

## **Cinquante-cinq ans de recherches sur les périodes Permien-Trias, travaux de cartographie, de levés de terrain avec les publications correspondantes par Aymon Baud, en collaboration avec l'Institut de Géologie de l'Université de Lausanne, Suisse, 1968-2013**

Aymon Baud

*Chercheur associé, Institut des Sciences de la Terre, Faculté des Géosciences de l'Université de Lausanne, Suisse.*

Ce texte illustré a été préparé pour la conférence «Across the End Permian “Great Extinction” : from Permian-Triassic Field Studies to Scientific Results» qui s'est tenue du 30 août au 2 septembre 2023 à l'Université de Lausanne, en Suisse. Ce sont cinquante-cinq années de recherches faites sur le terrain avec l'analyse des couches déposées durant le Permien-Trias et les publications correspondantes. Celles-ci ont été produites avec l'aide de nombreux collègues et de différents organismes dont le Fonds national suisse de la Recherche scientifique (FNSRS), l'Académie suisse des sciences naturelles, le service des Activités culturelles de l'Etat de Vaud, ceci en association avec le personnel de l'Institut et du musée de Géologie de l'Université de Lausanne, en Suisse. Nous y présentons 5 périodes, chacune subdivisée en 8 à 12 chapitres.

### **1 – La première période : 1968-1984**

Cette première période concerne 17 années d'études doctorales et de publications, d'une collaboration très fructueuse avec des collègues et des professeurs, de recherches faites sur le terrain et en laboratoire, finalisée par la présentation d'un travail de doctorat.

#### **1.1 – Études doctorales sur la succession des carbonates du Trias moyen des Préalpes aux Alpes occidentales, 1968-1984.**

Le 22 avril 1968, j'ai obtenu ma maîtrise en géologie et le professeur Héli Badoux (Fig. 1a), directeur de l'Institut de Géologie m'a proposé un poste d'assistant à l'Université et un sujet de thèse sur la sédimentologie et la stratigraphie de la succession carbonatée du Trias moyen de la partie interne du domaine des Préalpes suisses. Pour débiter, il y a eu l'étude des carrières de Saint-Triphon dans la vallée du Rhône, ceci à la suite du professeur de Géologie François Ellenberger (Fig. 1b), de la Sorbonne, Paris qui a été le premier à corréliser la succession triasique des Préalpes suisses dont Saint-Triphon avec la succession triasique de la partie interne des Alpes occidentales dénommée « domaine Briançonnais ».

J'ai d'abord contacté le Dr Francis Hirsch (Fig. 1c), paléontologue de l'Université de Zurich : nous avons relevé et échantillonné les calcaires à silex de l'Anisien, où il a trouvé des conodontes par dissolution. Cela a conduit à ma première publication en tant que co-auteur (Baud et al., 1968).

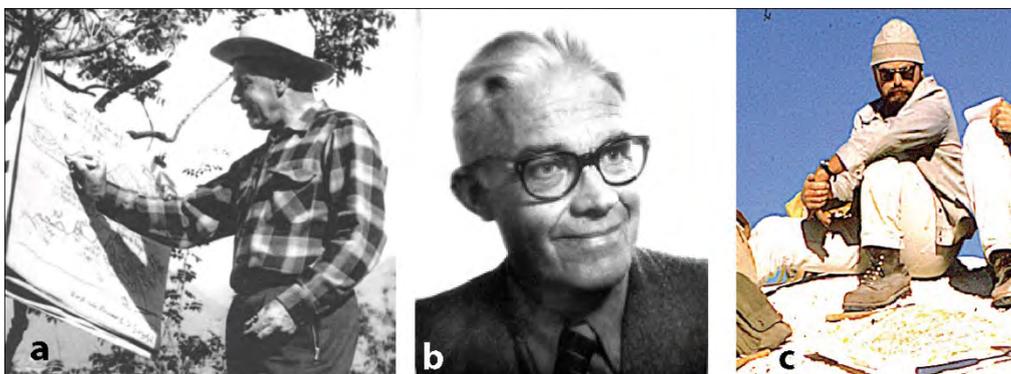


Figure 1 : Portraits, a) professeur Héli Badoux ; b) professeur François Ellenberger ; c) Dr Francis Hirsch.

Après 4 ans comme assistant à l'Institut de Géologie, j'ai été invité à être assistant au musée de Géologie de Lausanne en 1972 puis, en 1974, j'ai été nommé conservateur de ce musée.

Cette année-là, j'ai alors collaboré avec le Dr Henri Masson et, après une reconnaissance sur le terrain, nous avons découvert (Fig. 2) le vertébré fossile apparemment le plus ancien de Suisse (Baud, 1975).

## Grande « première » géologique

### FOSSILES DES PLUS VIEUX VERTÉBRÉS DE SUISSE DÉCOUVERTS PRÈS D'AIGLE

Fin de l'ère primaire, début de l'ère secondaire. L'Europe est un grand désert. Et puis, ce sont, très lentement, les grandes levantes marines. Il n'y a encore ni mammifères, ni oiseaux. Juste quelques dinosaures, d'autres reptiles et des poissons.

220 millions d'années c'est l'âge de quelques fossiles retrouvés par deux jeunes géologues lausannois sur la colline appelée « Le Petit Plantour », entre Aigle et Ollon. Ces restes préhistoriques affleuraient à une paroi rocheuse qui domine les vignes de la commune d'Ollon, « Les Neches ».

Comment expliquer la présence de ces fossiles à cet endroit ?

Il y a 220 millions d'années s'amorçait un grand bouleversement, un déplacement des continents vers le nord. L'Afrique — au ralenti — entre en « collision » avec l'Europe, qui se plisse, se tord et fait se retourner les masses rocheuses, pour donner naissance à nos montagnes. Là, par où — où a été effectuée la découverte — se serait trouvée à plusieurs milliers de mètres de profondeur, si ce grand chambardement ne s'était produit.

**La chance**

Leur domaine de « recherche ténacémentale » est différent, mais leurs intérêts se rejoignent souvent. C'est ensemble que MM. Aymon Baud, conservateur du musée de géologie, et Henri Masson, premier assistant de l'Institut de géologie de l'Université, ont eu la chance fantastique — au mois de mai — de cette année — de réaliser une « première ». Ce n'est toutefois pas le fruit du simple hasard. M. Baud étudie cette région, pour sa thèse, depuis plusieurs années. Du travail précis, scientifique.

Les découvertes, intéressantes à plus d'un titre est excessivement importante puisque les deux fossiles sont les plus anciens restes de vertébrés trouvés en Suisse jusqu'à ce jour. Ils ont

été analysés par le Dr de Besançon, de Genève.

De quoi s'agit-il ?

D'une dent de poisson du genre Saurichthys mesurant quelque 5 mm. de long et d'une côte de reptile du genre Neohosaurus, mesurant 3 cm. de long. On sait que ce reptile était une sorte de gros lézard d'une longueur de 40 cm. environ.

**Le « cas » des lingules**

Outre cela, les deux géologues ont encore ramené de leur « expédition » au « Petit Plantour » des silex fossilisés, des lys de mer, des blocs de pierre laissant apparaître des traces de charbonnement de crânes, ainsi que des lingules. Les lingules ressemblent à de petits mollusques — des vers vivants dans une coquille organisée à la manière de celle de l'huître — ; fait à relever, ces animaux n'ont absolument pas évolué depuis plus de 220 millions d'années. Il s'agit là d'un cas presque unique et partiellement inédit.

Les restes fossilisés de vertébrés — la dent et la côte — sont caractéristiques de la faune des pays chauds. Il ne faut pas oublier qu'à cette époque, l'Europe était plus proche de la zone tropicale que de nos jours.

Et, à l'aube de l'hiver, l'on se prend à rêver à ce que pourrait être la température de la Suisse il y a quelque 200 millions d'années...

C. Ds

Une dent de «épave d'il y a 220 millions d'années.

Figure 2 : Extrait du journal Le Matin du 5.9.1974.

Les articles suivants portent sur les Crustacés décapodes (Baud, 1976) et mon point de vue sur l'échelle stratigraphique du Trias (Baud, 1977).

Sur la limite Permien-Trias, une première collaboration avec mes collègues Demir Altiner, Jean Guex et Gérard Stampfli débouche sur des corrélations dans quelques localités du Moyen-Orient et la mise en évidence de stromatolites à la base du Trias (Altiner et al., 1980). Cette mise en évidence sera reprise au chap. 3.8.

Pour l'étude des argiles contenues dans les carbonates triasiques, j'ai entamé une collaboration avec le professeur Bernard Kubler de l'Université de Neuchâtel, et son cours sur la minéralogie de l'argile a beaucoup aidé à l'étude de la teneur en argile dans les calcaires anisiens et, avec celle de la cristallinité de l'illite, nous avons pu déterminer les zones d'anchi-métamorphisme du Trias des Préalpes (Baud, 1984).

Jusqu'en 1983, j'ai poursuivi de nombreuses collaborations, relatées ci-après, qui m'ont permis de participer à la publication de 22 articles et de rédiger les 300 pages de mon manuscrit de thèse (Baud, 1984, 1987), tout en poursuivant, durant certains étés, la cartographie géologique du Trias sur les cartes Les Mosses, (Lombard et al., 1975), Niesen, Adelboden (Furrer et al., 1993) et Zweissimen de l'atlas géologique suisse au 1:25'000<sup>ème</sup>.

En décembre 1984, j'ai soutenu mon travail de thèse avec une annexe de ces 22 articles publiés sur «L'histoire naturelle du calcaire de Saint-Triphon (Anisien, Trias moyen, Préalpes suisses)», et j'ai obtenu les félicitations du jury.

## **1.2 – Collaboration avec le professeur Paul Brönnimann de l'Université de Genève et son assistante Dr Louissette Zaninetti**

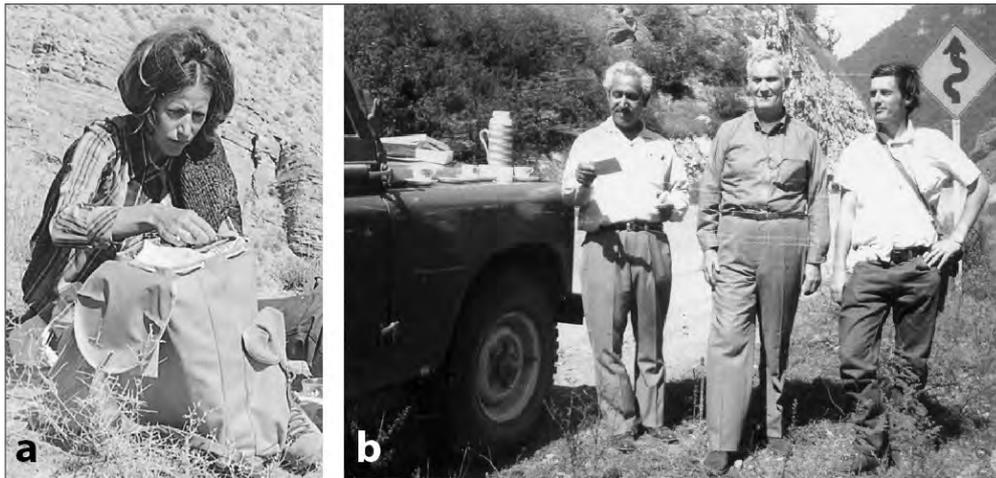
En cartographiant et échantillonnant de nombreux affleurements anisiens dans les Préalpes, j'ai effectué l'étude des lames minces, ce qui m'a permis de découvrir d'abondants foraminifères, des microfossiles encore jamais décrits dans les couches anisiennes de ces régions. Ce fut le début d'une collaboration fructueuse avec le professeur Paul Brönnimann de l'Université de Genève et son assistante de thèse Louissette Zaninetti, spécialisée dans les foraminifères triasiques. Les résultats ont abouti à la publication de six articles paléontologiques (foraminifères et coprolithes) sur les calcaires anisiens des Préalpes de 1971 à 1974 (Baud et al., 1971, 1972, 1974; Brönnimann et al., 1972; Zaninetti et al., 1972a, b).

## **1.3 – Travaux de terrain hors d'Europe, début de l'étude du Permien en Iran et au Pakistan, 1972-1975**

J'ai eu la chance de poursuivre une coopération étroite avec Paul Brönnimann et Louissette Zaninetti, qui m'ont invité à effectuer des recherches sur les couches du Permien et du Trias de l'Iran en octobre 1972 (Fig. 3) et en octobre 1974 (Baud et al., 1972, 1974). En mars 1975, le Permien-Trias des Salt et des Trans-Indus Ranges du Pakistan ont été l'objet de nos recherches sur le terrain, avec des sections stratigraphiques clés, dont les nombreux échantillons et les lames minces ont d'abord été stockées à l'Institut paléontologique de Genève, puis données au musée de Géologie de Lausanne où j'en ai pris soin.

#### 1.4 – Collaboration avec le Dr Joséphine Mégard-Galli, assistante du Prof. Ellenberger de Paris-Sorbonne

Une autre coopération fructueuse commence en 1972 avec J. Mégard-Galli, et nous étudions ensemble une partie des meilleurs affleurements triasiques des Alpes occidentales du Briançonnais, ainsi que les carbonates du Trias moyen de Corse et de Sardaigne. Cela a permis d'établir des corrélations extrêmement précises entre la nouvelle formation de Saint-Triphon et les unités qui l'entourent, d'âge Trias inférieur et moyen, depuis la Suisse centrale jusqu'à la Méditerranée, en passant par les Alpes occidentales.



**Figure 3 :** Travaux de terrain en Iran, a) Dr. Zaninetti prend des notes; b) Dr. Bozorgnia, Prof. Brönimann, et l'auteur lors de la traversée de l'Elbourz.

Plusieurs présentations dans des congrès internationaux et de nombreuses publications permettent de détailler ces corrélations et de présenter de nouvelles méthodes basées sur la cyclicité de la sédimentation carbonatée et sur les grandes séquences transgressives-régressives nouvellement découvertes (Baud & Mégard-Galli, 1975, 1977; Mégard-Galli & Baud, 1977). C'est avec elle que de grandes avancées ont été réalisées dans la stratigraphie et la sédimentologie du Trias briançonnais, et c'est elle qui a été à l'origine d'une synthèse sur le Trias des Alpes occidentales publiée dans les Mémoires du BRGM en 1994 (Mégard-Galli et al. 1984).

#### 1.5 – Etudes de terrain Himalaya-Ladakh, d'abord avec l'Institut de Géologie de Lausanne, suivies d'une coopération avec des collègues de Grenoble et de Milan, de 1977 à 1983

En janvier 1979, j'ai rassemblé un groupe de recherche lausannois sur l'Himalaya. Avec les Professeurs A. Escher, H. Masson et A. Steck, j'ai co-organisé la première géotraversée du Zanskar oriental Hemis-Padum en 1979 (Fig. 4) et les résultats ont été publiés dans Baud et al. (1982, 1983).

En 1981, avec le Prof. G. Mascle (Grenoble) et le Dr E. Garzanti (Milan), nous avons organisé une expédition pour réaliser des coupes stratigraphiques détaillées et des observations tectoniques dans le Zanskar central, au N et à l'E de la klippe ophiolitique de Spong tang (Baud et al., 1985; Garzanti et al., 1987).

En 1983, invité par le professeur M. Gaetani (Milan), j'ai participé à une géotraversée SE-NW de Darcha (Lahul) à Thongde (Zanskar) en passant par Sarchu, Phirtse- La et Phugt al (Baud et al., 1984).

Les principaux résultats obtenus en collaboration avec les équipes mentionnées ci-dessus peuvent être résumés comme suit :

1. La découverte et la définition d'une structure de nappes superposées à grande échelle des unités sédimentaires du Zaskar (Tethys Himalaya). Malgré de fortes oppositions et controverses sur la théorie des nappes de la part de géologues autochtonistes, la structure des nappes a été récemment largement confirmée par des travaux de terrain et de cartographie détaillés.
2. Le profil géologique à travers le Zaskar oriental, de Hemis à Padum.
3. Des coupes stratigraphiques détaillées des sédiments de la fin du Crétacé et du début du Tertiaire du Zaskar central avec l'interprétation géodynamique de l'enregistrement sédimentaire de l'avancée de l'Inde vers le nord.

La suite de cette coopération est décrite dans le chapitre 2.9.



Figure 4 : compte-rendu de notre expédition au Ladakh dans la Feuille d'Avis de Lausanne du 24 octobre 1979.

## 1.6 – Les conférences internationales suivies de 1971 à 1985 vont être une formation continue en géologie et en stratigraphie

Pour me tenir informé des dernières avancées en matière de sédimentologie et de stratigraphie, j'ai décidé et eu la possibilité de participer à des congrès internationaux. En 1971, après avoir suivi le 8ème Congrès international de sédimentologie à Heidelberg, j'ai participé à une excursion sur le Trias dans les Alpes calcaires septentrionales de Bavière (Dachstein, Hallstatt, Hauptdolomit, lits de Kössen) qui m'a donné une bonne formation sur la stratigraphie du Trias et les recherches en cours en dehors des Alpes occidentales.

J'ai participé au 9ème Congrès international de sédimentologie à Nice en 1975 où nous avons présenté deux communications avec J. Mégard-Galli. Au 11ème Congrès international de sédimentologie à Hamilton en 1982, j'ai donné une courte conférence (Baud, 1982) puis, j'ai rendu visite à E.T. Tozer à Ottawa.

