

LE ZARZAÏTINE INFÉRIEUR (IN AMÉNAS, SAHARA ALGÉRIEN) : DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DANS UNE SÉRIE DU TRIAS PRO PARTE.

Rachid AÏT OUALI*, Ahmed NEDJARI*, Phillipe TAQUET**,
Lhacène BITAM***, Lynda TAYEB CHERIF* et Rabéa BOURAS*.

RÉSUMÉ

Les Grès de Zarzaïtine de la région d'In Aménas sont connus depuis les travaux de Lehman (1957) et de Busson (1970) et considérés comme appartenant au Trias et au Jurassique. La partie inférieure ou «Zarzaïtine inférieur», subdivisée en trois membres, est rapportée au Trias par ces auteurs.

Une recherche menée depuis 2006 a conduit à reconsidérer cette attribution, grâce à une nouvelle approche basée sur des discontinuités d'extension régionale d'origine pédogénétique, qui permettent un nouveau découpage. Celui-ci complète celui déjà établi dans le Trias saharien en sondages. De plus, la découverte de nouveaux gisements d'amphibiens du Trias inférieur à moyen (?) à l'extrême base de la série permet d'affirmer que seule la partie basale du Zarzaïtine inférieur est triasique.

La série triasique est réduite à 50m environ et discordante sur un substratum stéphano-autunien sur lequel est développé un profil d'altération complexe, recouvert par un paléoreg, qui correspondent à la phase passive de l'histoire triasique (Trias inférieur ?).

La phase active s'exprime par quatre formations sédimentaires, d'épaisseur inégale, délimitées par des croûtes de nature variée; elles correspondent à l'intervalle (Trias moyen-supérieur); ce sont des séquences argilo-gréseuses, parfois évaporitiques, de milieu désertique associant ergs, regs, chenaux fluviaux à fond plat, marécages, playas, sebkhas.

La série est clôturée par une discontinuité complexe marquée par une surface de ravinement, une légère discordance angulaire et un brusque changement de lithologie, sur laquelle repose la série jurassique à faciès plus grossiers et plus franchement fluviaux.

Mots clés - Trias - Zarzaïtine - Discontinuités pédogénétiques - Amphibiens - Altération - Milieu désertique.

*Laboratoire de Géodynamique des Bassins Sédimentaires et des Orogènes, FSTGAT- USTHB, BP. 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger.

**Laboratoire de Paléontologie, Muséum National d'Histoire Naturelle, 8, rue Buffon, F-75, Paris.

*** ANGCM, Service Géologique National, Val d'Hydra, tour B, Alger.

- Manuscrit déposé le 24 Novembre 2008, accepté après révision le 24 Janvier 2009.

THE ZARZAÏTINE INFÉRIEUR (IN AMENAS, ALGERIAN SAHARA) LAST DEVELOPPEMENTS IN THE TRIAS PRO PARTE SERIES

ABSTRACT

The « Grès de Zarzaïtine » of the In Amenas area are well known since Lehman (1958) and Busson (1970) works and considered as Triassic and Jurassic.

The lower part, also called «Zarzaïtine inférieure», is subdivided into three members and related to the Trias by these authors.

Research carried out since 2006, has led to reconsider this attribution thanks to a new approach based on unconformities of regional extension and of pedogenetic origin, which allowed new subdivisions. These subdivisions completed the formerly established ones within the Saharan Triassic successions in bore holes.

In addition, the discovery of new amphibia deposits, Lower (?) - Middle - Triassic in age, at the extreme basis of the series, allows assertion that only the lower part of the «Zarzaïtine inférieure» belongs to Triassic.

The Triassic succession is reduced to approximately 50m and lies unconformably over a stephanian-autunian basement, on which a complex weathering profile is developed; this profile is covered by a palaeoreg, and corresponds to the passive phase related to the Lower Triassic history.

The active phase is expressed by four sedimentary formations, of unequal thickness, delimited by crusts of variable nature; they correspond to the Middle ((?) - Upper Triassic interval; these formations consist of argilloarenaceous, and sometimes evaporitic sequences of desert environment which combines ergs, regs, flat-bottom fluvial channels, swamps, playas and sebkhas.

The Triassic series is ended by a complex unconformity outlined by a gullied surface, a scarce angular discordance and an abrupt change of lithology, overlain by the Jurassic series with coarser and more definitely fluvatile facies.

Keywords - Triassic - Zarzaïtine - Pedogenetic unconformities - Amphibia - Weathering - Desert environment.

I. PROBLÉMATIQUE

Depuis les travaux de Lehman (1957,1971), la série dite de Zarzaïtine Inférieure ou Grès de Zarzaïtine de la classique coupe de La Reculée, figures 1 et 2, (In Aménas, Sahara algérien) continue d'être considérée comme appartenant au Trias supérieur (Aït Salem et Hellal, 1993; Aït Salem et al., 1998; Reyre, 1973).

Un travail collectif mené depuis 2006 par le Laboratoire de Géodynamique des Bassins Sédimentaires et des Orogènes, FSTGAT-USTHB, le Laboratoire de Paléontologie-Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, avec le concours du Service Géologique National-Algérie a permis de nouveaux développements avec:

- un nouveau découpage lithostratigraphique grâce à une autre approche exposée dans le paragraphe suivant;

- une stratigraphie affinée par la découverte de nouveaux gisements d'amphibiens.

Ainsi et en réalité, seule la partie basale des Grès de Zarzaïtine est triasique.

II. UNE AUTRE APPROCHE

Dans cette autre approche développée dans l'analyse des formations triasiques à partir de données de sondages (Aït Ouali et Nedjari, 1994; Aït Ouali et Nedjari, 1996; Nedjari et al.,

LE ZARZAÏTINE INFÉRIEUR (IN AMÉNAS, SAHARA ALGÉRIEN) :
DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DANS UNE SÉRIE DU TRIAS PRO PARTE

2002 et 2006), nous avons recherché les coupures majeures, reconnaissables dans tous les dépocentres et retenu les expressions des paléopédogenèses.

On peut alors reconnaître dans cette histoire triasique deux phases distinctes sur le plan géodynamique :

- une phase passive caractérisée par une lente évolution subaérienne du substratum et dominée par des processus pédogéochimiques. Elle est à l'origine de deux unités, bien distinctes le plus souvent, mais qui, néanmoins, peuvent être inscrites au sein d'une seule unité comprenant un profil d'altération et des altérites. Ils s'agit de véritables lacunes ou tout au plus d'intervalles condensés avec une épaisseur comprise entre 10 et 50 m. Ces unités ont valeur de formations;

- une phase active avec des processus d'érosion plus ou moins intenses, une dynamique des corps sédimentaires et localement un magmatisme, entrecoupée de processus pédologiques.

Dans tous les forages examinés, au-dessus des altérites, il est possible de reconnaître trois formations ou séquences de 4^{ème} ordre. Les deux premières sont argilo-gréseuses, la troisième évaporitique.

Dans une autre étape, il nous a semblé intéressant de tester ce modèle, élaboré à partir d'une information provenant de forages, en l'appliquant aux affleurements de la série de Zarzaïtine dans la région d'In Aménas (bassin d'Illizi).

Cette note présente les premiers résultats, qui sont des données nouvelles. Mais au préalable, il est primordial de procéder à une mise au point sur la géologie de la série de Zarzaïtine.

III. LA SÉRIE DE ZARZAÏTINE : UNE MISE AU POINT

La région de Zarzaïtine dans le bassin d'Illizi, offre à quelques 20 km au Sud d'In Aménas les seuls affleurements du Trias du Sahara algérien (ph.1, fig. 1 et 2)).

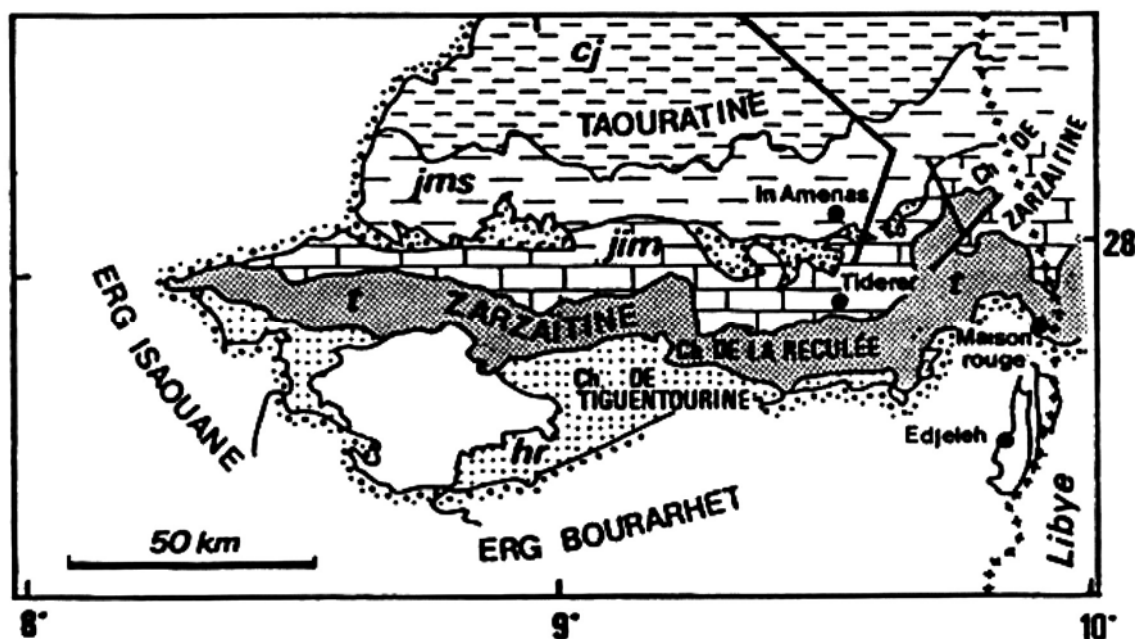


Fig. 1 - Esquisse géologique simplifiée de la région de Zarzaïtine-Taouratine au sud-est de la Hamada de Tihert (d'après Busson, 1970).

*Geological simplified sketch of the Zarzaïtine-Taouratine
region in the South-East of the Tihert Hamada (after Busson, 1970)*

hr : Carbonifère (Tiguentourine) (**Carboniferous (Tiguentourine)**); t : Trias (Zarzaïtine inférieure) (**Triassic (Zarzaïtine inférieure)**); jim : Lias-Dogger inférieur (Zarzaïtine moyen-supérieure) (**Liassic and Lower Dogger (Zarzaïtine moyen-supérieure)**); jms : Jurassique moyen supérieur (Taouratine inférieure) (**Middle and Upper Jurassic (Taouratine inférieure)**); cj : Jurassique supérieur-Crétacé inférieur (Taouratine supérieure) (**Upper Jurassic- Lower Cretaceous (Taouratine supérieure)**)).

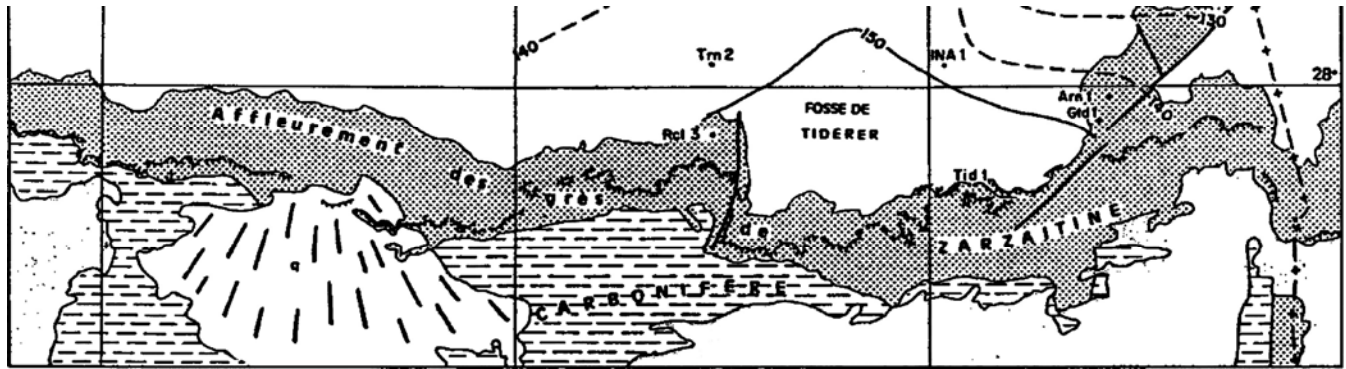


Fig. 2 - Carte simplifiée des affleurements des Grès de Zarzaitine (Extrait de Busson, 1970)

Simplified map of the « Grès de Zarzaitine » outcrops (from Busson, 1970)

Ils forment dans le paysage une imposante falaise de 150 m de haut, sensiblement E-W sur plus de 70 km et articulée en deux segments.

Le premier, compris entre les méridiens 9° 20 et 9° 45, est le plus important avec ses 50 km de long. Le second entre 9° et 9°20, décalé de 10 km vers le N forme un cirque de 20 km de diamètre.

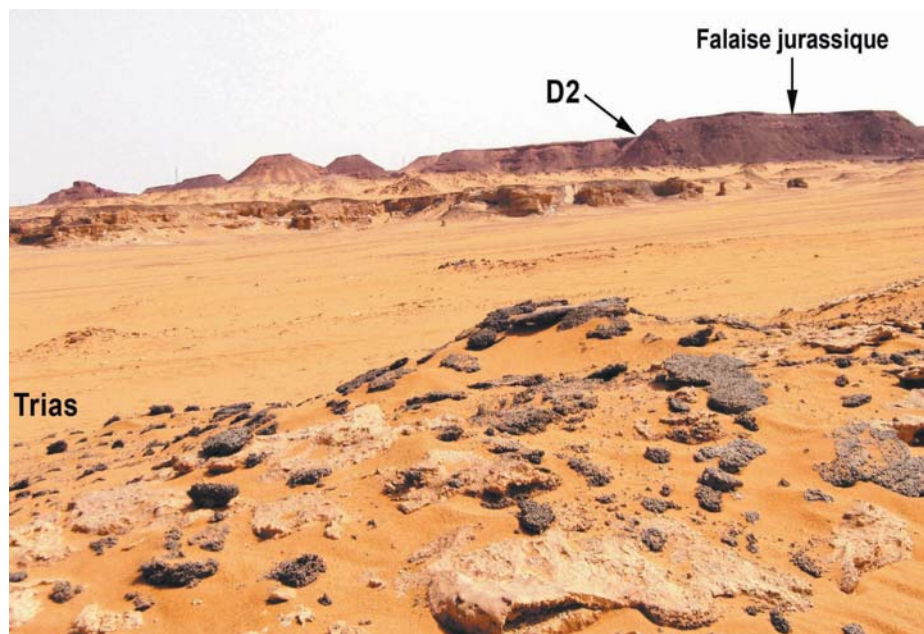
Les premiers affleurements dans cette partie orientale, sont ceux de Tiderer-In Assane (Gour Laoud) qui, à l'approche de la frontière algéro-libyenne, près d'Edjeleh, sont ennoyés par les dunes de l'Erg Bourarhet.

A l'ouest, vers le Tiguentourine, la coupe de référence est celle de «La Reculée» (x : 523.750, y :3086.559). Le reste de la région offre moins

de possibilités, les observations sont moins aisées et les coupes incomplètes.

Les terrains de cette série sont argilo-gréseux et désignés dans la littérature (Lehman, 1957; Busson, 1967; 1970) sous l'appellation de «série de Zarzaitine».

Seule la partie basale, le Zarzaitine inférieur est attribuée au Trias. Cette formation est comprise entre la discordance hercynienne développée sur un substratum stéphanautunien (Attar et al., 1981), (la formation de Tiguentourine) et le premier repère carbonaté à extension régionale, considéré comme l'équivalent du repère D2 des pétroliers daté de l'Hettangien (Achab, 1970) dans le Sahara septentrional et l'Illizi.



Ph. 1- La Reculée , vue d'ensemble

General view of La Reculée

LE ZARZAÏTINE INFÉRIEUR (IN AMÉNAS, SAHARA ALGÉRIEN) :
DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DANS UNE SÉRIE DU TRIAS PRO PARTE

Dans le détail, Busson (1970) et Busson et Cornée (1989) subdivisent la Formation de Zarzaïtine inférieur en trois membres qui sont, à partir de la base (fig. 3) :

- les Grés Inférieurs ou Grés à Stégocéphales (30 à 50 m);
- les Argiles (40 m), des argiles rouges , riches en illite, passées de kaolinite et localement à montmorillonite qui n'ont pas livré de faune;
- les Grés Supérieurs (100 m) coiffés par un banc dolomitique de 5 m, au sommet de la falaise.

Biostratigraphie

La Formation de Zarzaïtine inférieur a fourni des restes de vertébrés relativement abondants. Un important matériel a été récolté par de Lapparent et Busson en 1958 dans la région de Gour Laoud, puis confié au Muséum National d'Histoire Naturelle.

Plusieurs niveaux ont été échantillonnés (fig. 4), avec notamment le gisement 5003 à la base des Grés Inférieurs, le F1 à la base de la série et le F2 en position un peu plus élevée, entre autres.

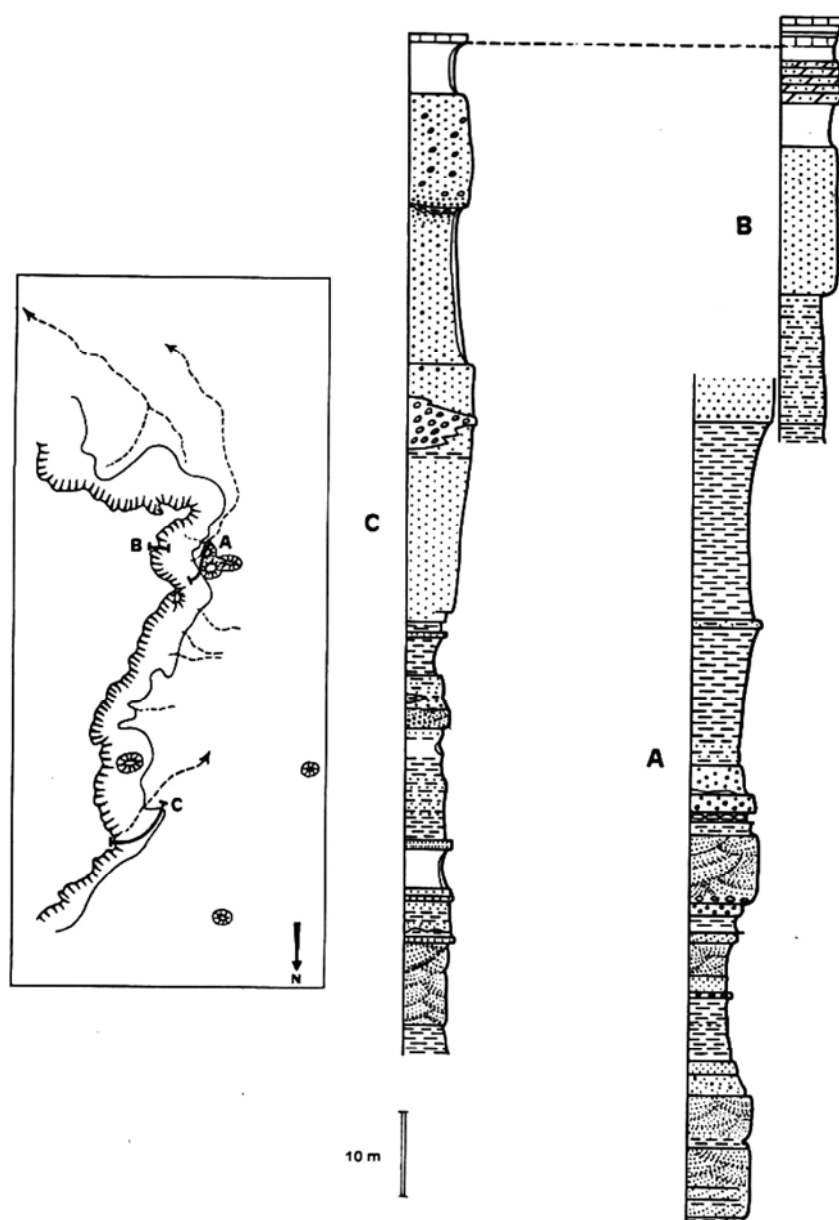


Fig. 3 - Les Grés de Zarzaïtine. La Reculée (Busson, 1970)

The Grès de Zarzaïtine. La Reculée (Busson, 1970)

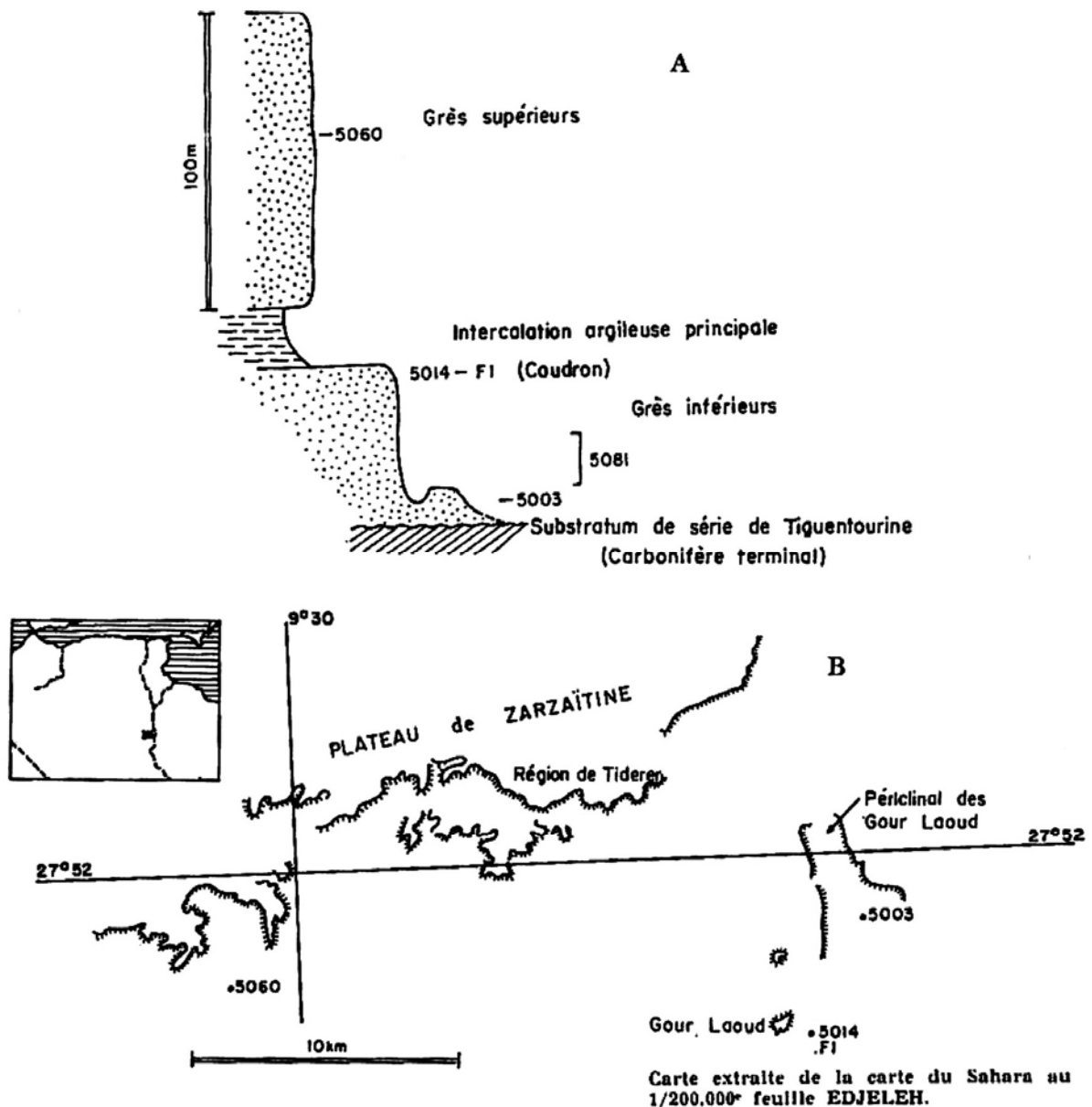


Fig. 4 - Coupe synthétique de la série de Zarzaïtine (A) et emplacements des principaux gisements récoltés (in Lehman, 1971).

