

Chronique Bibliographique en GEOSCIENCES

Bonjour !

Rappelons que cette brève rubrique fort simple et sans prétention n'est **pas d'une analyse de livres qui viennent d'être nouvellement édités**, mais de ceux qui correspondent à un sujet qui m'a généralement été demandé par la communauté de mes anciens élèves¹.

Cette analyse bibliographique modeste mise à disposition du **Club Géologique IDF** peut rendre éventuellement service à d'autres personnes, et il n'y a aucune restriction à diffuser ce texte à qui vous le souhaitez.

Pour certains ouvrages mentionnés, on trouvera souvent un ou deux codes, tels que :

[560.285 SUT] ou bien [S 269(43) / 561.994 CUS(43)]

Il s'agit du codage propre à la **Bibliothèque des Sciences de la Terre de l'Université P.M.Curie**, devenue **Sorbonne-UPMC**, dont il a été indiqué, dans le 1^{er} bulletin, en Janvier 2020, l'adresse², le plan, et les modalités de fonctionnement.

Pour ce mois de Mai, nous présentons trois textes sur l'**Ichnologie**, deux textes s'intéressant au contexte de l'exploration, dont l'un en liaison avec la sédimentologie.

En prévision :

- pour Juin, quelques ouvrages sur les **faunes chinoises** (Chengjiang et Jehol),
- pour Juillet, un livre sur l'harmonisation par mesures de ressemblance, avec application à la **sismique pétrolière**, et un autre permettant la révision de tous les concepts de **base de la géologie**,
- pour Août, des livres récents sur la **minéralogie**, ...

Si vous trouvez des erreurs, n'hésitez pas à me les signaler afin que je fasse les rectifications. Si vous rencontrez d'autres ouvrages pertinents, faites en bénéficier notre communauté. Enfin, toute suggestion sera la bienvenue, de même que tout avis différent que vous pourriez exprimer, car ce qui fait la force de la science c'est l'ouverture d'esprit et la possibilité de discuter les informations recueillies (d'où qu'elles viennent), les faits et les hypothèses.

Je vous en remercie d'avance. Bien cordialement à tous.

François BOUILLÉ

¹ Anciens du LIST (Laboratoire d'Informatique des Sciences de la Terre) :
étudiants du DESS-IAST, du DU-IAST, du Master-2 IASIG, et anciens thésards.

² Tour 35, 1^{er} étage, UPMC, 4 Place Jussieu, 75005 Paris.

Analyse bibliographique

Mai 2020

L'**Ichnologie**, science qui étudie les traces laissées par les faunes et flores est un domaine très dynamique de la géologie comme de la biologie. Il n'est qu'à voir le nombre d'associations scientifiques et de revues consacrées à ce sujet, ainsi que des ouvrages relatifs, entre lesquels il est difficile de choisir. C'est de longue date que les chercheurs se sont souciés de comprendre les mécanismes et les implications dans les sciences de la terre, notamment en sédimentologie.

Dans les sédiments, les traces sont fréquentes, et les renseignements qu'elles apportent sont précieux, tant sur le paléoécosystème, que sur les conditions de sédimentation, et les bioturbations entre autres permettent de remettre en cause une datation parfois trop hâtive d'un niveau à partir d'un échantillon de sédiment prélevé. Il faut replacer l'échantillon dans son contexte. Ce que l'on ne voit pas nécessairement dans des *cuttings* ou dans des *clabs*, à cause de leur taille trop faible, apparaît beaucoup mieux dans une carotte de forage. Ceci explique l'intérêt suscité par les études ichnologiques dans le domaine pétrolier.

Ceux qui ont eu l'occasion d'accompagner le Pr LUCAS dans les tangues de la baie du Mt St Michel, notamment au banc des Hermelles, ont pu observer *in situ*, dans l'actuel, la grande variété du remaniement constant des dépos. Expérience passionnante, mais à condition de prendre des précautions avec les horaires et le chemin dont il ne faut pas s'écarter, car au Mont St Michel cela ne pardonne pas (d'une part, sables mouvants, et d'autre part le Banc des Hermelles étant rapidement sous 12 m. d'eau ...).

Le 1^{er} livre est dédié au contexte pétrolier, le 2^{ème} est un grand classique, le 3^{ème} est tourné vers la sédimentologie. Nous terminerons en référencant quelques autres excellents ouvrages.