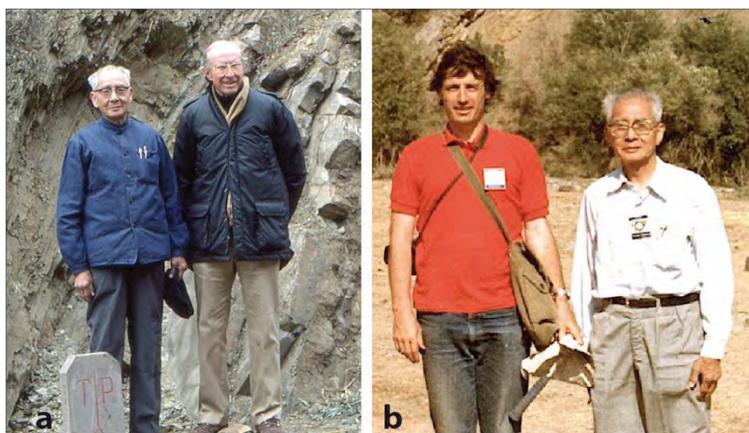
En août 1984, j'ai eu l'occasion de participer au 27e Congrès géologique international (CGI) à Moscou et à la réunion statutaire de la Sous-commission de stratigraphie du Trias (SST) où j'ai été

élu vice-président. Ce congrès a été précédé d'une excursion unique sur la limite Permien-Trias dans les montagnes de Verkoyansk en Sibérie orientale le long de la rivière Setorym, et a été suivi d'une excursion en Arménie avec les sections permo-triasiques de Vedi et Sovetachen (Fig. 5b). C'était une occasion exceptionnelle pour les participants de collecter des échantillons dans ces sections éloignées ce qui a permis d'enrichir les collections du musée pour les recherches futures et que nous décrivons dans les chapitres 2.4, 5.7, 5.8 et 5.10.

### 1.7 – Examen de nouvelles coupes géologiques et échantillonnage effectués dans le cadre des projets triasiques du Programme international de corrélation géologique (PICG) de l'UNESCO

Ma participation aux projets 4 et 106 du PICG a débuté par le Congrès organisé par Isabella Premoli Silva et Maurizio Gaetani en mémoire de R. Assereto et J. Pisa, dans le célèbre château de Bergame (Italie) en 1979, où j'ai fait un exposé. En 1980, le projet 4 (Trias) du PICG a été le cadre d'une réunion de terrain à Bratislava (Slovaquie) avec une excursion dans la partie orientale du pays. En 1981, une réunion de terrain à Sarajevo a été organisée par les projets 4 et 106 du PICG et une réunion finale à Vienne (1982).

En mars 1984, j'ai eu l'occasion de participer au premier projet 203 du PICG organisé par un Comité chinois dirigé par le professeur Zun-Yi Yang de Pékin, sur les événements permo-triasiques dans la Téthys orientale. Le projet a débuté par une conférence à Pékin, suivie d'une excursion à la section de Shangsi, dans la province du Sichuan (fig. 5a). La suite de cette participation au projet du PICG est au chapitre 2.2.



**Figure 5 :** Le professeur Zun-Yi Yang de Pékin en 1984 : a) Avec Norman Newell sur la limite Permien-Trias de la section de Shangsi en Chine, b) Avec l'auteur devant la section de Sovetachen (Zangakatun) en Arménie.

### 1.8 – Collaboration nouvelle avec le professeur Dimitri Papanikolaou de l'Université d'Athènes

À l'invitation du professeur Dimitri Papanikolaou de l'Université d'Athènes, j'ai entamé des recherches en Grèce en 1980 et 1981, en découvrant et échantillonnant de nouvelles sections permiennes-triasiques sur les îles de Salamine, Hydra, Chios et Égine, ainsi que sur le Permien de l'Attique, en Grèce orientale (Baud & Papanikolaou, 1981). Nos résultats ont été présentés lors de deux réunions, comme indiqué ci-dessous. La coopération avec lui en Grèce et avec de nouvelles équipes de recherche s'est poursuivie au cours des périodes suivantes.

## 2 – La deuxième période: 1985-1992

La deuxième période, de 1985 à 1992, raconte une nouvelle histoire car je me suis lancé dans quatre programmes de recherche et j'ai poursuivi avec plusieurs équipes une collaboration sur l'étude du Permien-Trias et de nouvelles lignes de recherche sont apparues.

Au cours de l'année 1985, j'ai assuré l'intérim de Marc Weidmann, directeur du musée de Géologie, qui avait pris un congé sabbatique et j'ai enseigné par intérim durant 2 semestres le cours de sédimentologie des carbonates à l'Institut de Géologie. Puis en 1986, à la suite de sa démission, j'ai été promu directeur du musée de Géologie de Lausanne.

### 2.1 – La première géotraversée du Tibet occidental en 1985

En 1985, j'ai pris un congé sabbatique pour participer à la première expédition autorisée au Tibet occidental. Cette région de hauts plateaux et de vallées profondes, qui avait toujours été fermée aux Occidentaux, m'a donné l'occasion de découvrir une géotraversée unique du Haut Himalaya jusqu'à la chaîne du Kun Lun, et d'y faire des observations géologiques avant de rejoindre les plaines d'Asie centrale le long de la Route de la Soie. Invité au retour par le professeur Celâl Şengör, j'ai fait un exposé (Baud,1985) à la Conférence d'Istanbul et j'ai publié mes observations dans la région de Kailas (Fig. 6) et le long de la géotraversée Sutlej-Yarkand, dans deux articles (Baud, 1989a; Baud et al., 1994).



**Figure 6 :** Le Mont Kailas vu du lac Mansarovar dans l'ouest du Tibet, 1985.

## 2.2 – Participation aux projets 199 et 203 du Programme International de Corrélation Géologique (PICG) de l'UNESCO

Ma participation au projet PICG s'est poursuivie par des congrès de terrain à Istanbul et Antalya (Turquie, 1986), à Pékin et Nankin (Chine, 1987), dans les Salt Ranges (Pakistan, 1987), ainsi qu'une étude au Cachemire (Inde) et enfin une conférence à Vladivostok (Russie orientale, 1992).

C'est dans le contexte du projet 203 sur le Permien-Trias, qu'en 1986, j'ai co-organisé avec Jean Marcoux et Celâl Shengör une réunion de la sous-commission de stratigraphie du Trias (SST) à Istanbul en Turquie, puis une excursion sur le Trias inférieur de la région, suivie d'une excursion dans les nappes d'Antalya, à l'ouest de Kemer (sud-ouest de la Turquie), avec J. Marcoux et L. Krystyn (Marcoux et al., 1986; Marcoux & Baud, 1988).

En 1987, j'ai participé activement à deux congrès de terrain du projet 199 du PICG sur les événements rares en géologie :

- Le premier a été organisé en mars par Sun Shu de l'Academia Sinica, avec des réunions à Pékin et Nankin et la possibilité de collecter des échantillons dans le stratotype du Changhsingien dans la région de Meishan, dans l'argile de la limite P/Tr et dans les niveaux 1 à 3 du Trias le plus précoce (Boclet et al., 1988).
- Le second, organisé par Bilal Haq en décembre 1987, s'est tenu dans les Salt Ranges (Pakistan) et pour échantillonner la section historique de Nammal Gorge. J'y ai participé avec mon étudiante post-doctorante C. Jenny et j'ai collecté des échantillons de la fin du Permien et du début du Trias. Les professeurs M. Gaetani, J. Marcoux et E.T. Tozer y ont également participé. Avec eux, nous avons décidé de nous rendre au Cachemire (Inde) pour effectuer des recherches dans la célèbre section Permien-Trias de Guryul Ravine et pour prendre des échantillons en vue d'une étude ultérieure (Fig. 7), telle que montrée dans les chap. 3.4, 5.4 et 5.10.



**Figure 7 :** Retour du terrain, l'auteur à gauche, avec Jean Marcoux, Tim Tozer et Maurizio Gaetani à Srinagar, Cachemire, Inde le 15 décembre 1987.

Succédant au projet 203 du PICG, le projet 272 « Événements bio-géologiques circumpacifiques du Paléozoïque supérieur et du Mésozoïque inférieur » a été dirigé par J.M. Dickins. Avec lui, en septembre

1992, nous avons aidé Y. Zakharov et G. Kotlyar à organiser la première conférence Permien-Trias avec excursion sur le terrain à Vladivostok (Russie). Elle était parrainée par ce projet 272 du PICG et soutenue par la SST. En tant que co-organisateur, nous avons eu l'occasion, avec les participants, de visiter quatre coupes principales du Permien-Trias de cette région de l'Extrême-Orient russe, enfin ouverte aux scientifiques étrangers. Une collection d'articles a été publiée (Baud et al., editors, 1997) et des corrélations faites (Zakharov et al., 2005). La suite est donnée au chapitre 4.6.

### **2.3 – Mise en route d'études micropaléontologiques de la Téthys permienne**

Ayant la possibilité de proposer des projets de recherche sur les études micropaléontologiques de la Téthys permienne au Fonds national suisse pour la recherche scientifique (FNRS), j'ai reçu une réponse positive et dès 1987, j'ai obtenu le financement d'un poste d'assistante post-doctorale pour le Dr Catherine Jenny, spécialiste des études sur les foraminifères permien. Avec elle, à l'invitation du professeur Dimitri Papanikolaou de l'Université d'Athènes, nous avons commencé des études sur le Permien en Grèce entre 1987 et 1989. Nous avons effectué des travaux de terrain sur le Permien des îles de Chios, d'Égine et de nouvelles sections sur l'île d'Hydra et avons publié quatre articles (Baud et al., 1990, 1991 ; Baud & Jenny, 1991 ; Jenny-Deshusses & Baud, 1989). En 1990, nous avons collaboré avec K. Grant et M. Nestell pour publier un article sur l'étude du Permien d'Hydra (Grant et al., 1991) et plus tard elle publie une première synthèse sur Hydra (Jenny et al., 2004) qu'elle étend ensuite à toute la Tethys (Jenny et al., 2009).

### **2.4 – À partir de 1986 commence une nouvelle ligne de recherche : la stratigraphie isotopique du Carbone en collaboration avec les professeurs William Holser (Eugen, USA) et Mordekai Magaritz (Rehovot, Israël)**

J'ai entamé une collaboration avec les professeurs William Holser (Eugen, États-Unis) et Mordekai Magaritz (Rehovot, Israël) et j'ai envoyé au laboratoire d'isotopes du Carbone de Magaritz des échantillons de sections clés de la limite Permien-Trias entre les Alpes du Sud et la Chine du Sud que j'avais étudiés et dont j'avais inscrit toutes les informations au musée de Géologie de Lausanne. Nous avons ainsi pu constituer une nouvelle base de données sur les isotopes stables du Carbone et préparer des communications pour les prochaines réunions sur le Permien-Trias ainsi qu'un article clé sur la stratigraphie isotopique du Carbone sur le passage du Permien au Trias (Baud et al., 1986 ; Baud & Magaritz, 1988, 1989 ; Magaritz et al. 1988).

Stimulés par le projet PICG 199, avec de nouvelles possibilités d'échantillonnage sur des successions permien et triasiques clés, nous avons publié, après analyse, douze sections bien datées avec une courbe isotopique du Carbone à partir d'échantillons de carbonate marin étudiés et classés, montrant en 1989, pour la première fois, le changement global enregistré à la limite entre les deux périodes : un nouvel outil pour la corrélation de cette limite Permien-Trias marin a été créé. Deux coupes de référence mondiale située en Chine, celles de Meishan et de Shangsi, étaient concernées et illustrées (Baud et al., 1989).

Les résultats ont dépassé nos attentes et, après une première publication dans le périodique «Nature», cet article écrit en 1989 a eu un impact considérable et un indice de citation élevé.

## 2.5 – De vice-président à la présidence de la sous-commission de stratigraphie du Trias (SST)

Après avoir été vice-président en 1984, j'ai été élu nouveau président de celle-ci, élection confirmée par la Commission internationale de stratigraphie lors du Congrès géologique international (CGI) qui s'est tenu en 1989 à Washington, D.C. J'y ai donné une conférence (Baud, 1989b) et eu la possibilité de participer à l'excursion sur le terrain dans le Texas occidental et d'y prendre connaissance des couches du Permien que je viendrai étudier avec J. Marcoux par la suite (Chapitre 2.7). J'y ai retrouvé le professeur Norman Newell du musée d'histoire naturelle de New York avec qui j'avais participé à la première excursion géologique en Chine.

Ma tâche de président m'a amené à proposer un congrès sur le Trias et à promouvoir l'accord sur les noms et les limites des étages. À la demande des membres de la sous-commission, j'ai constitué en 1991 un comité d'organisation d'un symposium sur la stratigraphie du Trias à Lausanne. En octobre 1991, Jean Guex (Lausanne), Maurizio Gaetani (Milan), Jean Marcoux (Paris) et Hans Rieber (Zurich) m'ont aidé à diriger ce symposium avec la contribution du personnel du musée, de l'Institut de Géologie et de l'Université de Lausanne.

Ce symposium a réuni une cinquantaine d'experts de 22 pays pendant quatre jours (Baud, ed. 1991), suivis d'une excursion locale d'une journée dans les carrières anisiennes de Saint-Triphon (Fig. 8) et dans la mine de sel norienne de Bex (Baud & Meisser, 1991). Avec la sous-commission, nous avons décidé, suite à des votes positifs, de proposer deux étages pour le Trias inférieur: l'Induen et l'Olenekien. Tous ensemble, nous avons participé au comité éditorial du compte-rendu du Symposium (Guex & Baud, 1994). La fin de cette présidence est présentée au chapitre 3.6.



**Figure 8 :** De gauche à droite, nos collègues W. Weitchat, A. Dagens, H. Rieber et Y. Zacharov à l'excursion de Saint-Triphon en 1991.

## **2.6 – Participation à des congrès géologiques internationaux et à des voyages d'étude sur le terrain**

En 1991, j'ai eu l'occasion de participer au congrès international sur le Permien dans sa localité type, soit à Perm en Russie. J'ai fait un exposé sur la succession permienne en Grèce et participé à l'excursion sur les couches du Permien de l'Oural. C'était l'occasion de rencontrer à nouveau, après le CIG de 1984 à Moscou, les collègues russes, soit les professeurs Galina Kotlyar de St-Petersbourg et Yuri Zakharov de Vladivostok et de préparer avec eux pour 1992, une réunion internationale de terrain sur le Permien et le Trias à Vladivostok mentionnée au chapitre 2.1.

En août 1992, en tant que président de la SST, j'ai participé au congrès géologique international de Kyoto (IGC). Au symposium en l'honneur du professeur Augusto Gansser, j'ai fait un exposé sur l'ouverture de la Néotethys en Oman (Baud, 1992). Puis j'ai participé à une excursion post-congrès sur les couches permienes dans le centre du Japon, puis rejoint notre réunion de Vladivostok (voir pages 7-8).

## **2.7 – Participation de 1989 à 1992 au programme de recherche international «Tethys» avec des travaux sur le terrain en Oman, dans l'île de Timor et au Texas occidental.**

L'année 1989 marque le début de mon implication dans un important programme de recherche international appelé «Groupement Scientifique Tethys» qui nous a soutenus financièrement et le début de recherches géologiques en Oman dans l'île de Timor et dans le Texas occidental. Avec le professeur Jean Marcoux et l'assistante post-doctorale Sylvie Crasquin, nous avons mis en place des groupes de travail sur le Permien et le Trias. Plusieurs réunions de travail ont eu lieu en 1989 et 1990, respectivement au musée de Géologie de Lausanne et à Paris.

Dans le cadre de ce programme de recherche international «Tethys», des échantillons permien et triasiques ont été collectés entre 1989 et 1992 en Oman (Baud et al., 1989), et en 1991 dans les calcaires rouges à ammonoïdes de l'île de Timor (Fig. 9b) en Indonésie (Baud & Marcoux, 1991).

Pour compléter nos données, nous avons organisé avec Jean Marcoux des recherches sur le terrain dans le Bassin Permien de l'ouest du Texas (Baud & Marcoux, 1989).

Avec Gérard Stampfli, nouveau professeur de géodynamique nommé à Lausanne, nous avons repris l'histoire des marges téthysiennes pour en publier, sous sa direction, une synthèse (Stampfli et al., 1991). Nous avons aussi repris des travaux sur des échantillons de l'Iran oriental reçus de notre collègue autrichien Anton Ruttner (Baud, Brandner et al., 1991, Baud, Stampfli et al., 1991).

Jean Marcoux a supervisé le groupe de travail sur les cartes paléogéographiques et paléo-environnementales du Trias (cartes de l'Anisien et du Norien) et m'a beaucoup aidé pour établir la carte du Permien moyen, le Murgabien (Baud et al., 1993).

Les résultats et les cartes paléogéographiques des programmes de recherche internationaux «Tethys» ont été présentés lors d'une réunion finale en 1992. Les trois cartes et les notes d'accompagnement sur les environnements permien et triasiques produites par notre groupe de recherche; (Marcoux et al., 1993a, 1993b) font partie d'un grand livre imprimé fin 1992 (Fig. 9a), sous la direction de Dercourt et al., 1993, et nous avons publié les paléoenvironnements du Permien et du Trias dans un livre de synthèse (Marcoux & Baud, 1996).



**Figure 9 :** a) couverture de l'Atlas Tethys, b) Nos guides indonésiens sur l'île de Timor et Jean Marcoux à l'arrière à droite, au cours de nos travaux de terrain.