Synthetic cross section of the Zarzaïtine series (A) and location of the main amphibian deposits (in Lehman, 1971).

Malheureusement ces auteurs ne fournissent ni coupe détaillée, ni localisation précise des récoltes. Toutefois, nous retiendrons le gisement 5003 où les fossiles sont décrits comme entiers, dans une croûte ferrugineuse, donc une ferri-crête qu'il est possible de positionner sur une coupe de détail, très probablement à la fin de la formation I du nouveau découpage proposé ici.

Une partie de ce matériel a été étudiée par Coudron (1961, DEA non publié). Le reste fut

déterminé par Lehman en 1957 puis 1971; cet auteur s'intéresse à la faune de reptiles et d'amphibiens. Il attribue les restes de reptiles à des Procolophonides.

Jalil (1990, 1993) a repris l'étude des récoltes de ses prédécesseurs (Lehman et Busson). Il arrive à la conclusion que la position stratigraphique des vertébrés demeure imprécise mais reconnaît trois assemblages fauniques distincts définis par les taxons suivants :

- le Capitosauridae *Wellesaurus bussoni* et un Trématosaure *Lonchorynchinae* (Lehman, 1971; Welles, 1993);
- le Brachyopoïdea et Benthosuchidae *Heylerosaurinae* «*Parosaurus lapparenti*»;
- des Aetosaures et des Phytosaures représentés par des ostéodermes (Lehman, 1971).

Les deux premiers assemblages fauniques sont attribués respectivement au Spathien supérieur et à l'Anisien inférieur. Le troisième peut être daté du Trias supérieur.

Jalil a repris, dans une étude récente (1994), l'analyse de cette faune et, en particulier, quatre crânes de Capitosaurides.

Par ailleurs Jalil (1993), reconsidérant les travaux de Busson et Cornée (1989) sur le gisement F1, signale la présence de dents de *Dipneustes* (*Ceratodus* cf. *tiguidensis* Tabaste, 1963 : in: Jalil, 1993) et des épines de poissons sélaciens du genre *Hybodus* «fournissant la seule indication de tendance marine dans les Grès inférieurs à Stégocéphales». Ces faunes mêlées à celle du Trias pourraient être crétacées. Ceci ne peut être expliqué que par l'analyse de la structure d'ensemble montrant des placages de Crétacé (Albien) en super structure à des altitudes variables.

La description donnée par Busson et Lehman du gisement 5003 permet de le localiser avec précision.

IV. LE NOUVEAU DÉCOUPAGE PROPOSÉ

1. Introduction

Nous avons procédé à un lever de détail des coupes de référence, en particulier celle de La Reculée, où nous retrouvons et complétons les subdivisions déjà établies dans les autres régions à partir des données de subsurface (fig. 5; voir annexe).

Par ailleurs, à Tiguentourine, des travaux récents de décapage ont mis à jour des affleurements frais de la discordance hercynienne et des premiers dépôts du Trias. L'analyse de ces affleurements montre, sous la discordance hercynienne, un ensemble peu épais marqué par des

processus pédogéochimiques. Il s'agit d'un profil d'altération triasique développé sur les Argiles de Tiguentourine, sous les premiers sédiments triasiques.

2. Le profil d'altération à Tiguentourine

Le profil analysé se situe à environ 500 m à l'est de la base Sonatrach et a pour coordonnées: X : 320519639; Y : 3083301. Ce profil, (ph. 2 et 3) peu épais (moins de 2 m), est développé sur les argiles silteuses rouges riches en gypse, plus ou moins décolorées de la Formation de Tiguentourine d'âge permien (Attar et al., 1981); le pendage n'est pas bien visible mais semble être de 10° vers le nord. Cette altération est de type hydromorphe, caractérisée par des marmorisations ocres, jaunes et violacées, des nodules ferrugineux évoluant progressivement vers des ferricrêtes et des silcrêtes; les ferricrêtes, mm à cm, apparaissent en fin de profil; elles sont affectées par quelques ondulations et des fractures témoignant de phases d'instabilité. Le sommet est une ferricrête-silcrête cm sur laquelle s'est développé un paléoreg à draikaners, traces de racines et fentes de dessiccation profondes de 20 à 50 cm, sièges de circulation de fer et remplissage sableux.

La pseudo-stratification horizontale dans ce profil est liée au battement d'une nappe phréatique.

Cette unité, bien que peu épaisse, en raison de sa lithologie argileuse qui limite les circulations de fluides, est l'équivalent de l'ensemble-profil d'altération et altérites défini dans les sondages, si on considère la complexité des phénomènes pédogéochimiques qui l'affectent; ces derniers correspondent au début de l'histoire triasique.

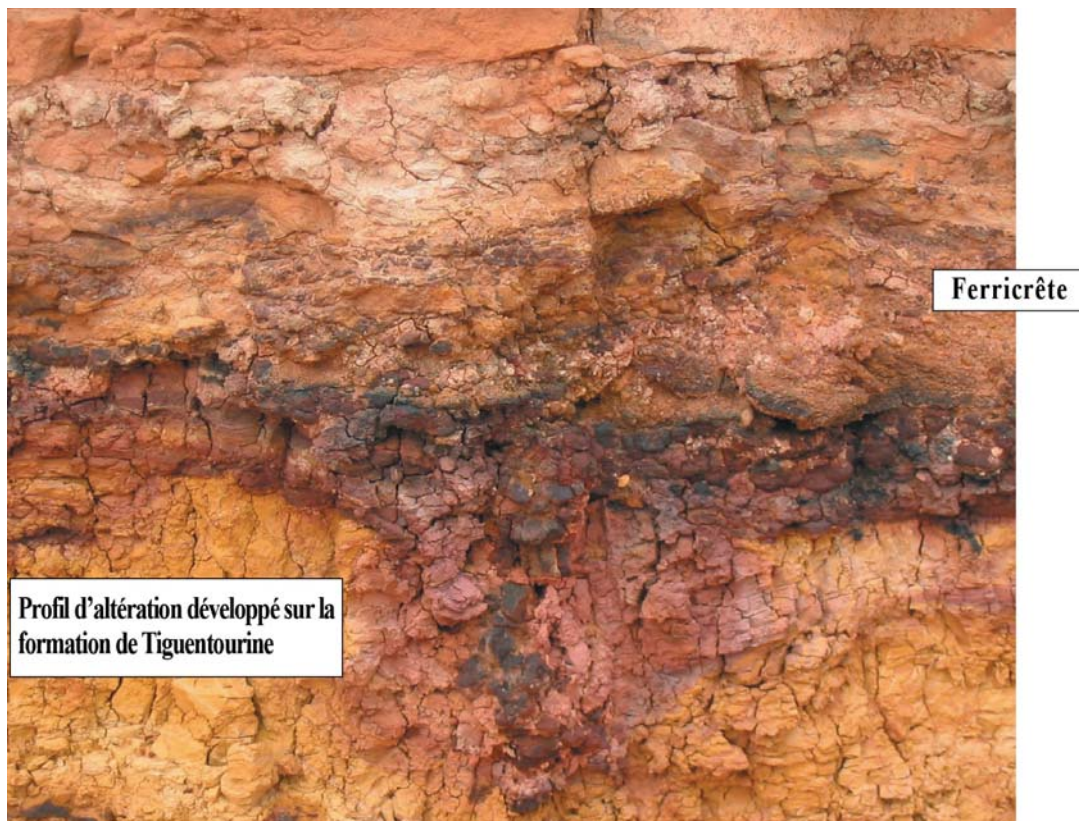
3. Les formations triasiques de la coupe de La Reculée

La série triasique (épaisseur : 50m) de la coupe de La Reculée est encadrée par deux discontinuités majeures :

- la discordance hercynienne à la base, non visible à cet endroit;



Ph. 2 - La discordance hercynienne à Tiguentourine
The Hercynian unconformity at Tiguentourine



Ph. 3 - Détail de la photo 2. La ferricrête ondulée a enregistré la déformation triasique .
Detail of photo 2. The wrinkled ironcrust has recorded the Triassic deformation.

LE ZARZAÏTINE INFÉRIEUR (IN AMÉNAS, SAHARA ALGÉRIEN) :
DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DANS UNE SÉRIE DU TRIAS PRO PARTE

- une discontinuité complexe au sommet caractérisée par :

* un changement important dans la sédimentation. A une sédimentation relativement fine, éolienne le plus souvent, succèdent des arrivées de sables rouges plus grossiers (ph. 4);

* une surface de ravinement par des dépôts grossiers et chenalisés du Jurassique présumé (fig. 5);

- localement s'observe une légère discordance angulaire.



Ph. 4 - Premiers dépôts du Jurassique.
The first Jurassic deposits



Ph. 5 - Discontinuité sommitale fin du Trias. Contact ravinant et légère discordance angulaire entre le Trias et le Jurassique
Unconformity at the top of the Triassic. Erosionnal contact and scarce angular unconformity between Triassic and Jurassic

Cette série est subdivisée en quatre formations d'épaisseurs inégales séparées par des discontinuités d'origine pédologique qui seront décrites dans ce qui suit.

3.1. La Formation I (10 m)

Les dépôts visibles de la base de cette formation ne sont malheureusement pas en contact avec le substratum permien.

Les premiers sédiments de cette formation s'observent de façon très discontinue dans le vaste replat au sud de la première petite falaise de Zarzaïtine qui forme un relief continu.

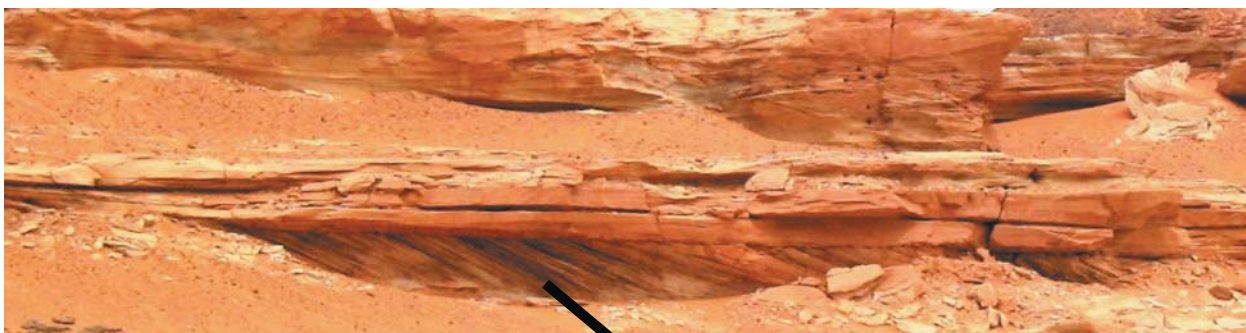
La nature et l'organisation des corps sédimentaires évoquent un paysage désertique à topographie peu contrastée, associant de petits cordons dunaires de sable fin, clair devenant rouge au sommet, de larges chenaux fluviaux à fond plat (ph. 8), des plaines d'inondation évoluant souvent en petites sebkhas à sédimentation éolienne et évaporitique affectée par de fréquentes structures de dessiccation notamment des tepees.

Cette sédimentation est souvent interrompue par le développement de croûtes cm de nature variée : gypseuse, siliceuse, carbonatée puis ferrugineuse. Le sommet de ce premier ensemble,



Ph. 6 - Dépôts sableux de chenaux fluviaux à fond plat entrecoupés de faciès fins argileux de plaine d'inondation

Sand deposits of flat bottom fluvial channels interrupted by fine argillaceous flood plain facies.



Cordons dunaires, détail



Ph. 7 - Petits cordons dunaires
Small eolian dune bars

LE ZARZAÏTINE INFÉRIEUR (IN AMÉNAS, SAHARA ALGÉRIEN) :
DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DANS UNE SÉRIE DU TRIAS PRO PARTE

épais de plus de 10m, est un intervalle argilo-sableux à marmorisations ocre-jaunes ou violacées, tepees et ferricrêtes mm puis cm.

Des restes d'amphibiens de petite taille (mandibules, crânes, museaux, vertèbres) constituent un premier gisement à l'extrême base de cet ensemble. Il est en cours d'étude. Cette accumulation d'ossements en place et bien conservés pourrait s'expliquer dans une phase d'assèchement des mares où proliférerait cette faune d'amphibiens (ph. 10).

3.2. La Formation II

Le second ensemble est plus épais (15 à 20 m) et constitué d'une succession de séquences

fluviales métriques à dominante sableuse (ph. 6 et 7). Les bases ravinantes de ces séquences sont souvent soulignées par des galets argileux de différentes dimensions, issus du remaniement de faciès de plaine d'inondation qui sont parfois préservés en niveaux décimétriques où s'observent de fréquentes marmorisations.

D'autre part, les bancs gréseux se caractérisent par des stratifications obliques décimétriques à métriques, des over turns, des figures de charge ainsi que de petites failles d'effondrement (ph.9).

Latéralement à ces chenaux fluviaux, se développent des dunes éoliennes (ph. 10) bien conservées ainsi que des regs à dragées de quartz éolisées souvent reprises dans les chenaux.



Ph. 8 - Petit cordon dunaire raviné par un chenal à fond plat remaniant des galets argileux
Small eolian dune bar gullied by a flat bottom channel reworking clayey pebbles



Ph. 9 - Failles d'effondrement
Collapse faults

Dans les espaces inter-dunaires, des écoulements sporadiques déposent un mélange de sable et de galets argileux parfois dm.

Au pied de la falaise, dans les deux premiers mètres d'un sable fin, clair probablement éolien, se situe un second gisement d'amphibiens stégocéphales du Trias supérieur probable associés à quelques restes de reptiles avec entre autres:

- un crâne entier de Stégocéphale (Temnospondyle capitosauroides);
- des fragments de mâchoires, de crânes et de vertèbres de Stéréospondyles.

Ce gisement est en cours d'exploitation.

Ce deuxième ensemble se distingue du précédent par des arrivées de sable plus grossier dans les chenaux d'extension décamétrique, une dynamique fluviale plus importante.

Le sommet est une croûte siliceuse à kerbours (ph.11), de 30 à 50 cm d'épaisseur formant un replat de grande extension bien visible dans le paysage. C'est une surface irrégulière diaclasée sur laquelle s'est installé un paléoreg à galets et dragées de quartz. Ces éléments sont parfois inclus dans la croûte. Cette importante discontinuité représente la fin de la formation.



Ph. 10 - Gisement de Stégocéphales au pied de la première falaise
Stegocephal deposits at the base of the first cliff



Ph. 11 - Silicrête à kerbours (cm)
Silicrust with kerbours (cm)

3.3. La Formation III

Cette formation d'une quinzaine de m tout au plus, est comprise entre la surface à kerboubes précédemment décrite, et un second replat sur un petit ressaut topographique parsemé de tubulures ferruginisées (ph. 12) qui sont des restes de végétaux. Ces végétaux sont décrits dans une note collective (Arbey et al., ce volume).

Le paysage est d'abord dominé par de vastes playas à sédimentation fine argilo-sableuse à gypse fréquent et petits chenaux dm à remplissage silteux laminé (ph. 13).

Sur ce matériel piégé dans des dépressions humides, assimilables à des marécages, se sont développés en bosquets épars et pendant une période assez longue des végétaux (Némato-

phytes, des champignons dont l'équivalent actuel serait Basidiomycota-Phallacene).

Par la suite, cette région reçoit un matériel plus grossier (sableux à micro-conglomératique) transporté et déposé dans des chenaux ravinants qui remanient des éléments dm de croûtes ferrugineuses (ph. 14), des dragées et galets de quartz éolisés, résultant du développement de paléoregs fréquemment encroûtés.

Ils constituent sur plus de 3m trois niveaux de paléosols d'extension limitée, pouvant passer latéralement à des croûtes ferrugineuses à anneaux de Liesegang.

L'ensemble de ces phénomènes est la signature d'une discontinuité importante et complexe qui clôture la formation. La dernière surface, diacalisée est un paléoreg à dreikanter (ph. 15, 16).



Ph. 12 - Paléosol à Nématophytes et champignons
Paleosol with Nematophytes and mushrooms



Ph.13 - Argiles rouges de playas et petit chenaux à fond plat.
playa red clays and small flat-bottom channels



Ph. 14 - Chenal à matériel grossier et croûtes ferrugineuses.
Channel with coarse material and ironcrusts.



Ph. 15 - Surface diaclasée, ferricrête et paléoreg
Jointed surface, ironcrust and paleoreg.



Ph. 16 - Paléoreg à dreikanter
Paleoreg with dreikanter

A un contexte désertique (Tucker et Benton, 1982) où se sont développés continuellement des paléoregs consolidés par des encroûtements ferrugineux, fait suite une phase moins aride avec des remaniements brutaux de matériel grossier, résultat d'un régime fluviatile. L'ensemble évolue en marécages sableux occupés par la végétation.

3.4. La Formation IV

Sous les falaises gréseuses de la suite de la série (vraisemblablement jurassique), la Formation IV constitue un petit replat argileux où apparaissent quelques petits ressauts correspondant à des encroûtements de diverse nature.

L'épaisseur de cette dernière formation est de 10 m à peine.

Le paysage est celui de sebkhas à sédimentation argilo-évaporitique générant des croûtes gypseuses à tepees, sporadiquement envahies par des apports sableux éoliens organisés en petites dunes décimétriques.

A la base, apparaissent des croûtes carbonatées, ferrugineuses ou siliceuses sur lesquelles s'installent des paléoregs. Le plus important situé à 6 m de la base de la formation se développe sur une silcrête (e=50cm) à laquelle succède une calcrête à ooïdes.

On observe à 2 m sous la croûte un dernier niveau à petites tubulures, d'extension limitée.

La fin de la formation montre sur environ 2m, une succession de niveaux argilo-sableux à gypse, de croûtes ferrugineuses et de regs.

Cette quatrième formation se distingue des précédentes par une sédimentation de sebkha très réduite et une succession de croûtes variées et de regs qui représentent une discontinuité majeure clôturant la série triasique.

En raison de sa lithologie argilo-évaporitique, cette formation est tout à fait comparable à celle qui a été définie dans les sondages.

Rappelons que le passage à la série suivante décrite plus haut est une paléosurface irrégulière,

un reg sur lequel se met en place, en légère discordance angulaire, une sédimentation plus grossière presque exclusivement fluviatile. C'est le début d'une autre histoire plus humide et dans un contexte plus subsident.

V. CONCLUSIONS

On retiendra de cette analyse quelques points fondamentaux mais également des questions.

Dans cette région, seule la partie basale du Zarzaïtine est triasique. Cette attribution stratigraphique, qui reste à confirmer, est basée :

- sur l'indication d'un âge Trias inférieur à moyen donné par les Stégocéphales, dont l'étude, rappelons-le, est en cours;

- sur la similitude du schéma établi dans la province triasique qui a conduit à reconnaître une phase passive anté-carnienne représentée par un profil d'altération et des altérites, (deux unités à valeur de formations), suivie d'une phase active avec la mise en place de trois formations sédimentaires dont l'âge est Carnien-Norien (Achab, 1970). Toutefois à In Aménas on dénombre quatre formations, la première pourrait être l'équivalent des altérites définies en sub surface.

La sédimentation est de type cratonique de zone très stable. L'épaisseur de la série triasique ne dépasse pas les 45 m à La Reculée pour la période Trias. L'épaisseur des formations est équivalente (10, 15 à 20, 15 puis 10 m) suggérant un taux de sédimentation de 1 à 2 m par million d'années.

Cette sédimentation est fréquemment interrompue par le développement de minces croûtes de nature variée et de regs discontinus. La question concernant l'origine des galets et dragées de quartz reste cependant posée. Ces regs représenteraient donc des interruptions de longue durée nécessaire à leur élaboration.