Préalablement, il convient de signaler que l'Ichnologie donne lieu à de nombreuses publications, et à des réunions scientifiques internationales de haut niveau. Voir l'annonce d'une des prochaines ci-dessous :

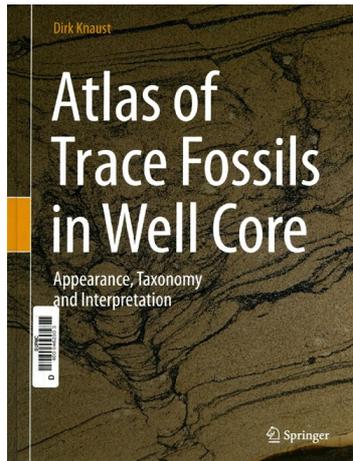


Pour terminer cette introduction sur une anecdote à caractère humoristique, datant de la période lointaine de mes études, nous avons eu, dans le cadre d'un laboratoire de l'UPMC, un exposé très sérieux et fort intéressant sur le célèbre site d'Ediacara, au cours duquel le conférencier montra des traces qui pouvaient aussi bien être attribuées à une sorte d'annélide recoupant de multiples fois sa piste, qu'à une plante primitive balayant le sol. Mystère ... C'est alors qu'un vieux maître-assistant (un de ceux assez nombreux poursuivant inlassablement une thèse dont il avait probablement oublié le sujet), posa d'un ton docte cette question très pertinente comme le Lecteur peut en juger :

"Pensez-vous que l'animal avait conscience de repasser sur sa trace ?"

Que répondre ? Chose étrange, dans l'éminente assemblée universitaire, personne n'éclata de rire. Je connaissais pourtant la réponse, évidente :

"Bien sûr ! Il l'a fait exprès ! C'était pour faire ch... (chercher) les ichnologues dans un peu plus de 550 millions d'années !"



**Atlas of trace fossils in well core -
Appearance, Taxonomy and Interpretation**

Dirk KNAUST

Springer Verlag, 2017, 209p.

[560.43 KNA]

Ce livre en langue anglaise est organisé en 5 chapitres.

Le sympathique avant-propos rédigé par A.K.RINDSBERG entre dans le vif du sujet, en insistant sur les apports de l'Ichnologie à l'étude des propriétés physiques des roches (perméabilité et porosité), tant à l'affleurement que dans les puits, et sur l'importance dans les études de réservoir, aussi bien pétroliers que simples aquifères.

Après une préface de l'auteur et la table des matières, la notice biographique de l'auteur est accompagnée d'une photo ou celui-ci examine de superbes traces de dinosaure ... ce que nous ne trouverons pas bien sûr dans les puits !

Les 4 premiers chapitres très courts (26 pages au total) présentent le contexte de l'Ichnologie, et le 5^{ème} (167 pages) décrit diverses traces produites par des espèces dans les affleurement et dans les puits. Le bloc des 4 premiers chapitres constitue une excellente introduction à l'Ichnologie, telle qu'on souhaiterait la trouver dans un cours de Paléontologie.

Le 1^{er} chapitre, très court (2 pages), est une introduction à caractère historique faisant référence aux travaux antérieurs qui ont amené l'Ichnologie à devenir l'un des outils de l'étude sédimentologique des réservoirs. Une remarque très intéressante termine cette introduction : le volume W-1 du *Treatise on Invertebrate Paleontology* (généralement connu sous le nom du Moore) nécessiterait une sérieuse mise à jour (rappelons que plus de 50 tomes ont déjà été publiés, et sont des plus utiles tant aux professionnels qu'aux amateurs).

Le 2^{ème} chapitre (6 pages) rappelle la terminologie et présente des exemples de traces. Il rappelle aussi quelques points essentiels :

- un organisme peut produire des traces différentes, et des organismes différents peuvent engendrer la même trace,
- la cause de la trace est rarement connue,
- une même trace peut être conservée très différemment selon le sédiment sur lequel ou dans lequel elle est faite,
- une trace peut être composite, et des épisodes différents provoquent des interactions en 3 dimensions.

Ce chapitre met en évidence la complexité de l'Ichnologie.

