

# TOURISME GÉOLOGIQUE EN ÉGYPTÉ :

## LES DÉSERTS, LES OASIS

**BLANC JEAN JOSEPH**

*Visiter l'Égypte consiste essentiellement à réaliser un voyage consacré à l'Archéologie monumentale : pyramides, temples, tombes, etc... Et puis, il y a les paysages : vallée du Nil, montagnes du Sinaï, lac Nasser et ses îles, déserts et oasis. Ici intervient l'histoire géologique de l'Égypte. La végétation rare permet une observation exceptionnelle des affleurements rocheux. Certaines zones dénudées, lorsqu'elles ne sont point recouvertes par les sables dunaires, demeurent ainsi en l'état depuis plusieurs milliers d'années (ateliers préhistoriques, fossiles).*

*L'histoire géologique de ce territoire, les anciens climats, se conjuguent à une évolution où interviennent la Tethys, au Nord, et, à l'Est, les effondrements de la Mer Rouge, du golfe de Suez et du «couloir» d'Akaba, prémices, au contact des plaques africaine et arabe, à l'ouverture d'un océan.*

*Ces lignes, modestement, ne sont point un article exhaustif sur la géologie de l'Égypte, mais un essai d'explication sur les paysages rencontrés au cours de plusieurs excursions organisées.*

### HISTOIRE GÉOLOGIQUE DU DÉSERT

*«Ce n'est que sable, aridité terrible, désert absolu» (Hérodote)*

Le désert est le pays des excès : températures, vents, érosion, immensité des sables, absence d'eau, solitude. Il appartient au monde des morts. Il est dangereux à traverser. Paysage de couleurs et de lumière, nudité de la Grande Mer de Sables entre Siwa et Baharia observée par satellite : ondes et vagues de sable, dunes à l'infini. On se pose des questions.

- D'où vient ce sable ? Il résulte de la désagrégation des massifs granitiques et gréseux.
- Les causes ? L'érosion de rivières et torrents aujourd'hui «fossiles», témoins des climats anciens et encore : ablations et transports d'origine éolienne.
- Quand ? Depuis des millions d'années mais l'état **actuel** que nous pouvons observer ne date que de quelques millénaires.

Il y a les grands déserts de dunes mais aussi des déserts de pierres : éboulis, grands plateaux à falaises ocre ou blanches, excavées d'abris, gorges étroites, pitons volcaniques, tables «d'inselbergs».

La vallée du Nil sépare deux déserts : le désert Arabique à l'Est et le désert Libyque à l'Ouest. Ce dernier représente la partie orientale du plus grand désert du monde (le Sahara) : immensité de la Grande Mer de Sable prolongée vers le Sud par les plateaux rocheux du Gif Kébir «le grand escarpement» et le massif granitique de l'Uweinat, zones encore assez imparfaitement connues.

Le socle cristallin, au Sud du désert Libyque, est formé de granitoïdes datant d'environ 600 millions d'années (Ma) : Protérozoïque, fin du Précambrien. Au-dessus se trouve un complexe continental très ancien de 600 à 430 Ma (Cambrien et Ordovicien inférieur). Cette période semble correspondre à un très long épisode continental soumis à une érosion des reliefs. Il en résulte la formation de masses de sables consolidées en grès, ennoyant une pénéplaine primitive. A l'Est du Sinaï, aux cataractes d'Assouan, au Gebel Uweinat, le socle antécambrien est représenté par des granites, diorites, syénites. C'est une zone riche en minerais : or, argent, cuivre, fer, manganèse, turquoises. Autour du Gebel Moussa s'observent des massifs de gneiss et des schistes précambriens plus vieux que 570 Ma .

L'histoire commence il y a 420 Ma, à l'ère Primaire (Silurien, Ordovicien final) : la plaque africaine, à l'emplacement du désert saharien, migre vers le Nord. Vers 400 Ma (Ordovicien), une mer tropicale et peu profonde est établie : la Tethys. Elle dépose d'importantes séries, notamment des argiles à Graptolites et autres fossiles marins qui interviendront dans la formation des «**roches-mères**» du pétrole saharien. Les grès de Nubie sont les témoins d'un grand retrait de la mer qui durera 70 Ma. En y regardant de plus près, ces grès nubiens seront des formations très complexes : dépôts continentaux insérés de formations marines mais, surtout, de grès fluviatiles et éoliens montrant une stratification entrecroisée, témoins d'anciens courants à haute énergie (fleuves, torrents, vents très violents). Leur couleur rouge, rousse, orangée, jaune ou mauve, est attribuée à de longues périodes chaudes oxydantes. Ce milieu, très poreux, est favorable à la rétention de gîtes à hydrocarbures, «**roches-magasins**» du pétrole ou de grandes nappes aquifères chaudes et salées (eaux fossiles). En fait, ces grès continuent à se former durant une très longue période, du Dévonien au Crétacé. Au Dévonien (395 - 345 Ma) on note la formation d'un continent unique : la Pangea, sous un climat chaud avec une faune bien individualisée : poissons, coraux, crustacés, insectes, premiers céphalopodes (Goniatites, Orthoceras).

Au Carbonifère (345 - 320 Ma), formation de charbons en eaux peu profondes : zones marines para-litiques, marécages, lacs. Le substratum de l'Égypte connaît un soulèvement tectonique. Sous un climat chaud, les biotopes sont bien diversifiés : reptiles, amphibiens, flore de fougères très abondante. Au Permien (320 à 280 Ma), la Pangea se développe vers le Nord, formation de montagne, émergences de grands espaces. Le climat, plus sec, se refroidit. La faune se diversifie : reptiles, céphalopodes, etc... Les Dinosaures apparaissent au Trias (280 à 190 Ma) : Sinai, Gebel Arif (période sèche, parfois aride). Au Jurassique (190 à 136 Ma) : rupture partielle du supercontinent de Gondwana en plusieurs blocs sous un climat chaud et humide. C'est la période par excellence de l'extension des Ammonites (Céphalopodes) : Colline aux Ammonites (Ammonites Hill) à l'Est de Siwa ; développement des Dinosauriens.

