

Extraordinaires Météores !

*Daniel Levert, membre de la SAGA,
animateur des Tribunes libres.*

Ce n'est pas facile de faire du tourisme lorsque l'on est membre de la SAGA. Avant, tout était simple : c'était beau ou pas beau, intéressant ou inintéressant, je faisais une photo souvenir puis, très vite, je passais à une autre curiosité touristique ; et ainsi de suite ; quelque temps plus tard, j'avais tout oublié... mais aujourd'hui tout a changé.

Pour illustrer cela, il faut que je vous raconte mes relations difficiles avec les Météores : comme vous peut-être, je ne savais pas ce que c'était. Aux temps anciens, quand l'astronomie m'animait plus que la géologie, Météores avait pour moi une certaine signification, mais ce n'est pas de celle-là dont je veux vous parler. Il s'agit des Météores que j'ai tout à coup découvert tout ébahi, pour la première fois, de la fenêtre de mon véhicule alors que je parcourais la plaine de Thessalie, en Grèce. Comme d'habitude, j'ai fait ma photo car j'ai trouvé cela superbe, puis j'ai continué mon chemin à la recherche d'autres découvertes. Oui, c'était mon époque heureuse, avant d'être contaminé par la géologie !

Quelques années plus tard, au même endroit, j'ai fait encore des photos, je suis allé voir de plus près... Et je n'ai à nouveau rien compris au pourquoi du jaillissement, là dans la plaine, de ces curieuses tours rocheuses, elle n'était pas tombées du ciel, cela m'apparaissait certain. J'étais à cette époque devenu « amateur de géologie »... et ce mystère m'a alors siphonné inutilement le peu de connaissances que je possédais dans mon jeune esprit. Je ne pouvais toujours pas comprendre cette scène qui était pourtant devant mes yeux ! (Figure 1).

L'année dernière, passant au même endroit, tout a changé vous allez voir : grâce à la SAGA, j'avais acquis le statut de « géologue amateur » car je paie régulièrement ma cotisation. Fort de cela, je suis entré vaillamment dans le vif du sujet : j'ai fait les tours et les détours de ces tours gigantesques, je suis monté à leur sommet et même traversé leurs puissantes masses par des tunnels internes, rien n'a échappé à mes observations pointilleuses. Fier de ma moisson de données d'observation, je n'osais cependant dire à

personne ce que je croyais avoir compris du pourquoi et comment des Météores. Pour débloquer ma situation, je me suis rappelé des conseils des sages de la SAGA : « As-tu fait l'étude bibliographique ? ». J'en avais fait un peu, mais pas encore assez.



Figure 1. Quelques tours de Météores un matin de printemps, aux pinacles desquelles se sont perchés des monastères.

Maintenant que les données d'observation et les études bibliographiques sont quasiment au complet... je vais essayer de vous raconter les Extraordinaires Météores de Thessalie !

De plus, je peux dès maintenant vous le dire : les Météores de Thessalie sont les reliques d'un grand delta d'un paléo fleuve qui coulait là au Miocène inférieur, entre 20 et 23 millions d'années (Ma), au Burdigalien ou à l'Aquitarien !

Lecture du paysage

Au nord de la Grèce continentale, entre le massif montagneux karstique du Pinde à l'ouest et le massif montagneux pélagonien à l'est, s'étend aujourd'hui du nord au sud, sur 300 km, la plaine de Thessalie large d'environ 30 km qui se prolonge d'ailleurs au-delà de la frontière, en Albanie. Nous verrons que cette plaine est en fait le fond d'une « gouttière » qui recueille encore aujourd'hui les produits d'érosion des deux

chaînes montagneuses limitrophes de part et d'autre de ce sillon et ceci depuis plus de 20 Ma. Cette plaine de la Grèce continentale est actuellement à environ 500 m d'altitude et constitue le fond d'un long synclinal perché et transporté appelé Sillon Méso Hellénique (SMH), d'axe nord-sud ; les Météores se situent à l'extrémité sud du SMH.