Le 3^{ème} chapitre (7 pages) présente les domaines essentiels d'application de l'Ichnologie, à savoir en interprétation des faciès, en stratigraphie, ainsi que dans l'étude de la qualité des réservoirs. La faune modifie les propriétés (porosité et perméabilité) du sédiment, par exemple en le remaniant et en introduisant de la boue argileuse ce qui va diminuer la

perméabilité d'une zone, ou au contraire créer des cavités ce qui va accroître sa porosité, les deux processus pouvant cohabiter ...

Le 4^{ème} chapitre (7 pages lui aussi) est consacré à la méthodologie utilisée dans les logs des puits. L'auteur expose les 6 étapes fondamentales caractérisant cette exploration :

-la 1^{ère} étape concerne l'identification des limites des surfaces et l'évaluation quantitative de la bioturbation. L'auteur indique diverses échelles établies par divers auteurs (Droser & Bottjer, Miller & Smail, Reineck, ...) souvent établies pour les sédiments récents, ne convenant pas forcément au contexte géologique plus ancien. Une échelle linéaire est donc conseillée.

-la 2^{ème} étape est l'identification des traces et leur documentation. Il faut se garder d'introduire un biais, car de nombreuses traces ne peuvent être identifiées, et ne tenir compte que de celles identifiables fausse l'étude sédimentologique globale. La documentation peut se faire de diverses manières, en reportant des dessins réalisés manuellement, ou encore en décalquant sur un transparent, ou enfin à l'aide de photographies haute résolution. Le report est alors fait sur le log stratigraphique du dossier, soit sous forme de symboles, soit à l'aide d'un codage alphanumérique, selon le choix du spécialiste.

-la 3^{ème} étape consiste à obtenir des informations supplémentaires telles que la texture de la bioturbation, la succession des colonisations, leurs recouvrements, les associations mises en évidence. La présentation de logs rend la présentation très claire.

-la 4^{ème} étape relève de la quantification de l'ichnodiversité et de l'ichnoabondance, à manier avec précaution.

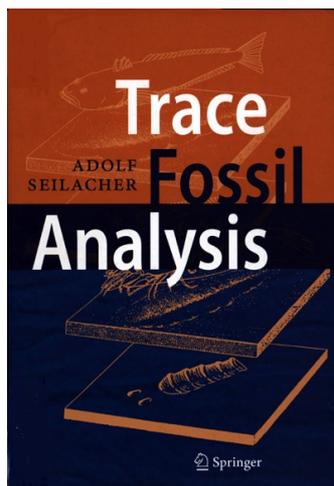
-la 5^{ème} étape présente des techniques et méthodes actuelles pour évaluer le degré de bioturbation selon les auteurs, et l'on retrouve des noms bien connus d'ichnologues (Taylor, Gingras, Marengo, Knaust, ...). L'objectif est souvent de reporter les traces et principalement les terriers sur une grille en 2-D ou en 3-D. Ceci peut être complété par des éclairages du matériau en lumière visible ou aux UV, la fabrication de plaques minces, voire des mesures de perméabilité.

-la 6^{ème} étape consiste à rechercher des études antérieures similaires dans la documentation existante.

Le 5^{ème} chapitre, qui fait l'essentiel du livre, présente une sélection de traces dans les carottes et dans les affleurements. Il commence par une classification morphologique des terriers, et une liste d'espèces que l'on trouve dans les diverses zones, depuis la côte, le plateau continental, la pente et le bassin. Le chapitre passe alors en revue, en 39 autres paragraphes les diverses traces, sous forme d'un inventaire. La présentation est très claire, avec d'excellentes photographies en couleur, des schémas en 2-D et surtout en 3-D.

Chaque chapitre est accompagné de la liste des références, la 5^{ème} étant évidemment beaucoup plus abondante. Le livre s'achève sur un index très pratique.

Nous avons là un ouvrage clair, pédagogique, bien documenté, avec d'excellentes photos et d'abondants dessins, qui fera un excellent manuel de formation pour celui qui veut s'initier à l'Ichnologie, et un complément indispensable pour l'ingénieur des pétroles devant intégrer dans son travail l'étude des traces présentes dans le matériel qu'il étudie.



Trace Fossil Analysis

Adolf SEILACHER

Springer Verlag, 2007, 236p.

[GR 16103 /560.43 SEI]

Il s'agit d'un grand classique en langue anglaise, plus ancien certes que le précédent, mais richement documenté, et qui a adopté une toute autre approche.