A la fin du Jurassique et au début du Crétacé (140 à 130 Ma), cette plaque, que nous avons vu

migrer vers le Nord, se trouve à l'emplacement de l'Équateur d'alors. C'est un grand territoire continental fréquenté par les Dinosaures, ou marin (Tethys) avec des Ammonites. Au Crétacé (136 à 65 Ma), des formations marines submergent la plus grande partie de l'Égypte : séries calcaires massives, craies (Baharia, Kharga), la formation des grès nubiens se poursuit au Sud de Kharga et de Dakhla. Ces derniers occupent les 2/5 de la surface de l'Égypte. A la fin du Crétacé s'exerce une émergence avec un exhaussement du relief.

Au début du Tertiaire (65 Ma), Dinosaures et Ammonites ont disparu brutalement avec une partie de la biosphère (70 %). Quelles en sont les causes ? Nous ne nous étendons pas ici sur les hypothèses envisagées : dégradations génétiques, impacts climatiques, chutes de météorites, volcanisme généralisé. A l'Eocène (53 à 34 Ma), un énorme fleuve (Old Libyan River) traverse le Désert de l'Ouest en laissant des dépôts détritiques que l'on retrouve à Kharga, Dakhla, Qattara et Siwa. Dans les dépressions initiales se forment des dépôts de craies, calcaires blancs, marnes et argiles. Les phases marines forment d'épaisses barres calcaires stratifiées organisant un relief en gradins. Le dernier est représenté par des calcaires à Nummulites (Foraminifères en forme de pièce de monnaie). Ce sont des dépôts de mers chaudes, peu profondes, communs à toute l'Égypte, ils constituent le matériau principal des pyramides.

Il y a 40 Ma, à la fin de l'Eocène, la mer se retire après le dépôt de séries blanches, craies calcaires, formant de vastes plateaux riches en fossiles marins et lacustres, remarquables par Strabon. C'est la fin de la Tethys. Le désert de l'Ouest est l'objet d'une érosion intense et spectaculaire : roches et pitons sculptés, gorges et grottes façonnées par l'eau et le vent. Des changements géologiques et climatiques importants se produisent : formation du *rift* (couloir effondré) de la Mer Rouge et des Grands lacs africains. Ce dernier s'élargira progressivement jusqu'aux temps actuels. L'emplacement du désert sera le siège de pluies et de circulations d'eaux creusant d'étroits canyons et disséquant les plateaux. Alors se forme le grand delta oligocène du Fayoum (33 à 23 Ma) et des bancs de graviers découverts au sommet des plateaux, vestiges d'écoulements fluviatiles. A l'Oligocène (34 à 23 Ma) on enregistre un refroidissement du

climat avec de fortes chutes de pluie. La tectonique active se traduit par des failles, plissements et phases volcaniques. Les dépressions du Fayoum renfermaient de riches peuplements de Vertébrés : éléphants, crocodiles, etc...

Le Miocène (23 à 5,3 Ma) voit l'extension de la Méditerranée, maintenant bien formée (Mésogée), jusqu'au Caire, au Nord du Désert de l'Ouest et à la dépression de Qattara (découverte de Mastodons à Qattara et de baleines au Fayoum). Sous le poids des sédiments, le fond s'abaisse (phénomène de subsidence) comme dans les grands deltas du Nil et du Pô.

Or, la Méditerranée s'assèche vers 6 Ma (Messinien), isolée des grands océans. Les zones profondes sont recouvertes de sel et d'évaporites (halite, gypse). L'évaporation méditerranéenne est accompagnée d'un retrait du niveau de la mer (régression) jusqu'à - 1500 m, ne laissant que des lacs hypersalés. Cet abaissement du niveau de base déclenche une très brutale et «brève» érosion (1 Ma seulement). D'où le creusement de la vallée du Nil, des dépressions de Kharga et Dakhla, de chenaux ensuite enfouis sous les sables.

Au Pliocène (3 Ma), se forme un réseau hydrographique avec des chenaux, méandres, vallées et gorges partiellement enfouis sous les sables éoliens du désert actuel, souvent inconnu et parfois repéré par les images satellites, images radar. La traversée aérienne du désert de l'Ouest nous montre des «chevelus hydrographiques» se recoupant et se prolongeant jusqu'au Quaternaire. Dans quel sens se sont écoulés ces réseaux fossiles ? Drainage transatlantique vers l'Ouest ? Drainage intérieur vers le Tchad ? ou drainage en direction d'un «Paléo - Nil» nubien ? En Egypte, de grands effondrements concernent le *rift* de la mer Rouge, créent les golfes de Suez et d'Akaba, fossés profonds avec des dénivellations proches de 2000 m. Les escarpements actifs, de part et d'autre du *rift* en cours d'élargissement, sont garnis de terrains marins, fluvio-marins et continentaux souvent déformés. On y trouve des éléphants, girafes et crocodiles. Le climat demeure chaud et sec ; on observe la disparition de l'Old Libyan River.

Alors, le vrai désert s'établit. Le Pliocène montre une activité tectonique remarquable: failles, effondrements, séismes et volcanisme actif le long des accidents du *rift* de la mer Rouge (filons et colon-

nes de lave du Sinai). A Baharia se forme un plissement à grand rayon de courbure. Dans les dépressions du Désert de l'Ouest, les sédiments lacustres montrent des gels de silice maintenant lithifiés.

L'ère quaternaire comprend la période Pleistocène (de 2 Ma à 10 000 ans BP) et Holocène, de 10 000 BP à l'actuel.

