

Le Dôme de Barrot et les pélites permienes : un haut-lieu de la paléontologie négligé ?

Romain GARROUSTE ⁽¹⁾, Pierre ROSTAN ⁽²⁾,
Gilbert MARI ⁽³⁾, Stéphanie LARBOURET ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Institut de Systématique, Évolution, Biodiversité, ISYEB, UMR 7205, CNRS, MNHN, UPMC, EPHE, Muséum national d'Histoire naturelle, Sorbonne Université's, 57 rue Cuvier, CP 50, Entomologie, F-75005, Paris, France.

⁽²⁾ Bureau d'Études MINE & AVENIR, les Albrands, 05380 Châteauroux-les-Alpes, France et 97300 Cayenne, Guyane française.

⁽³⁾ 624 bd du Brec, 06390 Châteauneuf-Villevieille, France.

⁽⁴⁾ Réserve Naturelle Régionale des gorges de Daluis, Communauté de communes Alpes d'Azur (CCAA), place Conil, 06260 Puget-Théniers, France.

En 1963, Jean Vernet, infatigable géologue alpin et grand alpiniste, découvrait une aile d'insecte fossile dans un bassin permien du sud des Alpes, le Dôme de Barrot où nul n'avait encore vu l'ombre d'un fossile, alors qu'il évaluait le potentiel uranifère de ce massif pour le CEA. Ces formations du Permien continental étaient à l'époque considérées comme totalement azoïques jusqu'à cette découverte, qui représentait alors le premier insecte du Permien français et restera longtemps l'unique fossile du Permien régional. Ainsi, pendant plus de quarante ans, cette aile fossile d'insecte isolée découverte sur le site du Collet du Brec près du hameau de Léouvé a défié les géologues de l'Université de Nice, leurs étudiants et des paléontologues de toute l'Europe comme une énigme supplémentaire à la compréhension de la géologie de ce bassin sédimentaire de la fin du Paléozoïque.

Lors de sorties de terrain avec les étudiants de la maîtrise de géologie historique de l'Université de Nice, le professeur Polvêche avait l'habitude, lorsque ses étudiants se trouvaient réunis devant les affleurements du contact entre les pélites rouges du Permien et les grès blancs du Trias sus-jacent en bordure de la route départementale avant Saint-Sauveur-sur-Tinée, de promettre « une caisse de champagne » à celui qui trouverait une nouvelle fois une « aile de libellule », sans résultat malgré les générations d'étudiants qui s'y sont succédé. Ainsi, ce n'est pas sans amusement que, quelques années plus tard, lors de recherches conduites pour d'autres motifs dans le vallon de Talon, sur le sentier pourtant déjà maintes fois parcouru, l'un de nous a eu la chance de rencontrer un nouveau fossile, mais il était trop tard pour réclamer le champagne promis...

Il a fallu attendre le début des années 2000 puis encore récemment en 2016 et 2017 pour trouver enfin des nouveaux fossiles pouvant faire parler ces sédiments, préciser les conditions géologiques de leur dépôt, et donner une

idée des paléo-environnements de cette période. Les travaux les concernant sont en cours mais l'aile fossile trouvée par l'un d'entre nous, Pierre Rostan, attribuée à une sauterelle Tettigonidée, famille encore actuelle et bien fournie (les sauterelles « vraies ») d'Orthoptères est une avancée dans la compréhension des interactions biologiques comme le mimétisme (Garrouste *et al.*, 2016) car il en constitue le premier enregistrement connu. Nous présentons ici ces quelques découvertes qui augurent d'un potentiel certain de ce territoire en matière de paléontologie, se rajoutant aux intérêts de la minéralogie et du patrimoine biologique.

Le Dôme de Barrot - 1000 m de « terres rouges »

Avec sa calotte sommitale massive en grès triasiques culminant à 2137 m, le massif permien du Dôme de Barrot cache plus de 1000 m d'épaisseur de sédiments rouges, d'origines sédimentaire et volcano-sédimentaire, profondément entaillés par deux gorges spectaculaires, les gorges de Daluis à l'ouest et les gorges du Cians en position centre-est (**fig. 1**). Ces deux tranchées profondes laissent entrevoir une grande partie de l'épaisseur des strates plissées sur une surface d'environ 75 km². C'est un ensemble de paysages quelquefois surprenants (le « Colorado niçois » des cartes touristiques



Fig. 1 - Vue aérienne de la région du Dôme de Barrot (en rouge foncé). Source Géoportail.

anciennes), répartis entre 650 et 2000 m d'altitude, offrant des km² d'affleurements pélitiques, gréseux et des faciès de falaises en érosion constante (**fig. 2**). L'été chaud et sec, le gel hivernal en altitude, le dégel et la fonte des neiges, les pluies printanières et automnales, la faible couverture végétale, participent à cette érosion importante qui rend les routes dangereuses.

