

Origine géologique des Demoiselles coiffées de Bédoin

Une demoiselle coiffée ou cheminée de fée est une colonne de roche plus ou moins friable, souvent évasée vers le bas, couverte d'un chapeau plus résistant à l'érosion (Fig.1a).



Dominique Bienfait, septembre 2024

Figure 1a : Principal ensemble de Demoiselles Coiffées du site de Bédoin, photos prise avant leur protection, en 2010. Les personnages donnent l'échelle.

Cet article est celui produit par le même auteur dans Lou Passadou, Journal municipal d'information de Bédoin, d'octobre 2024 (N°112), augmenté de quelques termes géologiques et d'un addendum, les ajouts étant en italique semi-gras.

Nous avons notamment employé les noms d'étages, l'étage étant la subdivision stratigraphique (succession de couches) et temporelle la plus petite (en moyenne 5-6 millions d'années). Entre l'étage et l'ère (primaire, secondaire...), il y a le système (Jurassique, Crétacé...) ou sous-système (Oligocène, Miocène...).

Les cas typiques de demoiselles coiffées s'observent dans les alluvions très hétérogènes laissées par les glaciers des Alpes (moraines) comportant, noyés sans ordre dans un ensemble friable à éléments fins, des cailloux et blocs de toutes tailles susceptibles de constituer des chapeaux de Demoiselles (Fig.1b). En Cappadoce (Turquie), celles-ci se sont formées dans des tufs volcaniques sensibles à l'érosion ; les chapeaux ont été découpés dans une couche plus résistante recouvrant initialement les tufs.

Site maintenant communal et protégé, les Demoiselles coiffées de Bédoin se situent au fond d'une cuvette sableuse où coule une petite rivière intermittente. Elles sont probable-

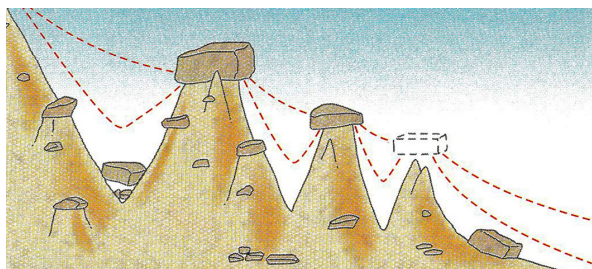


Figure 1b : Sculpture progressive de Demoiselles Coiffées dans une ancienne moraine glaciaire. Schéma de Michel F. dans *Roches et paysages*, 2005.

ment uniques en leur genre.

Avant de présenter le phénomène d'érosion à l'origine des Demoiselles de Bédoin, nous allons évoquer la roche qui les constitue car c'est sa composition et sa structure qui permettent la formation des Demoiselles de la commune.

A. Les sables rouges des Demoiselles coiffées

1) Nature et origine des sables

Les Demoiselles, protégées, sont intouchables. Approchons-nous alors de la butte sans chapeau constituée du même matériau qu'elles, visible en bas à gauche lorsque l'on descend du parking (Fig.2). On appelle ce type de formation « butte-témoin » parce qu'elle témoigne d'une épaisseur de terrain éliminée par l'érosion sauf au niveau de la butte.



Figure 2 : Butte témoin ayant une constitution proche de celle des Demoiselles, mais sans chapeau. Le sac à dos donne l'échelle.

La roche locale est un sable constitué de grains de quartz ; il est rougeâtre sans être pour autant ocreux : si vous passez la main sur la butte, vous ne la tacherez pas ou très peu (davantage après une pluie), alors qu'un sable ocreux, rouge ou jaune, vous la tachera vivement.



Figure 3 : Des ruisseaux temporaires se sont formés au pied de la butte témoin : les argiles vertes ont été séparées du sable.

Au pied de la butte, après une pluie, on distingue des plages de ruissellement légèrement verdâtres : un matériau plus fin que le sable, constitué d'argiles vertes, a été séparé de celui-ci (Fig.3). Ces argiles jouent un rôle de ciment discontinu entre les grains de sable, donnant à la roche une certaine cohésion.

