



HAL
open science

Altération thermique des grès : croûtes indurées et réseaux polygonaux - Buthiers, 77

Médard Thiry

► **To cite this version:**

Médard Thiry. Altération thermique des grès : croûtes indurées et réseaux polygonaux - Buthiers, 77. [Rapport de recherche] E 171105MTHI, Mines Paristech - Ecole des Mines de Paris. 2017. <hal-01630992>

HAL Id: hal-01630992

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-01630992v1>

Submitted on 8 Nov 2017

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

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



HAL Authorization



sortie géologique du dimanche 5 novembre 2017
livret guide

Altération thermique des grès : croûtes indurées et réseaux polygonaux - (Buthiers, 77)



Médard Thiry

Référence :
No. Rapport : E 171105MTHI

CENTRE DE GÉOSCIENCES
École des Mines de Paris, Fontainebleau, France

Référence type :

Thiry M., 2017, Altération thermique des grès : croûtes indurées et réseaux polygonaux - (Buthiers, 77). Excursion ANVL du 05 novembre 2017, livret guide, document pédagogique N° E 171105MTHI, Centre de Géosciences, École des Mines de Paris, Fontainebleau, France, 12 p.

Ce document a été élaboré en partenariat avec
L'Association des Naturalistes de la Vallée du Loing et du
Massif de Fontainebleau.

Médard Thiry, Mines-ParisTech – Centre de Géosciences, 35, rue Saint Honoré, 77300
Fontainebleau, France,

medard.thiry@mines-paristech.fr



sortie géologique du dimanche 5 novembre 2017
livret guide

Altération thermique des grès : croûtes indurées et réseaux polygonaux - (Buthiers, 77)

Médard Thiry

MINES ParisTech, PSL Research University,
Centre de Géosciences,
35 rue St Honoré
77300 Fontainebleau medard.thiry@mines-paristech.fr

Objectifs

Les réseaux polygonaux, appelés peau d'éléphant, carapace de tortue, parfois même écailles de dinosaure ! attirent l'œil et la curiosité des randonneurs, comme celle des naturalistes avertis. C'est une remarque qui émerge à toutes les sorties sur les grès.

Longtemps je n'ai pas répondu aux questions, pas voulu y répondre pour ne pas faire émerger une "théorie" farfelue. En fait je me contentais de souligner que ces formes se disposent généralement sur le flanc des dômes et des blocs de grès et sont donc liées à l'altération actuelle ou récente ; qu'elles ne peuvent pas être héritées de structures sédimentaires ; et quelles correspondent à des soustractions de silice, avec des grains de quartz corrodés par des golfes de dissolution.

Nous allons faire une revue rapide de la question par l'analyse de la littérature, puis décrire quelques aspects caractéristiques de ces morphologies dans les chaos de Buthiers (77).

Les données du problème

Plusieurs travaux ont mentionné ces formes polygonales d'altération des grès de Fontainebleau et d'ailleurs : parmi ceux ci Brochu (1955), Netoff (1971), Fränzle (1971), Mainguet (1972), Robinson et Williams (1989) et LeBas (2012). Mais, c'est le travail de Williams et Robinson (1989) qui est de loin le plus complet et le plus pertinent par ses nombreuses observations de détail et les analyses des mécanismes de formation susceptibles d'être envisagés. Les idées exposées ci-dessous en sont tirées en grande partie.

Les réseaux polygonaux sont formés de fissures peu profondes, généralement disposées en hexagones ou pentagones. En bordure des blocs ou sur les surfaces plus inclinées, les réseaux sont distordus et peuvent passer à des réseaux plus linéaires, souvent allongés le long de la pente, mais les polygones très allongés restent néanmoins à 5 ou 6 faces

Ces morphologies polygonales sont connues sous tous les climats, excepté les climats très humides à altération très intense. Ils sont surtout bien développés sur grès, mais affectent aussi les granites. Les grès relativement poreux (moins cimentés) sont apparemment plus susceptibles à la fissuration que les grès plus durs.

La géométrie des fissures et leur limitation à la couche superficielle indiquent que la fissuration résulte d'un comportement différentiel entre la couche superficielle et la roche sous-jacente. La fissuration peut résulter de tensions en compressions ou en extension. Mais les roches étant beaucoup plus résistantes à la compression qu'à l'extension, il est probable que la fissuration corresponde à des tensions en extension, donc à une contraction relative de la couche superficielle par rapport à la couche profonde.