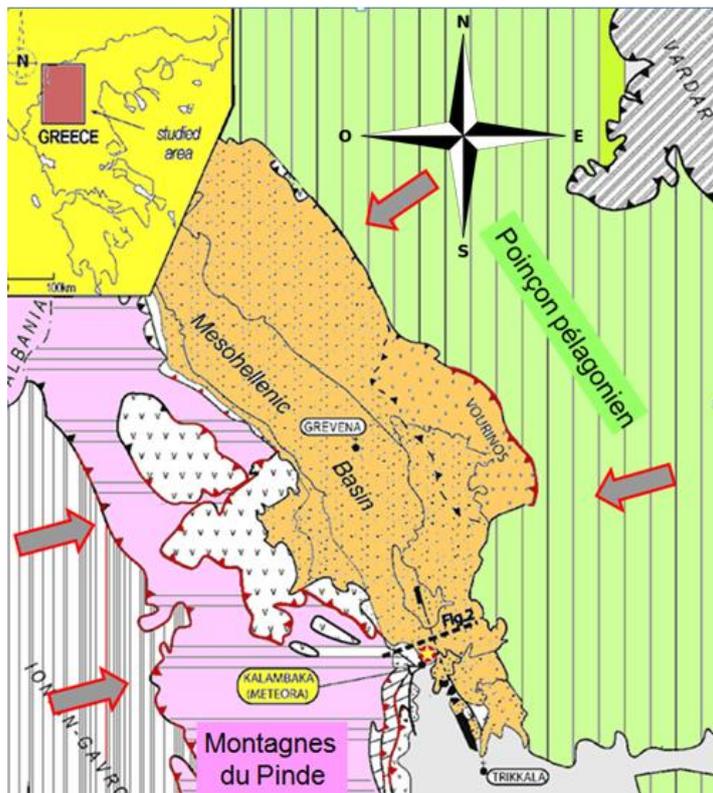


Figure 2. Sous les poussées tectoniques venues de l'ouest et la résistance du poinçon Pélagonien, se sont formées les montagnes du Pinde et pélagoniennes, au milieu desquelles s'est développé et relevé le SMH.

Le massif des Météores est situé à proximité immédiate des villes de Kalambaka et de Kastraki. Environ une soixantaine de puissantes tours rocheuses hautes jusqu'à 200 m dominent les deux villes et la plaine thessalienne.

Au pinacle d'une douzaine de tours se sont installés des monastères : tels des nids d'aigle, ils dominent la vallée où serpente le fleuve Pinios qui évacue inlassablement les produits d'érosion du SMH.

Le mot météore, du grec ancien *meta airos*, signifie « haut, élevé en l'air », ainsi ces soixante tours ont mérité de s'appeler : les « Météores ».

Actuellement, six monastères sont ouverts au public, ce qui a bien facilité mes observations pétrologiques ! J'en profite pour signaler que les rapports de Jacky Ferrière, de l'université de Lille 1 (UFR Sciences de la Terre), bien qu'en langue anglaise, ont également facilité la mise en perspective de ma compréhension de la géologie des Météores.



Figure 3. Transfert inter-tours.

Aux Météores il n'y a pas de demi-mesure : tout est vertical ou tout est horizontal, que ce soit pour les moines ou pour les géologues ! Si les moines élèvent toujours plus haut leurs perspectives spirituelles, ils sont bien obligés, pour passer rapidement d'un monastère à l'autre, d'utiliser un ascenseur... horizontal (figure 3) ! Si les géologues ne manquent pas de noter l'extraordinaire puissance de ces tours verticales, leur regard scrutateur a déjà remarqué de curieuses et très nombreuses strates empilées subhorizontalement sur absolument toutes les parois de ces tours (figure 4).



Figure 4. Tours marquées par des strates empilées.