## **2.8 – Invitation du Prof. Benoit Beauchamp à entreprendre des travaux de terrain dans les stratotypes du Trias inférieur du Haut-Arctique canadien, en juillet 1992**

Lors de la conférence de Perm en 1991, j'ai rencontré pour la première fois le Dr Benoit Beauchamp du Service géologique du Canada à Calgary (Canada), qui m'a proposé deux objectifs :

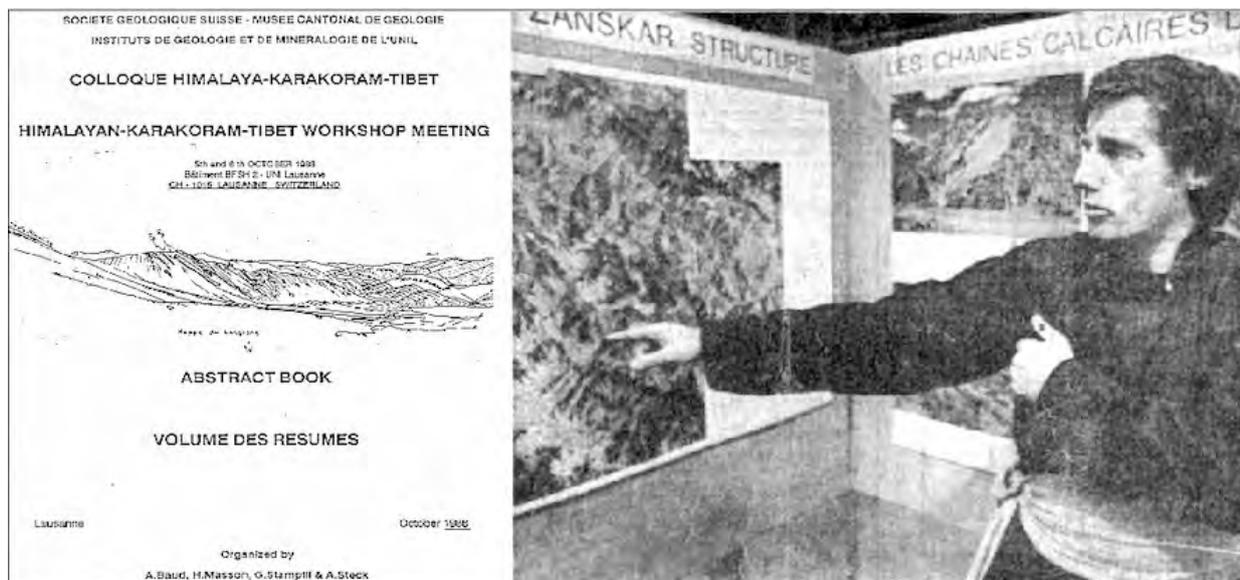
- a. participation au projet Pangea,
- b. participation à des recherches de terrain sur le Permien-Trias dans le Haut-Arctique canadien avec le soutien de la Commission géologique du Canada.

J'ai accepté ces propositions avec enthousiasme et c'est à la fin du mois de juin 1992 que j'ai pu rejoindre sur l'île d'Ellesmere l'expédition de terrain de Benoît Beauchamp dans le Haut-Arctique canadien. Des profils des sections types du Permien tardif et Trias précoce de l'Arctique ont été étudiés et des échantillons de roches de la transition Permien-Trias ont été envoyés au musée de Géologie de Lausanne pour analyse.

## **2.9 – Participation au groupe de recherche Himalaya avec les professeurs Henri Masson, Gérard Stampfli et Albrecht Steck**

Avec notre groupe de recherche de l'Université de Lausanne sur l'Himalaya, composé des professeurs H. Masson, G. Stampfli et A. Steck, nous avons proposé d'organiser à Lausanne en 1988 le quatrième symposium Himalaya-Karakoram-Tibet, ainsi qu'une exposition publique sur nos travaux géologiques et nos découvertes dans l'Himalaya du Ladakh (Fig. 10).

J'ai rédigé les actes de la conférence (Baud, 1989c) et une réponse à G. Fuchs (Baud 1989d).



**Figure 10 :** La couverture du volume des résumé à gauche et à droite, l’auteur commente l’exposition publique consacrée à l’Himalaya du Ladakh.

### **3 – La troisième période : 1993-2003**

Au cours de la troisième période, de 1993 à 2003, j’ai participé à trois nouveaux programmes internationaux de recherche jusqu’à ma retraite de directeur du musée de Géologie, et deux nouvelles lignes de recherche ont été lancées.

#### **3.1 – Participation de 1993-2003 au projet Pangea de la Commission de Géologie sédimentaire globale (C-GSG)**

Invité à l’Université du Kansas à Lawrence pour la réunion inaugurale du projet scientifique international Pangea, j’ai présenté un aperçu des recherches européennes consacrées à l’océan disparu Tethys, et été invité à coproduire les cartes de Pangea. Le projet Pangea a été publié dans le document spécial 288 de la Société géologique d’Amérique (GSA).

Il a alors été décidé que le projet Pangea se concentrerait sur la période la plus récente d’accrétion et de dispersion des supercontinents, c’est-à-dire du Carbonifère au Jurassique, lorsque les continents ont fusionné et que le climat de la Pangée a subi une grande glaciation (Baud, 1992 ; Ross et al., 1992). Ce projet faisait partie du programme de l’Union Internationale des Sciences Géologiques (UISG) sur la Géologie sédimentaire mondiale (P-GSG) présidé par B. Beauchamp et j’ai collaboré avec lui pour ce projet sur la Pangée. Les réunions étaient souvent associées à des congrès internationaux. Du 15 au 19 août 1993, le projet Pangea a organisé la « Tethys evolution during Pangea time Conference » à Calgary, organisée par B. Beauchamp et A. Embry. On m’a demandé d’être responsable de l’un des thèmes de la conférence, et j’ai organisé et dirigé l’une des sessions. J’ai également donné deux conférences (Baud, 1993a, b) et contribué à la présentation de quatre posters (Baud et al., 1993 ; Marcoux & Baud, 1993 ; Marcoux et al. 1993b, d).

La réunion suivante de Pangea s’est tenue pendant le symposium international sur le Permien, du 28 au 31 août 1994 à Guiyang, en Chine, dans le cadre du projet 359 du PICG. En tant que membre

du comité scientifique, j'ai présenté un exposé à ce congrès et participé aux travaux de la sous-commission internationale sur la stratigraphie permienne (Baud, 1994)

Du 9 au 11 mars 1999, une réunion Pangea s'est tenue à Wuhan en Chine (Fig. 11).



**Figure 11 :** Photo de groupe à la réunion Pangea 1999, à Wuhan (Chine).

Les actes de la conférence, comprenant 14 articles (175 pages), ont été publiés sous la forme d'une publication spéciale de l'Université de Wuhan. J'ai présidé une session et présenté un exposé sur nos résultats concernant la limite Permien-Trias en Oman (Baud et al., 1999).

Durant le Congrès international sur la stratigraphie du Carbonifère et du Permien à Calgary en août 1999, une session spéciale Pangea, organisée par B. Beauchamp, a été consacrée à la transition entre le Permien et le Trias et notre groupe de recherche y a présenté 3 résumés (Baud, 1999 ; Beauchamp et al., 1999).

En 2001, la dernière réunion du projet Pangea s'est tenue à Mascate en Oman. Grâce à la coordination avec les organisateurs de la Conférence internationale sur la géologie d'Oman, et avec le Ministère du commerce et de l'industrie, le symposium de deux jours Pangea a débuté le 14 janvier, au cours duquel 18 communications orales et 5 posters ont été présentés. Une excursion sur le terrain a été organisée avant la conférence et une excursion de quatre jours (Fig. 12) après la conférence (Baud, Béchenec et al., 2001a, b).



**Figure 12 :** Participants et organisateurs de l'excursion post-Congrès Pangea, sur la Géologie d'Oman en 2001 avec F. Béchenec et J. Marcoux, 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> depuis la gauche, au milieu.

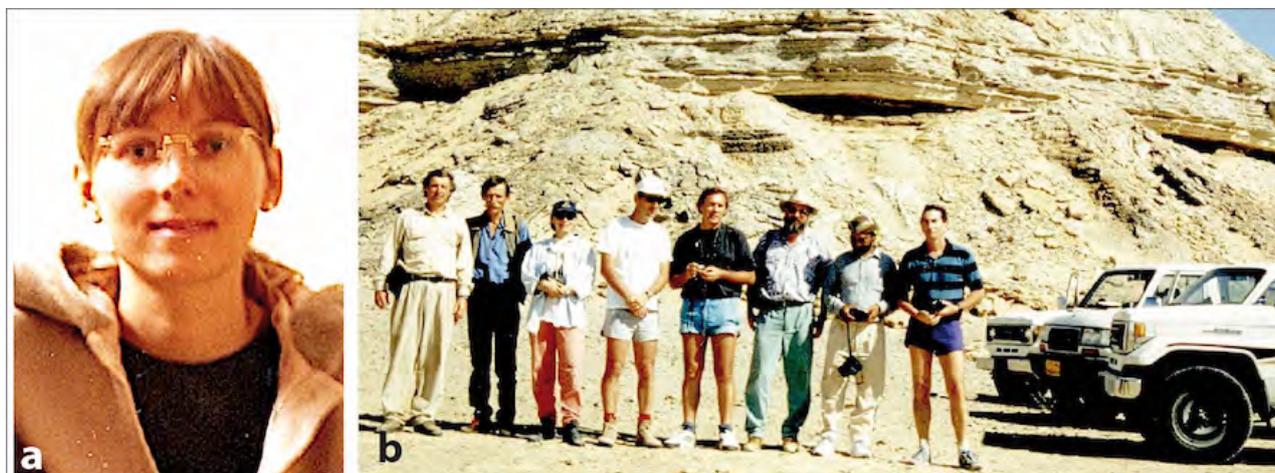
Nous étions dix collègues à préparer les deux guides de terrain très détaillés. Les actes ont été publiés dans un numéro spécial de *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (PPP -Baud et al., editors, 2003), et avec Jean Marcoux et Benoit Beauchamp nous avons rédigé un compte-rendu du symposium (Baud et al., 2001c) et présenté 4 communications (Baud & Beauchamp, 2003 ; Krystyn et al., 2003 ; Kozur et al., 2001a, b). Au chapitre 3.9, nous donnons le détail d'un nouvel axe de recherche présenté à cette réunion.

### **3.2 – Participation de 1993 à 1999 au programme de recherche géologique international Peri-Tethys**

À la suite du programme «Tethys» relaté dans le chapitre 2.6, un nouveau programme géologique international appelé Peri-Tethys a été lancé. En même temps, il y avait un nouveau projet 343 du PICG, «Corrélation des bassins épïcraoniques de la Téthys». En collaboration avec Sylvie Crasquin et Jean Marcoux, nous avons créé un groupe de recherche PICG sur la crise de la limite Permien-Trias et l'avons également incorporé au programme Peri-Tethys. Ma proposition d'études de terrain et d'échantillonnage dans la région de Dobrogea -Roumanie (projet Peri-Tethys 95-32) a bénéficié d'un soutien financier. Lors de la deuxième réunion, en septembre 1993 à Bucarest, après des travaux de terrain, j'ai donné une conférence (Baud, 1993) et dirigé une session. Nous avons publié en 1997 un ouvrage collectif sur le Trias inférieur de la Dobrogea, qui est devenu une référence (Baud, éditeur, 1997 ; Baud et al., 1997).

Une nouvelle collaboration a vu le jour avec le Dr Lucia Angiolini de l'Université de Milan (Fig. 12a), qui est venue au musée de Géologie de Lausanne pour étudier les brachiopodes du Permien d'Oman collectés par notre étudiant post-doctorat Alain Pillevuit. En janvier 1995, nous avons été invités à participer à une expédition internationale financée par le programme Péri-Téthys, qui s'est déroulée dans le Sultanat d'Oman afin de résoudre les problèmes de la stratigraphie, de la paléontologie,

sédimentologie et paléoécologie de la succession permienne de la région de Huqf (Fig. 13). Au cours de cette expédition, une grande collection de brachiopodes a été échantillonnée le long de deux sections stratigraphiques à Saiwan et Wadi Haushi, étudiée et publiée par Lucia Angiolini avec l'ensemble de notre équipe de recherche (Angiolini et al., 1995, 1997).



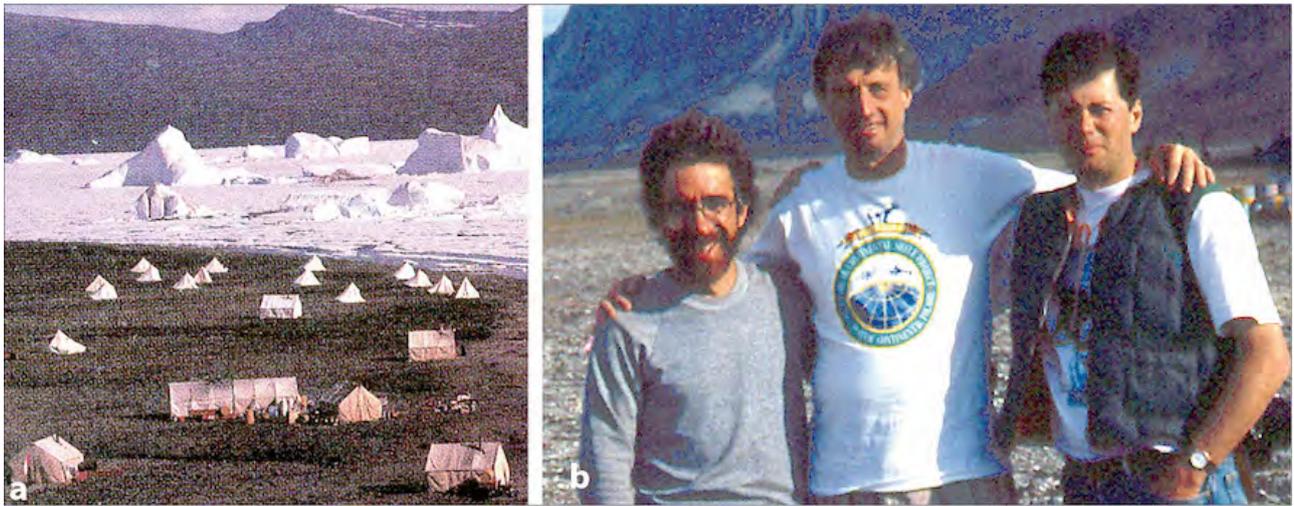
**Figure 13 :** a) Dr L. Angiolini, b) Notre équipe de recherche Peri-Tethys sous les affleurements Permien de Huqf, en 1995. A gauche, à côté de l'auteur, J. Marcoux and L. Angiolini.

Dans la suite du programme Péri-Téthys, une campagne de terrain a été organisée dans la péninsule ukrainienne de Crimée au cours de l'été 1996. Avec Jean Marcoux, nous nous sommes rendus ensemble à Simferopol (Ukraine), pour des travaux de terrain sur les blocs permien et triasiques de Crimée, avec l'aide des Professeurs Galina Kotlyar et Yuri Zakharov. Notre étude nous a conduits à la datation des blocs exotiques de ce territoire ukrainien, à leur comparaison avec les blocs exotiques de Kûrée (nord de la Turquie) et à la publication complète des résultats en 1999, après examen des lames minces dans le laboratoire de Galina Kotlyar (Kotlyar et al., 1999).

### **3.3 – En 1994, seconde invitation du Prof. Benoit Beauchamp à participer à l'étude des stratotypes du Trias inférieur du Haut-Arctique canadien, avec de nouvelles découvertes**

Invité à nouveau par Benoît Beauchamp, j'ai eu l'occasion de travailler avec le professeur Charles Henderson de l'Université de Calgary (Fig. 14).

Avec lui, nous avons échantillonné pour l'étude des conodontes les localités du Haut-Arctique contenant des *Otoceras* sur les îles Axel Heiberg et Ellesmere, afin de résoudre la controverse sur les corrélations entre ammonoïdes et conodontes au passage Permien-Trias. Les résultats ont été publiés dans les Actes du Congrès géologique de Pékin de 1996 (Henderson and Baud, 1997) : au-dessus des conodontes de Changxing, l'espèce de conodonte *parvus* apparaît au milieu de la zone supérieure d'*Otoceras* (*Otoceras boreale*).



**Figure 14:** Otto Fjord sur l'île d'Ellesmere, a) notre camp, b) notre équipe de recherche avec B. Beauchamp (à gauche) et C. Henderson (à droite).

Plus tard, en 1999, Amalia Spina, doctorante de Perrugia (Italie), a obtenu une bourse de l'UNESCO pour réaliser une étude palynologique de la collection arctique permienne- triasique de notre musée de Géologie de Lausanne et a présenté, avec Simonetta Cirilli ses résultats dans Cirilli et al. (2001).

Benoît Beauchamp m'a associé à son point de vue sur le développement des roches siliceuses biogènes du Permien supérieur dans les régions arctiques et, avec le changement climatique, à sa disparition à la transition Permien-Trias. Après sa présentation au symposium Pangea 2001, nous l'avons publié (Beauchamp & Baud, 2002), et cet article a rapidement obtenu un indice de citation élevé.

### **3.4 – Acceptation par le Fonds national suisse pour la recherche scientifique (FNSRS) d'un premier projet sur l'étude des isotopes du Carbone dans les couches du Trias précoce, recherches entreprises avec Viorel Atudorei (1994-1999)**

Avec la nomination de Zachary Sharp comme nouveau professeur à Lausanne, un nouveau laboratoire d'étude des isotopes du Carbone est devenu opérationnel et des programmes de recherche ont pu être soumis. Pour approfondir l'outil chimio-stratigraphique développé avec les Professeurs W. Holser et M. Magaritz, j'ai proposé en 1993 un projet de recherche sur les études isotopiques du Trias au FNSRS et j'ai obtenu un soutien financier en 1994 pour Viorel Atudorei de Roumanie. Avec lui, une importante collection de roches triasiques de la Dobrogea (Roumanie) a été rassemblée et étudiée en détail en 1994, mais aussi lors de la réunion de terrain Péri-Téthys de 1995.