Les tensions ne peuvent se développer que si la couche superficielle est contrainte (maintenue) par la couche sous-jacente. Ainsi, si la couche superficielle se contracte et que la roche sous-jacente reste inchangée, des fissurations pourront être initiées pour compenser le retrait différentiel. Ce mécanisme est comparable au faïençage des vaisselles par choc thermique ou par inadéquation des courbes de dilation des émaux et de la terre cuite sous-jacente. Les dilatations/retraits de la couche superficielle peuvent se faire par variations de températures dues aux amplitudes journalières dans les déserts chauds ou à l'action du gel sous les climats plus froids.

Robinson et Williams (1989) excluent pour Fontainebleau l'action de l'insolation en soulignant, à juste titre, qu'il n'y a pas de différenciation des polygones entre les faces Nord et Sud des rochers. Brochu (1955) et Fränzle (1971) avaient évoqués l'action des climats périglaciaires. Mais, Robinson et Williams (1989) soulignent aussi que certaines fissurations de Fontainebleau sont indubitablement modernes et non pas périglaciaires, comme les polygones qui se sont développés sur les grès taillés du pont de Grez-sur-Loing. Nous avons fait une observation similaire sur la Table du Roi au-dessus de Montigny-sur-Loing lors de la sortie ANVL de 2015 dans le SE du massif de Fontainebleau. Mais, on ne peut pas exclure complètement que des fissures naissantes n'existaient pas dans le grès lors de sa taille ?

Des encroûtements ou indurations superficiels sont très souvent associés aux réseaux polygonaux. Ces indurations résultent de précipitations minérales dans les interstices et pores de la roche immédiatement sous la surface. Une cimentation par de l'opale des croûtes sommitales des dômes de grès a été montrée par Thiry et al. (1984). Elle avait été interprétée par la précipitation de silice par évaporation des eaux porales du grès soumis à l'insolation. Il convient éventuellement d'envisager cette précipitation de silice par refroidissement de l'eau porale sous la surface du grès ?

Williams et Robinson (1989) soulignent aussi que les grès et granites fissurés qu'ils ont examinés avaient tous des surfaces encroûtées. Néanmoins, l'encroûtement de surface n'est pas toujours fissuré et les encroûtements sont plus répandus que les fissurations polygonales. Il doit y avoir des conditions particulières pour que l'encroûtement se fissure. Les auteurs envisagent que la croûte rend la roche plus dense et plus rigide, et moins apte à accommoder les tensions par des ajustements intergranulaires. De plus l'augmentation de densité de la croûte renforce la différence de conductivité thermique entre la croûte et la roche sous-jacente.

Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, l'encroûtement des surfaces gréseuses apparaît comme un pré-requis à leur fissuration polygonale. Il y a interdépendance et complémentarité d'un certain nombre de caractères :

- o la croûte plus dense a une conduction thermique plus importante et répond plus rapidement aux variations de température que la roche poreuse sous-jacente qui est plus isolante et présente plus d'inertie aux variations de température,
- o la croûte plus dense présente un coefficient de dilatation/retrait à la température plus important que le grès poreux sous-jacent pour lequel des ajustements entre grains restent possibles,
- o la croûte dense et plus rigide est plus apte à rupture que le grès poreux sous-jacent pour lequel des ajustements entre grains sont possibles,

Le comportement différentiel entre croûte et grès sous-jacent est à l'origine de tensions dans la croûte, dont la répétition va induire un réseau polygonal de fractures perpendiculaires à la surface. La taille et la fréquence des fissures dépendront surtout des caractéristiques mécaniques et de l'épaisseur de la croûte. Il est envisageable que des dommages se produisent aussi parallèlement à la surface à l'interface croûte/grès poreux.