Ensuite, le désert devient aride durant la majeure partie du Pléistocène (Quaternaire ancien de 2 Ma à 10 000 ans). En fait, on a observé le retour assez bref de périodes pluvieuses liées aux phases glaciaires - interglaciaires de l'Europe. Les périodes les plus sèches et des vents violents ont accumulé les grandes dunes de sable bordant des «playas», anciennes dépressions marquant des lacs et marécages abandonnés. On remarque le développement des dépressions (parfois sous le niveau marin actuel), occupées par des lacs, voire par des eaux d'origine marine, ce qu'il faut expliquer... Les périodes glaciaires de l'Europe sont partout accompagnées de retraits du niveau de la mer, de - 120 m à - 150 m, augmentant ainsi l'espace disponible. Les déserts acquièrent leur aspect actuel. Le véritable climat sec, très aride commence vers 10 000 BP. Les lacs des dépressions s'assèchent. Il en résulte, à la surface, la formation de croûtes ferrugineuses résultant de l'altération du substratum. Le vent du désert se traduit par un polissage caractéristique des silex et des quartzites dégagés par l'érosion éolienne (notamment les ateliers préhistoriques). Dans les *rifts* d'Afrique ont été découverts les premiers fossiles attribuables à l'homme : *Homo habilis*, *H. rudolfensis*, *H. erectus*, accompagnés de «choppers» en silex et en quartzites patinés par le désert. Les hommes du Paléolithique, au Fayoum, ont établi des campements lors des phases plutôt steppiques où le désert n'existait pas. Au Quaternaire ancien (Pléistocène), la mer se retire de la Basse Vallée du Nil. Le fleuve s'approfondit et creuse des terrasses rocheuses, par paliers, en s'enfonçant. A la fin du Pléistocène, dès 10 000 ans BP, le climat devient plus aride.

Il est ensuite remplacé par les calcaires du plateau de Gilf Kébir se prolongeant vers le Nord, puis vers les calcaires du plateau miocène, au Sud de la dépression de Qattara. Le changement climatique fait que les oasis demeurent isolées et les populations préhistoriques doivent s'adapter.

A 5000 ans avant le présent (BP), au Néolithique, un retour des pluies amène la formation de lacs et d'une végétation compatible avec un peuplement humain (ateliers de taille, céramique, peintures) et une riche faune (girafes, hippopotames, gibier abondant, poissons). Puis le désert s'assèche à nouveau jusqu'à l'époque actuelle. Dès le Sub-Boréal (5000 BP à 2500 BP), le climat redevient sec. Alors, le lac du Fayoum et les plans d'eau des autres dépressions se réduisent, puis s'assèchent partiellement tandis que leurs rives se dépeuplent.

Ainsi commence l'extension de la mer de Sable (Great Sand Sea) entre Siwa et Baharia, la zone de tous les dangers : sécheresse absolue, isolement total, absence de pistes, dunes géantes où une armée aurait disparu lors d'une tempête de sable. En 524 BC, d'après Hérodote, le perse Cambyse, partant de Kharga, aurait envoyé une armée vers l'oasis de Siwa avec cinquante mille hommes à travers la Grande mer de Sable. L'armée de Cambyse n'est jamais arrivée à destination... Aujourd'hui, cet immense désert de dunes est reconnu par les images des satellites mais l'exploration détaillée n'est point achevée et elle demeure toujours dangereuse. A titre de repères chronologiques, la pyramide de Sakhara (4800 BP) correspond à ce climat sec tandis que les pyramides de Chéops (4600 BP) sont contemporaines d'un stade plus humide.

## DUNES ET DÉPRESSIONS : CARACTÈRES GÉNÉRAUX

Formées au Pliocène, il y a plus de 2 Ma, les dépressions sont les oasis du désert reconnues par Hérodote sous le nom «d'oasis bénies» (450 BC). Parfois sous le niveau de la mer, à des cotes négatives, elles demeurent plus proches des nappes aquifères. D'où la présence de puits et d'une ébauche de végétation, voire d'importantes palmeraies. A une époque récente, des campagnes de forages exploitent des nappes profondes d'eaux chaudes, «fossiles», souvent très minéralisées (fer, chlorures), à fort débit, issues des grès nubiens sous-jacents. L'ensemble des dépressions du désert de l'Ouest égyptien : Siwa, Baharia, Farafra, Dakhla, Kharga, Fayoum, est surmonté par des escarpements tabulaires et des cohortes de buttes-témoins caractéristiques dans le paysage.

Comment se sont formées ces dépressions ? Pour la majorité des géologues, elles seraient le

résultat d'actions combinées remontant au Pliocène : activité tectonique (subsidence), érosions hydriques et éoliennes (ruissellements, corrosion, déflation) en roches tendres et altérées. Elles sont bordées de dunes sableuses ou de «hammada» pierreuses.

Le sable des dunes représente plus de 50 % de la surface du désert de l'Ouest. Les dunes sont en mouvement constant ensevelissant les rares routes, pistes, cultures d'oasis, en fonction du vent dominant, à la vitesse de quelques mètres par an, parfois davantage (20 m/an). Les vagues de la mer de Sable peuvent atteindre 100 m de hauteur et une longueur d'onde de quelques décimètres à 375 m. Plusieurs réseaux dunaires peuvent se superposer. La morphologie des dunes montre une certaine diversité : longilignes, en croissants jointifs (barkhanes), étoilées, brillantes sous le soleil, ombres étranges au crépuscule, magnifiques à l'aube. Sous l'action du vent, on peut entendre une mélodie : c'est le chant des grains de quartz entrechoqués. La Mer de Sable masque les traces de l'«Old Libyan River». Étudiées par photographies aériennes et images satellitaires elles sont encore à étudier à terre et recouvrent une immense étendue (800 km du Gilf Kébir à Siwa). Leur mouvement découvre parfois des « forêts pétrifiées». Il s'agit de bois fossilisés épigénisés en calcédonite avec le détail des structures ligneuses bien conservées. On peut les rencontrer le long des pistes (de Baharia à Qattara) ; elles servent de pierres ornementales utilisées pour recouvrir les tombes des nomades.

## OASIS ET DÉPRESSIONS

**Baharia page 2 de couverture:** Dépression de 94 km sur 24 km. Elle est entourée d'escarpements spectaculaires : grès crétacés surmontés par les calcaires éocènes à Nummulites, à proximité des mines de fer de Managum. Ensuite, on observe une coulée basaltique, puis des dolomies et quartzites de l'Oligocène. L'altitude de la dépression est de 128 m ; cette élévation est due à des soulèvements tectoniques au Pliocène et au Quaternaire. Les reliefs périphériques comportent trois gradins de falaises successifs : grès nubiens ocre à la base, calcaires puis craie au sommet (Oligocène).