Principaux traits de l'histoire géologique de la région

L'histoire des Météores commence insensiblement à la fin de l'Éocène supérieur, il y a 34 Ma, la micro plaque Apulie est en collision avec la plaque pélagonienne-européenne. Cette collision entraîne la subduction de l'Apulie qui conduira, au cours du Miocène (figure 4), à la disparition progressive de la mer de Pindos dans laquelle le paléofleuve, à l'origine des Météores, se déversait.

Lors de la compression tectonique, les nappes de charriage en s'élevant ont commencé à former les montagnes du Pinde qui flanquent à l'ouest la zone

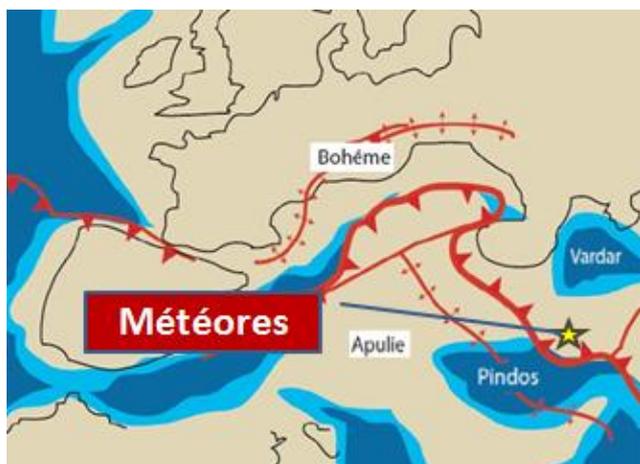


Figure 5. À la fin du Miocène, en raison des poussées tectoniques, l’océan Pindos, au rivage duquel les Météores étaient en gestation, se trouvait en voie de disparition.

maritime du futur Sillon Méso Hellénique (SMH) (ou aussi MHB : *Meso Hellenic Basin*, ou MHT : *Meso Hellenic Trough*) (Kilias A.D., 2015). À l’est du sillon, c’est le « poinçon Pélagonien » qui résiste à la compression et remonte aussi par le jeu de failles normales, entraînant avec lui les lits des fleuves bordiers qui se jettent, au début du Miocène (Burdigalien et Aquitanien), dans la mer de Pindos en cours de résorption.

Les sédiments fluviaux, en dévalant les pentes créées par le jeu des failles normales synsédimentaires, se sont alors déposés selon des séquences très particulières qui ont été caractérisées pour la première fois par le géologue américain Grove Karl Gilbert (1843–1918). Les deltas qui se forment selon ce processus sont aujourd’hui appelés deltas de type Gilbert.

C’est la compression tectonique entre l’Apulie et l’Europe qui a entraîné le relevage du SMH. Cette compression est toujours active et, de nos jours, les deux plaques se rapprochent encore à la vitesse de 4 cm par an, ce qui cause dans toute la Grèce et en

particulier aux Météores des tremblements de terre très fréquents de magnitude généralement faible.

Avant la fin du Miocène, les sédiments de la mer du Pindos, ainsi que plusieurs autres deltas de type Gilbert bordant le SMH, ont été relevés de plus de 1 000 m par le jeu continu des failles. Les érosions météoritiques et éoliennes ont alors commencé leur ouvrage pour montrer aujourd’hui les extraordinaires reliques du delta de type Gilbert des Météores (figure 6).