Cette dynamique n'est que le contrecoup des phénomènes observés au SW dans la province triasique : réactivations d'accidents et magmatisme, effondrements, subsidence.

- les paysages sont désertiques (Tucker et al., 1982; Peron et al., 1973; Taquet, 1997; Ziquiang, 1997) avec des ergs, des regs, de larges chenaux plats, des marécages, des playas et des sebkhas lors de périodes de plus grande aridité.

Sur le plan biologique des amphibiens et quelques reptiles constituent les seuls peuplements à proximité des plans d'eau. Leur disparition pourrait s'expliquer par des phases plus arides entraînant l'assèchement de ces derniers.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHAB, A. 1970. Le Permo-Trias saharien. Associations palynologiques et leurs applications en stratigraphie. Thèse 3^{ème} cycle, Faculté des Sciences, Univ. d'Alger, 144 p., 14 fig., 10 pl.
- AÏT OUALI, R. ET NÉDJARI, A. 1994. La province triasique : 20 ans d'informations géologiques, un bilan critique. Rapport interne, C.R.D. Sonatrach, Alger, ronéot.
- AÏT OUALI, R. ET NÉDJARI, A. 1996. La province triasique saharienne, 20 ans d'informations géologiques : bilan critique et réflexions. Bulletin du Service Géologique de l'Algérie. Vol. 7, n°2, pp.21-228, 7 fig..
- AÏT SALEM, H. ET HELLAL, C. 1993. La série de Zarzaïtine, sédimentologie (Edjelleh-Tiguentourine. La Reculée). Trias Livret guide d'excursion; Société Algérienne des Sciences Géologiques et Sonatrach, pp. 4-18.
- AÏT SALEM, H., BOURQUIN, S., COUREL, L., FEKIRINE, B., HELLAL, C., MAMI, L. AND TEFIANI, M. 1998. Triassic series of the Saharan Platform in Algeria; Peri-Tethyan onlaps and related structuration. In Crasquin-Soleau S., and Barrere E.(eds). Peri-Thetys memoire 3: Stratigraphy and evolution of peri-Thetyan Platforms. Mém. Mus. Hist. Nat., pp. 177-191.
- ATTAR, A., FABRE, J., JANVIER, PH. ET LEHMAN, J.P. 1981. Les vertébrés de la formation de Tiguentourine (Permo-Carbonifère, bassin d'Illizi, Algérie). Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris, 4^e sér., 3, section C., pp. 301-309.
- BUSSON, G. 1967. Le Mésozoïque saharien .1^{ère} partie extrême sud tunisien; Publ. Cent. Rech. Zones arides, CNRS, Serv. Geol., 8, 18 fig., 4 tabl., 3 ph., 4 pl. coul.
- BUSSON, G. 1970. Le Mésozoïque saharien .2^{ème} partie : essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Publ. Cent. Rech. Zones arides, CNRS, Paris, sér. Géol., 11 (1 et 2), 810 p., 152 fig., 31 pl. h.t, 3 cartes géol.
- BUSSON, G. ET CORNÉE, A. 1989. Données sur les paléoclimats déduites de la sédimentation continentale du Mésozoïque saharien. Publication occasionnelle du Muséum Natn. Hist. Nat. Paris. 95 p., 25 fig.
- COUDRON, J. 1961. Etude de quelques vertébrés du Gour Laoud. Mémoire pour le Diplôme d'Etudes Supérieures de Paléontologie. Université de Paris VII, 170p., 29 fig., 18 pl.
- JALIL, N.E. 1990. Sur deux crânes de petits Sauria (Amnoita, Diapsida) du Trias moyen d'Algérie. C.R. Acad. Sci. Paris, t. 311, série II, pp. 731-737.
- JALIL, N.E. 1993. Les Vertébrés triasiques de Zarzaïtine (Algérie) : étude anatomique et phylogénique des Amphibiens temnospondyles et des Diapsides. Thèse Doct. Univ. Paris IV (inédit).
- JALIL, N.E ET TAQUET PH. 1994. Les vertébrés triasiques de la série de Zarzaïtine (Algérie). Liste faunique et implications stratigraphiques. Mém. Serv. Géol. Algérie. n° 6, pp. 99-104, 1 fig.
- LAPPARENT, A.F. 1958. Nouvelles reconnaissances géologiques entre Ohanet et Bourharet (Sahara central). Chronique des missions. Trav. Inst. Rech. Sahar., t. XVIII.
- LAPPARENT, A.F., DE CLARACQ, P. ET NOUGAREDE, F. 1958. Nouvelles découvertes de Vertébrés dans les séries continentales au Nord d'Edjeleh. (Sahara central). C. R. Acad. Sci. Paris, 227, pp.1106-1108.
- LEHMAN, J.P. 1957. Les Stégocéphales sahariens. Ann. Paléon., (Vert.) Paris, 53, pp. 139-146 .
- LEHMAN, J.P. 1971. Nouveaux vertébrés du Trias de la série de Zarzaïtine. Ann. Paléon., (Vert.) Paris, 57(1), pp. 71-93.
- NÉDJARI, A., AÏT OUALI, R. ET DELFAUD, J. 2002. Le Trias des bassins sahariens ; mise au point et nouvelle approche. Mém. Serv. Géol. Alg., n° 11, pp. 87-113, 7 fig., 2 tabl., 3pl.
- NÉDJARI, A., AÏT OUALI, R., TAQUET, PH., BEN-HAMOUCHE, A. ET AMROUCHE, F. 2006. Les phases passives en géologie et leur comptabilisation en stratigraphie. Mém. Serv. Géol. Nat., n° 13, pp. 253-261.

LE ZARZAÏTINE INFÉRIEUR (IN AMÉNAS, SAHARA ALGÉRIEN) :
DERNIERS DÉVELOPPEMENTS DANS UNE SÉRIE DU TRIAS PRO PARTE

- PERON, S., BOURQUIN, S., PLUTEAU, F. AND GUILLOCHEAU, F. 1973. Paleoenvironment and climatesimulations of the Early Triassic: Impact of the water and sediments of the preservations of fluvial systems. *Geodynamica Acta*, 18/6, pp. 431-436.
- REYRE, Y. 1973. Palynologie du Mésozoïque saharien. *Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 27 (C), pp. 1-284.
- TAQUET, PH. 1997. Au temps des crocodiles mésozoïques sahariens. In : R. Billard et I. Jarry (eds.) , hommage à Théodore Monod naturaliste d'exception : Museum National. d'Hist. Naturelle , Archives Paris, pp. 57-72.
- TUCKER, M.E. AND BENTON, J.M. 1982. Triassic environments, climate and reptile evolutions. *Paleogeography, Paléoclimatology, Paleoecology*, (40), pp. 361-379.
- WELLES, S.P. 1993. A review of the Lonchorhynchine Trimatosaurs (Labyrinthodontia) and a description of new genus and species from the lower Moenkapi Formation of Arizona. *Paleobios*, 14 (3), pp. 1-24.
- ZIQUANG, W. 1997. Evolutionary ecosystem of Permian-Triassic Redbeds in North China. *Monmarine triassic. New Mexico Museum of National History and Science*. Lucas, S.G. and Morales M. eds. *Bulletin n° 3*, pp. 471-478.

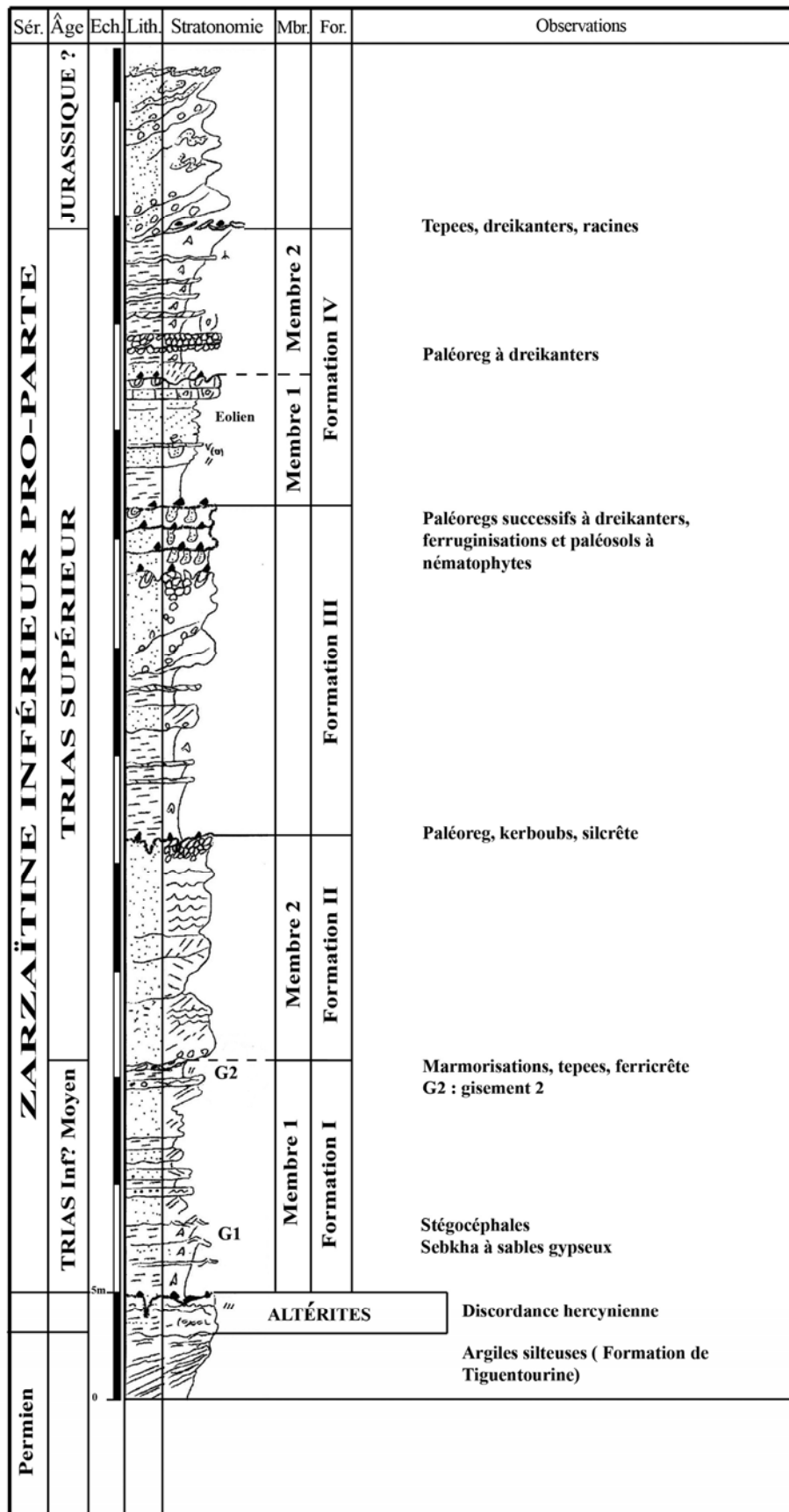


Fig. 5 - Coupe de La Reculée (In Aménas) : nouveau découpage.

La Reculée (In Amenas) cross section : new subdivision.

DÉCOUVERTE DE PEUPLEMENTS DIVERSIFIÉS DE « THALLOPHYTES », CHAMPIGNONS, ALGUES, DE GRANDE TAILLE, DANS LES SÉRIES CONTINENTALES TRIASIQUES ET JURASSIQUES D'IN AMENAS.

François ARBEY*, Ahmed NEDJARI**, Rachid AÏT OUALI**, Lhacène BITAM***,
Wahiba BOUZIDI*** et Bilal KEDADRA****

RÉSUMÉ

Des restes d'organismes, organisés macroscopiquement et rapportés à des « thallophytes » - carpophores de champignons, algues -, continentales de grande taille, ont été trouvés dans des dépôts grés-microconglomératiques, ferrifères, interstratifiés dans les séries continentales triasiques de la région d'In Amenas, coupe de La Reculée. Ces organismes se présentent comme des sphères, des tubes, des cônes, des massues ou des masses foliacées plus étendues et complexes dont les sections et les longueurs vont de plusieurs centimètres à plusieurs mètres, ils sont parfois associés à des perforations racinaires et à des rhizolithes.

Dans le Jurassique, des organismes semblables ont été rencontrés dans des dépôts fluviaux pour l'essentiel, ayant subi une forte pédogenèse carbonatée noduleuse. Par ailleurs, des restes probables de végétaux mal conservés (rhizolithes, branches, troncs) existent dans des dépôts fluvio-éoliens. Dans le Jurassique supérieur, on a trouvé une thallophyte ressemblant plutôt à une algue avec un rhizome - ou un stipe décimétrique - sur lequel s'insère un thalle métrique.

La périphérie et l'intérieur de toutes ces structures sont remplacés ou remplis par un précipité d'hydroxyde de fer ou par un sédiment qui peut être différent de l'encaissant.

Les paysages triasiques et jurassiques locaux devaient ressembler à de grands épandages fluviaux, parfois interdunaires, marqués par des crues et entrecoupés de périodes plus humides pendant lesquelles il se développait de grandes quantités de « thallophytes » dans des dépressions marécageuses où des sédiments plus grossiers s'accumulaient.

Des périodes de sécheresse causaient la mort en masse des thallophytes et engendraient des phénomènes redox. Dans les zones déprimées endoréiques ou partiellement fermées, le fer épigénisait les membranes, cloisons et autres structures tenaces chitineuses ou cellulosiques des thallophytes ; il cimentait aussi les sédiments encaissants. Il précipitait alors des croûtes ferrugineuses horizontales microbréchiques ou microconglomératiques, à quartz plus ou moins éolisés, qui terminent certaines séquences. Correspondant à ces périodes plus sèches nous trouvons aussi les dunes, les rhizolithes et les « branches » carbonatées des sols cités plus haut. Notons qu'après des crues, certaines sebkhas sahariennes se trouvent souvent actuellement encombrées, localement, de débris organiques divers, dont de nombreux végétaux et animaux flottés (tamaris, palmiers..., chameaux).

Mots clés - Ascomycota - Basidiomycota - Bolet - Branche - Calcrête - Champignon - Eolien - Ferricrête - Fluvial - Kerboub - Lichen - Marécage - Nématophyte - Paléosol - Pézize - Prototaxites - Rhizolithe - Stipe - Thalle - Tubercule - Terfess.

*Université de Paris Sud Centre Orsay.

**Laboratoire de Géodynamique des Bassins Sédimentaires et des Orogènes, FSTGAT- USTHB, BP. 32 El Alia, Bab Ezzouar, Alger.

***ANGCM, Service Géologique National, Val d'Hydra, tour B, Alger.

****SONATRACH, Division Production, Direction Régionale d'In Amenas.

- Manuscrit déposé le 02 Novembre 2009, accepté après révision le 30 Novembre 2005.

DISCOVERY OF DIVERSIFIED STOCKING OF BIG-SIZED «THALLOPHYTA», MUSHROOMS AND ALGAE IN THE CONTINENTAL TRIASSIC SERIES OF IN AMENAS.

Abstract:

Organism remains macroscopically organized and reported to big-sized continental «thallophyta»-mushrooms, algae-, were found in the sandy-micro-conglomeratic ferriferous and interbedded deposits of the continental Triassic series of the In Amenas area, La Reculée cross section.

These organisms appear in form of spheres, tubes, bludgeons or complex and larger foliaceous masses of which sections and lengths vary from many centimetres to many metres. They remind mushrooms and are sometimes associated with root perforations and rhizolithes.

In the Jurassic, similar organisms having undergone a strong carbonated nodulous pedogenesis have been mainly found in fluviatile deposits. Furthermore, probably badly conserved plant remains (rhizolithes, branches and trunks) exist in fluvio-eolian deposits.

In the Upper Jurassic, we have found «thallophyta» looking like an alga with a rhizome, or a decimetric stem, on which a metric thallus is fitting into it.

The periphery and the bottom of all these structures are replaced or filled by an iron hydroxide precipitate or by a sediment which is different from the country rock.

The Triassic and the Jurassic landscapes would look like fluviatile deposits, sometimes between dunes, marked by floods and intersected by damp periods when was developed lot of «Thallophyta» in swampy basins where coarse deposits were accumulated.

The dryness periods caused the mass death of «Thallophyta» and generated redox phenomena. In the endorehic depressed or partially closed areas, the iron epigenized membranes, septa and other tenacious chitinous and cellulose structures of «Thallophyta», it cemented also the host deposits. It precipitates also micro-brecciated or micro-conglomeratic horizontal ferruginous crusts with more or less eolized quartz which terminate some sequences.

In relation with these very dryness periods, we find also the dunes, the rhizolithes and the carbonated «branches» of the soils as above. We note that after these floods, some Saharan sabkhas are currently, often overburdened with different organic remains of which various floated animals and plants (tamarisks, palm tress, ... camel).

Key words - Ascomycota - Basidiomycota - Boletus - Branch - Calcrest - Mushroom - Eolian - Ferricrête - Fluviatile - Lichen - Swamp - Nematophyte - Paleosoil - Peziza - Prototaxites Rhizolithe - Algal stipe - Thallus - Knob - Terfess.

PRÉAMBULE

Des travaux récents menés en affleurement sur le Trias d'In Amenas (fig. 1) nous ont conduit dans une autre approche à reconsidérer la lithostratigraphie (Aït Ouali et al., 2010, ce recueil) entre autres. La présente note décrit un niveau d'organismes - probablement des carcophores de thallophytes - d'une conservation exceptionnelle jusque là assimilé par les prédécesseurs à un simple paléosol quand il était signalé. La géologie étant largement développée dans Aït Ouali et al. (2010) de ce présent recueil, nous n'en reprendrons que les traits essentiels.

Les terrains argilo-gréseux de la coupe de référence dite de «La Reculée», sont désignés sous l'appellation de la série de Zarzaïtine (Lehman 1957; Busson, 1967 et 1972). Seule la partie basale, le Zarzaïtine inférieur, est attribuée au Trias. Cette «formation» est comprise entre la discordance hercynienne développée sur un substratum stéphano-autunien (Attar et al., 1981), la formation de Tiguentourine, et le premier repère carbonaté d'extension régionale, considéré comme l'équivalent du repère D2 des pétroliers et daté de l'Hettangien (Achab, 1970) dans le Sahara septentrional et l'Illizi.



Fig. 1- Esquisse géologique simplifiée de la région de Zarzaitine-Taouratine au sud-est de la Hamada de Tihert (d'après Busson, 1972).

Geological simplified sketch of the Zarzaitine-Taouratine area, South-East of the Tihert Hamada (after Busson, 1972).

hr : Carbonifère (Tiguentourine) (**Carboniferous (Tiguentourine)**); t : Trias (Zarzaitine inférieur) (**Trias (Zarzaitine inférieur)**); jim : Lias-Dogger inférieur (Zarzaitine moyen-supérieur) (**Lias-Lower Dogger (Zarzaitine moyen-supérieur)**); jms : Jurassique moyen-supérieur (Taouratine inférieur) (**Middle-Upper Jurassic (Taouratine inférieur)**); cj : Jurassique supérieur-Crétacé inférieur (Taouratine supérieur) (**Upper Jurassic- Lower Cretaceous (Taouratine supérieur)**).

La série triasique (fig. 2) est très réduite et ne dépasse pas 50m. Elle est encadrée par deux discontinuités majeures :

- la discordance hercynienne à la base;
- une discontinuité complexe au sommet caractérisée par :
 - *une surface de ravinement, des dépôts grossiers et chenalés du Jurassique présumé;
 - *un changement brutal de la sédimentation souligné par des arrivées de sables rouges grossiers succédant à des sables fins souvent éoliens;
- localement s'observe une légère discordance angulaire.

Cette série est subdivisée en quatre formations d'épaisseurs inégales, séparées par des paléosols et/ou des croûtes complexes (Aït Ouali et al., 2010).

LA FORMATION I

Dans cette première formation, la nature et l'organisation des corps sédimentaires évoquent un paysage désertique à topographie peu contrastée, associant de petits cordons dunaires de sable fin, de larges chenaux fluviaux à fond plat, des plaines d'inondation évoluant fréquemment en petites sebkhas à sédimentation éolienne et évaporitique .

Cette sédimentation est souvent interrompue par le développement de croûtes centimétriques de nature variée : gypseuse, siliceuse, carbonatée puis ferrugineuse. Le sommet de ce premier ensemble, épais de près de 10m, est un intervalle argilo-sableux à marmorisations ocre-jaunes ou violacées, tepees et ferricrêtes millimétriques puis centimétriques.