Le peuplement est ancien : Néolithique, temples et tombes pharaoniques. On connaît les récentes

découvertes de momies et de sarcophages dorés dont la presse et les publications ont fait état. Les nappes aquifères fournissent des eaux chaudes (30° à 40°) très riches en oxydes de fer et en gaz carbonique, cheminant par des fissures dans les grès nubiens. Au Gebel Dist, des fouilles paléontologiques ont révélé un gisement de Dinosaures, tortues, mammifères, dont les plus vieux serpents géants (*Simoliophis rochebrunei*).

Depuis la plus haute antiquité, Baharia se trouve sur la route des caravanes bordée de reliefs coniques (Twins Peaks), de plateaux et de buttes-témoins tabulaires : argiles, calcaires, grès nubiens couronnés de couches ferrugineuses (limonite). Vers Farafra, la route traverse le **Désert Noir**. Les reliefs sont ici recouverts de croûtes et saupoudrés par des pierrailles ferrugineuses (quartzites) couronnant des buttes-témoins délimitées par l'érosion d'un très ancien réseau hydrographique. Le paysage désolé est extraordinaire.

**Le Col des Cristaux page 16 (Crystal Mountains)** est un spectacle unique. Il s'agit d'amas de très gros cristaux lenticulaires et d'arches cristallines formés de calcite, aragonite et gypse en lits massifs et stratifiés. De telles formations témoignent d'anciennes circulations d'eau très minéralisées incluant des lentilles d'argile et des lits noirs de cendres volcaniques. On trouve les traces d'anciens glissements en milieu lacustre et en un contexte volcanique (*pépérites*) liés à l'activité de failles au Plio-Quaternaire. Ce paysage étrange apparaît tellement éloigné de l'état désertique actuel (42°)...

**Farafra** : Oasis particulièrement isolée perdue dans le désert. C'est un monde à part. Les paysages sont d'une grande beauté. La dépression est vaste : 120 km du Nord au Sud, 90 km de l'Est à l'Ouest. Elle est entourée d'escarpements de craie blanche (Crétacé supérieur, Paléocène, Eocène avec des fossiles marins, nodules de pyrite et de marcassite, Nummulites, etc...). L'ensemble est recouvert par des calcaires et du gypse. Le tout a une épaisseur de 130 m. Le Gebel-el-Gunna est un inselberg de craie blanche.

Le problème de l'eau est majeur à Farafra ; les quelques puits sont insuffisants. Une amélioration a été apportée par des forages plus profonds mais les débits demeurent encore faibles.

**Le désert Blanc page 15** montre un relief de roches blanches, crayeuses, éclatantes sous le soleil : sculptures naturelles créées par l'érosion en grande partie éolienne : tours, aiguilles, arches, «dos de baleines», pyramides arrondies. Un des plus beaux déserts du monde mais aussi un véritable labyrinthe de couloirs sableux où il est facile de se perdre... Il convient de se repérer aux escarpements lorsqu'on le peut et la géologie devient alors une aide appréciable (Twins Peaks). Le crépuscule nous surprend avant que l'on retrouve la route menant à Farafra. L'ombre progresse entre les monolithes aux formes étranges.

**Kharga** : Les dimensions de la dépression sont de 185 km du Nord au Sud et de 15 à 30 km de l'Est à l'Ouest. Cette oasis a été peuplée, elle aussi, très anciennement, depuis le Néolithique, l'Égypte pharaonique (temples, tombes) jusqu'à l'époque romaine. C'est l'oasis actuellement la plus peuplée et la mieux équipée : agriculture, industrie, mines, aéroport, capitale de la New Valley. On y exploite les phosphates (Abu Tartur), l'argile, l'albâtre, variété de gypse. Cette dépression en forme de fer à cheval est un ancien lac formé au Tertiaire, modifiée par la tectonique et l'érosion éolienne au Plio-Quaternaire. Le soulèvement des reliefs accentue l'abrupt des escarpements calcaires (371 m). Il s'agit de calcaires blancs crétacés surmontés par des concrétions siliceuses. Les dunes géantes (Mountains of Sand Dunes) sont de formation récente, post-romaine. Leur extension actuelle menace les routes et les habitations (Barris et Balat). L'aquifère au travers des grès nubiens (700 m d'épaisseur) donne de forts débits pour une eau riche en gaz. Il y a des centaines de puits exploités continuellement, sans rabattement visible ainsi que des tunnels romains extracteurs creusés à la base des escarpements calcaires.

**Wadi Natrun** : Proche du Caire et d'Alexandrie, connu pour ses monastères célèbres, le Wadi Natrun est une dépression allongée à -21, -25 m sous le niveau de la mer. Il s'agit d'un des sites préhistoriques parmi les plus importants en Égypte. C'est l'ancien lit discernable d'une rivière active durant la période romaine bordée par une plaine agricole fertile. Des bois fossiles, pétrifiés en silice, attestent la présence de forêts le long de la rivière. On y a découvert de nombreux fossiles : reptiles, Hipparion et primates d'âge pliocène. Huit lacs temporaires salés y sont exploités (croûtes de sel, évaporites). La position basse du Wadi

Natrun est probablement liée à la subsidence et à la tectonique quaternaire.

**Fayoum** : C'est une dépression lacustre triangulaire, très accessible, aux rives partiellement désertiques. Outre l'intérêt du paysage, les recherches de fossiles se sont avérées parmi les plus fructueuses de l'Égypte. Les peuplements préhistoriques y sont importants du fait des activités de pêche au bord du lac ainsi que des débuts de l'agriculture : Mésolithique et Néolithique (10 000 ans BP). A ces époques, le lac du Fayoum, peuplé de crocodiles, était large, alimenté par des eaux issues du Nil. Puis, les civilisations pharaoniques, grecques et romaines s'y sont installées.