Avec les échantillons précédemment collectés dans les Salt Ranges et au Cachemire, Viorel Atudorei a commencé à étudier les isotopes du Carbone de la transition Permien-Trias sur la marge nord-indienne de la Téthys (Atudorei et al., 1995a, b; Baud et al., 1995a, b, 1996).

Le soutien financier de ce Fonds nous a permis de poursuivre les recherches sur le terrain et l'échantillonnage du Permien-Trias dans le Sultanat d'Oman de 1996 à 1998 avec l'aide de Jean Marcoux (Paris) et d'Alain Pillevuit, étudiant post-doctorat de Lausanne (Baud et al., 1999).

En 1997, le Dr. H. Bucher a fourni à Viorel Atudorei une collection de roches carbonatées bien datées du Trias inférieur de la région de Spiti (Inde du Nord) et Viorel Atudorei a pu établir la première courbe isotopique complète du Carbone du Trias inférieur, publiée dans un chapitre de son travail de doctorat. Il a brillamment défendu sa thèse sous ma direction (Atudorei, 1999). Le professeur Z. Sharp

ayant obtenu un nouveau poste et un grand laboratoire isotopique à l'Université du Nouveau Mexique à Albuquerque (USA), Viorel Atudorei y a pris un poste de chercheur et y a entamé une carrière fructueuse.

### **3.5 – Acceptation par le FNSRS d'un deuxième projet sur l'étude des isotopes du Carbone dans les couches du Trias précoce, recherches entreprises avec Sylvain Richoz (1999-2004)**

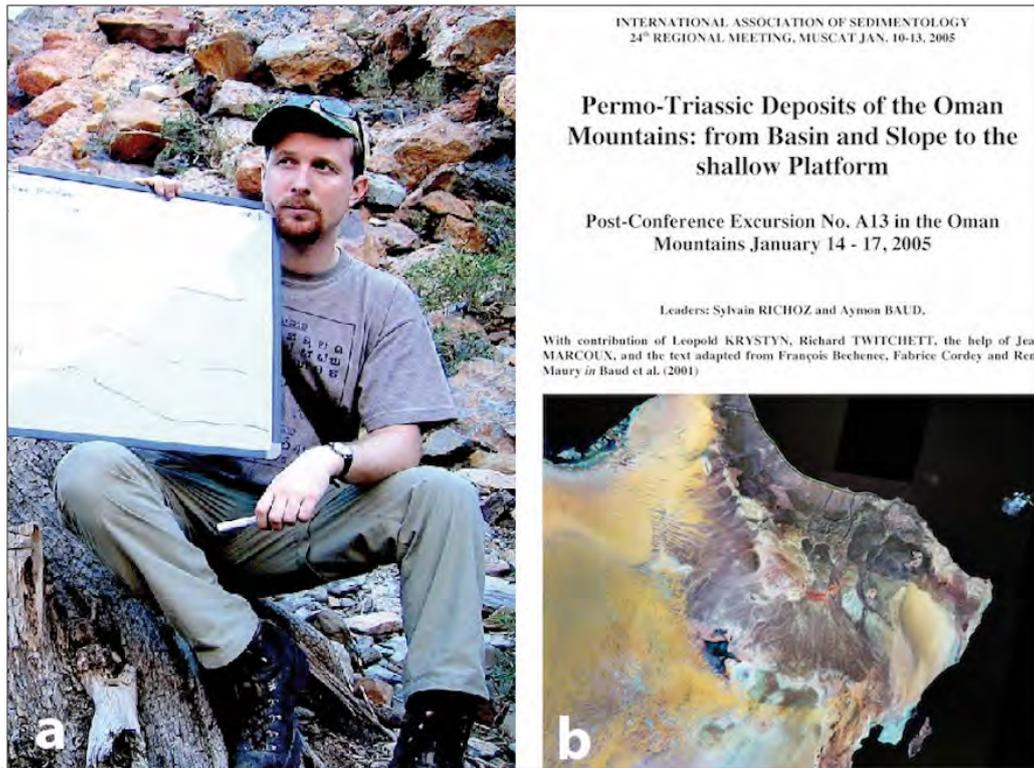
Le nouveau projet FNSRS que j'ai soumis, «La stratigraphie isotopique et l'étude de la matière organique des sédiments marins du Permien supérieur au Trias moyen», a été approuvé, et Sylvain Richoz, géologue diplômé de Lausanne, a été choisi pour occuper le poste d'assistant doctorant au musée de Géologie. En septembre 1999, Jean Marcoux et moi-même l'avons accompagné pour commencer des travaux de terrain dans la région d'Antalya (sud-ouest de la Turquie). Tous les trois, nous avons poursuivi ces travaux de terrain en 2000 jusqu'en 2003, en élargissant nos recherches à la région d'Alanya et du Taurus (Baud et al., 2001). Avec Jean Marcoux et Sylvain Richoz, nous avons poursuivi, en janvier 2000, les travaux de terrain sur le Permien-Trias d'Oman (Baud et al., 2001 ; Richoz et al., 2001a, b) et lui-même y a conduit des excursions (Fig 15)

Avec l'ouverture de l'Iran aux chercheurs étrangers, une partie de notre équipe de recherche avec Richoz a eu l'opportunité de passer un mois en mai 2002, avec l'aide du Service géologique d'Iran, pour effectuer des recherches sur le terrain avec collecte d'échantillons dans des coupes très connues du Permien-Trias du centre et du nord-ouest de l'Iran (Richoz et al., 2010).

Ceci a permis à Sylvain Richoz d'apporter une nouvelle synthèse en chimiostatigraphie, d'aborder une compréhension de l'évolution de trois marges néotéthysiennes (Iran, Turquie et Oman) au cours de la fin du Permien et du début du Trias et de rédiger sa thèse de doctorat qu'il a brillamment achevée et défendue en 2004, mettant en évidence la grande instabilité du réservoir de carbone inorganique au cours du Trias inférieur (Richoz, 2006).

### **3.6 – De président à ex-président de la Sous-commission de stratigraphie du Trias (SST), passage de témoin (1993-2003)**

En tant que président de la Sous-commission de stratigraphie du Trias (SST), j'ai participé en juin 1993 aux travaux de terrain du groupe de travail sur la limite Anisien-Ladinien dans les Dolomites italiennes et en Hongrie. En novembre, j'ai été invité à Heidelberg pour la réunion du groupe d'étude européen sur les bassins triasiques.



**Figure 15 :** a) Excursion en Oman, Sylvain Richoz montre un tableau, b) Page de couverture du livret guide de l'excursion A13 du congrès de sédimentologie de 2005.

En 1994, j'ai dirigé la réunion plénière de la SST organisée pendant la conférence «Shallow Tethys 4», du 9 au 12 septembre 1994, à Albrechtsberg (Fig. 16) près de Vienne, Autriche (Baud. 1994b). Au cours de cette conférence, une réunion du groupe de travail sur la limite Permien-Trias (PTBWG) et une réunion régionale du projet 359 du PICG ont également été organisées.



**Figure 16 :** Le nouveau président, M. Gaetani à côté de l'ancien, à Albrechtsberg en 1994.

En 1995, le professeur Maurizio Gaetani de l'Université de Milan a été élu nouveau président et deviendra mon successeur. En 1996, la SST a tenu une réunion plénière lors du 30<sup>e</sup> Congrès géologique international (CGI) à Pékin et la Commission internationale de stratigraphie (ICS) a approuvé la nomination de Maurizio Gaetani en tant que nouveau président de la SST. Chargé de stimuler le groupe de travail sur la limite entre le Permien et le Trias, M. Gaetani a reçu en 1999 un vote positif des membres votants du SST sur le choix de Meishan pour le stratotype global (GSSP) de cette limite. En 2000, lors du 31<sup>ème</sup> IGC à Rio de Janeiro, la Commission Internationale de Stratigraphie (ICS) a ratifié ce GSSP et a approuvé Mike Orchard de Vancouver (Canada) comme nouveau président de la SST, succédant à Maurizio Gaetani.

En 2001, une cérémonie inaugurale du monument GSSP est organisée dans la carrière de Meishan pendant le symposium international sur «Le stratotype global de la limite Permien-Trias et les événements paléozoïques-mésozoïques» dirigé par Hongfu Yin. J'ai fait un exposé lors du symposium et l'article rédigé avec Benoît Beauchamp sur la redéfinition du sous-étage Griesbachien a été publié dans les actes du symposium (Baud & Beauchamp, 2003).

### **3.7 – Participation au Congrès Géologique International (CGI) à Pékin (Chine) du 4 au 14 août 1996, et celui de Rio de Janeiro (Brésil) du 7 août au 3 septembre 2000**

Désigné par le Comité suisse du PICG comme chef de la délégation suisse auprès de l'Union Internationale des Sciences Géologiques (UISG), j'ai participé aux travaux du 30<sup>ème</sup> Congrès Géologique International, congrès qui s'est tenu à Pékin du 4 au 14 août 1996. J'ai été responsable d'une des sessions du Symposium sur «la limite Permien-Trias et la corrélation globale du Trias» et j'ai présenté 2 communications (Baud, 1996; Baud et al., 1996). J'ai suivi les sessions de travail de l'UISG et participé aux sessions plénières du Congrès. En tant qu'ancien président de la sous-commission de stratigraphie du Trias, j'ai participé activement à l'assemblée générale de la sous-commission qui s'est tenue dans le cadre du congrès et j'ai participé à une excursion Permien-Trias traversant la Chine occidentale.

J'ai fait part de mes recherches au journaliste G. Olivieri qui a publié l'article ci-dessous (Fig. 17).

En 2000, j'ai participé au 31<sup>e</sup> Congrès géologique international à Rio de Janeiro (Brésil) du 7 août au 3 septembre. Orateur invité au Symposium Permien-Trias, j'ai fait un exposé sur les variations géochimiques à la limite Permien-Trias (Baud, 2000). J'ai suivi les sessions et, lors de l'assemblée générale de l'Union internationale des sciences géologiques (UISG) qui s'est tenue pendant le congrès, j'ai été nommé président de sa Commission de la Géologie sédimentaire globale (C-GSG). Après le congrès, j'ai participé à une excursion officielle, avec la géotraversée des Andes entre Mendoza (Argentine) et Vina del Mare (Chili). A mon retour du Congrès et de l'excursion j'ai rédigé un rapport complet sur l'accomplissement du programme de cette commission de 1987 à 2002, qui a été publié dans le volume 25/4 du périodique Episode (Baud, 2002).

### **3.8 – A partir de 1996, un deuxième axe de recherche a été mis en route, avec la mise en évidence des constructions algo-microbiennes qui ont suivi la grande extinction**

Suite à l'étude des lames minces des collections du Permien-Trias hébergées au musée de Géologie de Lausanne et provenant des localités suivantes: Curuck Dagh (Turquie), Vedi et Sovetchen (Arménie) et Abadeh (Iran), j'ai reçu l'aide précieuse de Simonetta Cirilli, professeur de paléontologie à l'Université de Perrugia. C'est grâce à sa contribution que le concept d'une réponse à la Grande

Extinction consistant en une résurgence soudaine des accumulations algo-bactériennes a été affirmé dans un poster et un résumé que nous avons présentés en 1996 à la réunion du projet 380 du PICG à Göttingen en Allemagne sur la «biosédimentologie des accumulations microbiennes» (Baud & Cirilli, 1996). La publication que nous avons préparée et à laquelle nous avons associé Jean Marcoux a paru dans *Facies* en 1997 (Baud et al., 1997), et a eu un impact considérable. Ce nouveau concept a été suivi par des centaines de publications qui ont pleinement confirmé cette résurgence dans toutes les régions intertropicales d'alors où affleurent et sont étudiées les couches de calcaire marin de la transition entre le Permien et le Trias.

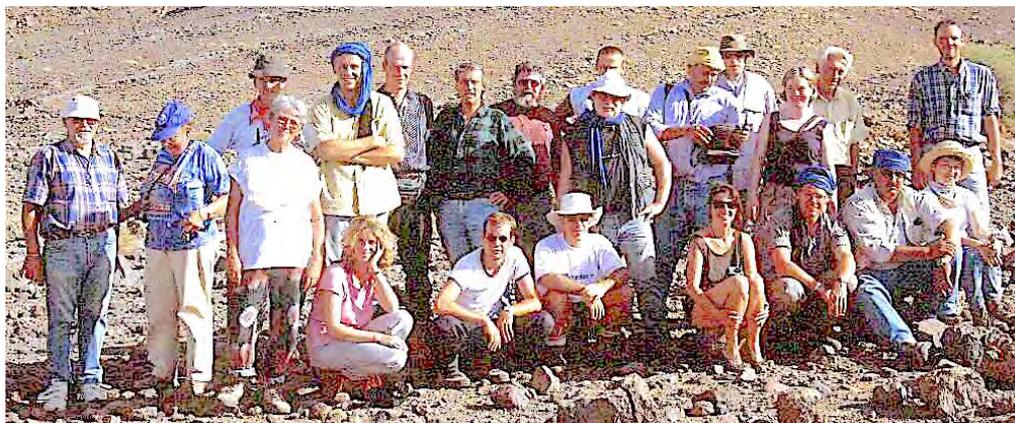


Figure 17: Article publié dans le journal 24Heures du 23 mars 1996.

Afin de comprendre les débuts de cette vie microbienne qui est apparue sur Terre au Néoprotérozoïque il y a 3,5 milliards d'années et celle de l'édification des monticules de boue du Paléozoïque, je me suis alors engagé à participer à trois congrès avec excursion sur le terrain:

1. En 1998, du 30 novembre au 6 décembre, j'ai participé à l'excursion d'Atar en Mauritanie. Janine Bertrand-Sarfati et Alexis Moussine-Pouchkine ont animé cette excursion de six jours sur le terrain pour examiner les constructions stromatolitiques d'âge méso- à néo protérozoïque de l'Adrar mauritanien et leur environnement. J'ai discuté avec les spécialistes mondiaux de ces carbonates construits et j'ai pris des photos de colonnes de stromatolithes géants (voir texte anglais).
2. En 1999, le projet 380 du PICG a organisé une excursion à Ouarzazate au Maroc (Fig. 18), du 23 septembre au 2 octobre. Les examens des monticules carbonatés dévoniens dans la région de Ouarzazate ont été d'un grand intérêt et le guide de terrain est devenu une référence.
3. La troisième excursion sur le terrain en Namibie, en 2002, a eu lieu juste avant le 16ème congrès international de sédimentologie à Johannesburg (Afrique du Sud). Consacrée au prélude de l'explosion cambrienne elle a montré, sous la direction de John Grotzinger, l'enregistrement de la vie et des environnements dans le groupe protérozoïque terminal de Nama. Cette excursion m'a

permis de découvrir les roches sédimentaires protérozoïques terminales les mieux exposées et les plus fossilifères le long de la côte ouest de la Namibie.



**Figure 18 :** Participants à l'excursion d'Ouarzazate au Maroc, en 1999.

Grâce à cette possibilité unique d'examen de microbialites diverses et variées, les recherches sur le terrain qui ont suivi ont été riches en nouvelles découvertes sur les peuplements algo-microbiens post-extinctions et les équipes de recherche ont été renouvelées comme montré dans la période suivante.

### **3.9 – La découverte sur le terrain en Oman de métazoaires qui ont échappé à la grande extinction permet l'ouverture d'une troisième ligne de recherche qui se poursuivra dans les périodes suivantes**

Lors de l'étude géologique du Wadi Wasit avec Jean Marcoux en 1997, j'ai collecté des ammonoïdes près d'un gros bloc calcaire appartenant à un olistostrome charriant de gros blocs récifaux permien. J'ai transmis ces ammonoïdes au spécialiste, le professeur Leopold Krystyn de Vienne.

Il les a déterminées et avec la découverte tout à fait surprenante de l'âge Griesbachien (Trias basal) de ces fossiles, il est allé échantillonner le bloc calcaire à mes coordonnées géographiques précises en décembre 1998. En février 1999, je suis retourné sur le terrain et Jean Marcoux m'a rejoint pour échantillonner ce bloc. Avec le travail paléontologique effectué par Krystyn et l'étude en coupe mince au musée de Géologie sur l'échantillon prélevé, nous avons pu reconnaître pour la première fois un calcaire du Trias basal construit par des accumulations de fossiles dans une eau de mer bien oxygénée, alors qu'elle était réputée anoxique. J'ai donné une conférence sur la transition Permien-Trias d'Oman en mentionnant cette étude durant la réunion Pangea de Calgary (Baud, 1999). Lors de la réunion en Oman sur la Pangée en 2001 (chap. 3.1), Krystyn a présenté un exposé et un poster (Krystyn et al., 2001), et les résultats communs de notre nouvelle équipe de recherche ont été publiés (Krystyn et al., 2003). Cette publication a attiré beaucoup d'attention et un indice de citation élevé. Notre collègue Richard Twitchett de l'Université de Plymouth nous a rejoints pour l'étude de ce bloc, unique à l'époque (Twitchett et al, 2004).

### 3.10 – Une formation continue sur le terrain en Oman offerte à une association d'étudiants en géologie de l'Université de Lausanne

Préparé avec Jean Marcoux et Sylvain Richoz pour l'association lausannoise des étudiants en géologie Pangea, nous avons présenté la richesse géologique du paysage omanais à 13 étudiants en master participant activement avec leur professeur de géologie structurale, Henri Masson, durant le mois de janvier 2002 (Fig. 19). Le Dr Heinz Kozur (Hongrie) s'est joint au voyage et a publié ses observations (Kozur, 2002).