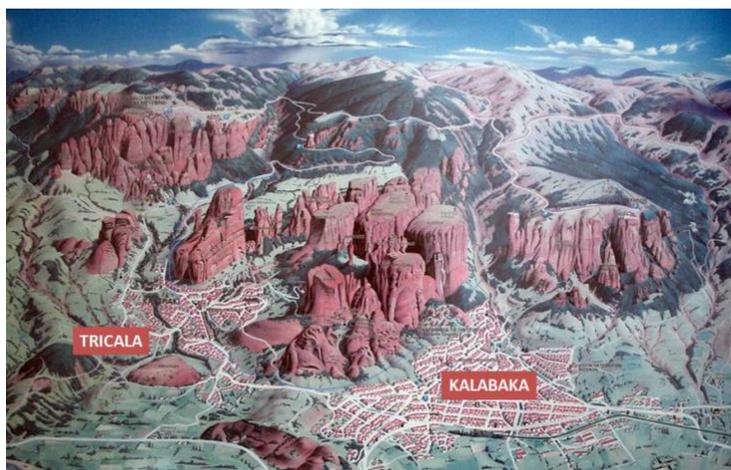


Figure 6. Schéma montrant la disposition des tours, reliques d’un delta fossile de type Gilbert.

La sédimentation marine oligocène et miocène

Au début de l’Oligocène, se déposent dans l’océan Pindos des marnes boueuses incluant des lits décimétriques de sables très fins aujourd’hui grésifiés, reposant souvent sur d’épais conglomérats. L’épaisseur de ces formations, appelées Eptachorion, atteint 1 100 m en certains points du SMH (figure 7).

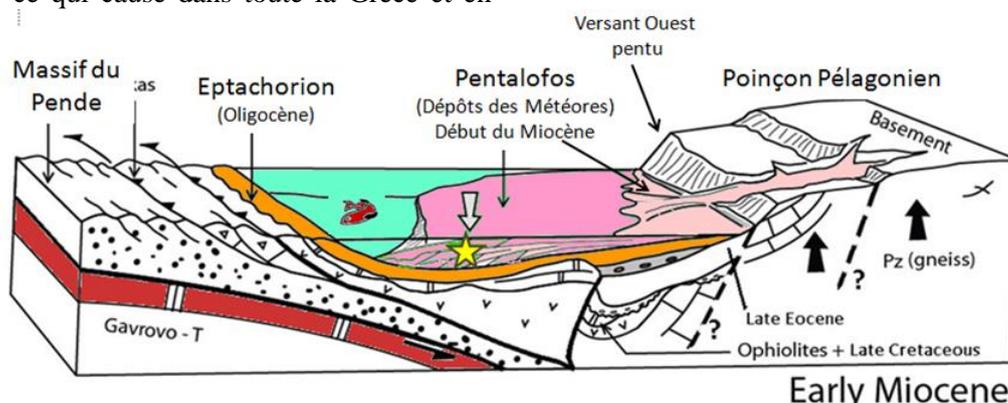


Figure 7. Schéma montrant l’écoulement des produits d’érosion provenant du massif pélagonien, à l’est, qui se déposent principalement en structures deltaïques pour former au Miocène la formation à caractère conglomératique du Pentalofos qui a contenu les Météores. Cette formation repose sur les dépôts d’érosion de l’Oligocène de l’Eptachorion.

À la fin de l'Oligocène, début Miocène (Aquitainien et Burdigalien), un changement majeur de la sédimentation forme les séries du Pentalofos. Ce changement s'est produit concomitamment avec le début du jeu des failles normales qui a relevé le « poinçon » pélagonien : passage de dépôts de marnes à des conglomérats fluviatiles. Ce changement peut être reconnu dans l'ensemble du MHB (Jacky Ferrière, 2011). En certains lieux du SMH, ces formations atteignent 2 500 m d'épaisseur.

Une grande part de ces très importants dépôts sont constitutifs d'éventails deltaïques sous-marins, partiellement conglomératiques de type Gilbert. La nature des galets de gneiss paléozoïques et de marbres triasiques des Météores indique leur provenance : une alimentation par un fleuve venant de l'est qui a transporté dans le SNH les produits d'érosion du massif Pélagonien voisin.