Une partie de la dépression se trouve sous le niveau actuel de la mer. La géologie y est mouvementée : invasions marines, séismes, étendues lacustres fluctuantes, passage à la savane puis au désert. Ici le relief est atténué et la vallée du Nil proche. L'emplacement du Fayoum est voisin de failles importantes ; des rejets de 100 m y forment des escarpements.

Les fossiles constituent un des pôles d'intérêt du Fayoum : ils remontent à la période Eocène (Birket Qarun Formation) : mammifères (éléphants primitifs, *Paléomastodon*, *Moeritherium*), reptiles dont un python de 12 m. Au Gebel Qatrani, les strates de l'Oligocène et du Miocène, ont fourni de beaux peuplements fossiles : reptiles, tortues, crocodiles, riche faune de primates datant de 35 à 28 Ma : *Oligopithecus*, *Apidium*, *Parapithecus*, *Aegyptopithecus* (espèce importante au Fayoum), *Propithecus* (espèce la plus proche des *Hominidae*), d'âge miocène (14 Ma). Au Qasr-el-Sagha, découverte d'un «bone-bed» (accumulation d'ossements) le long d'un escarpement, sur 20 km, à l'Ouest du lac et au sommet du Gebel Gahanam : on y trouve *Basilosaurus* (*Zeuglodon*), mammifère marin de 20 m, ancêtre des baleines. Des strates d'origine fluvio-marine ont livré des bois pétrifiés, des tortues et des crocodiles d'âge pliocène, associées à des dépôts de rivières. Enfin, la trouvaille la plus intéressante est celle de l'*Arsinoitherium*, datant de la fin du Tertiaire, mammifère vivant alors dans les forêts du Fayoum, long de 3 à 4 m, ressemblant à un rhinocéros.

Au Fayoum, l'eau est une bénédiction (*baraka*) : présence de deux lacs et réseau de drainage bien établi. Le Birket Qarun, le plus grand lac du Désert de l'Ouest (eaux salées) et le Birket Abu

Talib, au fond de la dépression (eaux douces, pêcheries et tourisme) sont accompagnés de grands marécages. Depuis l'Antiquité, de grands canaux ont été creusés, reliés au Nil et régulièrement nettoyés (exemple du Bahi Yusif).

**Qattara** : La plus grande dépression du territoire égyptien (298 km sur 145 km) et la plus profonde sous le niveau de la mer ( -60 m à -134 m), en bordure du désert de l'Ouest. Pas de routes en dehors des pistes de bédouins. Au cours de la dernière guerre, les bas-fonds sableux instables de la large dépression de Qattara ont protégé la vallée du Nil et bloqué l'avance des armées allemandes et italiennes ; ces dernières étant alors obligées de forcer la passe d'El-Alamein. De grandes surfaces, à Qattara, sont encore minées dans une zone désertique dépourvue de peuplement.

Le quart de la dépression est formé de «sabkhas», plaines de boue séchée recouverte d'une croûte de sel s'effondrant au passage des véhicules. Des ingénieurs anglais (John Ball) avaient préparé un projet consistant à creuser un canal reliant la mer à Qattara, comportant encore une usine hydro-électrique, un tunnel et la création d'une mer intérieure. Ce projet ressort de temps en temps...

Au fond de la dépression, on trouve des fossiles marins et des ossements de mammifères, notamment des primates datant du Miocène ainsi que des restes de *Mastodons*. Les reliefs et falaises de bordure renferment des gîtes pétroliers (forages et réservoirs de stockage au Gebel Huneinat ) et, en surface, des sites à bois pétrifiés.

## LE DÉSERT DU SINAI (PHOTOS PAGE 3 DE COUVERTURE)

Vue par satellite (mosaïque d'images LANDSAT-MSS), la péninsule triangulaire du Sinaï montre la convergence de deux *riffts* d'effondrement au Sud, vers la mer Rouge et une symphonie de couleurs qu'il nous faut décrypter : sables du désert jaune clair, granites rouge sombre, basaltes noirs, grès nubiens orangés à mauves, calcaires crayeux blancs. Puis, le bleu sombre, intense, de la mer aux Golfes de Suez et d'Akaba, jusqu'à la Mer Rouge et son écume de récifs frangeants.

A la partie Sud du massif triangulaire du Sinaï, le socle précambrien est haché de failles et de filons volcaniques. La couverture secondaire, puis

éocène, occupe la zone septentrionale (calcaires turoniens, éocènes). **Le substratum cristallin** est formé de granites et de roches métamorphiques montrant des directions structurales et des plans de foliation NW - SE. Il est traversé par des dykes volcaniques basiques (basaltes, dolérites, andésites) ou acides ( rhyolites ). Les séries des **grès nubiens** sont discordantes sur ce socle ; elles sont surmontées par les carbonates du Crétacé supérieur à l'Eocène. A l'Oligocène (23 Ma) on enregistre un important stade de volcanisme. Au Miocène (22 à 6 Ma) se développent des récifs accidentés de failles et de flexures. L'ensemble est surmonté par des dépôts de sel (Messinien ; 6 Ma), puis de gypse au Pliocène (5 à 2 Ma) avec des récifs et dépôts de carbonates, calcaires oolitiques, etc ... A la limite oligomiocène, **des émissions basaltiques jalonnent les débuts du «rifting» de la mer Rouge**. Il s'agit d'une des régions les plus instables du monde. Voyons cela de plus près :

- on observe la déformation du socle cristallin à l'Eocène ainsi que celle de sa couverture sédimentaire : failles décrochantes senestres NNE - SSW, délimitant ainsi le golfe d'Akaba et NNW - SSE (golfe de Suez ). L'âge de ces mouvements est attribué à l'Eocène supérieur - Oligocène supérieur (40 à 28 Ma). Au Miocène inférieur (20 Ma), seul le Golfe de Suez est actif.
- une extension NNE - SSW amorce l'ouverture de la Mer Rouge. Le long du rivage, côté oriental (Sinaï), des failles abruptes ont fonctionné durant la formation des récifs.
- l'ouverture du Golfe d'Akaba - correspond à une phase de décrochement NE - SW du mouvement de la plaque Arabie - Sinaï vers le NNE.
- au Plio-Quaternaire (5,3 Ma à l'actuel) s'ouvre le grand fossé (*rift*) de la Mer Rouge. L'extension du Golfe d'Akaba se poursuit avec un rejet de failles normales. Il en serait de même pour les fossés de la partie orientale du Sinaï, de la Mer Morte, etc... Les séismes y sont actifs au Quaternaire ; on connaît le thermalisme le long de l'escarpement faillé à l'Est du Golfe de Suez (sources du Pharaon Maudit).