Après une courte préface et les remerciements habituels, l'auteur commence par une liste d'ouvrages de référence et la table des matières, qui indique 15 chapitres, chacun consacré à une catégorie d'ichnotype provoqué par un type de faune ou flore.

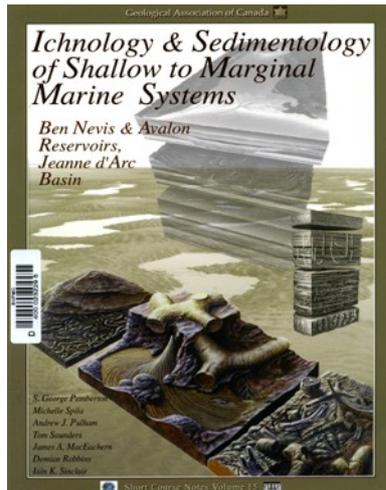
Chaque chapitre commence par une liste bibliographique très complète, et les textes explicatifs sont illustrés de photographies en noir et blanc d'excellente qualité, le jeu de lumière mettant bien en relief le sujet, ainsi que de nombreux schémas. Ils font parfois référence à certains étages où le type de trace se trouve, ainsi qu'à des gisements bien connus des paléontologues.

Citons brièvement quelques thèmes :

- pistes de vertébrés, avec empreintes de pas de tétrapodes du Trias, ou traces de poissons,
- trajectoires d'arthropodes, entre autres des trilobites,
- terriers de trilobites,
- systèmes de tunnels et de nids d'arthropodes,
- poches d'enfouissement d'animaux venant se camoufler dans un sédiment meuble,
- terriers d'animaux repoussant le sédiment, et que l'on trouve par exemple dans les flysch (les Helminthoides), ou excavant de diverses façons, ou encore réalisant de vrais tunnels,
- plantes diverses, herbiers,
- pseudo-traces posant de nombreux problèmes,
- traces les plus anciennes connues, dont certaines antérieures à la faune d'Ediacara,
- chapitre consacré spécifiquement à Cruziana,
- enfin un chapitre précisant la notion d'ichnofacies.

Le livre s'achève sur un glossaire assez court et un index.

Cet ouvrage très complet est un livre de cours très bien fait, plus orienté vers l'enseignement de l'Ichnologie que vers l'application pratique en exploration pétrolière, ce qui fait le complément avec le livre précédent.



Ichnology & Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems –

Ben Nevis & Avalon Reservoirs, Jeanne d'Arc Basin

S.George PEMBERTON, Michelle SPILA, Andrew J. PULHAM, Tom SAUNDERS,
James A. Mac EACHERN, Demian ROBBINS, Iain K. SINCLAIR

Short Course Notes Vol.15, Geol.Ass.of Canada,
2001, 343p.

Ce 3^{ème} ouvrage, lui aussi en langue anglaise, présente l'énorme intérêt de faire la jonction entre l'Ichnologie et la Sédimentologie. Il est très orienté vers l'utilisation en exploration pétrolière et intéressera à ce titre ceux qui travaillent ou ont travaillé dans ce contexte. Il peut être aussi d'un grand intérêt pour les étudiants s'orientant vers la sédimentologie. Enfin, il montrera aux amateurs éclairés tout ce que l'on peut trouver dans les sédiments et aidera à mieux comprendre ce que l'on y trouve et que l'on a parfois tant de mal à identifier.

Sa présentation est un compromis entre un cours rédigé et un ensemble de diapositives sous *PowerPoint* ; il est d'ailleurs indiqué "Short Course Notes". Quoiqu'il n'ait pas la rigueur typographique d'un ouvrage conventionnel, ce qui n'a d'ailleurs aucune importance, il présente beaucoup plus d'intérêt que la très grande majorité des livres écrits sur l'Ichnologie.

Nous sommes ici sur les réservoirs du grand champ sur lequel se trouve la célèbre plateforme *off-shore* HIBERNIA, la plus grande que l'industrie pétrolière ait jamais conçue³.

Après une brève préface et une note de remerciements, on trouve la table des matières qui nous indique 11 chapitres, dont le dernier est un atlas des traces de fossiles.

Compte tenu de l'importance des formations deltaïques en sédimentologie, le 1^{er} chapitre de 50 pages présente les systèmes détritiques ou plus précisément siliclastiques en environnement marin évoluant du peu profond à la marge continentale. On rappelle les schémas ternaires des diverses classifications :

- pour les systèmes estuariens, la combinaison des vagues, de la marée et des fleuves,
- pour le plateau continental, celle des vagues, marées et courants, et tempêtes.