Quelle est l'origine de ces sables accompagnés d'argiles vertes ? Remontons le temps et arrêtons-nous à – 110 millions d'années. Nous approchons alors de la fin de l'épisode marin qui a donné les calcaires de l'ossature montagneuse locale, à commencer par le mont Ventoux. Le territoire est en zone côtière. Il est plus précisément occupé par un vaste delta alimenté par un fleuve. Celui-ci apporte à la mer, pendant environ 15 millions d'années (*étages Albien et Cénomaniens inférieurs, Crétacé, Secondaire*), sables et argiles vertes provenant de la destruction (altération et démantèlement) de roches du Massif central de type granite *ou issues du métamorphisme*.

Aux argiles amenées par le fleuve se joint une argile formée d'éléments de la taille de

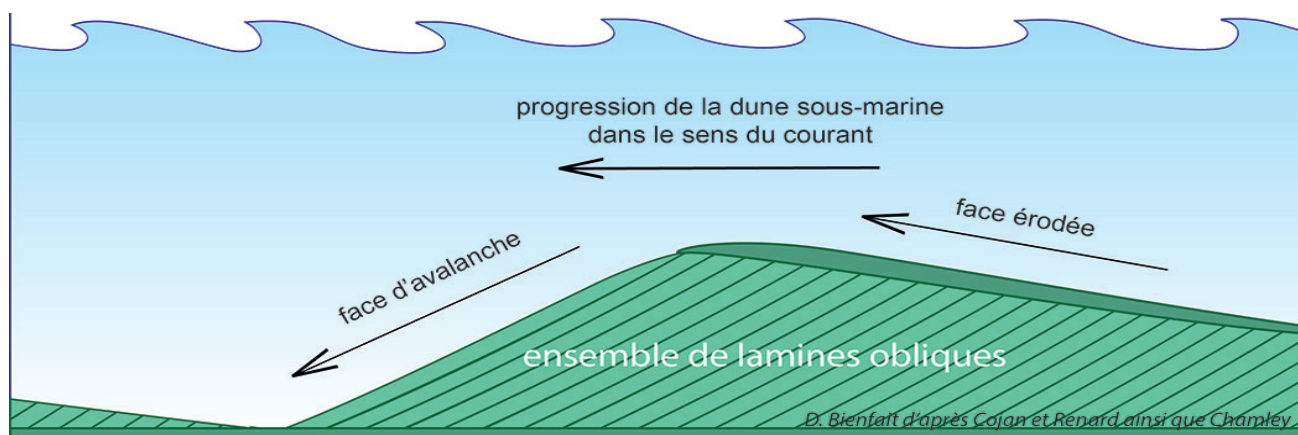


Figure 4 : Coupe schématique d'une dune sous-marine en déplacement sous l'effet d'un courant. D. Bienfait, d'après les auteurs indiqués sur l'image. D'après Cojan I. et Renard M., *Sédimentologie*, 1997, et Chamley H., *Sédimentologie*, 1987.

grains de sable, verts à noirâtres, la glauconie (de glaukos, vert bleuâtre en grec), fabriquée dans la mer. Elle est visible à l'œil nu, ou à la loupe si on a la vue faible, dans la roche des Demoiselles de Bédoin et de la butte-témoin.

2) Structuration des sables par la mer

Sous la mer peu profonde (au maximum quelques dizaines de mètres), les sables marins verts sont organisés en dunes sous-marines que les courants côtiers et de marée déplacent, comme le vent le fait des dunes aériennes dans les déserts (Fig.4). Les grains de sable

gravissent ainsi le versant du côté d'où vient le courant et s'accumulent sur sa crête jusqu'à ce qu'une situation de déséquilibre crée une coulée d'avalanche sous la forme d'une lame inclinée, appelée lamine, sur le versant protégé du courant. On parle de stratification oblique. C'est ainsi que se déplace la dune, de lamine en lamine. Un tri granulométrique et une organisation des grains s'opère au sein de chaque lamine, ce qui permet de bien les distinguer les unes des autres 100 millions d'années après leur formation !