LA FORMATION II

La formation II comporte des sables friables probablement éoliens puis des grès grossiers

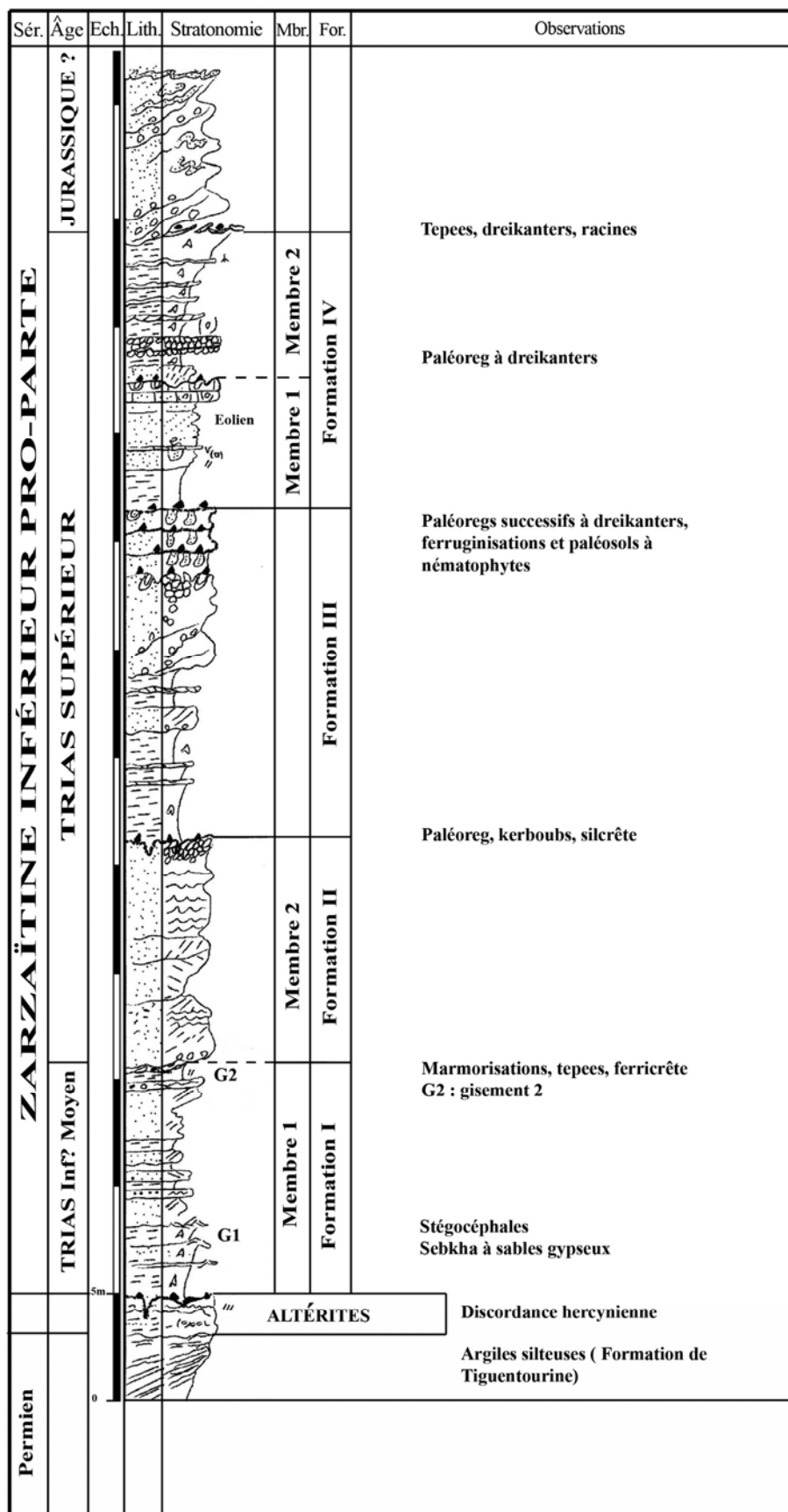


Fig. 2 - Coupe de La Reculée (In Aménas) : Nouveau découpage.

La Reculée (In Aménas) cross section : new subdivision.

chenalisés, dont la base est soulignée par des galets d'argile, remaniés à partir des dépôts de plaine alluviale ainsi que quelques dragées de quartz.

Latéralement à ces chenaux fluviaux, se développent des dunes éoliennes bien conservées ainsi que des regs à dragées de quartz éolisées souvent reprises dans les chenaux.

Dans les espaces inter-dunaires, des écoulements sporadiques déposent un mélange de sable et de galets argileux parfois décimétriques.

Le sommet est une croûte siliceuse à kerbours, de 30 à 50 cm d'épaisseur, formant un replat de grande extension bien visible dans le paysage. C'est une surface irrégulière diaclasée sur laquelle s'est installé un paléoreg à galets et dragées de quartz marquant la fin de la formation.

LA FORMATION III

Cette troisième formation d'une quinzaine de mètres tout au plus, est comprise entre la surface à kerbours précédemment décrite, et un second replat sur un petit ressaut topographique parsemé de tubulures ferruginisées qui sont des restes de thallophytes, de champignons. Ils sont décrits dans la présente note.

Le paysage est d'abord dominé par de vastes playas à sédimentation fine argilo-sableuse à gypse fréquent et petits chenaux dm à remplissage silteux laminé.

Sur ce matériel piégé dans des dépressions humides, assimilables à des marécages, se sont développés, en groupements épars et pendant une période assez longue, des carcophores de champignons.

Par la suite, cette région reçoit un matériel plus grossier (sableux à micro-conglomératique) transporté et déposé dans des chenaux ravinants qui remanient des éléments dm de croûtes ferrugineuses, des dragées et galets de quartz éolisés, résultant du développement de paléoregs fréquemment encroûtés.

Ils constituent sur plus de 3m, trois niveaux de paléosols d'extension limitée pouvant passer latéralement à des croûtes ferrugineuses à anneaux de Liesegang.

L'ensemble de ces phénomènes est la signature d'une discontinuité importante et complexe qui clôturait la formation.

À un contexte désertique (Tucker et Benton, 1982) où se sont développés continuellement des paléoregs consolidés par des encroûtements ferrugineux, fait suite une phase moins aride avec des remaniements brutaux de matériel grossier résultant d'un régime fluvial. L'ensemble évolue en marécages sableux occupés par la végétation.

LA FORMATION IV

Sous les falaises gréseuses de la suite de la série (vraisemblablement jurassique), la Formation IV constitue un replat argileux où apparaissent quelques petits ressauts correspondant à des encroûtements de diverse nature.

L'épaisseur de cette formation est de 10 m à peine.

Le paysage est celui de sebkhas à sédimentation argilo-évaporitique générant des croûtes gypseuses à tepees, sporadiquement envahies par des apports sableux éoliens organisés en petites dunes décimétriques.

À la base, apparaissent des croûtes carbonatées, ferrugineuses ou siliceuses sur lesquelles s'installent des paléoregs. Le plus important, située à 6 m de la base de la Formation IV, se développe sur une silcrête (e=50cm) à laquelle succède une calcrête à ooïdes.

La fin de la formation montre sur environ 2 m une succession de niveaux argilo-sableux à gypse, de croûtes ferrugineuses et de regs.

Cette quatrième formation, se distingue des précédentes par une sédimentation de sebkha très réduite et une succession de croûtes variées et de regs qui représentent une discontinuité majeure clôturant la série triasique.

Le passage à la série suivante est une paléo-surface irrégulière, un reg sur lequel se met en place, en légère discordance angulaire, une sédimentation plus grossière presque exclusivement fluviale. C'est le début d'une autre histoire plus humide et dans un contexte plus subsident, une histoire jurassique. D'autres restes de végétaux y sont rencontrés sporadiquement et décrits.

INTRODUCTION

Dans le Trias d'In Amenas, coupe de «La Reculée», une grande quantité de débris «organisés», de grande taille, de formes très variées, moulés ou épigénisés en oxydes et hydroxydes de fer, sont regroupés dans des cuvettes marécageuses hectométriques au milieu de sédiments fluviaux. L'aspect fruste, simple, voire étrange, de ces organismes les feraient classer parmi les insertae sedis ayant une origine nettement organique.

Un peu plus haut, dans le Jurassique fluvial, d'autres restes organisés, de formes différentes, se concentrent eux aussi à plusieurs niveaux.

Enfin, avant le sommet de «La Reculée», donc dans le haut du Jurassique fluvial quelques structures s'avèrent d'un autre type et font plutôt penser à des algues.

Dans aucun des cas observés, la fossilisation n'a conservé sur le terrain une structure microscopique. Nous ne disposons que de la morphologie extérieure et de quelques coupes. Ces aspects macroscopiques très typés ont malgré tout permis des comparaisons morphologiques avec des organismes actuels pris en référence et décrits en annexes. Ces observations ont finalement conduit à une série de propositions que nous allons voir.

LE TRIAS

1- Les sédiments fossilifères

1.1- Les zones humides et marais ferrifères

Les premiers gisements de structures organisées apparaissent sous forme de groupements très polymorphes ferruginisés épars dans des dépressions lenticulaires hectométriques (pl. 1 et 2). Ces organismes sont dressés ou abattus par l'érosion. Ils ont un diamètre variant de quelques centimètres à plusieurs décimètres pour des hauteurs de quelques décimètres. Leur hauteur maxima est semble-t-il limitée dans les affleurements par la présence au sommet horizontal d'une ferricrête subhorizontale sécante (pl. 2, fig. 7).

La croûte ferrifère est souvent peu épaisse (pl. 1, fig. 1). Sa nature est gréseuse (pl. 1, fig. 3) à micro-conglomératique (pl. 1, fig. 2) et les fragments polyédriques de quartz enchassés

portent la marque d'une éolisation nette (cf. dreikanter).

La ferricrête atteint et dépasse parfois les 15 cm d'épaisseur avec une organisation en «anneau de Liesegang» (Arbey, 1987, 1988). Sur l'illustration (pl. 1, figs. 4 à 6), la dalle est fracturée - l'affleurement est incliné - verticalement en polygones métriques annulaires traversés par des perforations racinaires géotropes. La partie centrale d'un anneau est remplie de grès friable correspondant à la zone centrale qui est restée le plus longtemps à l'état réduit, noir, donc avec un ciment pyriteux mêlé à la Matière Organique.

1.2- Les paléosols à kerbours des dépôts fluviaux.

Au Trias et au Jurassique, la présence de paléocalcrètes à nodules («kerbours», pl. 3) et à précipitations racinaires affectant des sédiments fluviaux est assez générale. Les fossilisations ferrifères se retrouvent entourées de nodules carbonatés et parfois de rhizolithes (pl. 4).

2- Les mécanismes physico-chimiques de la fossilisation

2.1- Les types de fossilisation du Trias et du Jurassique

Les restes fossiles observés sont :

- soit des moules extérieurs (pl. 7, figs. 4 et 10; pl. 5, figs. 2 et 6) formés par les sédiments encaissants - le plus souvent fluviaux - cimentés par le fer -; ils emportent dans leur ciment, comme le font les rhizolithes (pl. 4), une pellicule sédimentaire centimétrique où s'observent les stratifications, leurs granulométries, leurs rythmes et leurs angles;
- soit des moulages internes, donc, des remplacements dans des espaces laissés libres par la dégradation organique de l'organisme (pl. 8);
- soit des remplissages détritiques de cavités naturelles persistant pendant un temps suffisant pour garder une certaine forme;
- soit encore des épigénies par un minéral apporté par des solutions. Les solutions disponi-

bles étaient ferriques, ferreuses (annexes pl. 9, fig. 1) ou carbonatées ; les épigénies par le fer sont fines, leur pourtour est souvent en continuité avec un moule externe ferrique, plus ou moins épais et chargé en éléments détritiques comme nous l'avons signalé plus haut, ou bien le pourtour est calcifié (pl. 6, fig. 11).

D'une manière générale :

- le carbonate est reconnaissable, mais les autres modes, ferriques, se ressemblent beaucoup;
- les moules et les remplissages qui sont détritiques se différencient éventuellement par la granulométrie, le classement ou la maturité des éléments figurés. Ils sont grossiers. Plus la granulométrie de la matrice sédimentaire du produit de moulage est fine moins la forme de l'organisme sera modifiée (pl. 9);
- les épigénies carbonatées ou ferriques sont en général plus fines et détaillées. Notons, enfin, que si au cours du développement d'un organisme une cavité se crée au cours de la sporogénèse, par exemple un précipité poreux et amorphe d'hydroxyde de fer remplira cette cavité (pl. 6, figs. 1,2 et 3).

Ces observations sont donc assez grossières. Il n'y a aucune comparaison même lointaine avec la finesse de conservation qu'offrent les milieux réducteurs, les silicifications ou les résines fossiles.

2.2- Les mécanismes.

Nous allons nous référer pour la suite d'une part à des observations rédox faites dans des milieux similaires actuels et d'autre part aux mécanismes invoqués pour la fossilisation des Némato-phytes ordoviciennes de la Chaîne d'Ougarta.

2.2.1- Un milieu rédox actuel typique : les littoraux bretons.

Les sédiments, après la mort et l'accumulation de grandes quantités d'organismes, sont imprégnés par la masse de la Matière Organique disponible - thalles, mucilages et autres produits de décomposition formant un fort tonnage de «gélée organique» réductrice plus ou moins dégradée

et évoluée. Les actions bactériennes ont pour effet de solubiliser (annexes pl. 9, fig.1) tout le fer disponible dans le milieu, que celui-ci soit figuré ou adsorbé par la couche périphérique amorphisée dite de Beilby (Arbey, 1988).

Les solutions et gélées, réduites ou oxydées, circulent latéralement plus facilement dans les strates poreuses de granulométrie grossière que dans les plus fines d'où l'individualisation de niveaux réduits ou oxydés, évoluant dans le temps; les plus grossiers s'oxydent plus vite.

Le fer libéré par les actions bactériennes réductrices peut imprégner les éléments figurés organiques les plus résistants sous forme de protosulfures et de sulfures qui évolueront ensuite en hydroxydes ferriques amorphes, en goethite puis éventuellement en hématite. L'épigénie des membranes, cloisons et autres structures tenaces, soit chitineuses (champignons ?), soit celluliques (algues ?), des organismes du Trias et du Jurassique - thallophytes (?) - que nous allons décrire, peut s'expliquer simplement de cette manière. Il n'est pas rare de trouver sur des plages bretonnes, dans les laisses de mer, des méristodermes isolés provenant de stipes de laminaires, pyritisés puis hydroxydés (Pors Logan, 2003 in : Arbey, 2006).

Les stades détaillés (annexes, pl. 9) de ces ferruginisations ont été observés, en particulier, lors de l'accumulation, après des tempêtes dans un fond de baie, de centaines de tonnes de *Laminaria hyperborea* (anse de Kernic, Bretagne). La couche organique de 70 à 90 cm d'épaisseur à l'origine, s'interstratifiait par recouvrement dans des sables littoraux tidaux sur les km d'un «delta de flot».

En une quinzaine d'année, l'épaisseur a diminué par tassement et destruction des thalles.

En 2005, le niveau organique se réduisait à une couche de 30 à 40 cm d'épaisseur, de stipes épars dans le sable noirci par du protosulfure de fer. La medulla était encore intacte. Bien que le milieu soit partiellement ouvert sur le large par une passe, le liquide interstitiel du delta de flot, saumâtre, saturé en bactéries sulfureuses et en sulfure de fer, continue encore actuellement à dégager H₂S et CH₄ en très forte quantité

d'où une grande toxicité. Il imprègne de manière diffuse le sable sus-jacent, colorant en noir localement les dépressions des mégarides des marées actuelles. Il s'agit donc, d'un phénomène très rapide géologiquement, car pluridécennal.

Notons que ces produits organiques issus des algues brunes (polysaccharides, alginates, en particulier les acides guluronique et mannuronique) se mêlent ici en grande quantité au sable et, par le biais de la couche amorphisée de Beilby, créent de nombreuses liaisons silanol (Si-OH) fragiles qui se rajoutent à celles de l'électrolyte de base. L'ensemble fortement thixotrope était en 2007 spectaculairement mouvant (annexes pl. 9, figs. 3 et 4).

2.2.2 - La fossilisation des Nématophytes de l'Ougarta.

Les formes tubulaires ont une certaine ressemblance limitée avec les Nématophytes développées dans les milieux proglaciaires des mers desalées du fini-Ordovicien d'Ougarta, considérées comme des algues (Arbey, 1970, figs. 3 et 4, 1971; Koeniguer, 1975; Arbey et Koeniguer 1979, figs. 1, 2, 3, 4, 5 et 9; Arbey, 1988; Arbey, 2006, pl. 46) :

Dans le cas des Nématophytes ougartiennes, la pellicule périphérique millimétrique ferruginisée fait penser à un méristoderme tubulaire d'algue brune (Arbey, 2006, pl. 47) ayant subi une induration suivant le processus type suivant :

a- in situ, la Matière Organique tenace du méristoderme subit en milieu réducteur une imprégnation pyriteuse, la médulla entretient, en se dégradant, le milieu réducteur qui solubilise le fer du milieu encaissant et le concentre sur l'enveloppe périphérique;

b- des déformations précoces - plis plus ou moins hélicoïdaux (Arbey, 2006, pl. 46) - ont lieu au cours du remplissage et du tassement du tube par le sédiment encaissant qui remplace la médulla. Celle-ci se dégrade en effet plus rapidement que le méristoderme;

c- plus tard, après la consommation totale de la MO par les bactéries réductrices, il y a oxydation et remplacement de la pyrite (bactéries

ferroxydantes) par de l'hydroxyde de fer $\text{Fe}(\text{OH})_3$ puis par de l'hématite Fe_2O_3 (annexes, pl. 9, fig. 1).

Ici, le remplissage détritique sableux correspond aux sédiments littoraux de l'Ordovicien environnant.

En dehors des formes tubulaires et sections horizontales parfois ressemblantes avec les restes triaso-jurassiques, les différences entre ces deux types de thallophytes sont multiples. Il a été trouvé, en particulier, dans l'Ordovicien proglaciaire une empreinte de thalle vertical plat de 6 m de haut dans les grès (Arbey, 1971), de plus ces algues se retrouvent souvent en débris pliés dans des dépôts morainiques grossiers.

3- Les sites fossilifères et les organismes

3.1- Les « organismes » du Trias de la base de la coupe

Les formes organisées rencontrées ne laissent aucun doute sur une origine organique très polymorphe. Les restes sont donc ferruginisés en oxydes et hydroxydes de fer cimentant les sédiments périphériques ou ayant pénétré dans des cavités organiques. Certaines cloisons sont calcifiées.

Certains de ces fossiles rappellent les sections tubulaires concentriques ou cloisonnées des algues géantes, rapportées aux «Nématophytes (Prototaxites)», marines, littorales, décrites précédemment dans le cortège glaciomarin de l'Ordovicien supérieur de la Chaîne de l'Ougarta (Arbey, 1970, 1971 et 2006; Arbey et Koeniguer, 1979; Koeniguer, 1975). D'autres font penser à d'autres thallophytes, des champignons divers.

3.1.1- Description des formes

3.1.1.a- Les tubercules (pl. 2, fig. 9 et pl. 6, figs. 1 à 3)

Des formes trapues, refermées sur elles-mêmes, remplies d'hydroxyde de fer pulvérulent, (pl. 6, fig. 3) ont une grande ressemblance avec les truffes actuelles, tout particulièrement avec les «terfess» et autres «truffes blanches» asco-

mycètes bien connus dans tous les déserts (annexes pl. 2, fig. 1).

Certaines protubérances des tubercules (pl. 6, fig. 2) sont-elles des « aleas », classiques de leurs formes, ou des départs de futures structures verticales ?

3.1.1.b- Les formes verticales, leurs embases et leurs apex.

3.1.1.b-1. Les embases (pl. 7, fig. 1 à gauche, pl. 2, et figs. 5 au milieu, 10 et 11)

Dans la mesure où il est possible de les observer, sans être destructif des sites en les exca-
vant (inutilement ?), nous observons parfois des formes arrondies s'amincissant vers le haut, ce qui fait penser à des implantations de champignons.

3.1.1.b-2. Les formes tubulaires, «stipes».

De très nombreux tubes verticaux ou couchés par l'érosion représentent la majorité des structures conservées. Leurs diamètres sont centimétriques, voire décimétriques. Leurs structures internes s'observent à la faveur de coupes transversales et longitudinales (pls. 6 et 7).

- Les sections concentriques (pl. 7, figs. 3, 4, 5, 7, 10).

L'éolisation actuelle accuse finement les différences de dureté des épigénies et des remplissages des cavités. Les multiples anneaux concentriques peuvent être attribués à des algues pérennes ou à des végétaux. Les stipes actuels des champignons (planches en annexes) ne semblent pas avoir de structures annulaires aussi régulières et nombreuses au stade adulte.

- Les groupes de stipes (pl. 7, figs. 4 et 5).

Les «associations» sont doubles, rarement triples.

Les stipes jumelés sont le plus souvent de tailles semblables et parfois de tailles différentes. Ces groupements peuvent être simplement le résultat de plusieurs croissances parallèles et proches.

- Les stipes tubulaires, alvéolaires d'aspect «poreux».

Ces stipes sont peu nombreux. Sont-ils des tubes poreux ? L'un a une surface alvéolisée (pl. 7, fig. 8). L'autre est déformé latéralement comme le ferait un tube de carton ondulé (cellulaire) et des éléments détritiques sont visibles dans la paroi (pl. 7, fig. 7).

Les grains sont-ils entrés en force dans certaines alvéoles d'un stipe ou font-ils partie du remplissage détritique grano-classé (!?) d'une enveloppe tubulaire disparue ? Des grains de quartz millimétriques n'auraient aucun mal à pénétrer sous faible pression au travers des fines cloisons chitineuses rigides des stipes actuels (annexes, pl. 4, fig. 4 et pl. 5, fig. 6).

- Les petites sections diverses (pl. 5, figs. 1 à 6).

Ces sections font beaucoup penser aux petites sections des Nématophytes ordoviciennes. On y voit : des cloisons internes (pl. 5, figs. 5 et 6) et des passages de 2 à 3 tubes creux (pl. 5, figs. 2a et 2c). Le moule externe, détritique grossier, entoure-t-il 2 stipes situés côte à côte ? Sur la figure 1 de la planche 5, on voit une forme rare passant de l'horizontale à la verticale, est-ce un fragment rhizomateux ?

- Les terminaisons apicales des stipes (pl. 2, fig. 11; pl. 6, figs. 4, 7; pl. 7, figs. 1 et 6).

Les stipes se terminent avec des «chapeaux» de formes diverses, intactes ou tronquées par l'érosion; dans ce dernier cas une cloison ferrugineuse résistante sépare le sédiment extérieur de l'intérieur moins résistant - fer pulvérulent, grès fin à zonations concentriques (pl. 6).

Ces terminaisons sont :

- arrondies (pl. 6, figs. 4 et 6);
- sphéro-coniques isolées ou réunies (pl. 2, fig. 11; pl. 6, figs. 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11; pl. 7, figs. 1 et 6);
- bulbeuses, irrégulières (pl. 7, fig. 1);
- bolétiiformes (pl. 2, figs. 10 et 11);
- des excroissances bourgeonnantes, adventives (pl. 6, figs. 2 et 3; pl. 7, fig. 1).

3.1.1.c- Les insertions latérales, emboîtées.