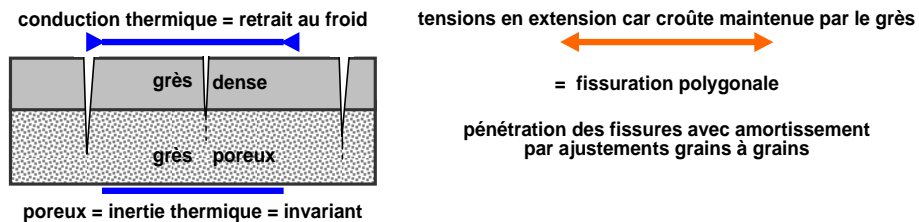


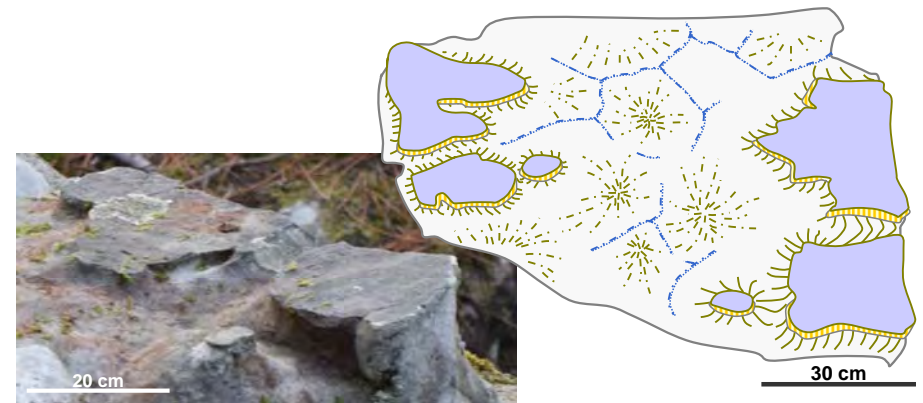
Schéma du comportement thermomécanique différentiel entre croûte et grès.

Fracturations polygonales

Un ensemble intéressant de croûtes indurées à fracturations polygonales est exposé dans le chaos et l'escarpement gréseux face au Marais de Malesherbes (route de la base de loisir, à 200m de l'embranchement avec la N152).

De nombreux blocs présentent des croûtes indurées mises en relief par l'altération différentielle avec le grès sous-jacent plus tendre, et plus poreux.

- o L'épaisseur des croûtes est variable, allant de croûtes bien individualisées de 1 à 3 mm d'épaisseur à des indurations moins contrastées, plus diffuses qui marquent plus un gradient d'induration qui va en diminuant dans le grès qu'une croûte individualisée.
- o La croûte indurée, "sursilicifiée" présente souvent de fines fentes ou craquelures par où débute son altération/érosion. L'érosion pénètre alors le grès plus tendre sous-jacent et pour les croûtes bien marquées met celles-ci en relief par sous-cavage du grès sous-jacent.
- o Le grès sous-jacent moins cimenté peut être érodé sur 3-4 cm de profondeur. Il montre des traces polygonales dans sa partie supérieure, mais celles-ci disparaissent dans les entailles les plus profondes. Les fractures polygonales ne pénètrent pas les grès en profondeur.
- o Les parties érodées qui montrent encore des fissures présentent des mamelons centrés sur les polygones et entourés d'une zone déprimée superposée au réseau de fissures. A l'évidence la formation des fissures dans le grès plus tendre s'est accompagnée de dommages intergranulaires autour des fissures. Ces dommages peuvent être liés, soit aux tensions avec ajustements intergranulaires avant développement des fissures, soit à des altérations/dissolutions par des infiltrations d'eau par les fissures.



Croûte indurée mise en relief par érosion du grès sous-jacent plus tendre le long de fentes polygonales.

Attention, ne pas confondre les indurations par la silice avec des BIRC (Biologically Indurated Rock Crust) qui souvent sont aussi mises en relief par l'altération superficielle.

Une disposition un peu particulière peut être observée vers le haut de l'escarpement. Un surplomb rocheux rentrant (concave) est tapissé d'une croûte indurée, recoupée par des fentes, surtout verticales, qui favorisent l'érosion par des ravines abruptes et profondes. Il y a initialisation des ravines d'érosion à partir de fractures fines et ce sont les fractures verticales qui se creusent.