**Quelques sites remarquables sont à visiter :**

**Sources thermales du Pharaon Maudit :** le long des failles Nord - Sud découpant le horst oligocène bordant le système faillé de la Mer Rouge. C'est une zone tectonique active avec

des sources thermales et des fumerolles au pied de l'escarpement, se prolongeant sous la plage, en zone intertidale.

**Sarabit-el-Khâdim :** canyon et falaises colorées, contact du socle et des grès nubiens multicolores, granites recoupés par des filons de basalte. On observe des colonnes de lave en tubes traversant les grès nubiens du Crétacé supérieur. Dégagées ensuite par l'érosion, ces colonnes de lave forment une étrange forêt de piliers isolés et basculés évoquant «fumeurs noirs» des *rift* océaniques (Forest of Pilars).

**Gebel Musa** (Mont Sinaï, 2285 m) : Massif granitique haché de failles à direction dominante NNE SSW, puis E - W et NE - SW, avec compartiments surélevés : horst tectonique du socle grano-dioritique à filons de quartz, bordé de zones métamorphiques, éboulis sismiques et chaos de blocs au pied des escarpements faillés. Les fortes dénivellations sont induites par l'activité tectonique.

**Gebel Gunna** (1229 m) : passe d'Ain Hudra montrant l'érosion des grès nubiens en «taffoni». C'est un paysage d'inselbergs gréseux au milieu d'une mer de sable. La zone montre de nombreux vestiges archéologiques : abris à gravures rupestres, édifices en pierres sèches, ateliers et campements préhistoriques. Ensuite, une descente, assez effroyable, nous conduit au Golfe d'Akaba au travers d'un abrupt recoupant de multiples failles d'effondrement, décalant des gradins de grès puis du socle granitique : plusieurs centaines de mètres de dénivellation.

**Nuweiba et le Canyon des Couleurs :** Pour atteindre le Canyon des Couleurs, la piste emprunte une gorge recoupant les gradins du socle faillé (grano-diorites et filons basiques). Le Canyon est creusé dans les grès nubiens sur près de 300 m. Il est recoupé par des faisceaux de failles liés au rift d'Akaba. On remarque des couches de grès rouges ou jaunes en saillie, des replats plus argileux orangés, verdâtres ou violets, mauves, **une palette d'oxydes de fer**. Parfois, la gorge n'est plus qu'un étroit couloir de quelques mètres et même moins (passage entre des blocs coincés par où s'insinuent des visiteurs atterrés). Après une confluence avec une gorge latérale, des lits sableux colmatent cette gorge asséchée (canyon «fossile») creusée au Plio-Pleistocène.

**Sharm-el-Sheikh** : L'ensemble est dominé par le Gebel Sahara (1459 m). Un contraste est observé entre le littoral sableux quaternaire (Ras Mohamed) et ses récifs frangeants et le massif sombre de grano-diorite et de laves noires. Au rivage des dunes et de petites falaises plio-miocènes montrent des croûtes ferrugineuses et des brèches formant un piedmont étalé vers la mer.

## LA PRÉHISTOIRE ET LES ANCIENS CLIMATS

L'aridité actuelle du désert égyptien (moins de 5 mm de pluie par an) contraste avec les découvertes fréquentes de vestiges d'habitats compatibles avec des conditions d'humidité bien différentes (faunes de lacs et de marécages évoquant une steppe humide, animaux des peintures rupestres). Il est difficile de prolonger longtemps les prospections et les fouilles en des lieux quasi inconnus et dépourvus de voies de communication. Malgré ces inconvénients importants, les recherches ont montré plusieurs alternances de cycles climatiques secs ou humides. L'homme a dû s'adapter à ces variations climatiques.

Les témoins les plus anciens (Paléolithique) sont des éclats aménagés «*choppers*» ou des bifaces en silex, grès ferrugineux, quartz ou quartzites plus anciens que 300 000 ans, attribués à l'*Homo erectus* (Gif Kébir, Grande mer des Sables, Vallée du Nil). Ensuite apparaît l'*Homo sapiens* (150 000 ans). La technique de débitage levallois (plan de frappe préparé) se développe : grattoirs moustériens, pointes et concentration d'*artefacts*, présence d'ateliers de taille. Au Paléolithique supérieur, vers 35 000 ans, se multiplient des pointes et lames, harpons et faucilles. On passe ensuite au Néolithique (pierre polie, poteries, élevage, cultures) où alternent les stades humides et arides. Les populations se concentrent dans la Vallée du Nil lorsque le désert devient trop inhospitalier. De 11 000 ans BP à 5 200 ans BP se développe une période plus humide : les «*playas*» se transforment en vrais lacs, les sources et les «*wadis*» deviennent actifs (Paléolithique supérieur, Epipaléolithique, Mésolithique, Néolithique). Les groupes nomades mobiles se concentrent en habitats permanents notamment aux rives du grand lac du Fayoum (apparition de la poterie, agriculture et élevage). Les pluies de l'époque sont estimées à 500 mm / an, un déluge pour ces régions ! Le retour des phases arides (5200 BP) amène l'exode des populations vers le Soudan ou la Vallée du Nil.