Ce sont les plus grandes et les plus complexes des structures rencontrées. Elles sont pluridécimétriques parfois plurimétriques (pl. 9, figs. 1 et 2).

Les «cloisons» montrent des insertions latérales comme quelques algues géantes actuelles (pl. 9, figs. 1 à 13) ? Certaines ont des orientations spirales orientées (pl. 9, figs. 2 et 3), est-ce dû à des courants ?

Cependant géométriquement les sections de certains champignons comme les pézizes en forme de coupes ondulées parfois recouvrantes (pl. 9, fig. 15; annexes pl. 7, fig. 4), les trémelles plissotées ou aux dessins finement cérébroïdes (annexes, pl. 7, figs. 5 et 6) ou de certains lichens plaqués, ondulés ou en forme de coupes (annexes, pl. 8), peuvent conduire à des aspects semblables.

Notons que ces restes étant tronqués par la surface de la ferricrète, nous n'avons pas de renseignements sur la terminaison de ces organismes : par exemple, la grande forme qui a l'allure d'une cuvette souple, métrique, déformée par des plis (pl. 9, fig. 15) avait-elle un «chapeau» ? Sinon, il est en effet remarquable d'y retrouver la forme d'une pézize ou peut-être d'un lichen.

3.1.1.d- Les structures «tentaculaires».

Certaines structures fossiles «horizontales», de part leurs tailles, leurs formes, leurs courbures et leurs dépressions axiales (pl. 10, figs. 1, 2 et 3), font plutôt penser à des «tentacules», excroissances du chapeau de certains champignons phallacés (annexes, pl. 5, figs. 2 et 4; pl. 6, figs. 1 à 5) qu'à des rhizoïdes, des rhizomes ou à des «racines».

3.1.1.e- Les «tiges de bambous».

Quelques très rares restes ressemblent à s'y méprendre à des tiges polygonales verticillées et cloisonnées de bambous (pl. 10, figs. 4 et 5).

Les tubes sont finement épigénisés en fer, ils se débitent verticalement (?) en panneaux suivant les angles de la section transversale poly-

gonale et horizontalement au niveau «des nœuds» marqués intérieurement par l'étranglement du «verticille» (pl. 10, fig. 5e).

3.2- Annexes

Comparaisons morphologiques avec les champignons et les lichens.

Les champignons, dont quelques aspects morphologiques majeurs sont exposés dans les 8 planches en annexes, ont la propriété d'être polymorphes et d'avoir une grande variété de membranes et de cloisons tenaces (volva, etc.) s'individualisant au cours de leur développement. Certains autres tissus sont tantôt fugaces car gélatineux (gleba, etc.) ou pulvérulents (spores), tantôt fragiles, souples ou cassants car spongieux ou alvéolaires (stipes), ils évoluent parallèlement au cours de la croissance.

Il est clair dès lors que les tissus les plus résistants dans le temps peuvent servir de «moules» passagers, les autres piégeront plus ou moins vite les ions ou seront remplacés par les sédiments selon leurs modes et leur vitesse de dégradation.

Les phénomènes rédox qui ont permis la conservation de ces restes sont illustrés par les planches 9 et 10.

Ces processus de fossilisation sont grossiers et classiques, mais nous ne disposons que de leurs résultats...

LES ORGANISMES DE LA BASE DU JURASSIQUE

1- Les restes de «champignons».

Nous retrouvons dans le Jurassique des organismes semblables à des champignons, dans des dépôts fluviatiles ayant subi une forte pédogénèse ferrugineuse et carbonatée noduleuse (kerboubes).

1.1- Les embases sphériques (pl. 11, figs. 1 et 7)

Ces embases ressemblent à celles des champignons (volva) et font penser aux corps de fixation de formes diverses de bien des organismes

des milieux meubles sableux ou vaseux (pieds de certaines anémones de mer, lobolites des *Schizophocrinites elegans* siluriens – parfois considérés comme un flotteur ? - etc.).

1.2- Les stipes cylindriques, évasés,
à apex sphériques
(pl. 11, figs. 1 à 6 et pl. 12, figs. 1 à 3)

Les pilons ou massues, dont «celles de Hueber» ressemblent beaucoup aux lycoperdacées et aussi d'une manière troublante à certaines basidiomycètes comme les *Clavariadelphus* (annexes, pl 7, figs. 1, 2 et 3).

Les renflements apicaux sont le siège de la sporogénèse donc, avant ouverture, ils sont aptes à capter les solutions de fer et, après l'ouverture de ou des ostioles, ils sont dans la capacité de se remplir de sédiments divers.

1.3- Les formes sphériques
avec ouvertures
(pl. 12, figs. 4 à 6)

Les restes les plus curieux ressemblent, l'un à une théière, l'autre à une marmite et le troisième à une lampe à bec. Ces formes sphériques évoquent les lycoperdacés et les géastéracés dont les formes sont globuleuses ou en masses trapues. Leurs diamètres actuels varient entre quelques cm pour la «vesse de loup» classique et plus de 70 cm pour *Langermania* (annexes, pl. 2, fig. 2).

À maturité, la sortie des spores se fait par des ouvertures de diamètre variable, parfois au sommet d'une excroissance conique (annexes, pl. 2, figs. 4, 6, 7, 8 et 10). Au cours du développement de ces champignons, diverses cloisons, couches ou masses s'individualisent avec des caractères physicochimiques très différents qui conduiront éventuellement à des possibilités de fossilisations diverses (annexes, pl. 2, figs. 3, 5, 6 à 10). A priori, les pellicules chitineuses sont les plus résistantes, les gels sont plus aptes à piéger le fer. Ainsi que déjà noté au § II-1-2, les spores sont fugaces et libèrent des espaces pouvant piéger les sédiments avant ou après l'épigénie des diverses parois par des carbonates ou par le fer.

2 - Les restes de «végétaux».

Par ailleurs, des restes probables de végétaux (rhizolithes, branches, troncs) se retrouvent dans des dépôts fluvio-éoliens.

Des grès graveleux contiennent des restes de grande taille qui font penser par leurs macrostructures à des troncs et à des branchages abattus ou flottés et apportés par des crues (pl. 4, figs. 1 à 4).

Des racines gainées de précipités, carbonatés (rhizolithes), de grande taille, traversent les stratifications fluviales et indiquent aussi la présence probable de végétaux s.str. Leurs aspects extérieurs reflètent finement le type de stratification encaissante (pl. 4, figs. 5 à 9), fluviale ou éolienne. Les rhizolithes des sédiments éoliens sont de simples tubes carbonatés, fins, débarrassés par l'érosion actuelle (corrosion) du grès fin environnant (pl. 4, fig. 6A).

LE JURASSIQUE DU NORD
DE «LA RECLÉE»

Les «organismes»

Dans les grès fluviaux à nodules calcaires du Nord de «La Reclée», nous avons trouvé des embases sphériques, contenant des kerbours pédologiques périphériques, ceci incite à penser que la précipitation interne était phréatique centripète (pl. 13, figs. 1 et 2). Ces structures sphériques font penser aux embases similaires du Trias fluviale.

Elles ressemblent aux corps de fixation bulbeux, souvent déformés, creux et à rhizoïdes de fixation, des grandes algues (> 5 m) brunes *Saccorhiza polyschides* que l'on trouve souvent à l'état fragmentaire remplis de sable sur les estrans bretons. Les deux sphères en place dans le Jurassique montrent qu'il s'agit de corps de fixation en milieu meuble.

Ces grès à kerbours ont aussi montré deux stipes légèrement coniques, un peu torsadés, dont le remplissage est gréseux et l'orientation perturbée par l'érosion actuelle. L'un des stipes est en connexion latérale avec un thalle élargi dont la surface se desquame en taches dont la

patine est différente (pl. 13, fig. 4). Au même endroit, se trouvent deux autres fragments de thalle (pl. 13, fig. 3). Remarquons la similitude de la photo 4 de la planche 13 avec le dessin de l'algue marine rhizomateuse dévonienne de Corsin (1945) (in : Arbey, 2006, pl. 46, figs. 5 et 6).

Nous n'avons pas de preuve permettant de relier avec certitude les embases sphériques et les stipes rencontrés bien que cela soit plausible. De même, les organismes (embases et stipes de «champignons») de la planche 12 du Jurassique plus basal n'ont pas encore fourni la moindre indication d'insertion éventuelle de thalle similaire à celui de la planche 13 (figs. 3 et 4).

QUELQUES QUESTIONS GÉNÉRALES, DISCUSSION

- Les stipes dérivent-ils de la croissance des bourgeons des tubercules, ceux-ci n'étant que des «œufs» se développant ? La photo 1 de la planche 7 incite à le penser, la protubérance latérale du «cèpe» aussi (pl. 2, fig. 11). À moins qu'il ne s'agisse de formes tératologiques !?

- Les terminaisons sont souvent creuses et remplies d'une poussière d'hydroxyde de fer à l'instar des sphères et d'autres extrémités : serait-ce la conséquence logique d'une cavité sporifère fugace, qui fermée piègerait les précipités de fer, et ouverte piègerait le sédiment disponible ?

- La complexité transversale des stipes refléterait-elle une caractéristique saisonnière ou pérenne de ces organismes ? Les sites donnent une impression de relative durabilité.

- Les membranes calcifiées (pl. 6, figs. 4, 9, 11; pl. 7, fig. 3) semblent être à la périphérie extrême de l'organisme comme l'exoperidium mince et assez résistant de la volva (annexes, pl. 3, v).

- Les organismes de la base du Jurassique, à la morphologie plus proche de celle des champignons (pls. 11 et 12), et dont la base possède l'arrondi mycologique classique ont-ils évolués vers le haut du Jurassique en donnant les «algues» de la planche 13 «reconnaissables à leur thalle foliacé distal» ?

- Comment vivaient ces grandes thallophytes dans des fleuves, a fortiori des oueds probablement temporaires ?

- Y-a-t-il eu des relations phylogénétiques «algues <—> champignons» entre les diverses thallophytes du Trias et du Jurassique décrites ci-dessus ?

- Enfin, les algues ordoviciennes ont-elles évolué, et par quel biais, vers les thallophytes s.l. des zones humides, marécages ou fleuves, lointains du Trias et du Jurassique continentaux d'In Amenas ?

Déjà en 1891, Fauvelle se posait des questions de phyllogénie à propos des algues, des champignons et des plantes fossiles en envisageant les milieux de vie à partir du Silurien ...

Sans microstructures et sans matière organique conservées ces questions semblent insolubles dans l'immédiat.

CONCLUSIONS

Il semble clair que sous le nom de Nématophytes ou de Prototaxites ont été décrits depuis 1859, dans la littérature, des «organismes végétaux ou non», très différents non seulement par leurs caractères microscopiques, leurs morphologies mais aussi par leurs biotopes (Arbey et Koeniguer, 1979; Boyce et al., 2007; Burgess et Edwards, 1988; Carruthers, 1872; Chiarugi, 1934; Church, 1919; Corsin, 1945; Cuventhers, 1872; Dawson, 1859-1888 (in : Hueber, 2001), Dawson, 1859-1888 (in: Penhallow, 1889); Dubois et al., 1964; Hueber, 2001-2007; Koeniguer, 1975; Kräusel, 1964; Niklas, 1976; Schmid, 1976; Selosse, 2002).

Certains sont très bien conservés (silice, milieux réducteurs), d'autres n'ont conservé que leurs aspects macroscopiques carbonatés et ou ferruginisés.

En tout état de cause, il semble que les plus anciens trouvés dans l'Ordovicien marin proglaciaire d'Ougarta, sous la zone à Hirnantia, soient des algues avec un stipe parfois complexe et un thalle vertical plurimétrique (empreinte plane, sub-ovoïde de 6 m).

Une partie des autres Nématophytes semble être plus proche des champignons (Hueber, 2001 et

2007, Boyce et al., 2007) ou des lichens (Selosse, 2002). Certains ont été décrits à l'origine comme des végétaux supérieurs (Prototaxites).

Des champignons ascomycètes ont été trouvés dans le Trias de l'Antarctique (White et Taylor, 1988).

Les restes du Trias et du Jurassique inférieur d'In Amenas ressemblent aussi à des champignons. Certains ont, en plus d'une morphologie ressemblant à la massue géante déjà décrite (Hueber *ibid.*), une polymorphie qui fait penser à celle qui se retrouve au cours de la croissance de certains champignons actuels à différents stades de leur développement qu'ils soient comme nous l'avons vu des ascomycètes ou des basidiomycètes. Une origine algale n'est pas à éliminer totalement pour certaines des formes ferrugineuses observées.

Les organismes du sommet jurassique de «La «Reculée» font davantage penser à d'autres thallophytes, des algues avec un stipe ou un rhizome remplis par du grès et un thalle dont il ne reste que l'empreinte.

Enfin des végétaux ont laissé des traces sous forme de mauvais moules de troncs, de branches, de précipitations carbonatées racinaires. Des bambous ont peut-être même laissé des restes épigénisés.

Remerciements – Les auteurs remercient le Vice-président Amont de la Sonatrach ainsi que le Directeur Régional In Amenas de la Division Production de Sonatrach sans qui les missions de terrain n'auraient pu se dérouler correctement, ainsi que l'Agence Nationale de la Géologie et du Contrôle Minier.

Les auteurs remercient le Prof. Ph. Taquet pour sa relecture du manuscrit et ses remarques.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHAB, A. 1970. Le Permo-Trias saharien. Associations palynologiques et leurs applications en stratigraphie. Thèse 3^{ème} cycle, Faculté des Sciences, Univ. d'Alger, 144p., 14 fig., 10 pl.
- AÏT OUALI, R., NEDJARI, A., TAQUET, PH., BITAM, L., TAYEB CHERIF, L. ET BOURAS, R. 2010. Le Zazaïtine inférieur (In Aménas, Sahara algérien) : derniers développements dans une série du Trias pro parte. Mémoire du Service Géologique de l'Algérie. Alger, pp.1-26, 5 fig., 16ph.
- ARBÉY, F. 1970. Les milieux de sédimentation des séries ordoviciennes terminales des Monts d'Ougarta : associations algues et graptolites, évaporites. (Sahara algérien). Arch. Orig. CNRS, 486, 5p., 4 pl.
- ARBÉY, F. 1971. Les milieux de sédimentation des séries ordoviciennes terminales des Monts d'Ougarta (Sahara algérien) : algueraies et graptolites. Découverte d' « algues géantes » . C. R. Acad. Sci. (Paris). D, 273, pp. 1265-1267.
- ARBÉY, F. ET KOENIGUER, J.C. 1979. Les Nématophytes et les algueraies de l'Ordovicien et du Dévonien saharien. Bull. Centre Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine, 3, 2, pp. 409-418, 17 fig.
- ARBÉY, F. 1987. Les anneaux de Liesegang, vestiges des phénomènes d'oxydo-réduction des périodes régressives du Cambro-Ordovicien des Monts d'Ougarta (Sahara algérien). II^e Col. Géol. Afric. In : 112 Congr. Nat. Soc. Sav. Lyon, pp. 189-221, 21 fig.
- ARBÉY, F. 1988. Diagenèses précoces et tardives. Silicifications et roches silicodétritiques. Thèse doct. ès Sciences. Univ. Paris-Sud Orsay, 540 p., 253 fig., 1 tabl., 24 pl. h.-t. n. b., 10 pl. h.-t. coul. inédit.
- ARBÉY, F. 2006. La glaciation ordovicienne dans la chaîne d'Ougarta : mise au point. Mém. Serv. Géol. Nat., 13, pp. 41-121, 48 pl.
- ATTAR, A., FABRE, J., JANVIER, PH. ET LEHMAN, J.P. 1981. Les vertébrés de la formation de Tiguentourine (Permo-Carbonifère, bassin d'illizi, Algérie). Bull. Mus. Natn. Hist. Nat., Paris, 4^{ème} sér., 3, section C., pp. 301-309.
- BOYCE, C. K., HOTTON, C. L., FOGEL, M. L., CODY, G. D., HAZEN KNOLL, A. H. AND HUEBER, F. M. 2007. Devonian landscape heterogeneity recorded by a giant fungus. Geology, 35, 5, pp. 399-402.
- BURGESS, N.D. AND EDWARDS, F.L.S. 1988. A new Palaeozoic plant closely allied to Prototaxites Dawson. Bot. J. Linn. Soc., 97, pp. 189-203.
- BUSSON, G. 1967. Le Mésozoïque saharien. 1^{ère} partie: extrême Sud tunisien. Publ. Cent. Zones arides, CNRS, Paris, Sér. Géol., 8, 18 fig., 31 pl., 4 tabl., 3 pl.
- BUSSON, G. 1972. Le Mésozoïque. 2^{ème} partie : essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Publ. Cent. Rech. Zones arides, CNRS, Paris, Ser. Géol., 11 (1 et 2), 810p., 152 fig., 31 pl., h.t., 3 cartes géologiques.

- CHIARUGI, A. 1934. Tronchi silicizarri di un alga arborea silurico-devoniana : Nematophyton saharianum n. sp. del Deserto Libico presso le Oasi di Kufra. *Nouv. Giorn. Bot. Ital.* (Firenze), 40, pp. 590-594.
- CORSIN, P. 1945. Les algues de l'Éodévonien de Vimy (P. de C.). *Soc. Sc. de l'Agric. et des Arts de Lille*, 86 p.
- DUBOIS, P., BŒUF, S. ET BIJU-DUVAL, B. 1964. Litho-stratigraphie du Dévonien inférieur gréseux du Tassili N'Ajjer. *Colloque français de stratigraphie sur le Dévonien inférieur* (Rennes). *Mém. B.R.G.M. (Paris)*, 33, pp. 29-31.
- FAUVELLE, 1891. Des transformations du règne végétal. *Bulletin de la Société d'anthropologie de Paris*, 2, 1, pp. 386 – 417.
- FISCHER, E. 1980. *Aseroë rubra* Labill. var. *junghuhnii* (Schltdl.). *Neue Denkschr. Allg. Schweiz. Ges. Gesamten Naturwiss.* 32, 74. In : «Commonwealth of Australia», 2003.
- HAECKEL, E. 1899-1904. *Kunstformen der natur*. Leipzig und Wien Bibliografisches institut.
- HUEBER, F.M. 2001. Rotted wood - alga - fungus: the history and life of *Prototaxites*. *Rev. Palaeobot. Palyn.*, 116, pp. 123-158.
- HUEBER, 2007. Devonian landscape heterogeneity recorded by a giant fungus. *Geology*, 35, 5, pp. 399-402.
- KOENIGUER, J.C. 1975. Les *Prototaxites* (Nématophytes) ordoviciens et dévoniens du Sahara central. 99^e Congr. Nat. Soc. Sav. Sciences. II, pp. 383-388.
- KRÄUSEL, R. 1964. *Rätselum Prototaxites Dawson*. *Fortschr. Geol. Rheindl. Westf. (Krefeld)*, 12, pp. 25-38.
- LEHMAN, J.P. 1957. Les stégocéphales sahariens. *Ann. Paléon., (Vert) Paris*, 53, pp. 139-146.
- NIKLAS, K. J. 1976. Chemotaxonomy of *Prototaxites* and evidence for possible terrestrial adaptation. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 22, pp. 1-17.
- NIKLAS, K. J. AND PRATT, L.M. 1980. Evidence for Lignin-Like Constituents in Early Silurian (Llandoveryan) Plant Fossils. *Science*. 209. 4454, pp. 396-397.
- SCHMID, R. 1976. Septal pores in *Prototaxites*, an enigmatic Devonian plant. *Science*. 191, 4224, pp. 287-288.
- SELOSSE, M.-A. 2002. *Prototaxites* : a 400 MYR old giant fossil, a saprophytic holobasidiomycete, or a lichen ? *Mycological Research*, 106, pp. 642-644.
- TUCKER, M.E. AND BENTON, J.M. 1982. Triassic environments, climate and reptile evolutions. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleogeology*, (40) : pp. 361-379.
- WHITE, J. F. JR. AND TAYLOR, T. N. 1988. Triassic fungus from Antarctica with possible ascomycetous affinities. *American journal of botany*, 75, 10, pp. 1494-1500.