Croûte indurée recoupée par des fentes orthogonales



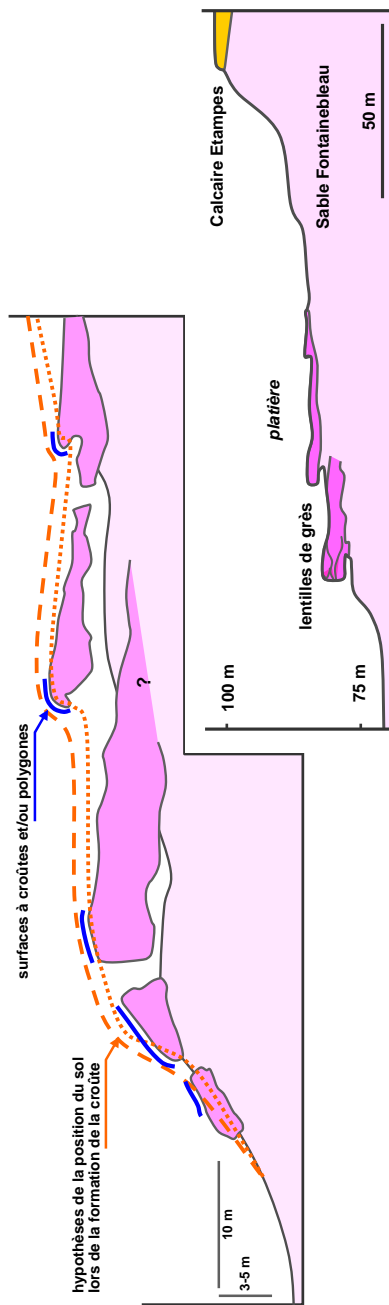
Épaisse croûte indurée recoupée par réseau polygonal de fentes sur le rebord supérieur de la dalle de grès la plus puissante (inférieure ?).

La surface de la dalle principale montre de spectaculaires réseaux de fentes polygonales. Très beaux réseaux, avec dimension moyenne des polygones d'environ 10x20 cm, séparés par de profondes rigoles d'érosion qui peuvent atteindre 5 cm de profondeur. Les réseaux présentent parfois des étirements selon l'allongement de la dalle. Il y a induration superficielle du grès. Cette induration maintient les polygones du réseau et le creusement entre les polygones se fait sûrement sur des fissures. Les fissures ne sont pas marquées quand l'ensemble est érodé, elles ne pénètrent donc pas le grès en profondeur. La mise en relief des polygones se voit même mieux sur les blocs effondrés au front de l'affleurement, quand la surface est inclinée.

De très beaux réseaux de polygones, plus petits et très réguliers, plus "classiques", sont visible sur les blocs de grès vers le SE de la platière, en bordure du ravin qui remonte l'escarpement. Enfin, à la base de la dalle principale une grotte naturelle a été évidée. La grotte est délimitée (?) par des fractures/fentes obliques, irrégulières, qui donnent naissance à des surfaces arrondies qui supportent des réseaux polygonaux en éventail et allongés selon la pente des surfaces.



Réseaux polygonaux sur blocs arrondis. Noter qu'on n'y voit pas trace d'une croûte indurée superficielle.



L'absence de croûte indurée associée aux polygones de la dalle supérieure indiquerait que des polygones peuvent se former en l'absence de croûte indurée ? Peut-être en fonction des caractéristiques mécaniques du grès ?

Les polygones sont limités aux rebords des dalles gréseuses. Qu'ils soient ou non associés à une croûte indurée. De plus, dans ce site, les rebords des dalles ne sont pas des bordures fracturées, mais sont arrondis, plus ou moins contournés. Ces rebords correspondent aux morphologies originales des dalles silicifiées.

On peut faire l'hypothèse que cette disposition des réseaux polygonaux est liée aux sections de dalles qui ont subi des refroidissements. Soit la dalle était affleurante sur ces sections, soit elle était à faible profondeur. Les sections non touchées par la polygonation et les indurations étaient probablement encore couvertes par une épaisseur de sable plus importante qui protégeait le grès du refroidissement, ou du moins d'un refroidissement relativement rapide générant des gradients forts de température entre surface et intérieur du grès.

On peut faire l'hypothèse que le développement d'une croûte silicifiée relativement importante sur le rebord de la dalle principale correspond à des écoulements de la nappe soutenue par la dalle et qui précipitait la silice dissoute en se refroidissant à l'approche de la surface. Ces croûtes seraient donc tardives, liées à des épisodes de refroidissement après la glaciation, alors que l'érosion avait déjà façonné le paysage.

Les fractures verticales, même si elles ont un enduit lustré, ne présentent pas de réseaux polygonaux. Elles sont à l'évidence post encroûtement et polygonation.