L'analyse est illustrée par des modèles 2-D et 3-D de séries stratigraphiques et des photos. Il s'agit d'un excellent cours de rappel pour quiconque a fait de la sédimentologie et une bonne base pour les étudiants niveau Master.

Le 2^{ème} chapitre (37 pages) présente les principes généraux de l'Ichnologie, en distinguant :

- les structures dues à la bioturbation (pistes, traînées, terriers,...),
- les structures de biostratification (dépos biogéniques, matière abyssale, stromatolites),
- les structures de biodépos (pellets, ...)
- les structures de bioérosion (forages, rongages, grattages, morsures,...),

et leur relation avec la Paléontologie, la Stratigraphie, la Sédimentologie, l'environnement de dépos, la paléoécologie, ainsi que la lithification et compaction des sédiments, ce que l'on peut appeler la diagenèse, bien que le terme ne soit pas mentionné ici.

³ et dont vous trouverez une note de rappel après la présentation bibliographique de ce mois.

Une terminologie sommaire est fournie, ainsi qu'une classification sommaire des traces, des terriers et autres manifestations.

Diverses autres classifications sont présentées :

- selon la préservation diagénétique, sur laquelle divers auteurs ont travaillé (Seilacher, Simpson, Martinsson, Chamberlain),

- selon le comportement des traces,

- phylogénétique, intéressant plus les paléontologues,

puis une présentation claire et détaillée du concept d'ichnofaciès.

Le chapitre est illustré de photos, de schémas et de logs.

Avec le chapitre 3 (17 pages), nous abordons le rôle de l'Ichnologie dans l'environnement clastique marin. Après la présentation schématique d'un modèle très élaboré, on entre dans la description d'un certain nombre de faciès dus à certaines espèces (Ptilonichnus, Skolithos, Cruziana, Zoophycos, Nereites). Nombreuses photos et schémas explicatifs.

Le chapitre 4 (32 pages) aborde la modélisation mixant Ichnologie et Sédimentologie dans le cadre des faciès littoraux. Ce modèle prend en compte la répartition des assemblages ichnologiques, avec un exemple au Crétacé. Ce modèle intègre ensuite l'énergie due à la dynamique du milieu (vagues, marées, tempêtes). On analyse l'action des tempêtes, donnant lieu à des déposé de tempestites. Ce chapitre montre la complexité d'un modèle prenant en compte des facteurs aussi différents et constitue l'introduction au chapitre suivant.

Le chapitre 5 (18 pages) traite de l'Ichnologie dans les déposé liés aux tempêtes. Nous sommes dans le contexte où une énergie considérable est mise en œuvre. C'est le cas des tephres, des séismites, des turbidites, des tempestites, des inondites ... Le chapitre se concentre sur deux éléments essentiels, les turbidites et les tempestites, et plus principalement les secondes. Pour ces dernières, on s'intéresse aux conditions de préservation de ces sédiments, qui ont modifié entre autres les caractéristiques ichnologiques et ont ensuite été remodelés par de nouvelles traces. Une étude est présentée sur le temps de transit et de dissipation, ainsi que la liste des facteurs qui interagissent sur la conservation des tempestites. Les turbidites ne font pas l'objet de la même étude, mais elles ont été beaucoup plus étudiées de longue date.

Dans le chapitre 6 (25 pages), on se recentre sur le contexte pétrolier, avec comme thème l'apport de l'analyse des ichnofaciès à l'évaluation des réservoirs du plateau continental. On s'intéresse ici à l'évolution de l'ichnofaune dans les eaux saumâtres, et aux associations faunistiques, en prenant comme exemple des formations du Crétacé. Les eaux saumâtres présentent un environnement écologiquement stressant pour les rares espèces qu'on y trouve, d'où des caractéristiques bien spécifiques : appauvrissement en espèces, formes de petite taille, mais espèces éventuellement très prolifiques.