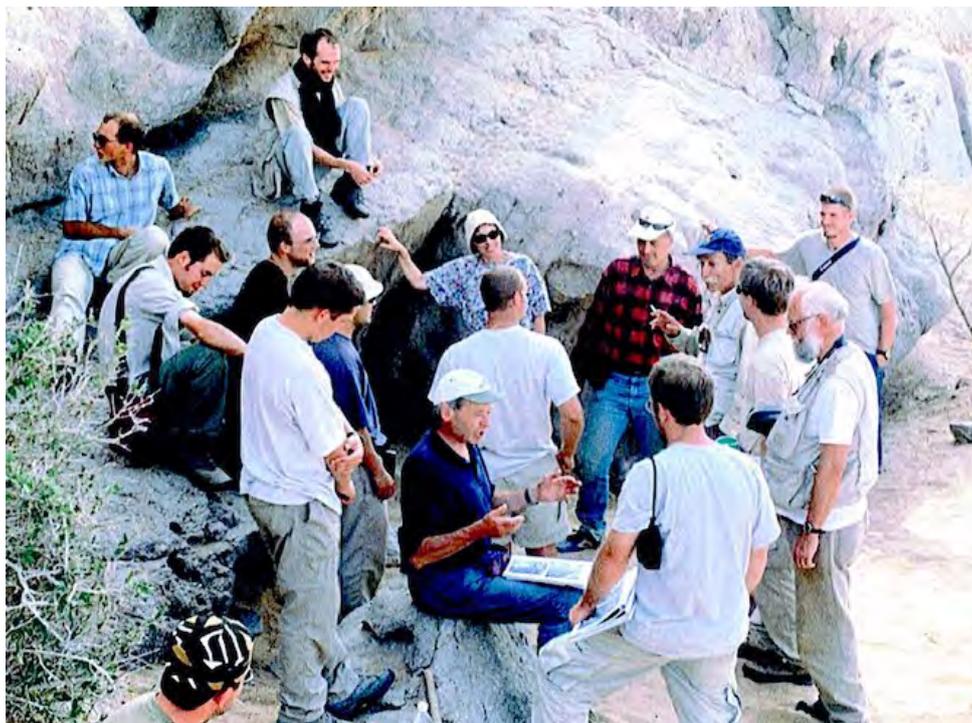


Figure 19 : Explications géologiques données par H. Masson, au milieu, aux étudiants lausannois.

### 3.11 – Exposition du musée avant ma retraite en 2003 : une vue historique sur les derniers siècles de découverte de la Haute Asie

Pour terminer ma vie active avant la retraite sur une bonne note, et sur un sujet qui me tient à cœur, j'ai préparé avec une petite équipe soudée (P. Forêt & S. Gorshenina) une exposition historique sur la découverte de la Haute Asie par des scientifiques au cours des derniers siècles dans notre bâtiment d'exposition temporaire. Elle commençait avec Victor Jacquemond (1801-1832) qui fut le premier à découvrir des fossiles en Spiti-Himalaya. Nous avons également donné des informations sur les explorateurs géologues de l'Himalaya F. Stoliczka et C. L. Griesbach qui ont été les premiers à découvrir la faune d'Otoceras du Trias basal, et nous avons terminé avec Arnold Heim et Augusto Gansser et l'exploration géologique secrète de ce dernier au Tibet du Sud en 1936. Un ouvrage très illustré a été édité en français (Fig. 20) aux éditions Olizane, « La Haute Asie telle qu'ils l'ont vue. Explorateurs et scientifiques de 1820 à 1940 », 152 pages et 120 illustrations (Baud et al., 2003).

En conclusion à cette troisième période, je veux d'abord remercier le personnel du Musée, préparateurs et secrétaires qui m'ont accompagné et aidé et également le personnel de laboratoire, les bibliothécaires et le préparateur de lames minces du département des Science de la Terre pour leurs contributions.

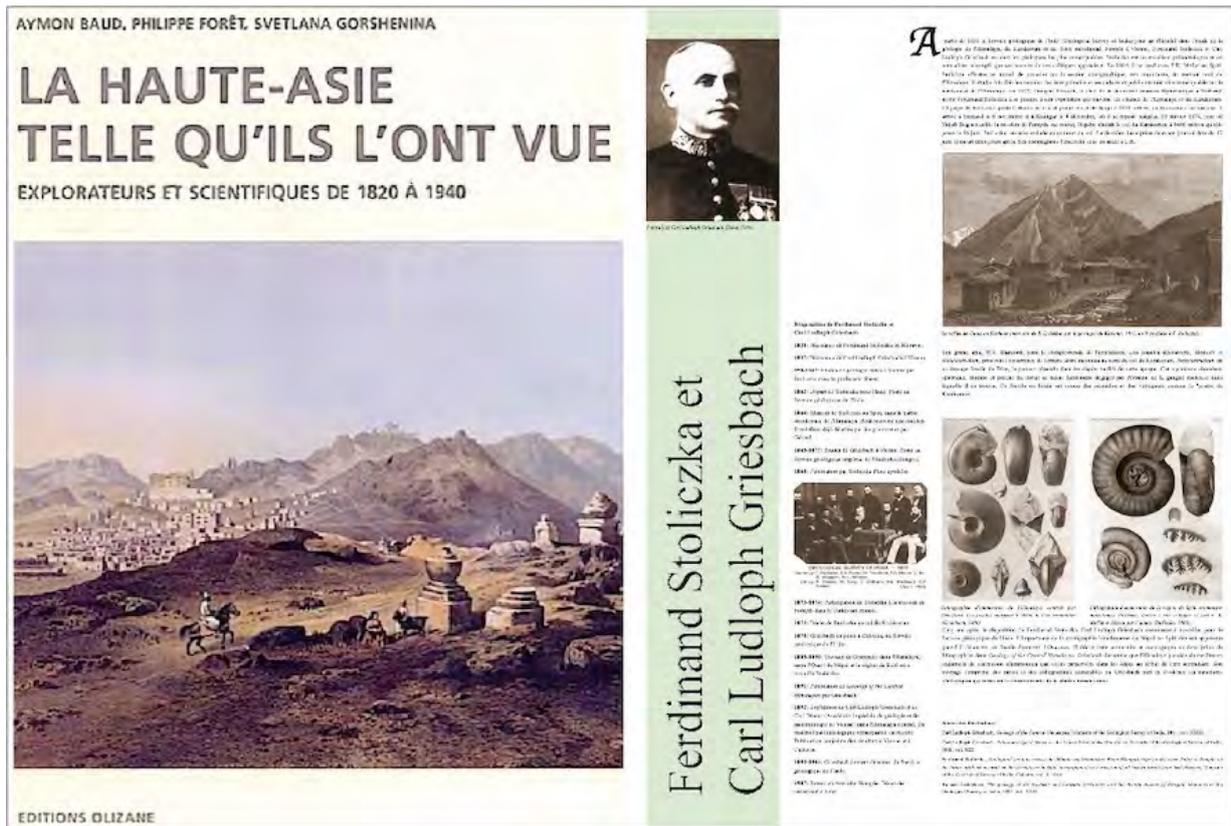


Figure 20: Couverture de l’ouvrage cité à gauche, et page sur Stoliczka et Griesbach à droite.

Le musée de Géologie de Lausanne a acquis, avec ses nouvelles collections sur le Permien-Trias et les publications associées, une réputation internationale, qu’en prenant ma retraite de directeur, j’ai pu transmettre à mon successeur et à toute l’équipe du Musée.

#### 4 – La quatrième période: fin 2003-2010

Avec ce départ à la retraite de la direction du musée de Géologie de Lausanne, l’abandon d’une administration chronophage et sans obligations professionnelles, j’ai pu me lancer dans de nouvelles périodes de recherche sur le terrain et dans les rédactions qui étaient en attente.

Avec mes connaissances en stratigraphie du Permien-Trias, celles en chemostratigraphie des isotopes du Carbone et mon expérience scientifique sur les accumulations microbiennes, j’ai pu également prendre le temps de rédiger un grand nombre d’observations et de résultats non publiés, issus de travaux de terrain antérieurs, de commencer de nouvelles études sur de riches collections du Permien-Trias avec leurs coupes minces. J’ai pu aussi donner des réponses positives à ma participation aux travaux de terrain des équipes de recherche qui m’y ont associés. L’étude des isotopes du Carbone s’est poursuivie avec Sylvain Richoz, et la ligne de recherche sur les microbialites a donné lieu à des publications avec S. Cirilli, J. Marcoux et S. Richoz (Baud et al., 2003). Celle sur les métazoaires du Trias basal s’est poursuivie avec R. Twitchett associé à J. Marcoux et L. Krystyn. Durant cette quatrième période, j’ai également pu mettre à la disposition de mes collègues et groupes de recherche toute mon expérience dans l’organisation de congrès avec stages sur le terrain et symposiums associés. La coopération avec les paléontologues-stratigraphes des ammonites triasiques s’est poursuivie avec Jean Guex et Hugo Bucher, sur les conodontes avec Leopold Krystyn, Alda Nicora, et depuis 2007 avec Charles Henderson. Quant à Sylvie Crasquin et, à partir de 2008 avec Marie-Beatrice Forel, elles

ont collaboré à l'étude des ostracodes, et Lucia Angiolini à l'étude et la détermination des brachiopodes sur les terrains que nous avons étudiés.

#### **4.1 – Participation au Congrès géologique international (IGC), Florence, 18-29 août 2004, et au Congrès paléontologique (IPC), Pékin, 16-21 juin 2006**

En septembre 2003, je me suis rendu à un Symposium sur la géochronologie et la cyclostratigraphie du Trias à St. Christina (Dolomites, Italie). Au cours de cette conférence, la théorie de la cyclostratigraphie de Goldhammer a fait l'objet de vives critiques.

J'ai participé en 2004 avec Sylvain Richoz, au 32ème Congrès Géologique International à Florence (Italie). Il y a présenté les résultats de son doctorat sur la chimio-stratigraphie isotopique du Carbone des coupes du passage Permien-Trias de l'Iran, de la Turquie et d'Oman (Richoz & Baud, 2004). A la session «Late Permian-Early Triassic events» j'ai présenté un exposé sur une revue des données géochimiques connues des sédiments marins de l'intervalle de transition Permien-Trias (Baud & Richoz, 2004).

Pendant le congrès, Bruce Wardlaw de Boise (USA) a présenté son programme de base de données Permien-Trias appelé Chronos, un système d'information chronostratigraphique, et il m'a invité à participer au printemps 2005 à la réunion Paleostrat à Boise, aux États-Unis.

A son invitation, j'ai participé, les 1 et 2 mai 2005, à la réunion de travail du projet Permian-Trias de Paleostrat à Boise et j'y ai donné deux conférences, dont l'une concernait les importantes collections Permien-Trias hébergées au musée de Géologie de Lausanne (Baud, 2004), puis j'ai publié sur les changements géochimiques au passage Permien-Trias (Baud, 2005).

En 2006, avec Patrice Moix de Lausanne et Sylvie Crasquin de Paris, nous nous sommes rendus au deuxième congrès international de paléontologie à Pékin, du 16 au 21 juin. J'ai donné une conférence (Baud et al., 2006), et participé à deux autres présentations, l'une avec l'équipe de recherche de Dave Botjer et l'autre avec l'équipe de Hongfu Yin (Marenco et al., 2006; Yin et al., 2006, 2007a, b). Du 22 au 28 juin nous avons participé à l'excursion qui examinait la succession du Paléozoïque supérieur au Trias de l'Himalaya tibétain et les événements géologiques importants le long de la route menant du Népal à Lhassa (Fig. 21).



**Figure 21 :** Les participants au col de Jiacuola (Tibet).

À cette occasion, nous avons pu organiser le premier échantillonnage de la section Tulong du Trias inférieur avec son calcaire à ammonoïdes rouges. Après cette étude, nous avons été inclus dans les

articles publiés en 2009 et 2010 sur cette section tibétaine de Tulong (Brühwiler et al., 2009; Forel et al., 2011).

#### **4.2 – Poursuite de la collaboration avec Jean Marcoux en Oman de 2003 à 2007**

Comme précédemment, la recherche en Oman a bénéficié de l'aide inestimable, de l'hébergement et de l'amitié de Françoise et Jean-Paul Breton vivant à Ruwi/Mascate. De son côté, le Dr. Hilal bin Mohammed Al-Azri, Directeur Général des Minéraux jusqu'en 2005, s'est montré très favorable à nos projets de recherche en Oman.

En janvier 2004, nous avons poursuivi nos recherches sur le terrain avec Jean Marcoux et Hugo Bucher dans la région de Nizwa et avons rejoint nos collègues L. Krystyn de Vienne et R. Twitchett de Plymouth pour travailler et prélever des échantillons dans la région de Wadi Maqam, afin de préparer une grande excursion sur le terrain prévue au Congrès de sédimentologie de 2005.

Lors de la 24ème réunion de l'Association internationale des sédimentologues (IAS), qui s'est tenue du 10 au 13 janvier 2005 à l'Université Sultan Qaboos à Al Khod près de la capitale Mascate, notre équipe de recherche a présenté un exposé (Baud et al., 2005).

Mes collègues H. Droste, C. Robin, F. Guillocheau, P. Razin & F. Bechenec m'ont associé pour préparer le livret guide sur «L'évolution mésozoïque de la marge téthysienne d'Oman». Nous avons dirigé cette excursion du 4 au 9 janvier (Baud et al., 2005). Avec S. Richoz, L. Krytyn, J. Marcoux et R. Twitchett, nous avons rédigé le guide d'excursion sur la naissance et le développement précoce de la marge téthysienne d'Oman du Permien moyen au Trias moyen avec une approche géochimique et sédimentologique, puis nous avons dirigé avec succès l'excursion du 14 au 17 janvier (Richoz et al., 2005).

#### **4.3 – Poursuite de la collaboration avec Jean Marcoux en Turquie de 2003 jusqu'à son décès en 2008, et visite à Spiti/Himalaya (2004) et en Nouvelle-Zélande (2006)**

En Turquie, les contacts de Marcoux avec l'Université d'Isparta nous ont beaucoup aidés pour les études de terrain et les permis d'échantillonnage.

Déjà une semaine après ma retraite, en septembre 2003, j'ai été invité par l'équipe de recherche de Marcoux à effectuer des études sur le terrain sur la succession Permien-Trias de Hazro, dans le sud-est de la Turquie. Nous avons échantillonné une section permienne complète, et les foraminifères permien ont été publiés par Gaillot & Vachard, (2007) et Gaillot et al. (2016). Avec Sylvie Crasquin, nous avons aussi étudié la transition Permien-Trias (Baud et al., 2016).

Du 25 juin au 10 juillet 2004, avec des amis archéologues et J. Marcoux, nous avons participé au congrès avec excursion sur le terrain dans la province himalayenne de Spiti, au nord de l'Inde (Fig. 22), ceci dans le cadre du projet 467 du PICG sur le Trias. À cette occasion, nous avons étudié et échantillonné des coupes de la limite entre le Permien et le Trias, avec les couches historiques à *Otoceras*, de la base du Trias définies en Himalaya.

En mai 2005, nous sommes retournés avec J. Marcoux dans le sud-ouest de la Turquie pour une étude de terrain sur la paléotectonique permienne de la région de Curuck Dagh. Nous avons découvert d'importants déplacements et discordances intra-Permien-Trias et, pour la première fois, des pseudomorphoses d'ikaite sur des calcaires du Permien moyen (Baud et al., 2005).



**Figure 22 :** A gauche, Jean Marcoux ; à droite, avec son épouse Noëlle sur la route de Spiti,.

En mars 2006, nous avons décidé, avec J. Marcoux, de participer en Nouvelle- Zélande à un congrès avec excursion sur le terrain du projet 467 du PICG sur les dépôts de radiolarite du Permien-Trias de l'île du Nord et à la réunion du symposium InterRad 11 à Wellington (Fig. 23), où nous avons présenté deux exposés (Baud et al., 2006 ; Marcoux et al., 2006).



**Figure 23 :** Repas principal d'InterRad 11 à Wellington en Nouvelle Zélande, avec à droite Jean et Noëlle Marcoux et à gauche je suis avec mon épouse Monique.

L'excursion a offert l'occasion unique au monde d'observer une section continue de radiolarite du Permien tardif au Trias moyen sur l'île d'Arrow Rock. En observant les affleurements situés sous les radiolarites du Permien supérieur, j'ai découvert un socle de pillow-lavas recouvert d'un calcaire rouge à ammonoïdes, ce qui m'a permis d'envisager une future ligne de recherche développée au chap. 5.11.

En septembre 2007, Patrice Moix, doctorant à Lausanne, nous a demandé, à Marcoux et à moi, de jeter un coup d'œil sur son travail de terrain de thèse dans une région proche de Mersin, au sud de la Turquie. Puis avec Marcoux nous sommes allés dans la région d'Alanya et avons découvert une nouvelle coupe du Permien-Trias à Oznurtepe. En raison de la maladie qui le rongait, ce fut mon dernier travail sur le terrain avec lui.

En mai 2008, à cause de cette maladie, nous avons poursuivi le travail de terrain sans lui dans la région de Curuck Dagh, au sud-ouest de la Turquie, mais avec toute une équipe emmenée par Sylvie Crasquin, avec sa doctorante M.B. Forel et un invité le professeur Steve Kershaw de Brunel (UK) intéressé par les microbialites qu'il va par la suite publier (Kershaw et al., 2011, 2012). J'ai encadré V. Verna, doctorant de L. Angiolini, pour l'échantillonnage des brachiopodes permien, avec la professeure Alda Nicora de Milan (Verna et al., 2011).