Planches

Planche 1 - Les ferricrètes des marécages à organismes

The ferricretes of swamps with organisms

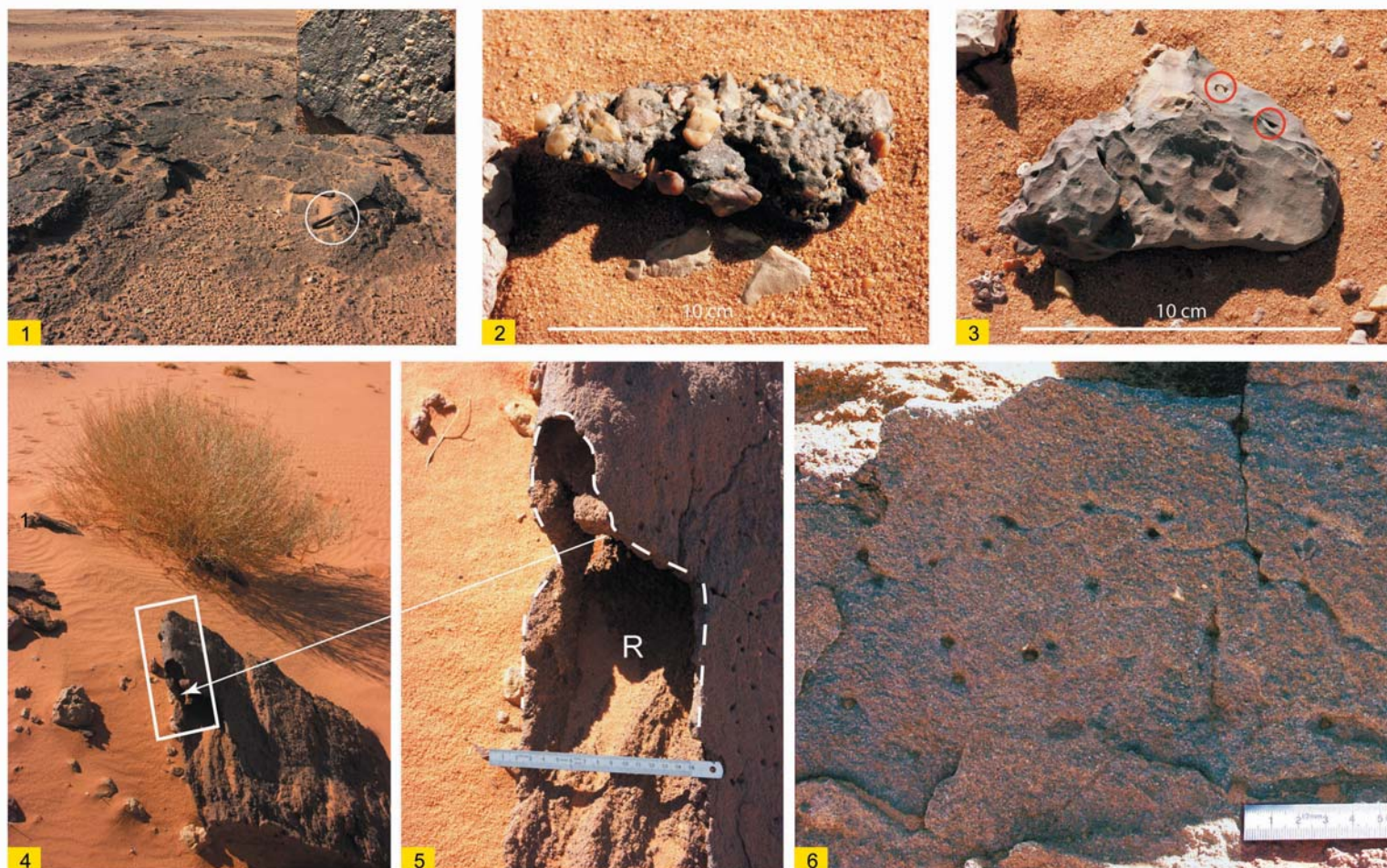


Fig. 1- Ferricrète microbréchique, détail, le marteau fait 33 cm. Fig. 2- Fragment de ferricrète à graviers arrondis et éolisés. Fig. 3- Fragment de ferricrète gréseuse. Dans les cercles rouges, on voit des sections racinaires. Fig. 4- Dalle de ferricrète, épaisse, structurée en un unique « anneau de Liesegang », et perforée par des racines. Fig. 5- Détail de la section oxydée (en tireté blanc) qui entoure l'ancien noyau résiduel réduit (R). Fig. 6- Les perforations racinaires.

Planche 2 - Les sites de la base du Trias
Sites of the *Trias bottom*

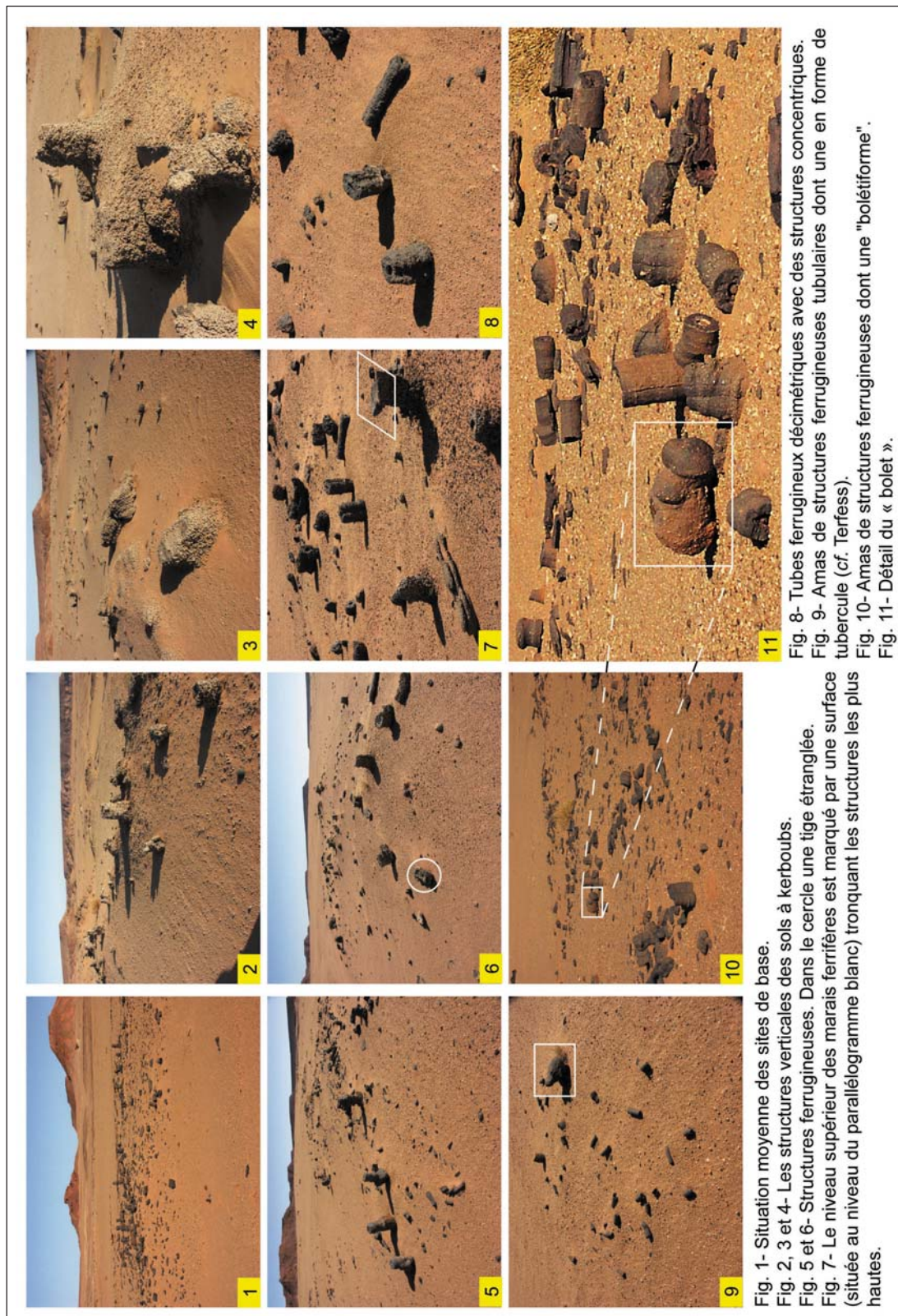


Planche 3 - Les paléosols à «kerbours» sur dépôts fluviatiles
Paleosols with «kerbours» on fluvatile deposits

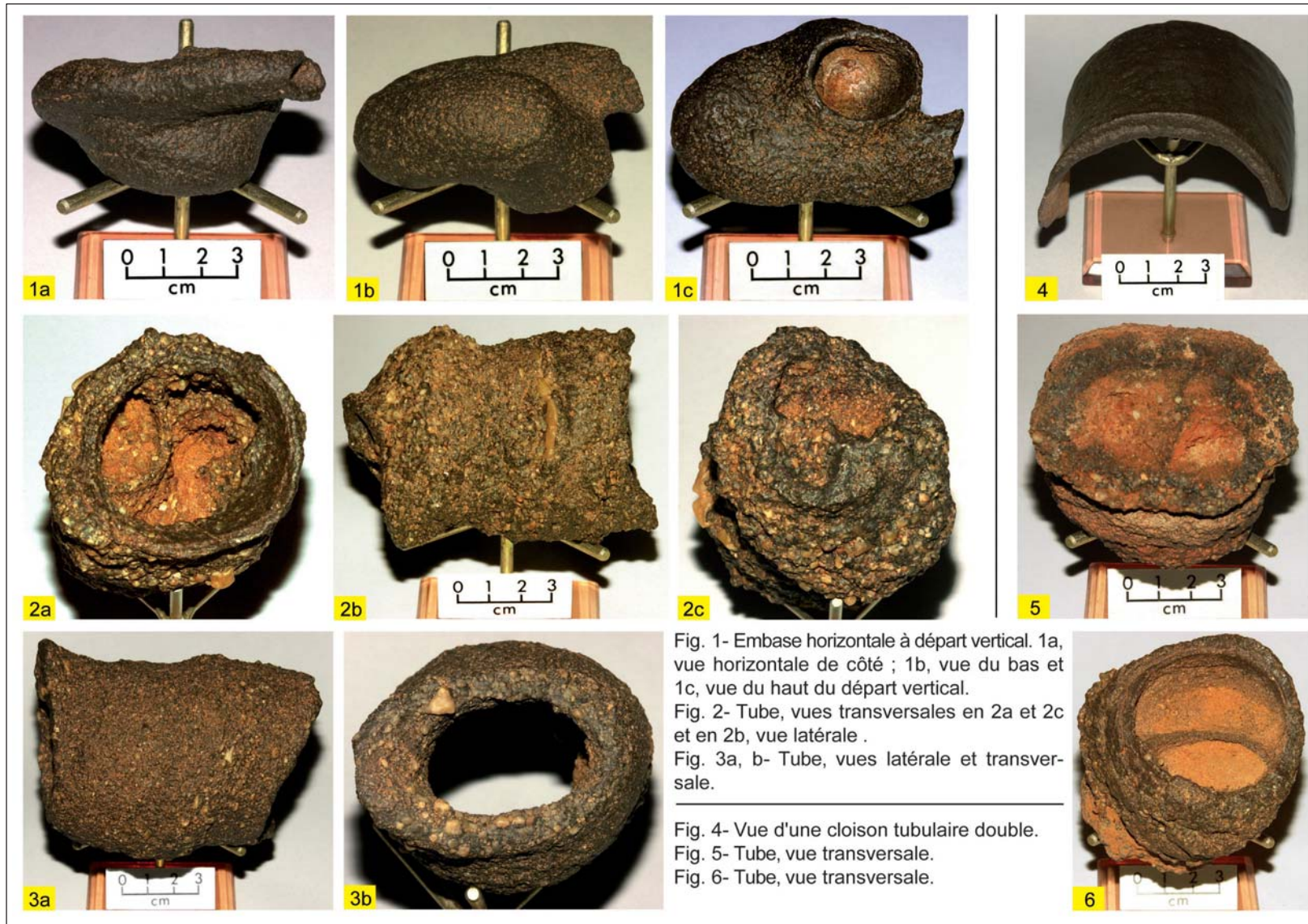


Planche 4 - Les paléosols à débris végétaux et à rhizolithes

Paleosols with plant remains and rhizolithes

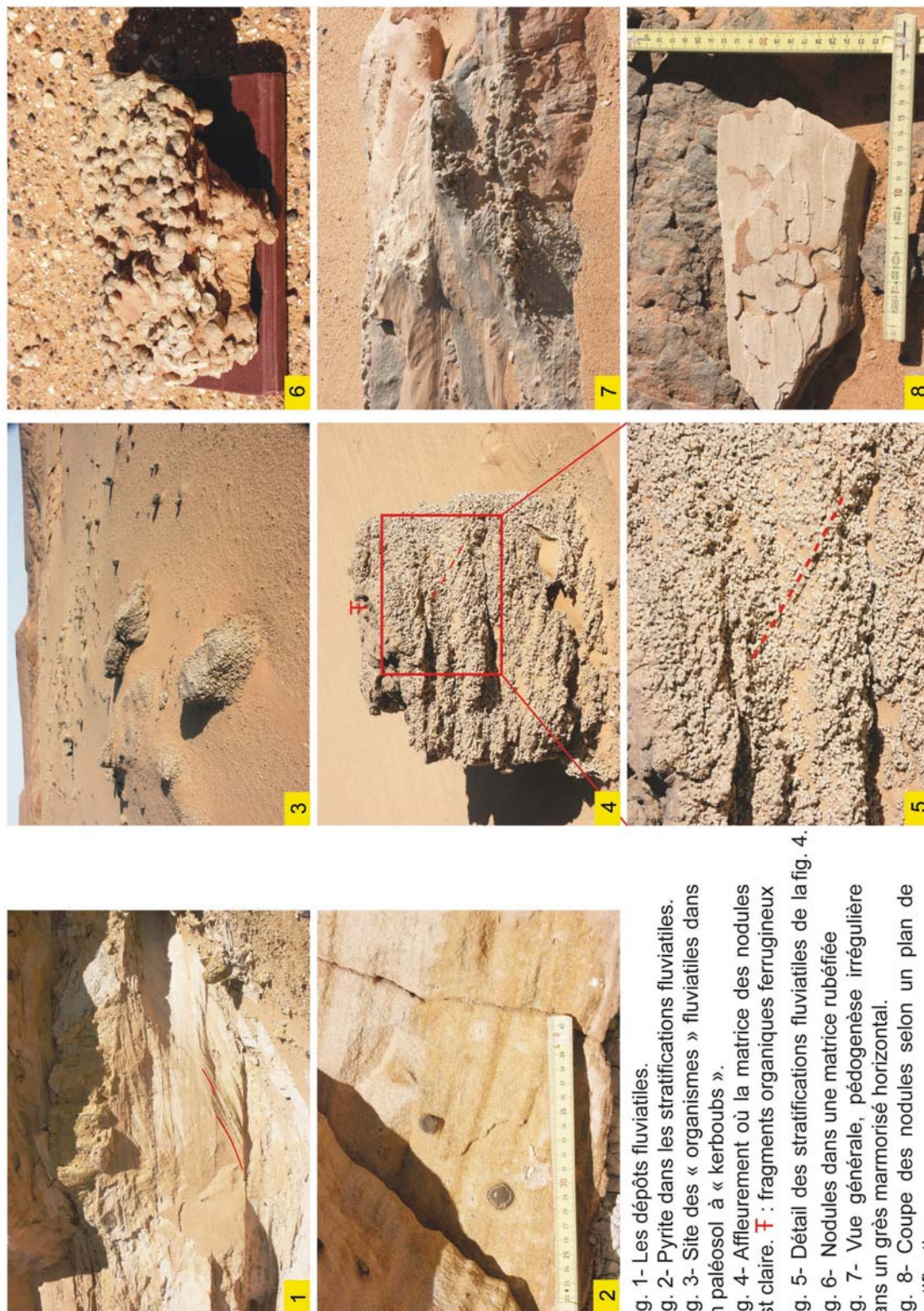


Fig. 1- Les dépôts fluviatiles.
Fig. 2- Pyrite dans les stratifications fluviatiles.
Fig. 3- Site des « organismes » fluviatiles dans un paléosol à « kerboub ».
Fig. 4- Affleurement où la matrice des nodules est claire. **T** : fragments organiques ferrugineux
Fig. 5- Détail des stratifications fluviatiles de la fig. 4.
Fig. 6- Nodules dans une matrice rubéfiée
Fig. 7- Vue générale, pédogenèse irrégulière dans un grès marmorisé horizontal.
Fig. 8- Coupe des nodules selon un plan de stratification.

Planche 5 - Les petites formes des marais ferrugineux

Small forms of ferruginous swamps

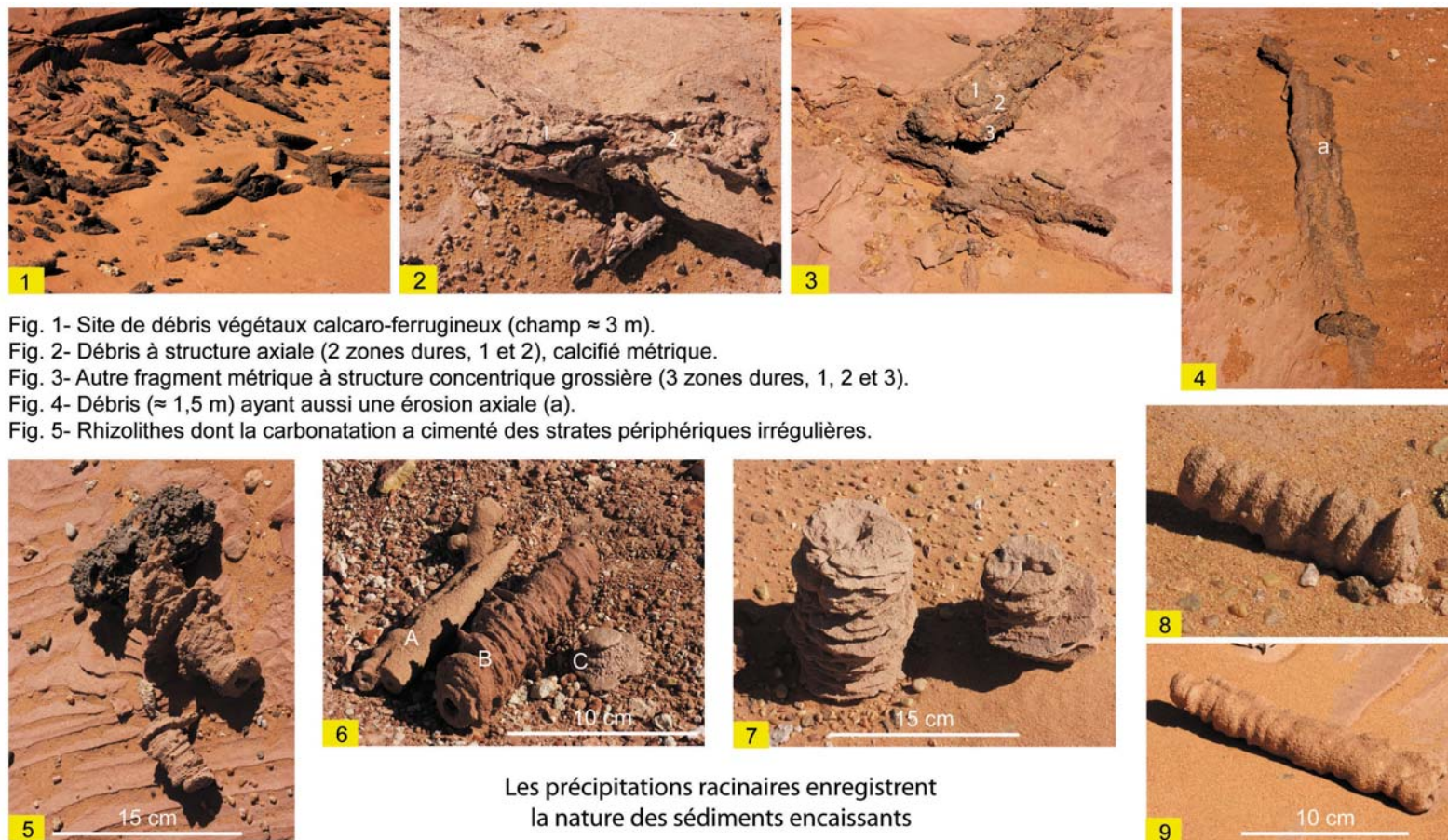


Fig. 1- Site de débris végétaux calcaro-ferrugineux (champ ≈ 3 m).

Fig. 2- Débris à structure axiale (2 zones dures, 1 et 2), calcifié métrique.

Fig. 3- Autre fragment métrique à structure concentrique grossière (3 zones dures, 1, 2 et 3).

Fig. 4- Débris ($\approx 1,5$ m) ayant aussi une érosion axiale (a).

Fig. 5- Rhizolithes dont la carbonatation a cimenté des strates périphériques irrégulières.

Fig. 6.A- Rhizolithe double, cylindro-cônique et cylindro-noduleuse cimentant un matériel homogène. 6.B- Rhizolithe piégeant des strates fluviales aux angles changeants. 6.C- Nodule stratifié à micro-kerbous.

Fig. 7- Rhizolithes entourés de disques dont les bords aigus suggèrent soit une granulométrie fine, soit un ancien ciment gypseux.

Fig. 8- Rhizolithe entourée de strates de granulométrie plus grossière ayant une résistance à l'éolisation alternée et régulière.

Fig. 9- Rhizolithe double.

Les précipitations racinaires enregistrent
la nature des sédiments encaissants

Planche 6 - Les tubercules et les terminaisons coniques
Knobs and conical ending

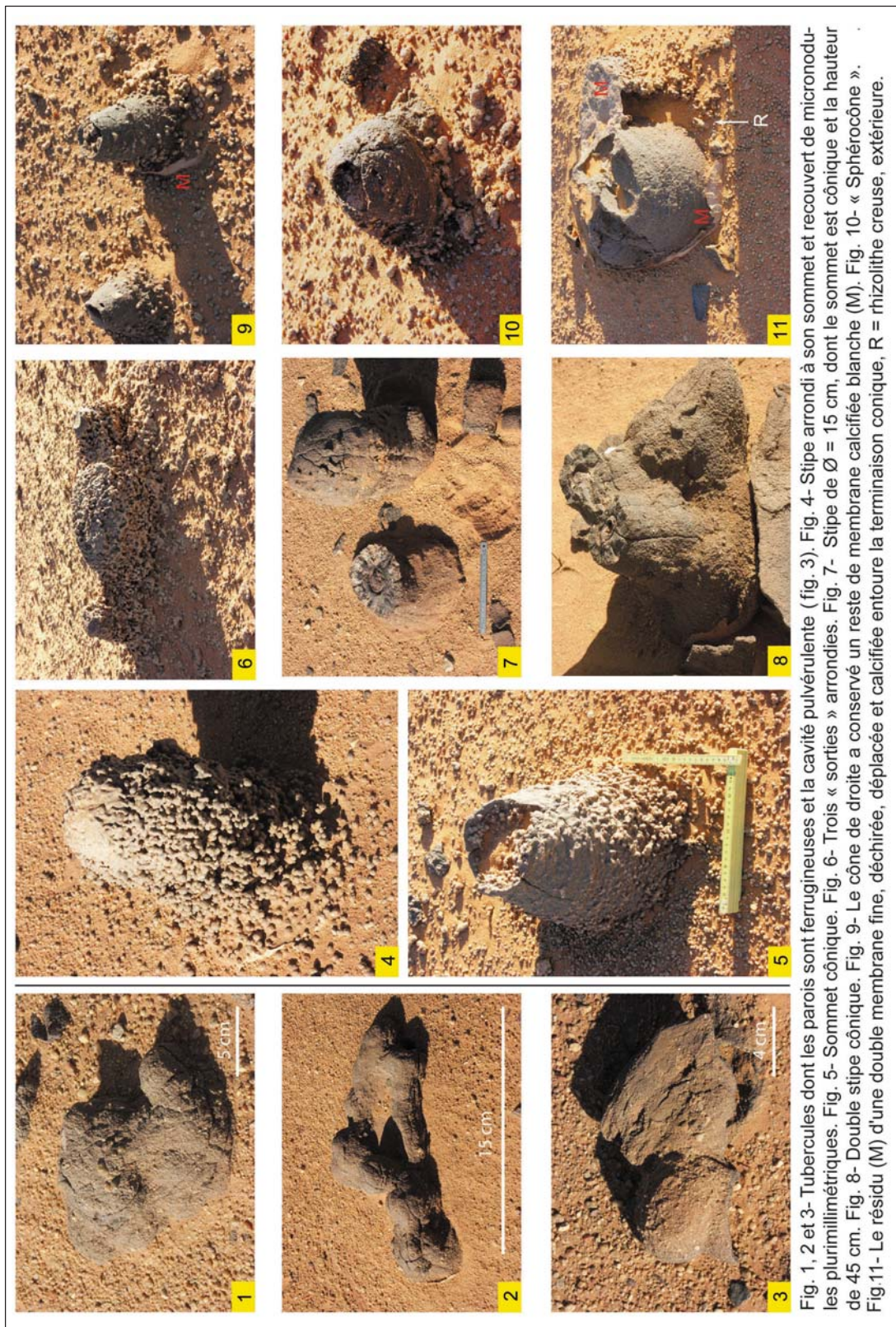


Planche 7 - Quelques formes extérieures de stipes simples

Some external forms of simple stipes



Fig. 1- Stipes dont les extrémités sont bulbueuses et creuses.