Volutes et plaquettes "sursilicifiées"

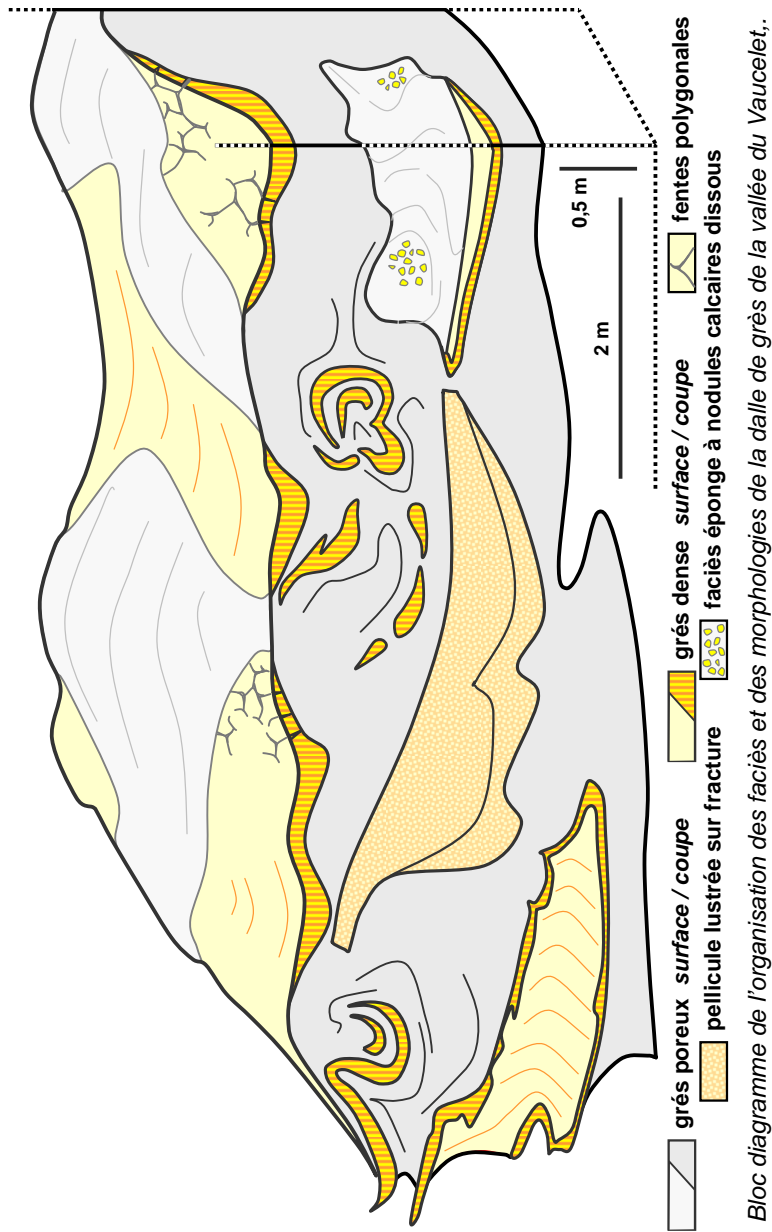
La vallée du Vaucelet, à l'Est du site précédent, montre des grès aux morphologies similaires à celles mises à découvert dans la sablière de Roncevaux (Buthiers), plus au Sud. Un chaos de blocs de grès, en fond de vallon et près du chemin, est examiné pour ces dispositions qui ne sont pas connues dans le massif de Fontainebleau.

Le bloc principal montre des figures contournées et emboîtées de niveaux siliceux d'épaisseur centimétrique qui rappellent les morphologies complexes observées à la carrière SAMIN à Roncevaux (Buthiers) (Thiry et al., 2017). Les blocs de cet amas, ainsi que les autres affleurements du vallon, montrent aussi de nombreuses cavités aux morphologies contournées (1 à 3 m de diamètre) qui correspondent à des zones qui n'ont pas été silicifiées, puis évidées de leur sable lors de la mise à l'affleurement. C'est également une caractéristique des silicifications de la carrière de Roncevaux. Noter que le bosquet de petits pins qui surmonte le bloc principal indique qu'il y a là une ou des dépressions remplies de terre.