Le court chapitre 7 (10 pages) traite sommairement de la cryptobioturbation par des organismes vivant dans ces sédiments. Il montre la difficulté de reconnaître ce qui provient ou non de la bioturbation, celle-ci détruisant certains aspects du milieu, mais réalisant en fait de nouvelles constructions qui en assurent la préservation. Une phrase citée résume très bien le contexte : "Le chaos n'est rien d'autre qu'un ordre que l'on n'a pas reconnu". Le rôle de quelques faunes est expliqué et illustré par des photos des sédiments.

Le chapitre 8 (20 pages) traite de la signification des traces en stratigraphie. On y montre le rôle des ichnofaciès dans la reconnaissance des discontinuités stratigraphiques, notamment dans le cadre des transgressions. Il permet d'une part de reconnaître des surfaces d'érosion, puis en intégrant ces données aux analyses sédimentologiques et stratigraphiques, de disposer d'une approche plus complète de la roche étudiée.

Le chapitre 9 (12 pages) introduit un cas concret : le Jeanne d'Arc Basin, dont on présente l'histoire de l'exploration, celle du bassin, son évolution et sa stratigraphie, avec coupes et logs à l'appui, la sources des hydrocarbures, sa migration et son piégeage. On cite au passage quelques caractéristiques du réservoir dans les formation Ben Nevis et Avalon. Le chapitre s'achève sur quelques données concernant le champ d'Hibernia.

Le chapitre 10 (46 pages) détaille maintenant ce que le précédent a introduit, et est consacré à l'Ichnologie et la Sédimentologie. Il est abondamment documenté de logs, et énumère une liste de 19 ichnofaciès bien détaillés, illustrés de photos et dessins 3-D. Un chapitre passionnant.

Enfin le chapitre 11 (54 pages) est un fantastique atlas qui ravira les paléontologues s'intéressant à l'Ichnologie (et devrait attirer ceux qui ne s'en sont jamais préoccupé), contenant une vingtaine d'ichnotypes, dont les échantillons proviennent d'Hibernia, avec de très nombreuses photos, des schémas, et parfois la présentation de l'animal ou la plante supposées, selon l'interprétation.

Le livre s'achève sur une bibliographie de 12 pages, très complète.

Cet ouvrage dont la présentation typographique sommaire n'est pas très académique (nous l'avons déjà dit en entrée) est une somme considérable d'informations, il a l'avantage d'intégrer Ichnologie et Sédimentologie, ses photos sont d'une excellente qualité, et il est très clair. Nous ne pouvons que le recommander aux Etudiants de Master (et au-delà) comme ouvrage de base à consulter, surtout si l'on veut faire sa profession dans le domaine de l'exploration. Il a aussi sa place dans la bibliothèque d'un amateur éclairé.

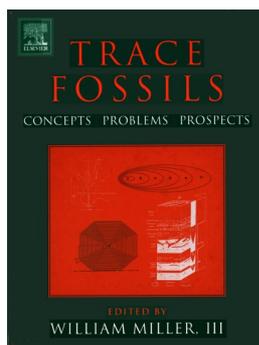
Notre choix est certainement partial, c'est celui d'un professeur d'université et ingénieur géologue pétrolier : nous considérons que des trois ouvrages analysés, c'est **celui qui offre le plus grand intérêt**. Nous le faisons suivre de près dans le classement, en 2^{ème} position, par celui de Dirk KNAUST ("*Atlas of trace fossils in well core*").

=====

On trouvera des PWP intéressants sur l'Ichnologie et la Sédimentologie en consultant le site ***Slideshare***, en accès libre.

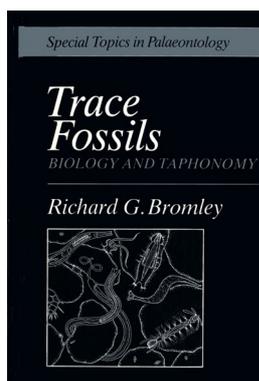
Les trois livres commentés sont **consultables à la Bibliothèque de l'UPMC**. Il en est de même des deux premiers de la sélection ci-dessous qui comporte 10 livres intéressants. Il en existe bien d'autres que nous ne pouvons citer ...

Avec cette sélection, vous avez de quoi vous documenter plus abondamment.