Structure des deltas de type Gilbert

Les deltas sont généralement construits à partir d'éventails deltaïques qui répartissent alternativement des sédiments vers les zones moins chargées. Aujourd'hui, un exemple typique est le delta du Mississippi (figure 8) composé d'éventails actifs et d'éventails au repos qui permettent l'empilement harmonieux des couches de sédiments sur toute la surface du delta. Les deltas de type Gilbert fonctionnent de cette manière également mais ils sont situés sur des versants côtiers abrupts qui obligent les dépôts à « se déverser » en oblique plutôt qu'à s'étaler horizontalement.

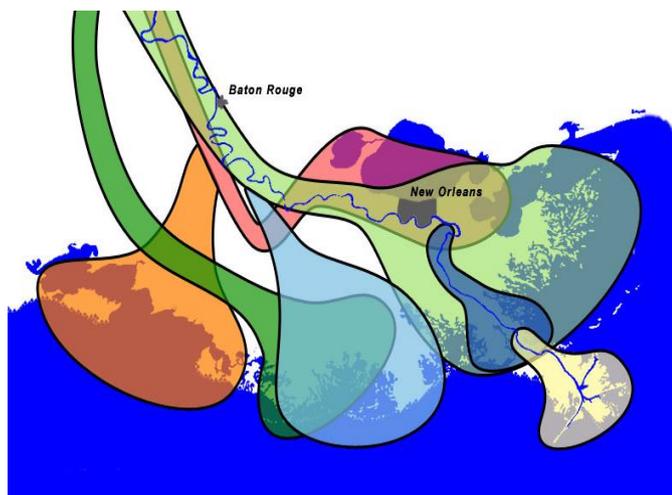


Figure 8. Éventails deltaïques du Mississippi.

Il en résulte une structuration particulière des ces dépôts en trois niveaux composés de matériaux de mobilité différente, ce qui est schématisée (figure 9) :

1) le **topset** : composé d'éléments grossiers peu mobiles (graviers, blocs), de stratification confuse mais

globalement horizontale, parfois présence de quelques chenaux orientés vers le large ;

2) le **foreset** : stratification inclinée et marquée de matériaux plus fins entraînés à proximité, sables plus ou moins grossiers. Ces dépôts progradent typiquement vers le large et forment les dépôts quantitativement majeurs sur le front mobile du delta ;

3) le **bottomset** : les sédiments les plus mobiles deviennent de plus en plus fins en s'éloignant du front deltaïque (argiles de décantation par exemple). La stratification redevient horizontale et souvent très nette. Ce sont les dépôts de base ou de fond sur lesquels avance le front deltaïque.

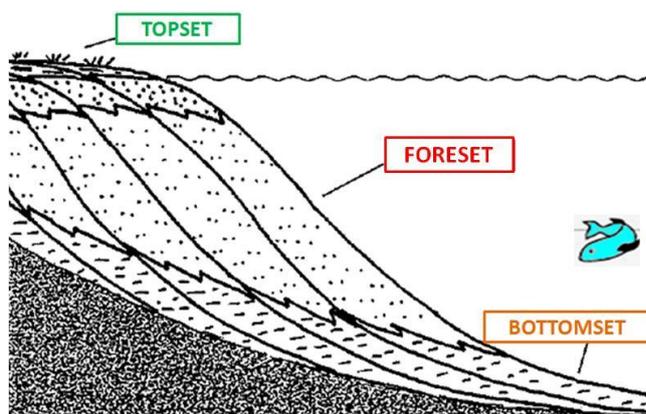


Figure 9. Principales caractéristiques d'un dépôt deltaïque de type Gilbert.

Observations pétrologiques sur les tours des Météores

Topset

En visitant la partie haute des tours, on remarque systématiquement des conglomérats massifs de type poudingue contenant des galets de toutes tailles et souvent décimétriques (figure 10).



Figure 10. Conglomérat de topset de type poudingue.

Les galets sont de gneiss paléozoïques et de marbres triasiques, ils proviennent du massif pélagonien, à l'est du massif des Météores.