Le bloc de grès est surtout remarquable par la plaquette de grès dur, quartzitique, de 1 à 10 cm d'épaisseur qui surmonte la dalle de grès plus tendre. Ce niveau de grès épouse et nappe les irrégularités de la surface de la dalle de grès plus poreux. La plaquette de grès dur s'épaissit dans les creux et s'amincit sur les dômes du grès sous-jacent, les "interfluves" en sont dépourvus. Cette disposition indique clairement que la silicification du grès dur s'est faite à partir d'eaux qui s'écoulaient par gravité au sommet de la dalle de grès initiale. La silicification du grès dur est relativement tardive. Deux hypothèses peuvent être formulées pour sa formation.

- Le grès dur s'est formé pendant la même phase de silicification que le bloc principal, sa géométrie particulière correspondrait à un changement du régime d'écoulement des eaux de la nappe, probablement par des changements de perméabilité du sable relatives à des modifications du permafrost, comme le montre certaines dispositions de la carrière de Roncevaux.
- Le grès dur est plus tardif, lié à des écoulements relativement superficiels d'une nappe perchée retenue par la dalle de grès, lors de la mise à l'affleurement du grès. La précipitation de la silice serait intervenue par refroidissement des eaux au voisinage de l'affleurement de la dalle de grès, pendant des périodes froides (saisonnnières ou plus longues).

La variabilité des écoulements superficiels semble antithétique avec l'homogénéité apparente de ces plaquettes de grès et qui paraissent similaires aux niveaux de grès dur contournés qui se sont développés au sein de la dalle. Néanmoins, il faut signaler que des niveaux de grès plus épais qui viennent clairement napper ou chapeauter une dalle initiale existent aussi dans le massif de Fontainebleau (Grotte aux Cristaux et Béorlots avec cristallarias de calcite de Fontainebleau et Bois-Rond). La question demeure ouverte en attente d'observations complémentaires.



Les cavités montrent souvent un cortex centimétrique plus dur, sursilicifié, qui nappe les parois, ou qui est parfois limité au plancher. Ces silicifications sont donc apparemment tardives, quand des circulations ont été établies dans les cavités. Pour leur formation on peut émettre les mêmes hypothèses que pour la plaquette de grès dur.

Les fractures verticales montrent aussi des sursilicifications de 2-3 mm d'épaisseur, d'aspect lustré, comme celles connues par ailleurs dans le massif. Par endroit, des fractures recoupent la plaquette de grès dur et la pellicule lustrée des fractures recouvre alors la fracture de la plaquette. Cette disposition indiquerait que la fracture et la silicification lustrée sont post formation de la plaquette dure, après fracturation, et donc proche de l'affleurement. Mais cette datation relative ne donne pas d'information complémentaire sur son âge.

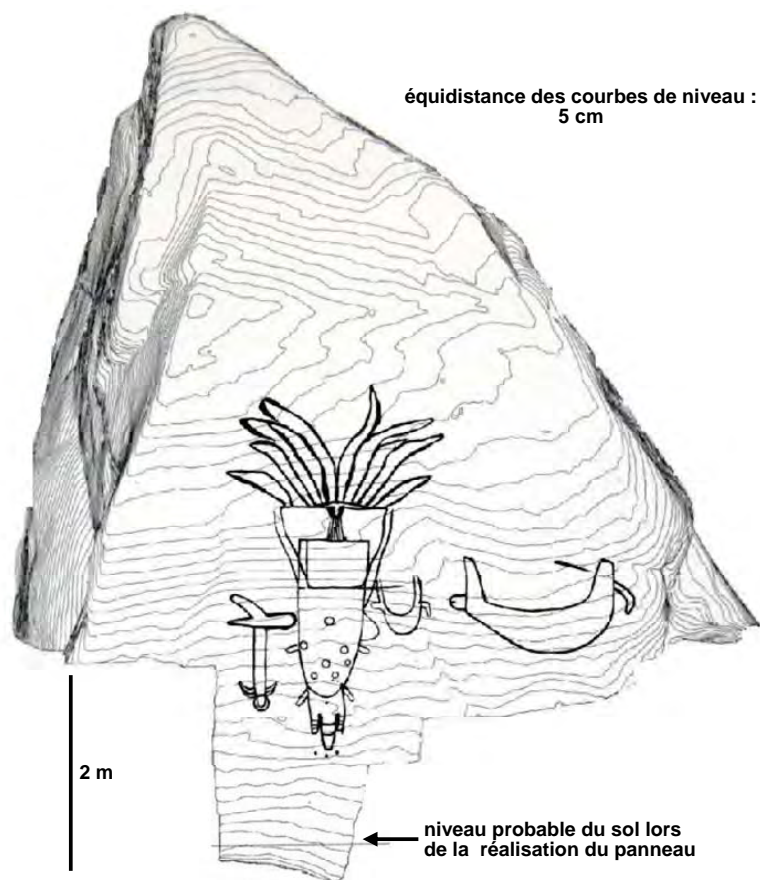
Enfin, la plaquette de grès dur qui nappe la dalle de grès poreux est affectée de fissures croisées relativement irrégulières, mais qui dans les parties les moins épaisses forment un réseau polygonal plus régulier. L'altération du grès est initialisée par ces fissures, les fissures sont élargies et la plaquette de grès dur mise en relief par altération/érosion différentielle. Ce sont des figures similaires à celles mises examinées dans le premier site. Ces altérations/érosions donnent lieu à de beaux encorbellements sur le haut des grès plus tendre.