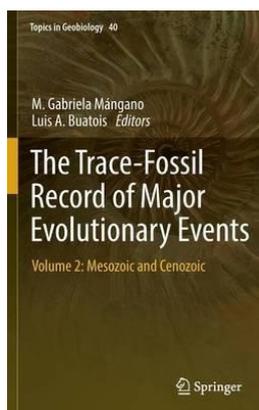
Trace fossils - Concepts, problems, prospects

Edit. William MILLER, III
Elsevier, 2007, 611p.
[GR 15860 / 560.43 TRA]



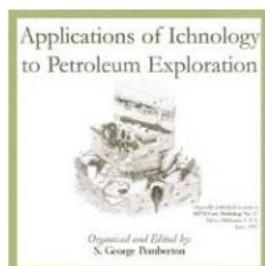
Trace fossils - Biology and taphonomy

Richard G. BROMLEY
Unwin Hyman, 1990, 280p.
[GR 8024 / 560.43 BRO]



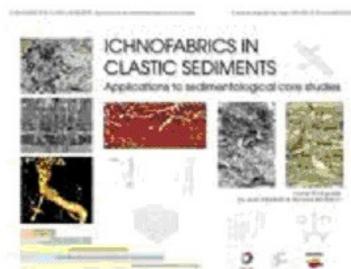
The Trace-Fossil Record of Major Evolutionary Events

Edit. M.Gabriela MANGANO, Luis A.BUATOIS
Springer
Vol.1 : Precambrian and Paleozoic, 2018, 358p.
Vol.2 : Mesozoic and Cenozoic, 2016, 485p.



Applications of ichnology to petroleum exploration

George PEMBERTON
SEPM Core Workshop 17, 1992, 440p..



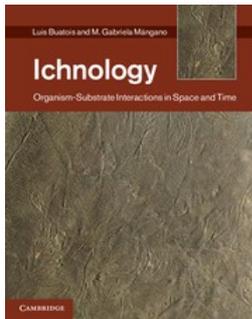
Ichnofabrics in clastic sediments – Applications to sedimental core studies – Atlas

Jean GERARD, Richard BROMLEY
SGF, 2008, 100p.



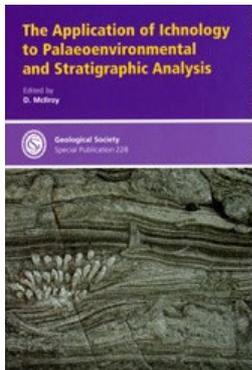
Applied Ichnology

J. Mac EACHERN, K. BANU,
M. GINGRAS, G. PEMBERTON
SEPM Short Course Notes N°52, 2009, 390p.



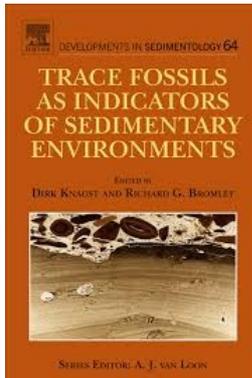
Ichnology

Luis BUATOIS, Gabriela MANGANO
Cambridge, 2011, 366p.



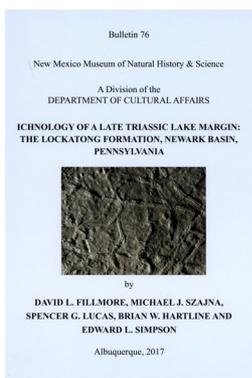
The application of Ichnology to Palaeoenvironmental and Stratigraphic Analysis

Forest J.GAHN
Geol.Soc.of London, Project 3-D Ichnology, 2004, 490p.



Trace-fossil as indicators of sedimentary environments

Edit. Dirk KNAUS, Richard G. BROMLEY
Developments in Sedimentology N°64,
Series Edit. A.J.van Loon, 2012, 960p.



Ichnology of Late Triassic Lake Margin : the Lockatong Formation, Newark Basin, Pennsylvania

D.L.FILLMORE, M.J. SZAJNA, S.G. LUCAS,
B.W. HARTLINE, E.L. SIMPSON
New Mexico MNHS, Bull.76, 2017, 107p.

Quelques mots sur HIBERNIA

Vous trouverez ci-dessous deux photographies d'Hibernia, la première celle du chantierpharaonique,l'autre la construction achevée :



Quelques caractéristiques :

- au large de Terre-Neuve
- construction longue (1997-2004)
- coût : 20 milliards de francs
- 450 000 tonnes de béton
- hauteur : 224 m.
- réservoirs internes : 180 000 tonnes
- peut résister à l'impact d'un iceberg d'un million de tonnes
- prévision : 85 millions de tonnes de brut en 18 ans