Durant tout le Quaternaire, de 2 Ma à l'actuel, l'érosion éolienne, la déflation, ont joué un rôle important, sculptant les roches tendres du désert (craies blanches, calcaires, grès nubiens). Dès 5200 BP, le «désert» se dépeuple, les lacs s'assèchent et se transforment en dépressions endoréïques (dépourvues de débouchés vers un réseau hydrographique normal, vers la mer). Les roches gravées anciennes (Paléolithique supérieur, Néolithique) sont authentifiées par une patine d'oxydes de fer très foncée, presque noire (hématite), demandant plusieurs millénaires pour s'établir. D'autres incisions préhistoriques sont lissées par un polissage éolien sous lequel on discerne girafes, addax, autruches, oryx, mouflons et rhinocéros.

Dans le désert de Kharga, la grotte de Djara est un site préhistorique, lieu de passage des caravanes. Sous une immense dune (Abu Muhareck), une grotte perdue et oubliée depuis 120 ans a été redécouverte. Elle s'ouvre au ras du sol sous une croûte calcaire (calcrète). Elle montre beaucoup de concrétions (stalactites, draperies et piliers). A l'origine, cette cavité a été creusée par l'eau lors d'un climat humide, mais quand ? Sur une colonne de calcite on relève des gravures préhistoriques : bovidés, autruches, antilopes, estimées de 10 000 à 7000 BP.

## LES MYSTÈRES GÉOLOGIQUES DU DÉSERT EGYPTIEN

**Les fulgurites** : La foudre s'abat sur le sable qu'elle vitrifie en longues et fragiles aiguilles de verre. Les fulgurites ainsi créées peuvent s'enfoncer dans le sable jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Elles sont ensuite découvertes lors du mouvement des dunes (désert de Baharia).

**Les météorites** : Ces roches d'origine extra-terrestre sont incandescentes en rentrant dans l'atmosphère et présentent des cupules de fusion. Elles sont bien visibles dans le désert du fait de l'absence de végétation et de terre végétale. Il s'agit souvent de roches noires, lourdes, magnétiques. Mais il existe aussi des météorites pierreuses ; ces dernières doivent être décelées en laboratoire (sections en lames minces, analyse spectrométrique). Les météorites authentiques sont à distinguer des nodules d'hématite qui parsèment la surface du désert Noir.

**L'énigme du verre libyque** : Le «verre libyque» est représenté par des nodules ovoïdes de quelques cm pour leur grand axe, de couleur jaune dorée, ou orange-verdâtre, formés par de la silice amorphe et translucide (Grande mer des Sables, Farafra). Leur surface est polie par le vent du désert. Remarqués depuis 1846, ils ont été oubliés puis redécouverts par les militaires vers 1932, dans les espaces situés entre les dunes mobiles et seulement en des endroits bien définis, *nulle part ailleurs...*

Comment s'est formé le verre libyque ? On a pensé à l'effet d'une vitrification rapide à haute température sous l'influence d'un choc (météoritique ? frôlement d'une comète ?). On remarque, aux alentours, l'absence d'appareil volcanique. S'agit-il d'une formation sédimentaire née par la concentration d'eaux phréatiques sursaturées en silice ? Ces verres précieux étaient connus des hommes préhistoriques (lames et pointes de flèches néolithiques) et des anciens égyptiens. Dans le trésor de Toutânkhamon, des bijoux sont confectionnés dans ce matériau (pendeloques, scarabées, pectoraux). Le verre libyque a été daté de 28-29 Ma (Oligocène), après la formation des grands impacts météoritiques du désert de l'Ouest. Les morceaux anguleux correspondent aux parties enfouies tandis que les surfaces externes ont été lissées. Leur analyse montre de minuscules bulles internes de cristobalite (une variété de quartz), ainsi que des traînées brunes fluidales. La teneur en silice est de 98%. Le reste est constitué par des oxydes de fer, alumine, titane. **Pourquoi trouve-t-on ce verre à ces seuls endroits au monde ?**

Les recherches les plus récentes ne confirment pas une origine sédimentaire à basse température (radiographie IR, disposition des tétraèdres de silice). Le zircon associé montre une transformation à une température supérieure à 1676° ; le verre a subi des chocs supérieurs à 20.000 bars comme le montre l'analyse des variétés cristallines de quartz. La teneur en **iridium** est plus élevée que celle des roches terrestres. Le fer, chrome, nickel et cobalt décelés montrent un taux différent de celui de la croûte terrestre mais plus proche de celui des météorites.

Ainsi, résultant d'un choc (comète ? météorite?), durant l'Oligocène, sur le désert et les grès nubien, ces étranges «verres» se seraient

formés après le bombardement du Paléocène où se sont marqués les cratères de choc (astroblèmes). D'où la transformation en verre à haute température associée à des «impactites» comme cela a été observé au cratère de Rochechouart, daté à 200 Ma (Trias) ou à Nördlingen (15 Ma, Miocène). Les fragments vitrifiés ont ensuite été polis par le vent. Cependant, contrairement aux astroblèmes du désert de l'Ouest, aucun fragment de brèche d'impact n'a été trouvé ici. Le cratère initial a-t-il été détruit par l'érosion (300 m de grès ont en effet été enlevés) ou se trouve-t-il enfoui sous le sable ?

**La découverte d'un champ d'impacts météoritiques**, récemment mentionnée dans le «Journal du CNRS» (octobre 2004), a décrit la présence d'une pluie de météorites abattue sur le territoire égyptien il y a environ 50 Ma (Paléocène). On a découvert ainsi une centaine de cratères d'impacts sur 500 km carrés (travaux de l'équipe franco-égyptienne en cours) au désert de l'Ouest et, notamment, au plateau de Gilf Kébir. Ces cratères d'impacts figurent parmi les plus importants du monde : diamètres de 2 km à 500 m. Ils ont été décelés par les images satellites JERS-1 et détectés par le radar sous les sables. Les ondes de choc ont créé des remparts périphériques brèchiques, vitrifiés, comme à Rochechouart, avec des quartz «choqués» (plans de fractures), cônes de percussion en forme de V. Le cratère GKCF 13 (G. Kébir) a un diamètre de 950 m. Cet énorme impact présente une bordure circulaire haute de 80 m constituée de brèches oxydées et calcinées.