Ces galets sont prisonniers d'un liant sableux grésifié et très résistant, au point de constituer des blocs pluri-décamétriques très difficilement dissociables par l'érosion. Nous verrons ultérieurement que ces blocs souvent gigantesques (figure 11) habitent quasi systématiquement le pinacle des tours et les protègent efficacement de l'érosion météoritique à la manière des « demoiselles coiffées ».



Figure 11. Blocs pluri-décamétriques de conglomérat.

Foreset

Cette partie de l'éventail deltaïque présente la stratification sédimentaire inclinée, une caractéristique propre aux deltas de type Gilbert (figure 12). Ces sédiments empilés, relativement homogènes, sont composés exclusivement de galets centimétriques et de sables grossiers.



Figure 12. Stratification inclinée des dépôts de foreset.

Leurs fins faciès gréseux nettement striés sont ceux que l'on remarque le plus facilement lors de l'observation des tours, il sont leur « marque de fabrique », ils indiquent clairement leur origine deltaïque.

Bottomset

Le *bottomset* n'est pas facilement identifiable en raison de son éventuelle profondeur dans les sols composés de dépôts détritiques autour des tours et de la végétation. Cependant, nous avons observé au pied de certaines tours des dépôts de sédiments infra-millimétriques avec couches superposées alternant nettement. S'il ne sont pas des dépôts de *bottomset*, ils leur ressemblent certainement. (Figure 13).



Figure 13. Probables dépôts de bottomset, à granulation millimétrique et infra-millimétrique.

Formation des tours

L'empilement des dépôts fluviaux augmente la pression sur les couches déposées antérieurement. La pression gravitaire expulse l'eau, d'autant plus quelle est forte. La concentration en sédiments et en minéraux augmente, favorisant ainsi la cristallisation d'un ciment calcitique.

Ce ciment lie très efficacement les galets, les graviers et les sables pour former un conglomérat grésifié de type poudingue.

Les caractéristiques de résistance varient d'un lieu à un autre dans les éventails du delta (figure 14). L'érosion provoquée par la tectonique, toujours présente, l'eau et le vent emportent au cours des millénaires les dépôts les plus friables.

Conclusion

Voilà achevé notre voyage pendant lequel nous avons survolé les conséquences de la tectonique grâce à l'observation de ces extraordinaires Météores qui nous ont raconté leur histoire avec les arguments qui sont les leurs.

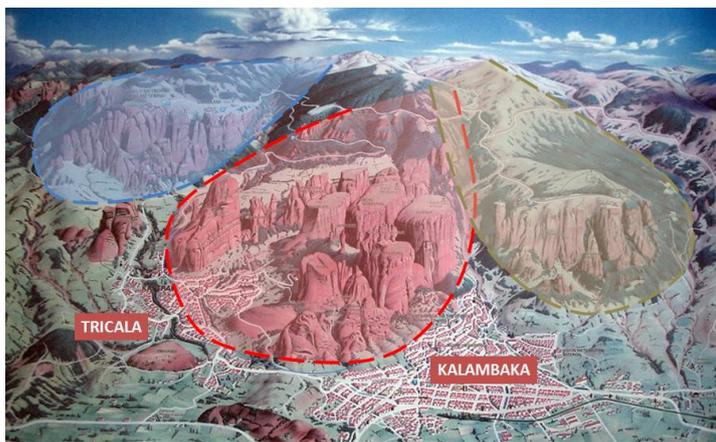


Figure 14. L'érosion différentielle révèle le positionnement probable des éventails deltaïques.

Stage d'été 2016 de l'IRSNB « Bretagne Nord et les îles »

Le stage de l'été 2016 organisé par Jean-Michel Bragard, géologue et animateur de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB), se déroule **du vendredi 19 août au dimanche 28 août 2016** dans notre Bretagne du Nord.

Ce sont dix jours de découvertes géologique, naturaliste et minéralogique qui vous attendent dans les superbes régions littorales de la Baie de Saint-Brieuc, des Pays de Paimpol et de Saint-Malo, depuis les côtes de granite rose jusqu'aux îles anglo-normandes et le Mont Saint-Michel.