Le 17 juin 2008, alors que nous revenions de ce travail de terrain, nous avons appris la nouvelle de décès soudain de Jean Marcoux, ce qui nous a tous profondément touchés. Certains d'entre nous ont participé à la cérémonie de son enterrement au célèbre cimetière du Père Lachaise à Paris. Ayant vécu plus de 25 ans d'aventures géologiques avec lui, écrivant ensemble, organisant des réunions ou des expéditions géologiques, j'ai préparé des articles d'hommages (Baud, 2008, 2009 a, b, 2010), et participé à la préparation de réunions sur le terrain en Turquie et Oman en son souvenir (voir chapitre suivant).

#### 4.4 – Le nouveau projet 572 du PICG va permettre de rendre hommage à Jean Marcoux lors de deux conférences que nous avons organisées sur les terrains qu'il a tant parcourus

En 2008, le nouveau projet sur le Trias du PICG, le no 572 dirigé par Zhong Qiang Chen (Australie), vise à étudier la reconstitution des écosystèmes après l'extinction en masse de la fin du Permien et à analyser les archives sédimentaires et fossiles par le biais d'étude de biostratigraphie, de paléontologie, de paléoécologie, de sédimentologie, de géochimie et de biogéochimie.

Du 2 au 6 septembre 2009, la deuxième réunion annuelle du projet 572 s'est tenue à Antalya, dans le sud de la Turquie. En tant que co-organisateur, j'ai dirigé la session d'ouverture dédiée à la mémoire de Jean Marcoux avec le rappel de toute sa carrière scientifique et de ses travaux sur le Permien et le Trias de la région. Une réunion d'une journée, le 3 septembre, a été organisée à la Faculté d'ingénierie de l'Université Akdeniz à Antalya avec l'aide d'E. Kosun, professeur adjoint. L'excursion sur le terrain de trois jours (Fig 24), que nous avons organisée avec S. Crasquin et S. Kershaw du 4 au 6 septembre a examiné toutes les coupes du passage Permien-Trias découvertes avec Jean Marcoux (Crasquin et al., 2009).



**Figure 24:** A gauche, photo des participants à l'excursion prise dans la carrière de Demirtas près d'Alanya avec Noëlle Marcoux debout au milieu; A droite, couverture du livret guide en hommage à Jean Marcoux.

C'est du 20 au 26 février 2010 que la troisième réunion annuelle du PICG 572 s'est tenue en Oman, organisée conjointement avec la professeure Michaela Bernecker de l'Université allemande GÜtech à Mascate. La conférence d'une journée et demie a permis de rappeler tous les travaux effectués par Jean Marcoux en Oman. Elle a été suivie d'une excursion de quatre jours et demi organisée avec O. Weidlich, B. Beauchamp, L. Krystyn, A. Nicora, C. Henderson, S. Richoz, F. Cordey et R. Twitchett, qui a offert aux participants l'opportunité de visiter les magnifiques affleurements du Sultanat d'Oman permettant un accès inégalé aux unités de transition entre le Permien et le Trias que nous avons étudiées le long de la marge du Gondwana de la Téthys (Baud, & Bernecker, editors, 2010).

#### **4.5 – Poursuite de la collaboration avec Benoit Beauchamp, Charles Henderson et Steve Grasby, avec travaux en Oman et en Turquie de 2003 à 2010**

En 2003, le numéro spécial Pangea, édité avec B. Beauchamp, est publié (Baud, Beauchamp et al., 2003).

En 2004, j'ai participé à la conférence conjointe I.C.E. 2004 CSPG qui s'est tenue à Calgary, au Canada, et l'équipe de recherche de Beauchamp m'a inclus dans deux documents présentés à cette occasion (Beauchamp et al., 2004a, b).

En 2005, B. Beauchamp m'a invité à donner une conférence à ses étudiants à l'Université de Calgary. La collaboration avec Benoît Beauchamp, Charles Henderson et Steve Grasby se poursuit avec, sur ma proposition, des recherches sur le Permien-Trias en Oman: ils reçoivent un soutien financier pour cela. En conséquence, en janvier 2006, l'équipe de recherche de Beauchamp, ainsi que Noel James et Alda Nicora de Milan ont pu venir travailler sur le terrain dans différents affleurements clés du Permien-Trias depuis le centre d'Oman jusqu'à Wadi Maqam à la frontière des Émirats.

En août 2006, j'ai participé à la conférence sur le Trias boréal à Longyearbyen, Svalbard, Norvège arctique, et présenté un exposé sur les couches riches en bryozoaires du Trias inférieur que j'ai découverts sur l'île d'Ellesmere lors des travaux de terrain effectués en 1994 avec B. Beauchamp dans le Haut-Arctique canadien. L'article réalisé avec l'équipe de recherche de Beauchamp, associée au spécialiste des bryozoaires, le professeur Hans Nakrem d'Oslo, a été publié dans Polar Research (Baud et al., 2007).

En janvier 2009, nous nous sommes rendus avec B. Beauchamp dans différents affleurements clés du Permien-Trias d'Oman pour préparer le deuxième congrès avec excursion sur le terrain du projet 572 du PICG, Sultanat d'Oman pour 2010.

En septembre 2009, après le congrès avec excursion sur le terrain du PICG 572, à Antalya en Turquie, j'ai conduit Charles Henderson à la découverte d'affleurements permien-triasiques qui n'avaient pas été inclus dans le programme.

En Oman en 2010, l'équipe de recherche de Beauchamp participe activement au deuxième congrès avec excursion sur le terrain du PICG 572 (Fig. 25).

#### **4.6 – Nouvelle collaboration avec le professeur Dave Botjer de l'UCLA, ses doctorants Sara Pruss, Pedro Marenco, et avec les Dr Frank Corsetti et Dr Adam Wood (Los Angeles, USA) de 2003 à 2008**

En 2003, j'ai invité Sara Pruss et Dave Botjer à découvrir les unités Permien-Trias des montagnes d'Antalya au sud de la Turquie. Ils ont prélevé des échantillons et sont revenus très enthousiastes en me proposant de les rejoindre pour une étude sur le Trias de la côte ouest des États-Unis en 2004 (Fig 26).

Les échantillons ont été analysés pour les isotopes de soufre associés au carbonate par F. Marenco, qui a envoyé un résumé commun pour la réunion annuelle 2004 de la GSA (Marenco et al., 2004).

En mai 2004, j'ai rejoint l'équipe Permien-Trias de l'UCLA pour une excursion sur les affleurements du Trias inférieur du Nevada et de la Californie, où nous avons échantillonné les calcaires du Trias inférieur de Darwin Hills.

En mars 2005, j'ai rejoint Sara Pruss pour une étude sur le Trias des Darwin Hills et des Muddy Mountains près de Las Vegas.



**Figure 25:** Notre équipe de recherche sur le bloc de Wasit en Oman en 2010, avec de gauche à droite, C. Henderson, B. Beauchamp, l'auteur et L: Krystyn.



**Figure 26:** a) D. Botjer au Kopet Dagh dans le sud de la Turquie, en 2003, b) Notre équipe de recherche dans le Nevada en 2004, avec à l'horizon les Monts Darwin, c) S. Pruss mesure l'épaisseur des couches dans la région de Bagolino en Italie du Nord.

En mai 2005, nous nous sommes retrouvés au Symposium sur la chronostratigraphie du Trias et le rétablissement de la biodiversité, à Chaohu, en Chine du Sud. À partir des travaux précédents avec S. Pruss et S. Richoiz, j'en ai présenté les résultats, alors que l'équipe de Marengo et Corsetti exposait les anomalies isotopiques du soufre au cours de la transition Permien-Trias (Baud et al., 2005 ; Marengo et al., 2005).

La même année, D. Botjer était responsable d'un volume spécial du C.R. Palevol sur « The Triassic recovery, the dawn of the modern biota » et nous avons eu l'occasion de publier un article avec Marcoux et Richoz sur les roches calcimicrobienne du Trias basal de Turquie (Baud et al., 2005), et un autre article avec l'équipe de Corsetti et Marengo associée à Richoz sur « Un résumé des enregistrements isotopiques de Carbone au Trias inférieur » (Corsetti et al., 2005).

En 2006, nous avons écrit une synthèse basée sur les travaux de terrain avec S. Pruss, D. Botjer et F. Corsetti, de 2003 et 2005 et qui montrent les réponses post-extinction entre le sud de la Turquie et l'ouest des États-Unis (Pruss et al., 2006).

Toujours avec S. Pruss, nous nous sommes rendus en 2008 à Bolzano, au Symposium sur la paléoclimatologie du Trias, où nous avons présenté un exposé et avons poursuivi nos recherches dans le Trias moyen des Alpes du Sud dans la région de Bagolino (Pruss, & Baud, 2008).

En janvier 2005, j'ai proposé à Adam Wood, alors qu'il participait à la réunion de IAS à Mascate (Oman), de débiter des recherches en commun sur le terrain et de prélever des échantillons dans les calcaires rouges à ammonoïdes du Trias de l'affleurement de Baid. Après des analyses de ces calcaires faites à UCLA, A. Wood m'a associé pour présenter le résultat de ses recherches lors de la réunion annuelle de la GSA en 2006 à Philadelphie, aux États-Unis (Woods & Baud, 2006). En 2008, notre article intitulé « Anachronistic facies from a drowned Lower Triassic carbonate platform of Oman Mountains » a été publié dans la revue *Sedimentary Geology* (Woods & Baud, 2008). Puis c'est avec Sylvain Richoz que nous avons poursuivi ces recherches en 2013 (voir chap. 5.5).

#### **4.7 – La pratique de consultant en géologie, de 2005 à 2008**

Pour répondre à la demande d'expertise scientifique dans mon domaine d'expérience, j'ai ouvert à la demande de mon collègue et ami Jean-Paul Breton en charge d'Exploration Consultants à Mascate en Oman, un bureau de consultant en géologie, nommé BGC (Baud Geological Consultant). Pour lui et avec lui en mai 2005, j'ai entrepris l'expertise des brèches permienes du Jebel Akhdar pour l'exploitation de marbre coloré.

En mars 2007, il m'a été demandé de fournir un livret-guide et de diriger une excursion de trois jours sur la succession de carbonates permienes et triasiques du plateau de Saiq (Oman) pour des experts de la compagnie Total SA (Baud, A. 2007).

En janvier 2008, avec J.P. Breton, j'ai entrepris l'expertise de la brèche triasique des montagnes Wasa au sud de Wadi Maqam dans le nord-ouest d'Oman.

#### **4.8 – Participation à la formation continue en géologie pour les enseignants des lycées français (CBGA)**

Thierry Juteau, professeur honoraire de géologie à l'Université de Brest et spécialiste des roches ophiolitiques, animateur de la formation continue des professeurs de lycée (CBGA), m'a demandé en 2009 de coanimer une excursion géologique dans les montagnes d'Oman et de co-écrire le guide de terrain (Juteau et al., 2009). Avec des amis, j'ai rejoint l'excursion fin octobre 2009 et été associé à y présenter les meilleurs affleurements permettant de comprendre la géologie d'Oman et de l'enseigner aux élèves de lycée (Fig. 27). La poursuite de cette participation est présentée au chapitre 5.12.



**Figure 27 :** Excursion des professeurs de Lycées français (CBGA) en Oman en 2009, a) Explication de la géologie sur le Plateau de Saiq, b) Les responsables de l'excursion avec de gauche à droite, J. P. Breton, T. Juteau et l'auteur.

## 5 – La cinquième période : 2011-2023

La coopération avec les paléontologues-stratigraphes s'est poursuivie avec Jean Guex et avec son élève Hugo Bucher devenu professeur à l'Université de Zurich, avec Thomas Brühwiler son assistant, tous spécialistes des ammonoïdes triasiques. Quant au Dr. Nicolas Goudemand et les doctorants Morgane Brosse et Marc Leu, ils se sont spécialisés sur l'étude des conodontes du Trias inférieur de la Chine du Sud, du Cachemire et d'Oman. Les Dr. Francis Hirsch et Pablo Placencia, eux connaissent bien les conodontes du Trias moyen et ils m'ont aidé à apporter un nouveau regard sur la stratigraphie du Trias moyen des Préalpes suisses et de là du Trias moyen ouest européen.

Les axes de recherche précédents ont été appliqués à de nouvelles zones d'étude sur le terrain, ce qui a permis de faire des découvertes et d'ouvrir des perspectives plus larges. L'occasion s'est présentée de participer à l'organisation de congrès internationaux avec excursion sur le terrain grâce à des collègues locaux ouverts d'esprit qui ont accueilli favorablement les réunions des projets d'étude du Trias du PICG de l'UNESCO.

Les programmes d'éducation continue en géologie se sont poursuivis avec les enseignants de lycées français et se sont ouverts aux doctorants lausannois.

**5.1 – Poursuite des travaux de terrain en Oman de 2011 à 2015, d'abord avec l'équipe de recherche autrichienne avec Sylvain Richoz, Leopold Kystyn et Rainer Brandner, puis avec l'équipe de recherche canadienne avec Benoit Beauchamp, Steve Grasby et Charles Henderson**

En janvier 2011, juste un an après la réunion du PICG 572, nous avons poursuivi nos travaux de terrain avec L. Krystyn dans la région du Batain (Oman) et J. Guex nous a rejoints (Fig. 28).

Lorsque j'ai découvert le bloc fossilifère d'Asselah, et déterminé l'ammonoïde silicifié présente à la surface, les deux spécialistes ont approuvé l'âge Griesbachien (Trias basal) de ce bloc. Comme ils n'étaient pas intéressés par son étude, j'en ai parlé à mon ami Hugo Bucher. Du coup, il a ouvert à Zurich un nouveau projet de recherche pour ses étudiants doctorants que nous relatons dans le chapitre 5.2 suivant.

En décembre 2011, j'ai participé avec S. Richoz au congrès Permien-Trias de l'EAG à Koweït City et nous y avons donné deux exposés et un compte-rendu de la réunion de l'année précédente faite en Oman (Baud et al., 201 ; Richoz et al., 2011).

En 2012, je me suis rendu avec lui à la conférence internationale sur la Géologie de la plaque de l'Arabie et des montagnes d'Oman qui s'est déroulée du 7 au 9 janvier 2012, à l'Université Sultan Qaboos, à Mascate, Oman, et nous y avons donné 2 exposés en collaboration avec nos collègues canadiens (Baud et al., 2012a, b; Richoz et al., 2012a, b).



**Figure 28 :** Discussion sur le terrain près d'Asselah avec de gauche à droite, J. Guex, L. Krystyn et l'auteur.

Les travaux de 2013 sur Oman avec S. Richoz sont présentés dans le chapitre 5.5.

En 2015, B. Beauchamp a eu la possibilité de m'accompagner sur le plateau de Saiq et dans la plaine de Batain pour approfondir notre étude sur la succession des calcaires permien.

Certains de nos résultats ont été présentés à la 31<sup>ème</sup> réunion internationale de sédimentologie de l'IAS, du 22 au 25 juin 2015, à Cracovie, en Pologne (Beauchamp et al., 2015) et en 2018 au Congrès international de sédimentologie, qui s'est tenu dans la ville de Québec au Canada (Beauchamp & Baud, 2018).

## **5.2 – Participation aux travaux de terrain en Oman avec le professeur Hugo Bucher et ses doctorants de l'Université de Zurich dès 2011**

La nouvelle collaboration avec Hugo Bucher, ses doctorants et assistants a pris forme en 2011 et s'est prolongée jusqu'à aujourd'hui (2023) au sein du groupe de recherche Paléo C4 -Sinergia des Universités de Zurich, Lausanne et Genève, groupe mis en route depuis 2018.

À chaque expédition, le travail de terrain en Oman a bénéficié du support de la professeure Michaela Bernecker de l'Université GuTech pour la garde et le maintien de nos outils de travail. C'est avec elle et Oliver Weidlich que nous avons organisé les excursions du « 12th International Symposium on Fossil Cnidaria and Porifera » qui s'est tenue à GuTech en 2015 (Baud & Weidlich 2015).

Nous avons débuté sur le terrain en novembre 2011 avec la doctorante Asa Frisk et le Dr Nicolas Goudemand, pour étudier et échantillonner le bloc d'Asselah dans le Batain (Fig. 29), ceci juste 10 mois après ma découverte de ce bloc fossilifère avec L. Krystyn et J. Guex (Baud et al., 2015; Brosse et al., 2019).

Le projet « The Permian mass extinction and Early Triassic recovery of Eastern Oman », préparé par Hugo Bucher et financé par le FNSRS, nous a permis d'aller prospecter en décembre 2012 les régions de Wadi Wasit et du Batain en Oman.



**Figure 29 :** Région d’Asselah dans le Batain (Oman), a) H. Bucher démonte un nouveau bloc fossilifère du Trias inférieur, b) Photo du bloc d’Asselah, c) N. Goudemand et l’auteur avec les collines d’Asselah dans le fonds.

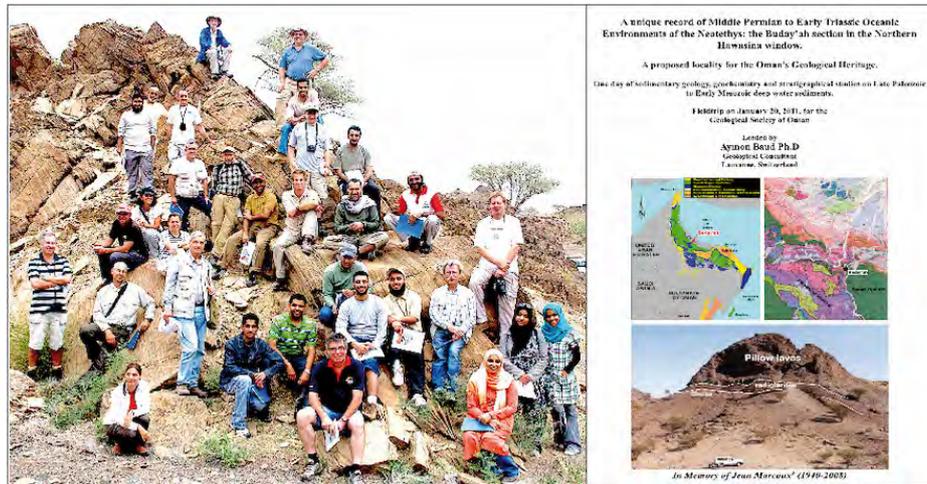
Nous avons repris ensemble l’étude du Batain en décembre 2013 et en janvier 2015 avec Romain Jattiot, doctorant. En janvier 2017, un autre doctorant d’Hugo Bucher, Marc Leu, nous a rejoints pour étudier les calcaires rouges à ammonoïdes du Wadi Musjah (Baud, 2013a) et les nouveaux blocs triasiques dans le Batain. La même année, en décembre, nous sommes allés dans la région du Djebel Rabat et en janvier 2018, nous avons poursuivi l’échantillonnage des blocs fossilifères du Trias inférieur du Batain avec Thomas Brühwiler.