Pourtant, dès 1972, des images satellitaires prises très au Sud de l'Égypte, près de la frontière soudanaise, montraient dans le désert, la présence de grandes structures circulaires : s'agissait-il de dykes volcaniques ou d'impacts météoritiques ? Or, dans le bouclier précambrien, le magma s'est infiltré vers l'extérieur sous la forme de **filons annulaires (ring dykes)**. Toutes les structures circulaires ne sont donc pas des cratères météoritiques.

Dans ces déserts, l'épaisseur des dunes peut atteindre 100 m et dépasser 300 m au-dessus du socle rocheux. Combien de mystères et de faits géologiques passionnants y sont encore dissimulés ?



# GLOSSAIRE DES TERMES SCIENTIFIQUES UTILISÉS

**Ammonites :**

Groupe des céphalopodes, ère secondaire essentiellement. Excellents «dateurs» de terrains.

**Aragonite :**

Carbonate de calcium, système orthorhombique. Même composition chimique que la calcite.

**Andésite :**

Roche éruptive effusive, famille des diorites, structure microlitique, couleur sombre, à feldspaths plagioclases, correspondant à un volcanisme explosif.

**Astroblème :**

Cratère créé par l'impact d'une météorite. Sur ses bordures on peut observer un métamorphisme d'impact très particulier (impactites).

**Basalte :**

Roche volcanique effusive de la famille des gabbros, riche en pyroxène. Elle représente 95% des laves continentales et océaniques.

**Carbonifère :**

Terrain de l'ère primaire : 345 – 320 millions d'années ( MA ).

**Cambrien :**

Terrain à la base de l'ère primaire : 540 à 500 MA .

**Chopper :**

Taille fruste d'outil sur galet. Quaternaire ancien ; industrie préhistorique la plus primitive.

**Crétacé :**

Terrain de l'ère secondaire : 135 à 65 MA.

**Dévonien :**

Terrain de l'ère primaire : 410 à 365 Ma.

**Djarra (grotte de) :**

Désert de l'Ouest. Cette caverne, en plein désert, montre de grosses concrétions (maximum : 6 m de haut). Les datations de ces dernières aux isotopes U/Th ont donné 283.000 ans pour les plus anciennes et 140.000 ans pour les plus récentes. Elles témoignent de plusieurs intervalles climatiques humides. On ne relève aucune concrétion d'âge holocène. Les peintures et l'outillage néolithique ont été datés de 11 500 BP (avant le présent) à 5600 BP.

**Dyke :**

Cheminée volcanique verticale ou oblique d'allure filonienne.

**Eocène :**

Terrain de l'ère tertiaire : 53 à 34 MA.

**Gneiss :**

Roche métamorphique à lits foliés. Même composition que le granite (quartz, mica et feldspath). Lits ferromagnésiens de teinte sombre (mica noir et amphibole).

**Granitoïdes :**

Famille regroupant les granites, microgranites, granulites, granodiorites, syénites. Roches magmatiques grenues, formées en profondeur, très riches en silice. Formations de la croûte superficielle.

**Graptolites :**

Animaux marins pélagiques, dentelés, dans des schistes noirs, du Cambrien au Carbonifère.

**Gypse :**

Sulfate de calcium, système monoclinique, souvent mâclé. Résidus d'évaporation cristallisés.

**Halite :**

Sel gemme, chlorure de sodium. Cristaux cubiques. Famille des évaporites, comme le gypse.

**Hématite :** oxyde ferrique rhomboédrique, parfois à cristaux mâclés, de couleur rouge sombre ou noire. Principal minerai de fer.

**Inselberg :**

Relief isolé (montagne - île) épargné par l'érosion : plateaux horizontaux ou buttes coniques (exemples: désert Noir).

**Impactites :**

Roches transformées liées à l'impact de météorites volumineuses. C'est un métamorphisme de choc : formation de brèches, de verres et de cristaux «choqués».

**Jurassique :**

Terrain de l'ère secondaire : 190 à 136 MA.

**Limonite :**

Hydroxyde ferrique, forme des concrétions et des croûtes d'oxydes de fer : couleur rouge, rose ou orangée.

**Miocène :**

Terrain de l'ère tertiaire : 23 à 5,3 MA.

**Messinien :**

Terrain de la fin de l'ère tertiaire, de 7.1 à 5.3 MA.

**Néolithique :**

Période préhistorique de la pierre polie, de 7000 à 5000 BP.

**Oligocène :**

Terrain de l'ère tertiaire , de 33 à 23 MA.

**Ordovicien :**

Terrain de l'ère primaire, de 500 à 435 MA.

**Paléocène :**

Terrain de début de l'ère tertiaire, de 65 à 53 MA.

**Paléolithique :**

Période préhistorique de la pierre taillée précédant le Néolithique. De 1.8 MA à 10 000 BP.

**Permien :**

Terrain au sommet de l'ère primaire. De 295 à 245 MA .

**Pléistocène :**

Partie ancienne du Quaternaire, de 2 MA à 10 000 BP.

**Pliocène :**

Terrain terminal de l'ère tertiaire. De 5.3 à 2 MA.

**Précambrien :**

Terrains anciens, métamorphisés, antérieurs à 540 MA.

**Rejet :**

Dénivellation entre les deux compartiments de part et d'autre d'une faille.

**Rhyolite :**

Roche volcanique effusive (famille des granites), très riche en silice (verre et quartz), couleur rouge due à des oxydes de fer, laves très visqueuses. C'est le «porphyre rouge» des anciens.

**Silurien :**

Terrain de l'ère primaire (maximum des graptolites), de 435 à 410 MA.

**Tethys :**

Espace marin situé entre l'Eurasie et l'Afrique. C'est la Mésogée des ères secondaire et tertiaire, en partie à l'emplacement de la Méditerranée actuelle.

**Trias :**

Terrain à la base de l'ère secondaire. De 280 à 190 MA.

**Zircon :**

Silicate de zirconium avec des traces d'uranium et de thorium. Petits prismes quadratiques allongés, inclus dans les roches magmatiques ( granitoïdes principalement ) ou les anatexites ( granites formés par les mécanismes du métamorphisme ). Utilisé pour les datations ( radioactivité du thorium ).