Voilà ce que l'on peut "extraire" de cet affleurement ... des questions à réfléchir et des pistes pour chercher des arguments et avancer.



Disposition des niveaux siliceux durs, leur mise en relief et leur fissuration.

La stèle gravée de la Vallée aux Noirs



Stèle néolithique de la Vallée aux Noirs (Cassen et al., 2014). Levés photogrammétrique du rocher et relevé des gravures, in Cassen (2016).

La stèle montre trois grands motifs obtenus par piquetage de la roche.

" Une hache emmanchée ... La lame représente une vraie lame d'origine alpine, de type méridional (dit du type de la « Bégude »). ...

A sa droite un motif anthropomorphe émerge à 2,60 m au-dessus du sol actuel. ... il est couronné d'une sorte de « coiffe » largement déployée ... qui évoquent des « plumes » mais tout aussi bien des « flammes ». ...

... un croissant gravé constitue le 3^{ème} motif ; sa courbure et un détail latéral poussent à l'interpréter comme une embarcation sans équipage mais avec aviron de gouverne. ... " description de Cassen (2016).

Bibliographie

- Brochu M., 1955, Morphologie de deux régions aréiques du Bassin de Paris et leur relation avec le Périglaciaire, Thèse, Fac. Sc. Paris, ronéotypé, 154 p.
- Cassen, S., Grimaud, V., Lescop, L., Caldwell, D., 2014, Le Rocher gravé de la Vallée aux Noirs, Buthiers (Seine-et-Marne). Art Rupestre, Bulletin du GERSAR, 65, p.25-37.
- Cassen S., 2016, Signes néolithiques en bordure de l'Essonne. In : Catalogue de l'exposition « Mémoire rupestre. Les rochers gravés du massif de Fontainebleau », présentée au Musée départemental de préhistoire d'Ile de France (Nemours, Seine-et-Marne) du 26 novembre 2016 au 12 novembre 2017, pp. 162-167.
- Fränze O., 1971, Die opferkessel im quarzitischen sandstein von Fontainebleau. Zeit. fur Geomorph. N.F., 15, p. 212-235.
- LeBas J., 2012, Turtle Rock: Diagenesis of the Hartshorne Sandstone. Master Thesis, Faculty of the Department of Earth and Atmospheric Sciences, University of Houston, 100 p.
- Mainguet M., 1972, Le modelé des grès: problèmes généraux; études de photo-interprétation. IGN, Paris., 2 tomes, 657 p.
- Netoff D.I., 1971, Polygonal jointing in sandstone near Boulder, Colorado. Rocky Mtns. Ass. Geolog., 8, p. 17-24. (doc med)
- Robinson D.A., Williams R.B.G., 1989, Polygonal cracking of sandstone at Fontainebleau, France. Z. Geomorph. N. F., 33, 1, p. 59-72.
- Thiry M., Liron M.N., Dubreucq P., Polton J.-C., 2017, Curiosités géologiques du massif de Fontainebleau. BRGM Editions, 115 p.
- Thiry M., Panziera J.P., Schmitt J.M., 1984, Silicification et désilicification des grès et des sables de Fontainebleau. Evolutions morphologiques des grès dans les sables et à l'affleurement. Bull. Inf. Géol. Bass. Paris, 21/2, p. 23-32.
- Williams R.B.G., Robinson D.A., 1989, Origin and distribution of polygonal cracking of rock surfaces. Geografiska Annaler, 71A/3-4, p. 145-159.