Les champs de dunes se superposent au cours du temps car le fond marin ne cesse de s'enfoncer (subsidence). Les courants changeant de direction et de force, l'inclinaison des lamines change d'un champ de dunes à l'autre ainsi que leur orientation, ce qui peut donner l'impression qu'elles s'entrecroisent (Fig.5a). Chaque champ de dunes est séparé de celui qui le recouvre par une surface d'aplanissement (Fig.5b). En effet, lorsqu'un nouveau courant s'installe, avant de déplacer ses propres dunes, il commence par aplanir le champ de dunes en place

Les figures à lamines et les empilements de champs de dunes sont bien visibles dans la pente qui s'élève derrière les Demoiselles lorsque l'on vient de la butte-témoin (Fig.5b). Le corps des Demoiselles (la colonne) et leur

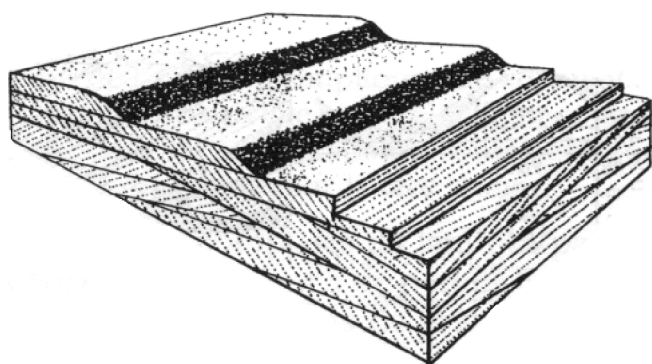


Figure 5a : Superposition de champs de dunes séparés par des surfaces d'aplanissement. Schéma de Cojan I. et M. Renard M. dans *Sédimentologie*, 1997.

chapeau sont constitués de même. C'est dans les chapeaux que la complexité des lamines s'observe le plus clairement. On y voit à quel point celles-ci peuvent changer d'inclinaison sur de courtes distances (Fig.6).

3) Transformation des sables en grès verts et émergence du territoire

Avant l'émergence du territoire qui eut lieu il y a 95 millions d'années environ (*milieu du Cénomaniens, Crétacé, Secondaire*), un ciment calcaire a soudé, sous la mer, les grains de sable, les transformant en grès verdâtres. (On voit des éléments de cette roche à Bédoin dans des murets en pierres sèches et des murs de cabanons). Après émergence, une forêt tropicale humide a colonisé les grès. Les eaux de pluie, chargées des acides que produit la vie des sols (notamment l'acide carbonique provenant de

la dissolution du CO₂ ou dioxyde de carbone dans l'eau), dissolvent l'essentiel des ciments calcaires, libérant les grains de sable.

4) Transformation des sables verts sous forêt tropicale

Les grains de glauconie des sables sont attaqués par les eaux acides. Fragile et riche en fer, cette argile commence par perdre une partie de celui-ci qui s'oxyde avec fixation d'oxygène *et d'eau*, d'où les couleurs rouges (*stade rubéfaction à goethite, hydroxyde de fer*). Aux Demoiselles coiffées, l'attaque de la glauconie s'arrête là : les grains de cette argile sont donc toujours visibles dans la roche. Les autres argiles vertes se maintiennent et constituent le ciment discontinu évoqué plus haut. La transformation de la totalité des argiles en pigments ocreux n'a donc pas eu lieu sur ce site qui n'a



Figure 5b : Pente située au sud des Demoiselles coiffées. Superposition de champs de dunes. On voit nettement une surface d'aplanissement à mi-hauteur de la photo. D'autres sont moins visibles au-dessus.