Depuis 2018, des échantillons d’Oman conservés au musée de Géologie de l’Université de Zurich sont étudiés par des équipes de professeurs et de doctorants de Lausanne et de Zurich pour les déterminations paléontologiques et une étude géochimique, avec le soutien financier du programme Synergia du FNSRS. Les principaux résultats ont été présentés lors de conférences internationales et publiés dans des articles et des chapitres de thèse de Morgane Brosse (Brosse et al., 2017), Marc Leu (Leu et al., 2021), Zoneibe Luz (Luz et al., 2023), Franziska Blattmann (2023) et Oluwasser Edward (2023).

### **5.3 – Ma collaboration avec la Société géologique d’Oman (GSO) s’est poursuivie de 2011 à 2015.**

Lors de mon séjour à Mascate, mes propositions de conférence ou d’excursion sur le Permien ou le Trias ont toujours été les bienvenues à la Société géologique d’Oman. C’est pourquoi en janvier 2011, après ma conférence sur le sujet «Oman oases : contrasting carbonates sediments on the Gondwana margin in the immediate aftermath of the Permian-Triassic boundary mass extinction», j’ai proposé aux membres de la Société de les conduire à la section de Buda’yah, le seul endroit où l’on trouve les radiolarites du Permien moyen reposant directement sur un substrat de laves en coussins (Fig. 3’). En tant qu’enregistrement unique des environnements océaniques du Permien moyen au Trias précoce de la Néotéthys, cette section a été proposée comme localité du patrimoine géologique d’Oman (Baud, 2011).

En novembre 2013, c’est l’unité appelée la Khuff, bien connue en géologie pétrolière et affleurant dans les montagnes d’Oman, qui a fait l’objet de ma conférence.



**Figure 30 :** La section de Buda'yah : à gauche les participants de l'excursion de la Société géologique d'Oman sont assis sur l'affleurement de calcaire du Trias inférieur. A droite la couverture du livret guide de cette excursion (janvier 2011).

En février 2015, j'ai donné une conférence sur nos découvertes d'oasis de vie qui apparaissent dans les suites immédiates de la grande extinction et qui affleurent dans les montagnes d'Oman et dans le Batain (Baud et al. (2014).

#### 5.4 – Participation aux travaux de terrain dans le Guangxi en Chine du Sud et au Cachemire dans le nord-ouest de l'Inde avec Hugo Bucher et ses doctorants

Parmi les zones de travail sur le terrain, la province de Guangxi, au sud de la Chine, était nouvelle pour moi et l'accueil réservé par Kuang Guodun, retraité du Bureau de Géologie de Guangxi, m'a impressionné, car il a dirigé l'équipe de recherche de Bucher dans les affleurements clés du Permien-Trias de sa région qu'il connaissait très bien.

Nous avons débuté nos travaux de terrain en mars 2011 avec H. Bucher, sa doctorante Åsa Frisk et l'aide précieuse de Kuang Guodun. Nous avons étudié et échantillonné plus de 15 coupes de la limite Permien-Trias (PTB) et du Trias inférieur dans le nord de la province de Guangxi (Fig. 31).

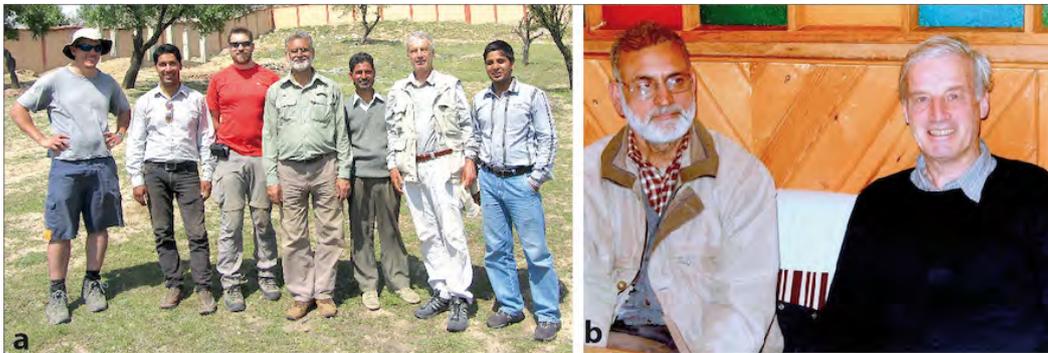


**Figure 31 :** Notre équipe de recherche en Chine en 2011, a) Kuang Guodun, notre guide et collègue chinois, b) Åsa Frisk échantillonne, c) Hugo Bucher et l'auteur en pleine discussion.

Les travaux de terrain suivants ont eu lieu en février 2012 avec la même équipe et une nouvelle doctorante, Morgane Brosse. Nous avons étendu la recherche à l'ensemble de la province de Guangxi, en étudiant et en échantillonnant près de 15 nouvelles coupes du Permien-Trias (Brosse et al., 2013, 2015, 2016; Bagherpour et al., 2015, 2016, 2017; Hautmann et al., 2015).

L'une d'entre elles, la section de Shangan, a ouvert une nouvelle voie de recherche présentée au chapitre 5.5.

L'ouverture du Cachemire indien en 2012, après un black-out de 25 ans, m'a offert l'opportunité d'encadrer sur le terrain les doctorants zurichois avec l'aide précieuse du professeur Ghulam Bhat de l'Université de Jammu, en Inde (Fig. 32). Nous avons débuté nos études de terrain en mai 2012 avec le Dr Nicolas Goudemand, spécialiste des conodontes et les doctorants Marc Leu, Max Meier et Morgane Brosse, et je les ai conduits avec G. Bath à la fameuse coupe géologique de Guryul Ravine pour travailler sur la limite Permien-Trias et sur la succession des couches du Trias inférieur (Brosse et al., 2013, 2017). Nous avons également effectué des prospections dans la région à la recherche de nouvelles coupes du Permien-Trias.



**Figure 32 :** a) Notre équipe de recherche au Cachemire en 2012, b) Prof. Ghulam Bhat et l'auteur.

Toujours avec l'aide de Ghulam Bath, notre équipe de recherche est retournée en octobre 2013 pour poursuivre l'étude du Trias inférieur de Guryul Ravine. Certains résultats ont été présentés au 19ème Congrès International de Sédimentologie 2014, 18-22 août, Genève, Suisse (Leu et al., 2014), et notre équipe avec H. Bucher a publié 2 articles (Brosse et al., 2017; Leu et al., 2023). Les principaux résultats des travaux en Chine et au Cachemire ont permis à Morgane Brosse (2017) et à Marc Leu (2021) de passer avec succès leur doctorat avec des publications concernées qui impliquent toute l'équipe de recherche.

### **5.5 – Suite aux travaux en Chine, un nouvel axe de recherche s'ouvre : le calcaire à stromatactis post-extinction témoin de la présence d'éponges**

En 2011, en découvrant un calcaire à stromatactis post-extinction du Trias basal avec l'équipe de recherche d'Hugo Bucher dans la section de Dongpan, au sud de la Chine, j'ai réalisé, sachant que dans les roches carbonatées les éponges sont à l'origine d'une structure appelée stromatactis, que ces éponges avaient survécu à la grande extinction de la fin du Permien. Cela m'a permis de préparer des résumés et des exposés que j'ai présentés d'abord lors de la réunion de clôture du PICG 572, du 1er au 4 juin 2012 à Egger en Hongrie (Baud et al., 2012a), puis lors de la 29e réunion de l'IAS sur la sédimentologie du 10 au 13 septembre à Schladming en Autriche (Baud et al., 2012b), ainsi que lors de la réunion annuelle de la GSA à Charlotte aux États-Unis (Baud et al., 2012c) et enfin lors du

Symposium sur l'extinction de masse de la fin du Permien et le changement climatique extrême, qui s'est tenu à Wuhan en Chine (Baud et al., 2013).

En 2013, j'ai à nouveau travaillé, cette fois avec S. Richoz, sur les lames minces des calcaires rouges à ammonoïdes du Trias de l'affleurement de Baid et ses stromatactis abondants (cf. chapitre 4.6). Nous avons alors préparé un résumé intitulé «The Smithian (Early Triassic) red ammonoid limestone of Oman, refuge for sponge-microbial build-ups during a recovery phase» et un exposé pour la réunion annuelle de la GSA en 2013 à Denver, USA (Baud & Richoz, 2013), et au 12<sup>ème</sup> symposium international sur les cnidaires et les porifères fossiles du 8 au 12 février 2015, à l'Université GuTech de Mascate en Oman (Baud & Richoz, 2015).

### **5.6 – Participation aux travaux de terrain en Iran et en Turquie avec Sylvain Richoz, l'équipe de recherche autrichienne avec Leopold Krystyn, Rainer Brandner et les nouveaux venus, Micha Horacek, Katrin Heindel et Paul Beckman**

L'invitation à retourner en Iran en 2011 a été possible grâce au Dr Taipei Mohat, géologue en chef du Service géologique d'Iran, qui nous a invités et a dirigé notre équipe de recherche sur le terrain. Avec l'équipe de recherche autrichienne, nous avons bénéficié d'un soutien financier de 2 semaines, du 16 au 30 mai, et avons eu l'occasion d'étudier cinq sections de la limite Permien-Trias dans le Zagros et en Iran central (Fig. 33). Ces travaux de terrain nous ont permis d'approfondir des observations sur la géométrie et la disposition spatiale des accumulations microbiennes dans les sections clés de Shareza et d'Abadeh au centre de l'Iran, comme expliqué au chapitre 5.8. Les premiers résultats de nos recherches ont été présentés à la réunion annuelle de la GSA en 2013 à Denver, USA (Heindel et al., 2013) et publié en 2015 (Heindel et al., 2015).



**Figure 33 :** L'équipe de recherche à Abadeh, avec notre collègue Taipei Mohat, 4<sup>ème</sup>.

En Turquie, le Dr Erdal Kosum, de l'Université d'Antalya, nous a aidés et a participé activement, en avril 2012, à nos recherches sur le terrain dans la région d'Antalya et d'Alanya sur le Permien et le Trias (Heindel et al., 2018b).

## 5.7 – Participation aux travaux de terrain en Arménie avec Sylvain Richoz, l'équipe de recherche autrichienne et la doctorante Evelyn Friesenbichler

C'est en 2014 que l'équipe de chercheurs autrichiens, Sylvain Richoz, Leopold Krystyn et Rainer Brandner avec Evelyn Friesenbichler, doctorante, a reçu une invitation de l'Académie arménienne des sciences pour commencer des recherches sur le Permien et le Trias en Arménie. Ils m'ont invité à participer à ces recherches, étant donné que je connaissais et y avais échantillonné deux coupes géologique 30 ans auparavant. La professeure Lilit Sahakyan nous a accueillis à Erevan, et a aidé notre équipe à organiser la recherche et nous a ensuite guidés sur le terrain. Du 27 septembre au 7 octobre 2014, nous avons durant 10 jours étudié les sections clés du passage Permien-Trias (Fig. 34).



**Figure 34:** Sylvain Richoz explique à Lilit Sahakyan son point de vue sur la succession stratigraphique de la coupe examinée le 3 octobre 2014.

Notre travail d'équipe et mes connaissances antérieures sur le terrain ont permis de mieux comprendre la complexité des constructions faites par les microbialites post-extinction et le rôle des éponges, anticipant ainsi notre nouvelle ligne de recherche dont je fais état dans le chapitre suivant 5.8.

En 2015, épaulé par notre équipe de recherche sur l'Arménie, nous avons envoyé un résumé et préparé un exposé intitulé « Giant microbial buildups of earliest Triassic in Armenia », au 2e Congrès international sur la stratigraphie qui s'est tenu du 19 au 23 juillet 2015 à Graz en Autriche (Friesenbichler et al., 2015). J'ai présenté un poster à la conférence Goldschmidt-2015 à Prague en Tchéquie (Baud et al., 2015), et un exposé à la réunion annuelle 2016 de la GSA à Denver aux États-Unis (Friesenbichler et al., 2016). Nous avons pris les contacts pour la réunion projetée du projet IGCP 630 en Arménie à Erevan, que nous présentons au chapitre 5.9.

## **5.8 – Une ligne de recherche élargie : le lien entre les éponges métazoaires post-extinction et les accumulations microbiennes**

Avec Katrin Heindel, dans le cadre du travail de thèse d'Evelyn Friesenbichler et en association avec William Foster, chargé de recherche, un nouveau venu dans notre équipe de recherche austro-arménienne, nous avons envoyé en 2016 un résumé et préparé un exposé sur «Earliest sponge-microbialite reefs on Neotethys platform margins in the Early Triassic» à la Conférence Dolomieu sur les plateformes carbonatées à Selva di Val Gardena en Italie et à la réunion annuelle de la GSA à Seattle en 2017 (Heindel et al., 2016, 2017, 2018b). En 2018, Evelyn Friesenbichler, avec notre équipe de recherche, a préparé un manuscrit intitulé «Sponge- microbial build-ups from the lowermost Triassic Chanakhchi section in southern Armenia» qui a été publié (Friesenbichler et al., 2018). Un autre manuscrit sur «The formation of microbial-metazoan bioherms and biostromes following the latest Permian mass extinction», a été publié dans *Gondwana Research*, (Heindel et al., 2018a).

En 2018, j'ai étendu notre découverte arménienne des récifs de microbialites à éponges du Trias précoce à la succession de microbialites du Trias basal découverte en Iran central et j'ai proposé nos nouvelles données dans un résumé et un exposé au Congrès sédimentologique international qui s'est tenu du 12 au 17 août 2018 à Québec au Canada (Baud et al., 2018). Avec S. Richoz, nous avons développé le thème de faciès spécifique à une époque donnée, appliqué aux microbialites à éponges et avons envoyé un résumé et présenté un exposé au 3e Congrès international sur la stratigraphie, à Milan, du 2 au 5 juillet 2019 (Baud & Richoz, 2019). En 2020, avec Micha Horacek comme nouveau venu, j'ai finalisé notre manuscrit commun sur «Sponge takeover from End-Permian mass extinction to early Induan time: Records in Central Iran microbial buildups» qui est finalement publié en 2021 dans *Frontiers Earth Science* (Baud et al. (2021).

## **5.9 – Une collaboration avec Francis Hirsch, Pablo Plasencia et Sylvain Richoz va permettre un réajustement de la stratigraphie du Trias moyen dans les Préalpes et dans tout le domaine briançonnais**

Grâce aux progrès de la stratigraphie et de la paléontologie des conodontes du Trias et en me souvenant des échantillons favorables collectées dans le calcaire *Costatoria goldfussi* à 650 m au-dessus de la base de la séquence aux localités de Wiriehorn et Rothorn dans les Préalpes suisses, j'ai décidé de collecter des résidus après la dissolution du calcaire de ces échantillons. Le Dr Heinz Kozur, invité en 2002 par l'Institut de Géologie, les a examinés et a apparemment reconnu l'espèce *truempyi*, mais ne l'a jamais confirmé. Sylvain Richoz s'est occupé des conodontes extraits et ce n'est qu'en 2009 que j'ai pris contact avec le Dr Francis Hirsch, auteur de l'espèce, qui avait déménagé au Japon. Très intéressé, il a écrit au Dr Pablo Plasencia d'Espagne, qui étudiait des conodontes similaires (Plasencia et al, 2016, 2018). Celui-ci est venu à Lausanne pour examiner le matériel extrait et avec F. Hirsch a pu confirmer la détermination de *Sephardiella truempyi* (HIRSCH), et la courte durée confirmée de cette espèce à la base de l'étage Ladinien.

C'est pourquoi, avec eux, j'ai complètement révisé ma stratigraphie de la succession du Trias moyen des Préalpes suisses écrite en 1984 et nous avons publié ce nouveau point de vue sur l'ensemble du Trias moyen du Briançonnais dans les Alpes occidentales ainsi que sur la transgression marine du Ladinien précoce sur une partie de l'Europe de l'Ouest (Baud et al., 2016).

## 5.10 – Participation au nouveau projet 630 du PICG avec réunions au Cachemire, en Arménie et en Chine entre 2014 et 2018

Mon implication dans les projets triasiques du PICG s'est poursuivie avec le projet 630 dirigé par Zhong Kiang Chen, qui avait été nommé à l'Université des Géosciences de Wuhan (Chine). C'est avec le professeur Ghulam Bhat que j'ai saisi l'opportunité de proposer un congrès avec excursion sur le terrain au Cachemire et nous avons demandé au chef du projet 630, d'organiser avec nous cette première réunion annuelle du projet 630, en novembre 2014 (Fig. 35). Avec G. Bhat, j'ai rédigé le livret-guide de l'excursion à partir de mes données antérieures (Baud et al., 2014a), et aidé à organiser une excursion de 4 jours sur les principaux affleurements du Permien-Trias, puis le compte rendu (Baud et al., 2014b).