Au programme : récoltes de fossiles, de roches et de minéraux, sorties ornithologiques et botaniques, visites de musées, îles et cités de caractère, et en particulier l'estuaire de la Rance, le sillon de Talbert, les îles de Jersey et de Bréhat, Cancale, Dinan, Binic, Erquy, cap Fréhel, etc.

Avec la collaboration de Roland Deconinck, photographe, et de plusieurs spécialistes locaux.

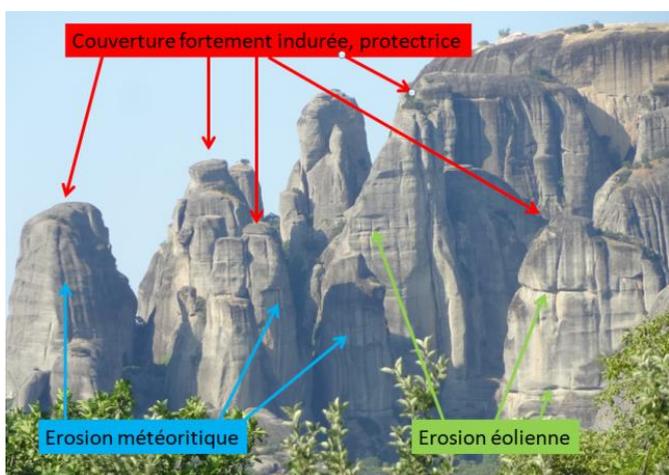


Figure 15. Résistance des topset à l'érosion.

Ils ne nous ont pas tout dit, car en Grèce rien ne se produit sans les dieux de l'Olympe, d'ailleurs voisins pas très éloignés géologiquement des Météores : nous soupçonnons que tous ces événements prodigieux se sont produits grâce à la bienveillance de Zeus et la contribution de Poséidon.

Cependant, il aura fallu toute la perspicacité des géologues pour réaliser que l'enfantement des Météores résulte de la collision de la plaque Apulienne avec la plaque pélagonienne-européenne qui a entraîné la formation des « bourrelets » montagneux du Pinde à l'ouest et pélagonien à l'est, enfermant ainsi la mer du Pindos dans le futur bassin méso-hellénique, où se déversait alors des paléo-fleuves venant de l'est pour y déposer des sédiments dans de grands deltas de type Gilbert, ceci en raison de l'élévation des lits des fleuves lors de la remontée du poinçon pélagonien. Le plus beau fleuron de ces deltas est sorti ensuite de son écrin, avec de multiples précautions : **Extraordinaires Météores !**



Photo Roland Deconinck (2015).

Participants : + 10 ans (accompagnés jusqu'à 14 ans), adultes et seniors.

Le prix devrait tourner autour de **1450 € ttc.**

Retenez d'ores et déjà ces dates sur votre agenda ; programme des activités et informations détaillées seront disponibles à partir du **1^{er} juin 2016.**

Contact : Jean-Michel Bragard, géologue animateur.
Animations en sciences naturelles,
Service éducatif du Muséum des sciences naturelles.
Rue Vautier 29, B-1000 Bruxelles.
Tél. : 00 32 2 627 42 48.
Fax : 00 32 2 646 44 66.
E-mail : jean-michel.bragard@sciencesnaturelles.be
Site : www.sciencesnaturelles.be/educa



Reliques hectométriques du cône alluvial, dégagé par l'érosion, du delta d'un fleuve du Miocène inférieur qui se jetait dans l'océan. Ces « Météores » sont composées de grès d'origine turbiditique, la stratification visible sur le foreset marque encore la pente du dépôt deltaïque (photo D. Levert).

Saga PARIS

Société Amicale des Géologues Amateurs

Muséum national d'Histoire naturelle

61 rue Buffon. 75005 Paris

Adresse postale : 43 rue Buffon. CP 48. 75005 Paris