine de cotichile jaune dans un bloc de phyllade violet. La veine est fine, régulière et les contacts avec le phyllade sont nets. On observe la stratification interne à la veine marquée par des cristaux de quartz et d'andalousite. EG.
- 3** : Veine de cotichile impure et plissée dessinant un S. Les variations de la composition minéralogique de la veine de cotichile (défaut) se marquent par des variations colorimétriques et des variations de l'épaisseur de la veine dans les charnières des plis. Le contact avec l'encaissant phylladeux est progressif à gauche et plus net à droite. Enfin, de nombreuses microfractures affectent la roche (défaut). EG.
- 4** : Pli couché dans une mince veine de cotichile. Des failles à rejet (déplacement) plurimillimétrique obliquant vers la droite découpent la veine. Le phyllade violacé montre des zones rosées plus riches en grenat. EG.

Bibliographie

Anten, J., 1924-1925. A propos des noyaux du phyllade oligistifère et spessartinifère à coticule. Annales de la Société Géologique de Belgique, 48 : B197-198.

Clifford, T.N., 1960. Spessartine and magnesium biotite in coticule-bearing rocks from Mill Hollow Alstead Township, New Hampshire, U.S.A. A contribution to the petrology of the metamorphic manganese sediments. Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen, 94 : 1369-1400.

Corin, F., 1924. Sur les plissements secondaires dans les couches de coticule. Annales de la Société Géologique de Belgique., 47 : 186-188.

de Dejonghe, L. & Jumeau, F., 2007. Les plus beaux rochers de Wallonie. Géologie et petite histoire. Collection Géosciences, Service géologique de Belgique Ed., 358 p.

Dordot (de), L., 1910. Contribution à l'étude du métamorphisme du Massif Cambrien de Stavelot. Annales de la Société Géologique de Belgique, 37 : 145-204.

Doyle, E., 1985. The coticule rocks of the Lower Paleozoic Maulin Formation in southeast Ireland. Unpublished Ph. D. Thesis, National University of Ireland.

Dumont A., 1847. Mémoire sur les terrains ardennais et rhénan. De l'Ardenne, du Rhin, du Brabant et du Condroz. Première partie. Mémoires de l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts, 20, 1-163.

Ferket, H., Muchez, P., Schroyen, K., Sintubin, M., 1998. Metamorphism in the Stavelot-Venn Massif : a study of quartz veins in the basal Devonian conglomerates (Lochkovian). Aardkundige Mededelingen, 9 : 7-16.

Foucault, A., Raoult, J. F., 1995. Dictionnaire de géologie. Masson (Ed), 324 p.

Gosselet, J., 1888. L'Ardenne. Mémoire Service de la Carte Géologique de France.

Grogna, J., 1984. Les roches salmiennes à coticule dans la région de Salmchâteau. Professionnal Paper, Ministère des Affaires Economiques, Service géologique de Belgique, 1984/2, 206, 133 p.

Kramm, U., 1973. Chloritoid stability in manganese-rich low-grade metamorphic rocks, Venn-Stavelot Massif, Ardennes. Contrib. Mineral. Petrol., 41 : 179-196.

Kramm, U., 1976. The coticule rocks (spessartine quartzites) of the Venn-Stavelot Massif, Ardennes, a volcanoclastic metasediment? Contrib. Mineral. Petrol., 56 : 135-155.

Kramm, U., 1980. Muscovit Paragonit hasenbeziehungen in niedriggradig metamorphen Schiefer des Venn-Stavelot Massivs, Ardennen. Springer, Verlag.

Lamens, J., Geukens, F., 1984. Volcanic activity in the lower Ordovician of the Stavelot Massif, Belgium. Med. Kon. Acad. Wet, 46 : 1-13.

Lamens, J., Geukens, F., Viaene, W., 1986. Geological setting and genesis of coticules (spessartine metapelites)

in the Lower Ordovician of the Stavelot Massif, Belgium. *Journal of the Geological Society of London*, 143 : 253-258.

Lessuisse, A., 1981. Le coticule. Situation géographique et géologique des gisements. Exploitation et préparation des pierres abrasives. Valorisation des déchets d'exploitation. Institut National des Industries Extractives (INIE), Département des Mines et carrières, Liège.

Lohest, M., 1911. Sur le métamorphisme de la zone de Salmchâteau. *Annales Société Géologique de Belgique*, 38 : M11-M25.

Lohest, M., 1913. Expériences de tectonique. Mémoire de la Société Géologique de Belgique, 39 : 547-585.

Macar, P., 1973. Structures sédimentaires diverses dans le coticule du Massif de Stavelot. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 96 : 133-155.

Omalius d'Halloy (d'), 1808. *Journal des Minéralogistes*, 143, p.356.

Papeleux, J., 1971. Première note sur la « PIERRE A RASOIR ». Musée de la vie wallonne, enquête, notes manuscrites conservées dans les archives du Musée de la Vie Wallonne (référence : 22B – 87276 V1).

Renard, A., 1878. Sur la structure et la composition minéralogique du coticule et sur ses rapports avec le phyllade oligistifère. Mémoires couronnés et mémoires des savants étrangers publiés par l'Académie royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique, Bruxelles, 41 : 3-45.

Roy, S., Purkait, P.K., 1968. Mineralogy and genesis of the metamorphosed manganese silicate rocks (gondites) of Gowari Wadhona, Madhya Pradesh, India. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 20 : 86-114.

Schiller, E.A., Taylor, F.C. 1965. Spessartine-quartz rocks (coticule) from Nova Scotia. *Am. Mineralogist*, 50 : 1477-1481.

Theunissen, K., 1969. Découverte d'un phosphate alumineux de Terres Rares dans un coticule de Vielsalm. *Annales de la Société Géologique de Belgique.*, 92 : 173-176.

Theunissen, K., 1970. L'andalousite et ses phases de transformation dans la région de Vielsalm. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 93 : 363-382.

Theunissen, K., 1971. Verband tussen de tectonische vervorming en de matamorphe rekristallisatie in het doorbraakdal van de Salm te SalmChâteau. Doctoraatsverhandeling, Katholiek Universiteit Leuven. Thèse inédite.

Von Dechen, 1824. Nöggerath : Das Gebirge in Rheinland.

Von Oyenhausen, 1824. Leonhard's mineralogisches Taschenbusch für 1824. 1 Abth., p. 225.

Woodland, A. W., 1939. The petrography and petrology of the Lower Cambrian manganese ore of west Merionethshire. *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 95 : 1-35.