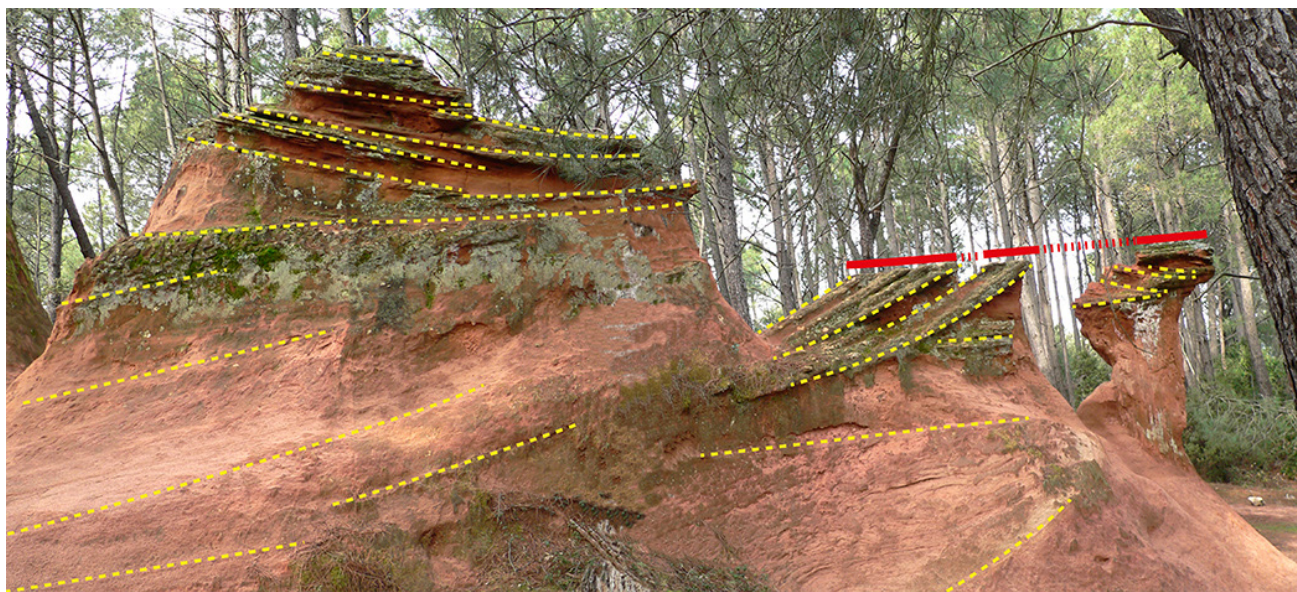


Figure 6 : Extrémité nord-est de l'ensemble central des Demoiselles : dessin sur photo soulignant en jaune des limites de lamines et en rouge une surface d'aplanissement ou le dos d'une dune, ici quasiment horizontal car le massif des sables s'est incliné avec le Ventoux.

donc jamais connu d'exploitation d'ocre (*voir Addendum, ocrification*).

5) Le chapeau des Demoiselles

Les lamines des chapeaux ont une forte cohésion : elles ne sont pas friables, contrairement au sable sous-jacent. A la loupe, les vides entre les grains de sable y apparaissent plus ou moins comblés. S'agit-il d'un reliquat de grès calcaire ? Non, car la roche ne réagit pas à l'acide dilué (aucune bulle ne se forme).

Nous avons en fait là un ciment en silice, comme les grains de sable. Bien que ce minéral soit très peu soluble dans l'eau, celle qui circule dans le massif a pu en dissoudre suffisamment pour constituer localement un ciment.

On peut aussi faire une autre hypothèse : l'altération des argiles vertes initiales (smectites, illites et glauconie) a pu, localement, aller jusqu'à l'ocrification (on se tache les mains en certains endroits) : il y a alors eu libération de silice (*voir Addendum, ocrification*).

Voyons maintenant comment l'on passe du

massif des sables, dont nous venons de raconter l'histoire, à une cuvette contenant des Demoiselles coiffées ?