Fig. 2- Stipes verticaux d'où part une structure « rhizomateuse » horizontale.

Fig. 3- Zonation micro-noduleuse entourant un stipe et semblant jalonner une ancienne membrane périphérique.

Fig. 4- Structures internes zonées de stipes jumelés d'une calcrète à « kerbours ».

Fig. 5- Ferricrète contenant des stipes jumelés.

Fig. 6- « Rhizome » sortant verticalement, cf. fig. 9.

Fig. 7- Coupe transversale de stipe à paroi « alvéolaire », cf. annexes, pl. 4, fig. 4 et pl. 5, fig. 6.

Fig. 8- Stipe à paroi « alvéolaire », cf. annexes, pl. 4, fig. 4 et pl. 5, fig. 6.

Fig. 9- « Rhizome » sortant verticalement, cf. fig. 6.

Fig. 10- Stipe massif avec une fine structure concentrique. Hauteur ≈ 40 cm.

Planche 8 - Sections longitudinales de quelques stipes
Longitudinal section of some stipes



Planche 9 - Les formes de grandes tailles, plissées, à insertions complexes

Complicated big-sized, plicated and with insertion forms

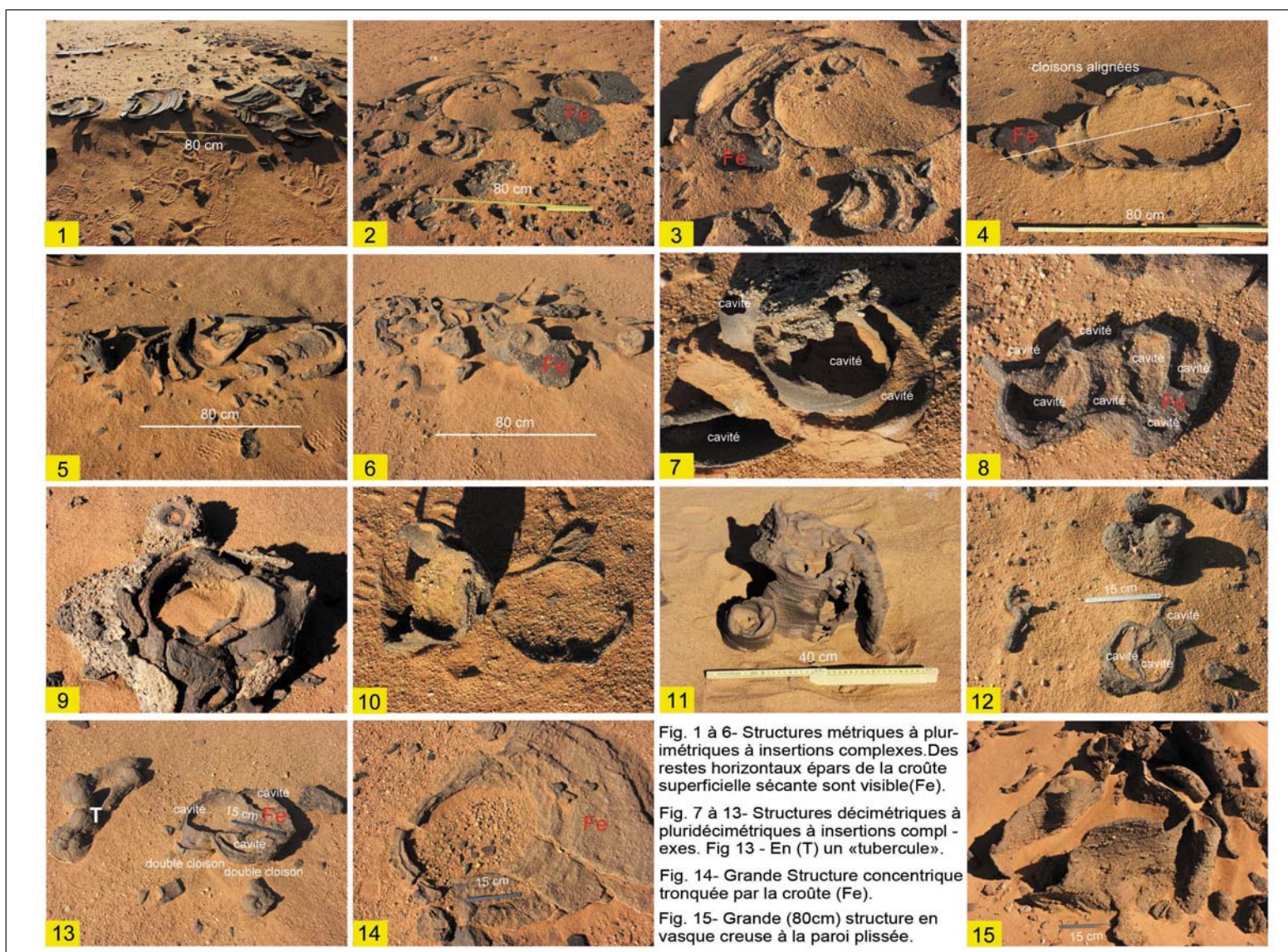


Planche 10 - Les « tentacules » et autres structures plus rares : types rencontrés
« *Tentacles* » and other rare structures of the found types



Fig. 1- « Tentacule » sinueux gainé par les kerbours plurimillimétriques de la calcrête.

Fig. 2- « Fragment tentaculaire » sinueux ; même échelle que la fig. 3.

Fig. 3- « Fragment tentaculaire » recourbé dont le diamètre semble variable et qui est aussi épigénisé en hydroxyde-oxyde de fer.



Fig. 4- Tige (?) marquée par un étranglement interne (e).

Fig. 5- Tige (?), avec un étranglement interne (e), fragmentée longitudinalement en trois et épigénisée massivement en hydroxyde (limonite)-oxyde de fer.

Fig. 6. 1 et 2- Deux stipes sub-verticaux (s) émettent latéralement deux prolongements parallèles, creux (p).

Planche 11 - Les formes subsphériques ou allongées dans les sédiments fluviaux 1

Subspherical or elongated forms in the fluvial sediments 1

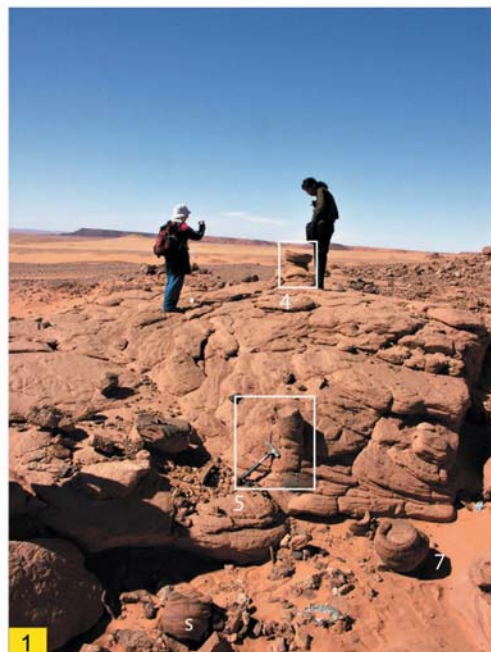


Fig. 1- Site fluvial type. Situation des fig. 4- tabouret, 5- stipe et 7- embase sphérique. En "s" une autre embase sphérique

Fig. 2- Autre site voisin couvert de fragments décimétriques.

Fig. 3- Deux stipes de 50 cm de haut, montrant un tassement oblique torsadé (cf. figs. 4, 5 et 6).

Fig. 4- Stipe en « tabouret évasé », hauteur ≈ 55 cm.

Fig. 5- Stipe avec tassement hélicoïdal faisant 40 cm de haut.

Fig. 6- Autre stipe pluridécimétrique en « tabouret évasé » avec des rhizolithes centimétriques (dans les cercles, des tubes carbonatés, creux dégagés par l'érosion et *in situ* dans les rectangles blancs).

Fig. 7- Une des embases sphériques, Ø ≈ 45 cm.



N.B. : toutes les structures organiques sont marquées par une légère mais nette concentration du fer (ciment d'origine rédox) ; la majorité présente aussi une déformation hélicoïdale oblique et géotrope.

Planche 12 - Les formes subsphériques ou allongées dans les sédiments fluviaux 2

Subspherical or elongated forms in the fluvial sediments 2

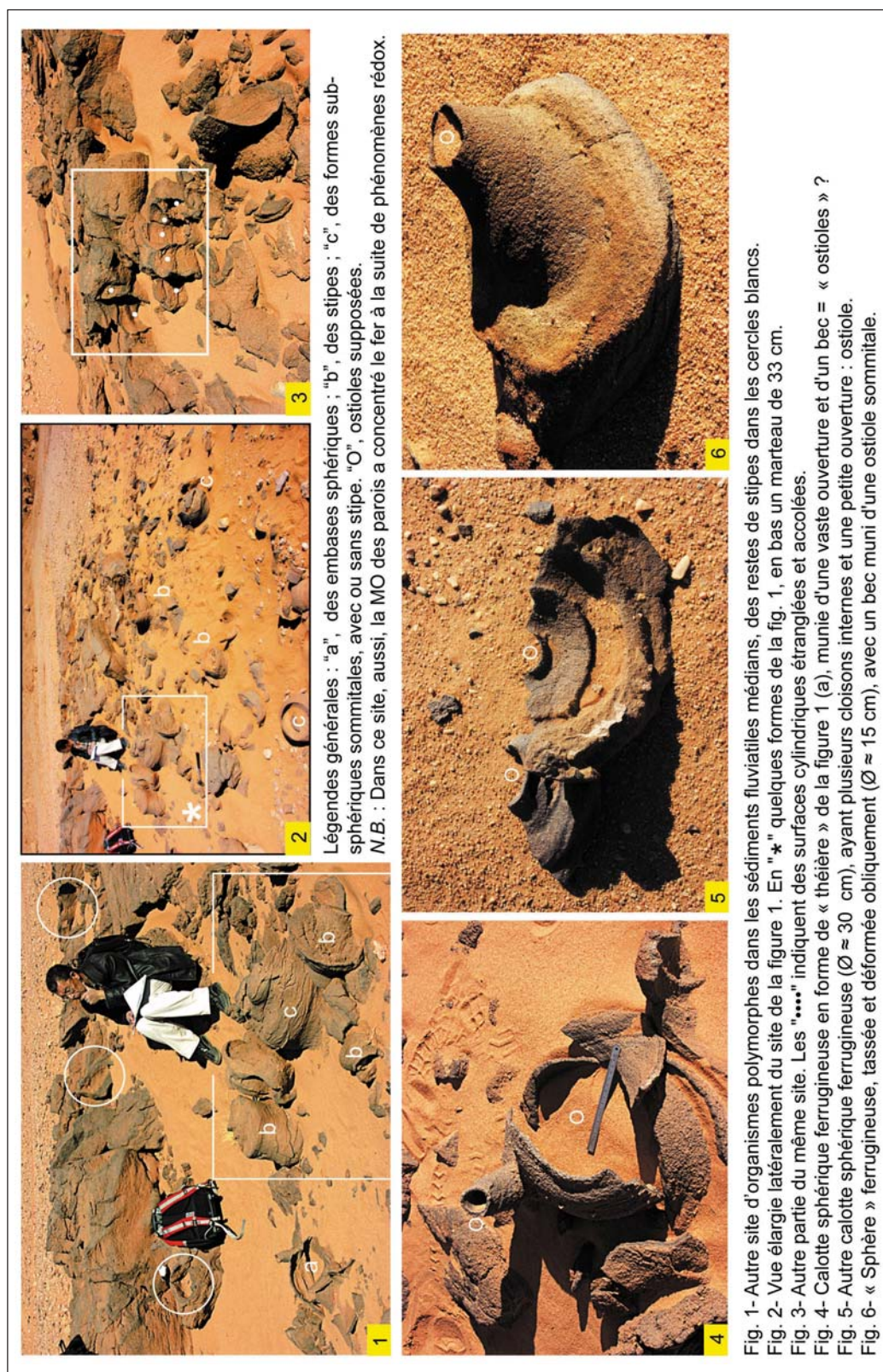


Planche 13 - Les thallophytes fluviatiles au Nord de la «Reculée»

Fluviatile thallophyta in the North of «La Reculée»

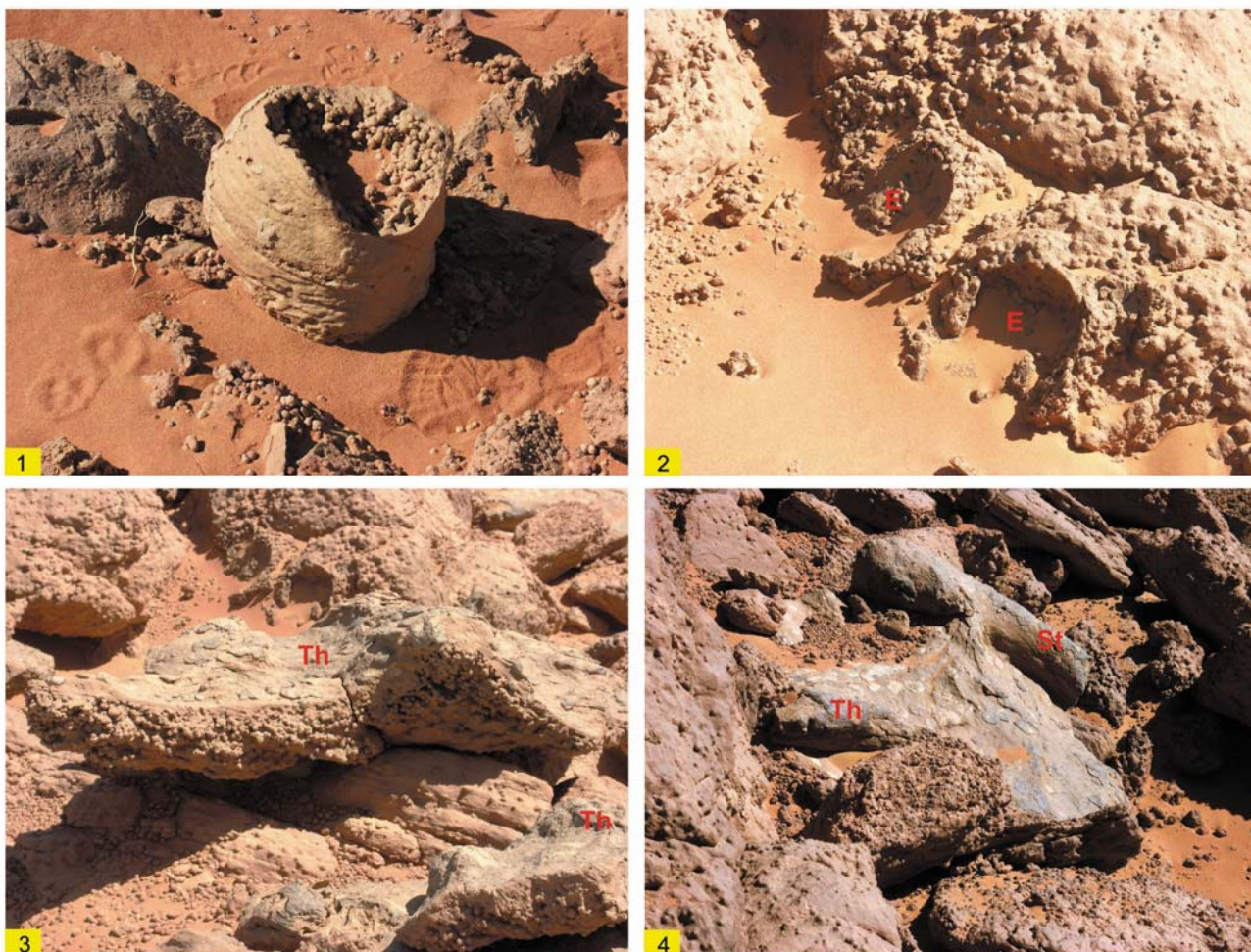


Fig. 1- Une embase sphérique ($\varnothing \approx 25$ cm). Fig. 2- Empreintes de deux embases sphériques (E) dans les grès fluviatiles à « kerbours ». Fig. 3- Fragments de « thalle » (Th) dans un paléosol à kerbours. Fig. 4- « Thalle algal » (Th) métrique rattaché à un stipe (St).

Annexes

Comparaisons morphologiques avec les champignons et les lichens

Planche 1 - Les champignons : illustrations des *Basidiomycota* - *Phallaceae* (d'après Haeckel, 1899-1904)

Mushrooms : *Basidiomycota* illustrations - *Phallaceae* (After Haeckel, 1899-1904)

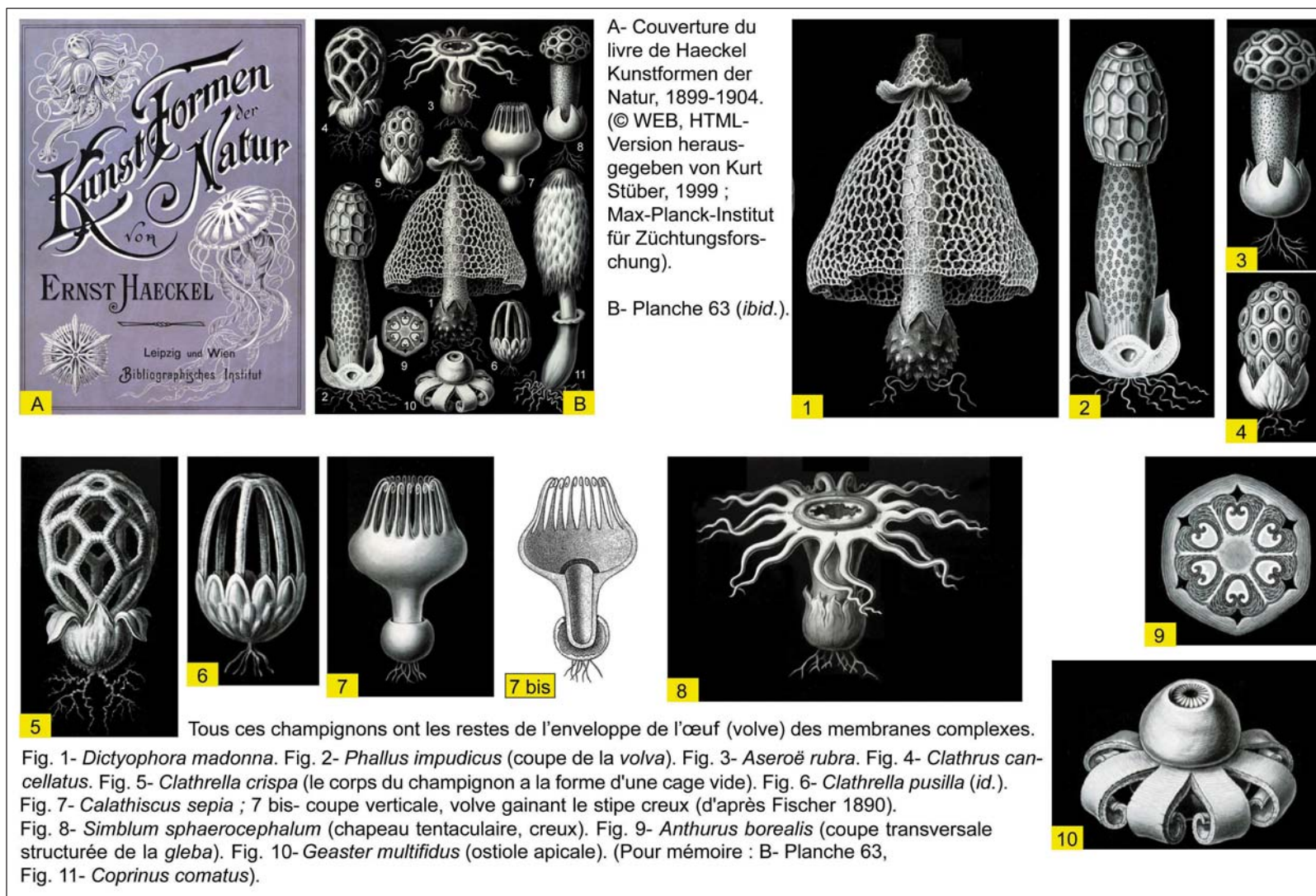


Planche 2 - Les champignons : Ascomycota, Terfeziaceae - Basidiomycota, Lycoperdaceae, Geasteraceae
Mushrooms : Ascomycota, Terfeziaceae - Basidiomycota, Lycoperdaceae, Geasteraceae



Fig. 1- Forme tuberculée : *Terfezia* sp. (© Wikipedia commons). Les truffes blanches des déserts (« truffess » du Sahara algérien) se trouvent en particulier dans les daïas, dépressions karstiques de la Hamada du Guir, *ibid.*)
Fig. 2- Forme sphérique fraîche de vesse-de-loup géante (*Langermannia*) (© Jean-Pierre Dechaume, 2006, WEB).