**Figure 35:** Les participants à la réunion du PICG sur le terrain à Guryul Ravine, en novembre 2014, avec au milieu notre guide, Ghulam Bhat et à sa gauche, Zhong Kiang Chen .

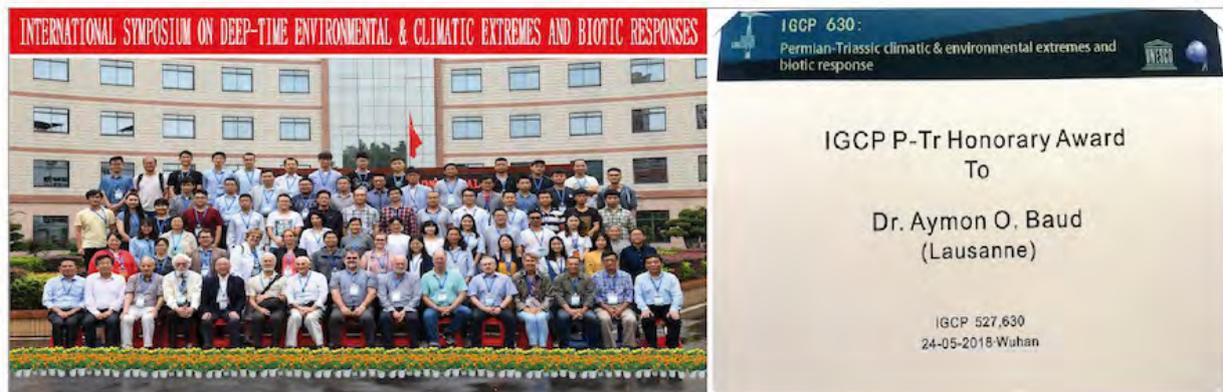
Comme je l'ai fait avec le professeur Ghulam Bhat, j'ai proposé à la professeure Lilit Sahakyan d'accueillir un congrès avec excursion sur le terrain en Arménie. Avec l'agrément du chef du projet 630 du PICG, nous avons organisé cette deuxième réunion qui s'est tenue du 7 au 15 octobre 2017, avec 2 jours de conférence à Erevan sous la direction de Lilit Sahakyan, suivis de 6 jours sur le terrain dans l'Est de l'Arménie. C'est avec elle et toute notre équipe que nous avons rédigé le livret-guide de l'excursion (Sahakyan et al., 2017a), préparé un exposé et présenté nos résultats finaux dans un résumé (Baud et al., 2017), puis le compte rendu (Sahakyan et al., 2017b).

La réunion de clôture du PICG 630 s'est tenue du 22 au 24 mai 2018 à Wuhan, en Chine (Fig. 36a). J'ai présenté un exposé sur les résultats finaux des 10 dernières années des réunions des projets 630 et 572 du PICG et L. Sahakyan m'a inclus dans sa présentation de la réunion de terrain arménienne de 2017 (Sahakyan & Baud, 2018). J'ai reçu un prix honorifique du PICG (Fig. 36b). L'article que j'ai écrit sur ces résultats finaux a été publié dans le Journal of EarthScience (Baud et al., 2018).

## 5.11 – Les faciès récurrents de calcaires à ammonoïdes rouges au Permien moyen, au Permien récent et au Trias précoce, en Nouvelle-Zélande, à Timor, en Himalaya, en Oman et en Arménie et Iran, ouvre une nouvelle voie de recherche

Par nos recherches sur le terrain, nous avons accumulés des données sur les calcaires rouges à ammonoïdes et avons eu l'occasion de présenter des données partielles sur ceux du Permien moyen

dans Baud et al. (1993) et dans Marcoux et Baud, (1996) et en particulier à Timor dans Baud & Marcoux, (1991), et également en Oman par Pillevuit et al. (1997), par Baud et al. (2001b), par Kozur et al. (2001a, 2001b), et par Richoz et al. (2013).



**Figure 36:** a) Participants à la réunion de Wuhan en 2018, b) Prix honorifique du PICG.

Les faciès de calcaires rouges à ammonoïdes de la fin du Permien ont été illustré en Arménie dans Sahakian et al. (2017) et Arménie et Iran par Baud & Richoz, (2019).

Les faciès du Trias inférieur qui comprend les calcaires rouges à ammonoïdes décrits en Oman, dans l’Himalaya et à Timor, ont été présentés par l’auteur lors de la réunion jointe de GSC et GSA à Chengdu (Baud, 2013a).

Une approche sur ce faciès récurrents à certaines périodes temporelles (Permien moyen, Permien récents et Olenekien) a été présentée à Pékin par Baud & Bucher (2019) et des travaux sont en cours pour publication.

### 5.12 – Une formation continue en géologie est proposée aux enseignants des lycées français et à l’école doctorale des étudiants en géologie lausannois, 2011-2016

Fin octobre 2011, j’ai à nouveau collaboré avec Thierry Juteau, pour offrir une excursion géologique dans la baie d’Antalya au sud de la Turquie (Fig. 37) et pour co-écrire le guide de terrain à l’attention des professeurs de lycée français intéressés (Juteau & Baud, 2011).



**Figure 37:** a) Thierry Juteau explique les laves basaltiques aux enseignants français, b) La couverture du livret guide 2011.

Fin octobre 2014, j'ai conduit ces mêmes professeurs dans les Préalpes suisses et rédigé un livret-guide de terrain. Puis à fin octobre 2016, j'ai organisé et dirigé un voyage d'étude géologique de dix jours dans le sud et le nord d'Oman et rédigé le livret-guide (Baud, 2016).

Concernant la formation continue des doctorants en géologie lausannois, j'ai co-organisé en février 2016 avec le Prof. Stefan Schmalholz de l'Institut de Géologie de l'Université et l'aide du Prof. Jean-Pierre Burg de l'ETH Zurich, une école doctorale lausannoise de dix jours à travers les montagnes du nord d'Oman et les collines du Batain, et co-rédigé le guide de terrain (Burg & Baud, 2016).

### **5.13 – Dédicataire de deux genres et de trois espèces nouvelles qui portent mon patronyme et sont décrits par des collègues paléontologues**

En paléontologie et en géobiologie, il est d'usage de nommer les organismes fossiles du nom de chercheurs connus pour ainsi les honorer. Deux genres (*Baudiella* et *Baudicrinus*) ainsi que trois noms d'espèces (*baudi*) d'organismes fossiles, qui comprennent un ostracode, deux foraminifères, un crinoïde et une ammonoïde m'ont été dédiés pour mes travaux de terrain et mes publications :

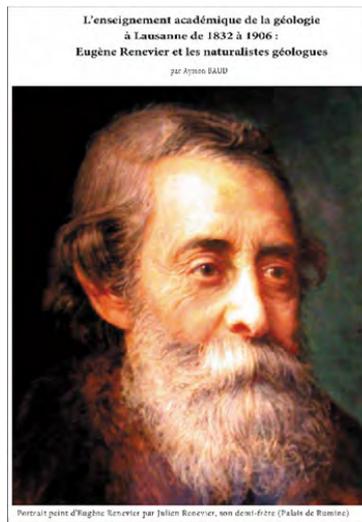
1. Demir et Ozkan-Altiner, spécialistes des foraminifères, dédient en 1998 le nouveau genre *Baudiella* au directeur du musée de Géologie de Lausanne pour sa contribution à l'étude du Permien-Trias téthysien (Altiner & Ozkan-Altiner, 1998).
2. Tatsuo Oji, spécialiste des Lys de Mer (Echinodermes), dédie en 2015 avec Richard Twitchett, le nouveau genre *Baudicrinus* à celui qui le premier a découvert un bloc calcaire d'âge Griesbachien dans le Wadi Wasit en Oman et l'espèce *krystsyni* à Leopold Krystyn qui l'a déterminé et confirmé (Oji & Twitchett, 2015).
3. Sylvie Crasquin, spécialiste des ostracodes, dédie en 1996 l'espèce *Polycope baudi* au directeur du musée de Géologie de Lausanne, en témoignage du succès de sa participation aux recherches géologiques dans le Trias de la Dobrogea en Roumanie (Crasquin-Soleau, 1996).
4. Jérémie Gaillot et Daniel Vachard, spécialistes des foraminifères permien, dédient en 2007\*, l'espèce *Labioglobivalvulina baudi* à Aymon Baud de l'Université de Lausanne pour sa contribution à la recherche sur le Permien-Trias (Gaillot, J., & Vachard, D., 2007).
5. Thomas Brühwiler, spécialiste des Ammonoïdes triasiques, dédie en 2012 l'espèce *Paranannites baudi* à l'auteur, en témoignage de ses recherches en Oman (Brühwiler et al., 2012).

### **5.14 – Contribution à l'histoire des sciences géologiques**

Intéressé par la vie du premier professeur de sciences géologiques à l'Université de Lausanne, j'ai écrit un article historique sur « L'enseignement académique de la géologie à Lausanne de 1832 à 1906 : Eugène Renevier et les naturalistes géologues », (Fig. 38) dans le Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles (Baud, 2019).

Intéressé également par l'histoire de la recherche et des découvertes des sections marines de la limite Permien-Trias dès la fin du 19ème siècle, j'ai écrit un article de 21 pages qui a été publié dans *Albertiana* (Baud, 2014) et qui illustre plus d'un siècle d'aventures et de controverses sur cette fameuse limite entre l'Ère Primaire et l'Ère Secondaire. Je l'avais d'abord présenté en 2013, lors d'un Congrès sur le Trias à l'Université des Géosciences de Wuhan en Chine (Baud, 2013).

D'autre part, comme participant aux recherches géologiques en Himalaya, j'ai présenté dans un poster un historique de l'équipe de recherche de Lausanne d'avant 1988, lors de la réunion du congrès HKT de 2018 à Lausanne (Baud, 2018c).



**Figure 38:** Couverture de l'article sur Eugène Renevier.

### 5.15 – Hommages aux collègues décédés (Fig. 39)

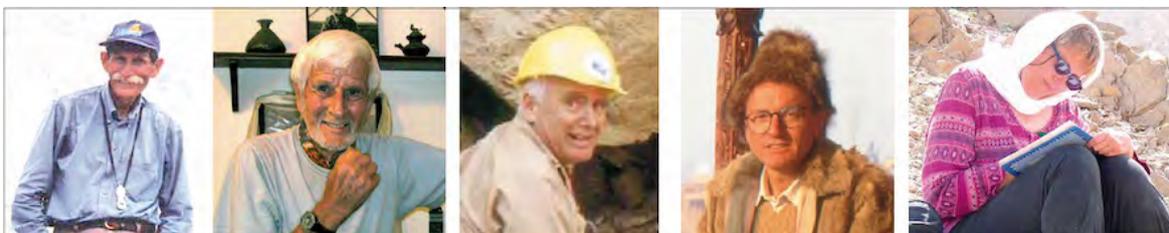
Aux chapitres 4.3 et 4.4, j'ai présenté les hommages rendus à un ami et collègue Jean Marcoux.

Pendant près de 30 ans, j'ai partagé avec Edward Timothy Tozer (1928-2010) les aventures sur le terrain et les réunions de la Sous-commission de stratigraphie du Trias (SST), c'est pourquoi en 2012, j'ai écrit un hommage illustré sur sa carrière dans *Albertiana*, (Baud, 2012a).

En 2012, ayant appris le décès, à l'âge de 102 ans, du professeur émérite Augusto Gansser (1910-2012) de Zurich, que j'avais eu l'occasion, en 2002, d'interviewer sur ses découvertes en Himalaya, j'ai pris l'occasion d'écrire dans «*Geosciences actuel*», une courte notice biographique sur sa remarquable carrière (Baud, 2012b).

C'est en 2017 que j'ai appris le décès de mon collègue et ami Maurizio Gaetani (1940-2017), professeur émérite à Milano. C'est dans le périodique *Albertiana* que j'ai publié un hommage illustré sur toute sa carrière (Baud, 2018d).

C'est également en 2017 que j'ai été tristement surpris par le décès soudain le 3 novembre de Michaela Bernecker, Professeure à GuTech, l'Université allemande en Oman. Ayant travaillé et publié avec cette collègue très appréciée, j'ai écrit une biographie, avec le Dr Oliver Weidlich, dans le périodique *Permophiles*: «*Michaela Bernecker (1963-2017), une enseignante, une scientifique et une amie remarquable*» (Weidlich & Baud, 2019).



**Figure 39:** de gauche à droite : Jean Marcoux, Augusto Gansser, Edward Timothy Tozer, Maurizio Gaetani and Michaela Bernecker.

## **Conclusions et remerciements : la fin du programme Sinergia (Paleo C4) et la conférence «Across the End Permian Great Extinction» du 30 août au 2 septembre 2023, à Lausanne**

Au cours de ces 55 ans de recherche, je me suis passionné pour l'étude de cette période géologique ayant connu, d'une part, la plus grande extinction d'espèces sur la Terre et, d'autre part, la réapparition progressive des organismes complexes. Les découvertes d'enregistrement détaillés sur le terrain de ces événements nous ont permis de suivre de plus en plus précisément un envahissement algo-bactérien des mers peu profondes, la présence d'oasis de vie avec la renaissance d'organismes disparus il y a plus de 250 millions d'années. La recherche progresse dans ce domaine grâce à plusieurs éléments :

- des méthodes et instruments d'analyse de plus en plus sophistiqués ;
- de nombreuses observations sur le terrain dans le monde entier et des échanges fructueux entre collègues.

Nous parlons aujourd'hui beaucoup de crise climatique et de disparition d'espèces. Une meilleure compréhension des phénomènes du passé peut apporter de précieux éléments aux études actuelles.

La ligne de recherche sur les microbialites post-extinction, que nous avons mise en route en 1997 à Lausanne, a été appliquée avec succès en Chine du Sud et a permis d'ouvrir un nouveau concept d'accumulations spongio-microbiennes, aux sections étudiées du Trias inférieur dans le centre et le nord de l'Iran et en Arménie, avec là, cette découverte de constructions géantes de microbialites à éponge (cf. chap.5.7). J'ai pu en faire part durant la conférence sur les microbialites organisée par le

comité d'organisation Suisse du 11 au 13 octobre 2023 à Leysin (Baud 2023).

L'étude sur le terrain de la région de Batain au sud-est d'Oman avec l'équipe de recherche d'Hugo Bucher a conduit à la découverte de nombreux blocs riches en fossiles et de récifs inconnus du Trias inférieur, ce qui a considérablement élargi la ligne de recherche sur la récupération rapide des métazoaires au cours du Trias basal.

L'étude paléontologique des échantillons collectés et rassemblés à l'Institut et au Musée paléontologiques de Zurich, qui a été réalisée par les doctorants, les assistants et les professeurs, offre une vision plus précise de l'âge stratigraphique et facilite grandement la corrélation entre les bassins permien et triasiques éloignés.

Mon implication au programme de recherche Sinergia des Universités de Zurich, Lausanne et Genève m'a amené à collaborer avec les professeurs Hugo Bucher, Torsten Vennemann et leurs étudiants doctorants et maintenant Docteurs ès Sciences : Morgane Brosse, Marc Leu, Zoneibe Luz Franziska Blattmann et Oluwasser Edward ainsi qu'avec le Dr. Christian Vérard de l'Université de Genève. Les thèses et publications issues feront dates dans l'ensemble des travaux sur le Permien-Trias

La mise à disposition des échantillons collectés pour des études géochimiques réalisées par les doctorants dans les laboratoires de l'UNIL, sous la direction des professeurs Torsten Vennemann et Thierry Adatte, a ouvert de nouvelles approches sur les paléoenvironnements du Permien-Trias comme les travaux de toute l'équipe Sinergia l'ont montré.

Avec toutes et tous nous avons eu des échanges très fructueux qui ont abouti à des présentations communes dans de nombreux congrès, à des chapitres de thèses et à des publications. Merci à vous tous, chères et chers collègues, pour ce partage.

Pour la Conférence à Lausanne sur le Permien-Trias, j'ai bénéficié dès le début de l'année 2023 de l'aide inestimable du comité d'organisation avec les professeurs de l'Institut des Sciences de la Terre de l'Université de Lausanne, Michel Jaboyedoff, Jean-Luc Epard, Torsten Vennemann et Thierry Adatte

sous la présidence de Allison Daley, professeure et directrice de l'Institut. Un comité scientifique avait également été constitué, comprenant les professeur(e)s Benoît Beauchamp (University of Calgary), Hugo Bucher (University of Zurich), Charles Henderson (University of Calgary), Nicolas Goudemand (ENS Lyon), Jonathan Payne (University of Stanford), Sara Pruss (Smith College, Northampton, MA). Ces deux comités ont permis une tenue exemplaire de la conférence «Across the End Permian “Great Extinction” du 30 août au 2 septembre à Lausanne. Qu'ils en soient toutes et tous remerciés chaleureusement de même que tous ceux qui ont œuvrés au bon déroulement de la conférence et qui sont cités nommément dans le compte-rendu qui figure en page 204 de ce Mémoire de Géologie.

Ma reconnaissance va également à tous les participants de la Conférence ainsi que tous ceux qui m'ont généreusement associés à leur présentation comme co-auteur ou dans leurs hommages.

Pour ce Mémoire, je remercie particulièrement Madame Catherine Schlegel Rey, éditrice de ce volume spécial, et Luca Spallitta, pour la mise en forme sur InDesign. Le texte anglais a été revu par Scholars Editing et le texte français corrigé par Monique Baud, mon épouse, qui m'a aussi encouragé dans mes recherches durant toutes ces années et m'a accompagné lors de plusieurs expéditions, merci encore.

La bibliographie générale se trouve à la suite du texte anglais.