B. Erosion des sables

1) Creusement d'une cuvette

Une rivière coule dans le vallon. En la remontant en direction du hameau des Baux, on s'aperçoit de deux choses :

a) elle coule sur une roche argileuse, donc imperméable, sous-jacente aux sables (s'il n'y avait eu que les sables elle se serait perdue dans ceux-ci, trop poreux) ;

b) sa source est au pied d'un abrupt en sables posé sur la roche argileuse.

Il y a donc deux mécanismes à l'œuvre pour façonner la cuvette qui accueille les Demoiselles :

a) celui dû à la rivière dont la source n'a pas cessé de reculer vers l'amont (éboulements du front sableux dominant la source)(phéno-

mène de l'érosion régressive),

b) l'élargissement de la cuvette par le ruissellement sur ses bords sableux, la rivière offrant un exutoire à ces eaux et permettant une évacuation des matériaux issus de l'érosion.

Le fond de la cuvette s'approfondissant et s'élargissant, l'érosion a fini par atteindre le secteur des lamines indurées.

2) Individualisation des Demoiselles

Ces lamines indurées, masses de plus grande résistance, ont été contournées par les eaux de ruissellement : elles ont donc tout d'abord organisé leur écoulement. L'eau a creusé entre elles et autour d'elles des rigoles au profil en V. Le processus a sculpté progressivement les Demoiselles (Fig. 1b).

Des masses résistantes existent à peine au-dessus du chemin qui permet de quitter les Demoiselles vers le sud. Peu élevées par rapport au niveau actuel de la rivière, elles n'ont pu donner lieu à d'autres Demoiselles mais elles permettent de comprendre les processus érosifs.

3) Avec ou sans chapeau

La butte-témoin vue plus haut n'a pas eu besoin de chapeau pour exister ; il s'en trouve au moins une autre cachée dans la forêt. Quelle est l'origine de telles buttes ? Les eaux de ruissellement ne s'écoulent pas en nappes régulières (Fig.3). Leur regroupement en ruisselets permet de dégager de telles buttes sans chapeau. Celles-ci se conservent parce que larges. Le chapeau est nécessaire au maintien d'une colonne étroite : il en définit les dimensions. Après avoir joué un rôle d'organisation de l'eau érosive, le chapeau joue un rôle de protection contre la pluie et son ruissellement. La destruction, inéluctable, de la Demoiselle, est fortement ralentie, jusqu'à ce que le chapeau finisse par tomber. Après quoi, la Demoiselle ne va pas cesser de s'affiner.

4) Quel est l'âge des Demoiselles de Bédoin ?

Il est difficile de donner un âge précis à ces formations. Mais une couche caillouteuse en

calcaire blanc en provenance du Ventoux recouvre les sables. Elle est visible sur le plateau qui domine la cuvette à l'ouest. Certains de ses cailloux ont d'ailleurs déboulé jusqu'au pied des Demoiselles. Une telle couche s'est formée lors de l'une des dernières glaciations du Quaternaire, il y a quelques centaines de milliers d'années au maximum. Or, pour creuser la cuvette, l'érosion a d'abord dû attaquer la couche de cailloux : il est donc possible d'affirmer que le creusement de la cuvette qui a permis le dégagement des Demoiselles est plus récent que la formation caillouteuse.

A l'échelle géologique, où l'on compte en dizaines et centaines de millions d'années, on peut dire que la formation des Demoiselles de Bédoin est très proche de nous dans le temps. L'Homme de Tautavel a vécu dans les Pyrénées orientales il y a - 450 000 ans. Leurs contemporains vauclusiens éventuels n'ont peut-être pas vu les Demoiselles : elles n'existaient pas encore. Le paysage du pied sud du Ventoux a donc considérablement évolué à l'échelle de la lignée humaine.