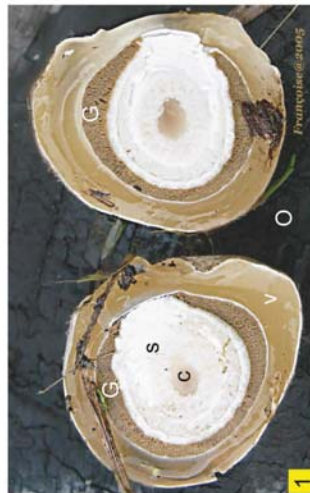
Fig. 3- *Scleroderma bovista*, forme sphérique à maturité : les spores (S) sont noires.
Fig. 4- Forme en pilon : *Lycoperdon perlatum*, les ostioles montrent en Ot les spores noires (© Jean-Yves Bernoux, 2003, WEB).
Fig. 5- *Lycoperdon pyriforme*, coupe : la structure interne dévoile la gleba verte et sporifère G (© Jean-Yves Bernoux, 2006, WEB).

Fig. 6- *Geastrum triplex*, évolution de l'oeuf (O) aux 3 couches fracturées de la maturité (© Etienne Charles, WEB). Fig. 7- *Astraeus hygrometricus* (© Jean-Yves Bernoux, 2006, WEB). Fig. 8- *Geastrum rufescens*, ostiole oblique (© Jean-Yves Bernoux, 2006, WEB). Fig. 9- Id. Déformations des parois sous l'effet de la dessiccation (© Jean-Yves Bernoux, 2006, WEB). Fig. 10- Forme dont la sphère est percée d'ostioles multiples : *Myriostoma coliforme* (© Rui Oliveira Costa, 2007, WEB).

Planche 3 - Les champignons : Basidiomycota - Phallaceae (*Phallus impudicus*)
Mushrooms : Basidiomycota - Phallaceae (*Phallus impudicus*)



Planche 4 - Les champignons : Basidiomycota - Phallaceae (*Dictyophora indusiata*)
Mushrooms : Basidiomycota - Phallaceae (*Dictyophora indusiata*)



Légende commune aux 5 figures = O : œuf, v : volva entourant l'œuf, s & S : stipe, c & C : creux, G : gleba verdâtre.

Fig. 1- Coupe d'un œuf (péridium) de *Dictyophora indusiata* (© "Françoise" WEB, 2005). Le futur stipe "s", son creux central "c", son chapeau et la gleba "G" sont déjà visibles entourés par la volva "V" encore intacte.

Fig. 2- *Dictyophora indusiata* sortant de terre, la volva est dans la litière.

Fig. 3- Association de 3 œufs et d'un champignon réunis par un mycélium sous-terrain (rhizoïde) (© "Françoise" WEB, 2005).

Fig. 4- Coupe verticale d'un champignon adulte ; le stipe est creux (© "Françoise" WEB, 2005).

Fig. 5- Schématisation des différentes enveloppes et zones d'un œuf. Il est net que les parois chitineuses les plus denses et minces résisteront mieux que la gleba ou que les parois gélatineuses. Le stipe alvéolaire est apte à s'imprégner de fer et à piéger un sédiment fin dans ses alvéoles. Le creux axial peut être comblé par un sédiment de granulométrie différente.

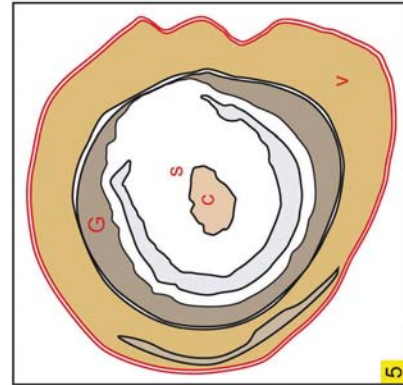
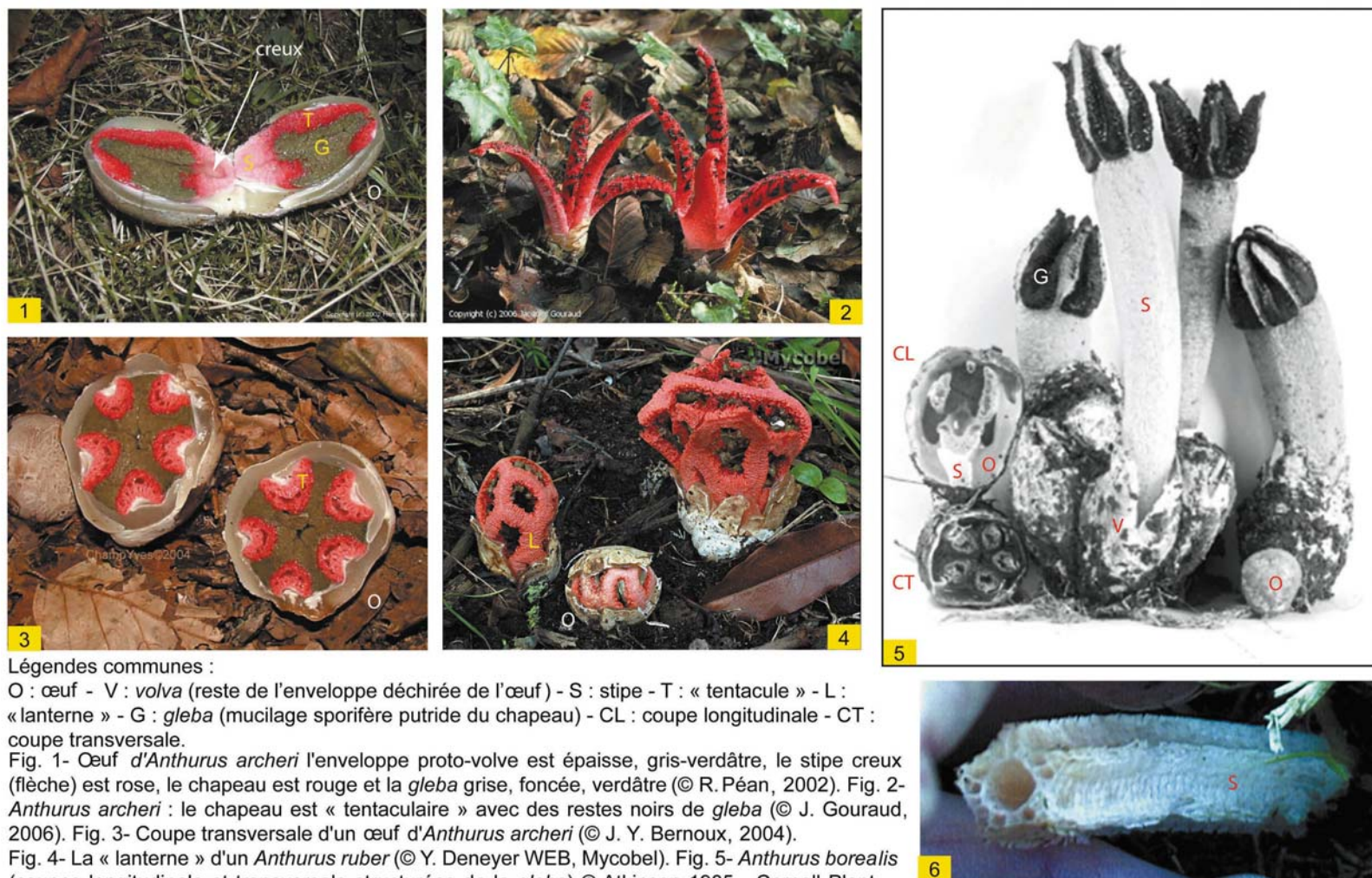


Planche 5 - Les champignons : Basidiomycota - Phallaceae (*Anthurus*)

Mushrooms : *Basidiomycota* - *Phallaceae* (*Anthurus*)



Légendes communes :

O : œuf - V : volva (reste de l'enveloppe déchirée de l'œuf) - S : stipe - T : « tentacule » - L : « lanterne » - G : gleba (mucilage sporifère putride du chapeau) - CL : coupe longitudinale - CT : coupe transversale.

Fig. 1- Œuf d'*Anthurus archeri* l'enveloppe proto-volve est épaisse, gris-verdâtre, le stipe creux (flèche) est rose, le chapeau est rouge et la gleba grise, foncée, verdâtre (© R. Péan, 2002). Fig. 2- *Anthurus archeri* : le chapeau est « tentaculaire » avec des restes noirs de gleba (© J. Gouraud, 2006). Fig. 3- Coupe transversale d'un œuf d'*Anthurus archeri* (© J. Y. Bernoux, 2004).

Fig. 4- La « lanterne » d'un *Anthurus ruber* (© Y. Deneyer WEB, Mycobel). Fig. 5- *Anthurus borealis* (coupes longitudinale et transversale structurées de la gleba) © Atkinson, 1905 - Cornell Plant Pathology Herbarium. Fig. 6- Stipe cannelé, creux et poreux d'*Anthurus borealis* (diamètre ≈ 6 mm, © X, WEB). N.B. : *Anthurus* = *Clathrus*.

Planche 6 - Les champignons : Basidiomycota - Phallaceae (*Aseroë rubra*)
Mushrooms : Basidiomycota - Phallaceae (*Aseroë rubra*)

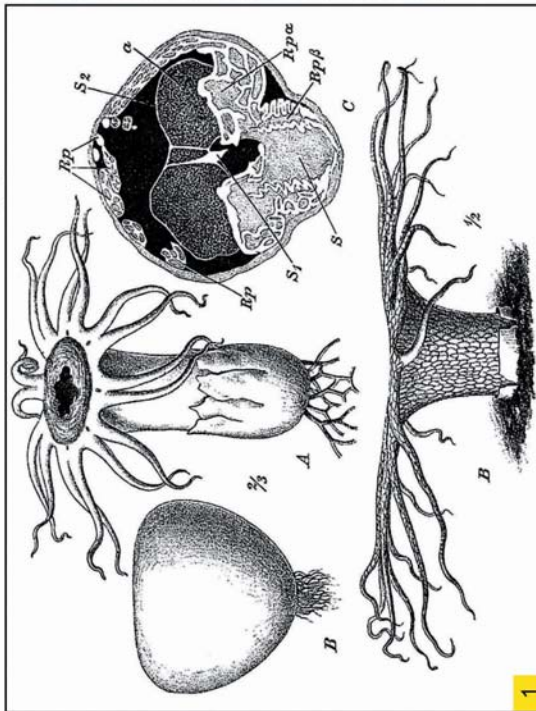


Fig. 1- Différentes formes du champignon tentaculaire, son œuf, coupe de l'œuf montrant les différentes membranes et textures internes (© Fischer, 1890, © Commonwealth of Australia, 2003).

Figs. 2, 3, 4 et 5 Diverses vues du champignon montrant les sites, les aspects des oeufs, des tentacules (bras) et du stipe.



Fig. 2 © F. Taeker.
Fig. 3 © Bomaderry.
Fig. 4 et 5 © Hugh Smith.

Planche 7 - Les champignons : Basidiomycota, Gomphaceae - Ascomycota, Aleuriaceae - Tremellaceae
Mushromms : Basidiomycota, Gomphaceae - Ascomycota, Aleuriaceae - Tremellaceae



Fig. 1 et 2- Clavaires en forme de massue, de pilon (*Clavariadelphus pistillaris*) : elles sont plus ou moins massives, recourbées, frippées et cannelées. Elles peuvent atteindre 20 à 30 cm de haut pour 5 à 6 cm de diamètre (© JMM et Jean-Yves bernoux).

Fig. 3- Sur cette coupe fraîche de clavaire la zone claire sera, à maturité, la région de la sporogenèse (Sp), donc pulvérulente.

N. B. : Le champignon géant de la photo bien connue d'Hueber a une forme voisine.

Les photos 2, 3 et 5 sont de © Jean-Yves Bernoux (excellent site WEB parmi bien d'autres : © Champ Yves).



Fig. 4- Les pézizes (*Peziza* sp.) : certaines atteignent les 10 cm, leur bordure est souvent *recouvrante*, parfois refermée vers le haut (© 2001-2008 Michael Wood & Fred Stevens, MycoWEB).

Fig. 5 et 6- Les trémelles (*Tremella* sp.) de consistance gélatineuse ont une forme générale avec des *replis complexes* de type cérébroïde. Elles font jusqu'à 12 cm de large pour 2-3 mm d'épaisseur.

DÉCOUVERTE DE PEUPLEMENTS DIVERSIFIÉS DE « THALLOPHYTES », CHAMPIGNONS, ALGUES, DE GRANDE TAILLE,
DANS LES SÉRIES CONTINENTALES TRIASIQUES ET JURASSIQUES D'IN AMENAS.

Planche 8 - Morphologie de quelques lichens
Morphology of some lichens



Fig. 1- Lichen fruticuleux (branchu). Fig. 2- Lichen crustacé (croûte collée) : les apothécies. Fig. 3- Lichen foliacé. Fig. 4- Lichen foliacé : les apothécies.

Planche 9 - Exemple de phénomènes Rédox : l'Anse de Kernic

Redox phenomena example

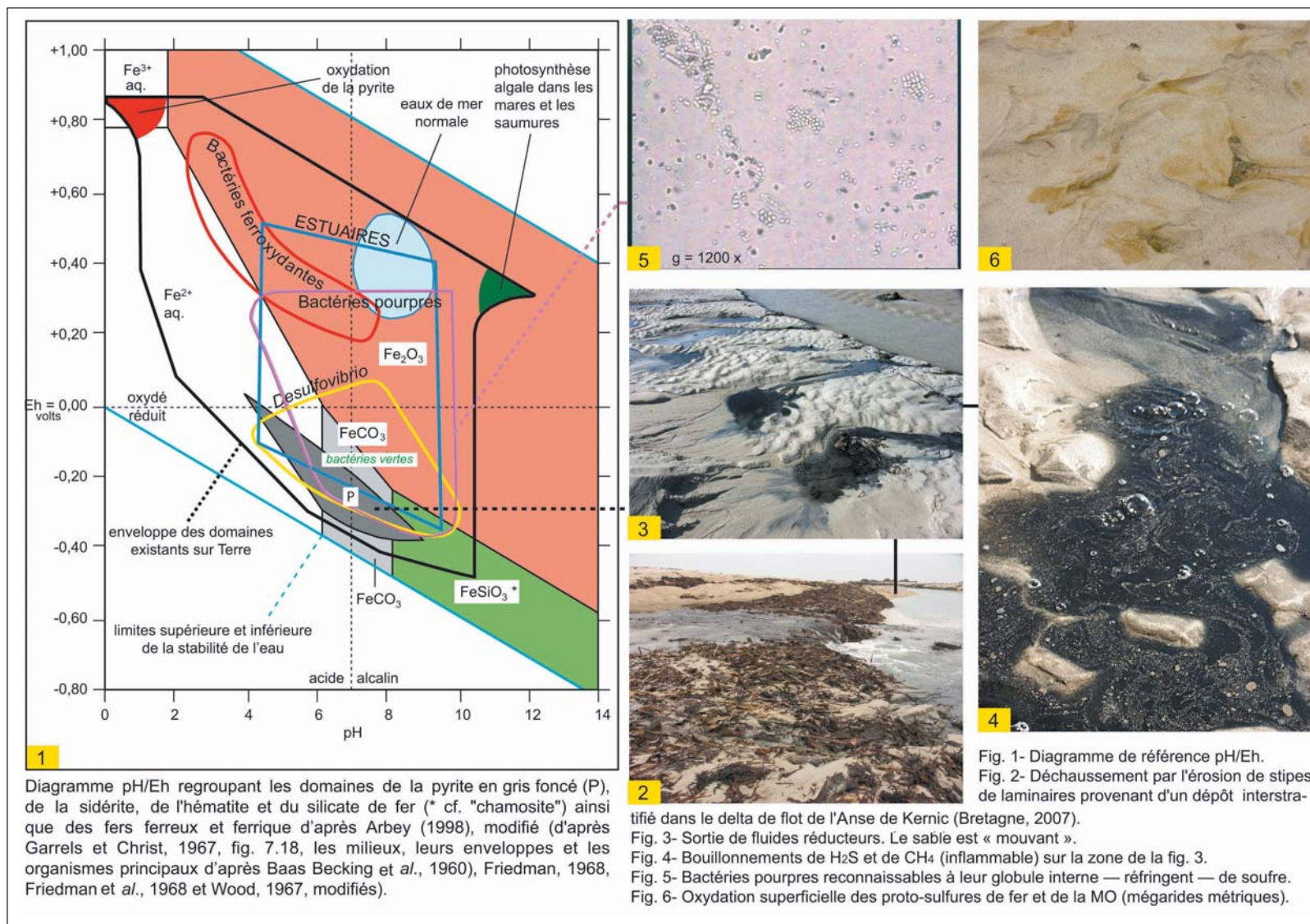


Planche 10 - Exemples rédox de littoraux sableux actuels et anciens
Examples of redox in sandy shorelines current and former

Les phénomènes rédox littoraux dans l'ACTUEL et dans les séries SÉRIES ANCIENNES ("grès à cendriers")

Figure 1- Représentation schématique des caractères chimiques des niveaux :
- réduit, noir,
- de transition, gris,
- et oxydé superficiel d'un sable fin de littoral tidal (d'après Fenchel et Riedl, 1970 modifié ; Debyser, 1961 ; Lalou, 1961 et Arbey, 1985-88).

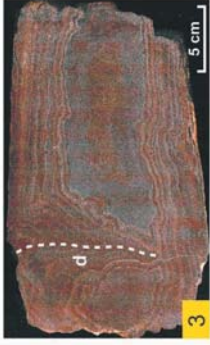


Figure 3- Section verticale d'un banc gréseux affecté d'une diagenèse précoce "d" (intra-ordovicienne) ayant induit ainsi que les surfaces supérieures et inférieures des fronts d'oxydation annulaires centripètes (ibid.).

Figure 4- De petits galets formés aux dépens d'un banc présentant des Anneaux de Liesegang sont mêlés à d'autres galets de cuirasses de fer littorales. Ravinement intra-Ordovicien (ibid.).

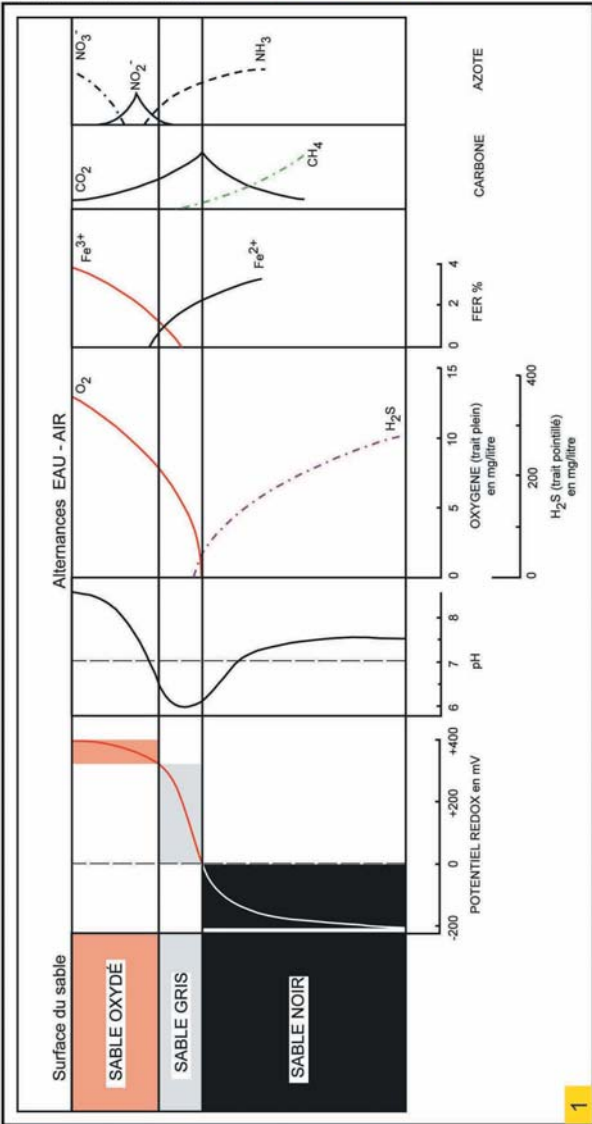
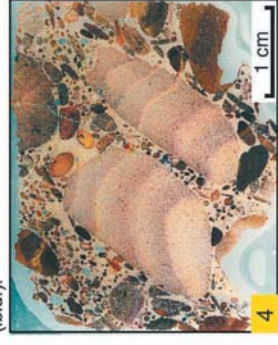


Figure 2- Coupe d'un niveau argilo-sableux riche en matière organique affleurant dans le haut du domaine intertidal au fond d'une baie protégée (Sissable, marais de Guérande, Morbihan).
Les trois niveaux de la coupe schématique générale de la figure 1 sont parfaitement visibles.

N.B. : La couche sableuse la plus récente (claire) contient des galets de boue grise (cf. galets de vase parfois nommés à tort "galets mous" puisque la diagenèse les lithifie).
Le sable oxydé présente des zonations plus ferrifères sensibles aux phénomènes rédox relativement fréquents dans les niveaux tidaux de l'Ordovicien saharien et étudiés sous le nom "d'Anneaux de Liesegang" (Arbey, 1985 - 1988). Ces zonations qui se retrouvent en milieu marécageux continental (Crétacé du Languedoc) caractérisent des rythmes rédox généralement géotropes et centripètes contrôlés par les solutions de continuité (diaclasses, bioturbations ...).