Addendum :

1) Ocrification

L'altération totale des argiles vertes initiales (smectites, illites et glauconie) produit une seule argile, stable, la kaolinite. Celle-ci, blanche, fixe les oxy-hydroxydes de fer issus de la glauconie : goethite (hydroxyde) accompagnées ou non de plus ou moins d'hématite (oxyde), ce qui donne le pigment ocreux qui est donc essentiellement argileux.

Les argiles sont essentiellement constituées de silice et d'alumine (oxyde d'aluminium). La kaolinite est plus pauvre en silice que les trois argiles citées ci-dessus. Donc, lors de l'ocrification, le changement de type d'argile entraîne la libération de silice dans l'eau interstitielle (l'eau qui circule entre les grains de sable).

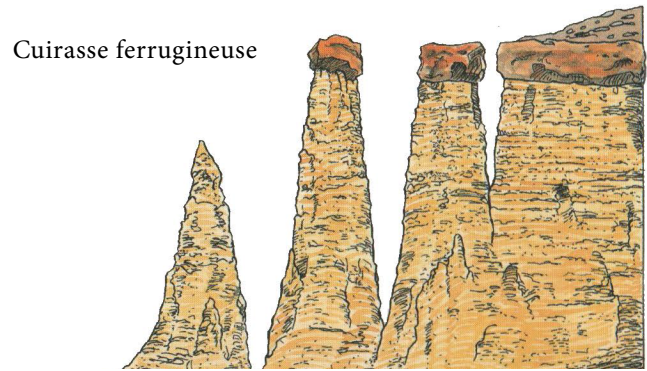
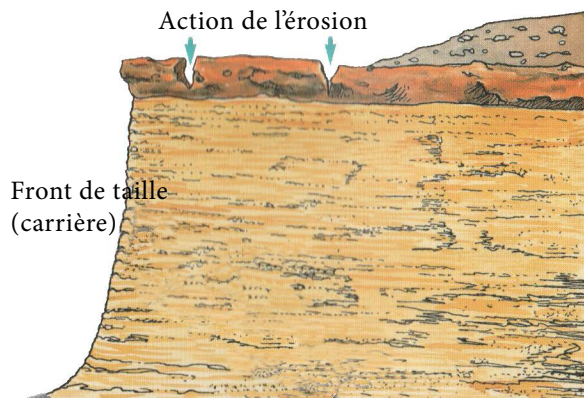


Figure 7 : De gauche à droite, formation des cheminées de fées ou demoiselles coiffées de la région d'Apt. BT Freinet n°1137, avril 2002.

2) Les Demoiselles coiffées de la région d'Apt

A Roussillon, à Rustrel, on observe des Demoiselles coiffées dans des sites d'ocre anciennement exploités. Elles sont d'un autre genre que celles de Bédoin. Les fronts de taille sont à l'origine d'un découpage récent d'un encroutement ou cuirasse ferrugineuse enrichie en hydroxyde de fer (goethite), à l'origine des chapeaux (Fig.7).

Ces Demoiselles se sont donc développées dans une roche ocrifiée (l'altération des argiles a été complètes) et même blanchie sous la cuirasse. Celle-ci a couvert d'une couche continue très résistante les sables sous-jacents.

Nous avons ici le type Cappadoce évoqué

en introduction : découpage d'une couche résistante couvrant un matériau facilement érodable.

Les Demoiselles de Bédoin sont donc plus complexes en termes de genèse et de formes que celles de la région d'Apt, et donc visuellement plus riches.

3) Demoiselles coiffées miniatures

A Bédoin, il existe de telles demoiselles de quelques centimètres à un décimètre de haut (Fig.8). Elles sont sculptées en divers endroits dans des sables remaniés, meubles, sur lesquels des cailloux sont disséminés. Ceux-ci servent de chapeaux à des demoiselles vite mises en exergue lors de fortes pluies mais également éphémères.



Figure 8 : Mini demoiselles coiffées de Bédoin à colonnes peu ou pas évasées dans des sables meubles, donc à faible cohésion. Des aiguilles de pin, signalées sur l'image par un x, donnent l'échelle.