Les sédiments permien du Dôme de Barrot ont toujours intrigué les géologues par leurs singularités. A la fois localement monotones, avec une for-



Fig. 2 - L'entrée sud des gorges de Daluis, vue des rives du vallon de Talon. Photo R. Garrouste

mation principale assez homogène (la formation du Cians, alternance de siltites plus ou moins consolidées), mais avec quelques éléments divergents incluant des sédiments d'origine volcanique, ils offrent une fenêtre sur un socle permien, témoin d'un bassin qui probablement s'étalait au moins des bords du Verdon à l'Italie (Argentera).

Ce bassin affleure également dans la région de Rimplas et la Tinée et dans les Merveilles et la Roya ; dans cette dernière région ce sont des formations plus hétérogènes et métamorphisées, plus anciennes (jusqu'à l'Autunien, limite entre le Permien et le Carbonifère).

Ce sont les témoins du démantèlement d'une vaste chaîne de montagne, la chaîne Varisque, une sorte d'Himalaya gondwanien qui occupait une partie de cette région (Durand et Gand, 2007).

L'une des particularités du Dôme de Barrot est d'ordre géophysique. En effet ces formations présentent des particularités importantes dans les directions paléo-magnétiques. Or le paléomagnétisme est important pour tenter de dater ces formations, et pour cela doit être comparé avec la couverture méso-cénozoïque qui les recouvre (Sonnette *et al*, 2014). Cette couverture est représentée par des premières couronnes (auréoles) triasiques discordantes (Trias moyen, Buntsandstein, daté palynologiquement de l'Anisien, in Durand et Gand, 2007), puis par de puissants niveaux jurassiques et crétacés (**fig. 3**).

La surrection des Alpes a entraîné cette partie du socle vers le haut au Miocène, formant un grand anticlinal (brachyanticlinal) de 15 km de long et plus de 5 km de large ; après les dépôts marins méso-cénozoïques, les glaciers et leurs dépôts morainiques du Pléistocène ont sculpté le paysage actuel

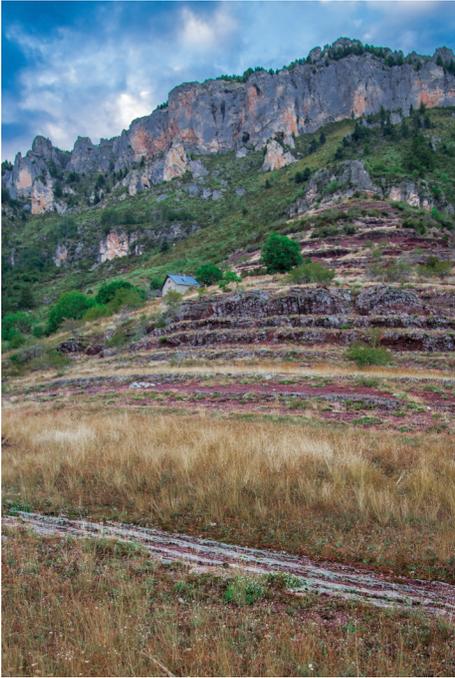


Fig. 3 - L'Illicion. Pérites enherbées au premier plan, intercalées de bancs indurés, et falaises triasiques (grès du Buntsandstein).
Photo R. Garrouste.

en décapant une grande partie de cette couverture, ouvrant de larges fenêtres sur ces sédiments des temps profonds.

L'étude sédimentologique a été effectuée par Vinchon (1984) dans le cadre d'une démarche destinée à préciser les conditions de formations des filons minéralisés (fig. 4).

Le paléomagnétisme n'étant pas toujours très précis pour dater ces sédiments, des analyses palynologiques ont été faites dans les années 70 (Visscher, 1974) et un âge Thuringien a été donné à l'association de palynomorphes étudiée (formation de Léouvé au Col de Roua). Le Thuringien des palynologistes comprend le Permien moyen (Guadaloupien) et le Permien supérieur (Lopingien) soit -270 à -251 Ma. D'après le même auteur (in Kruiver *et al.*, 2002), il s'agirait de Guadaloupien (-272, - 260 Ma).

La surprise est donc venue de la découverte d'une « aile dans la montagne », seul fossile alors connu pendant près de 50 ans.

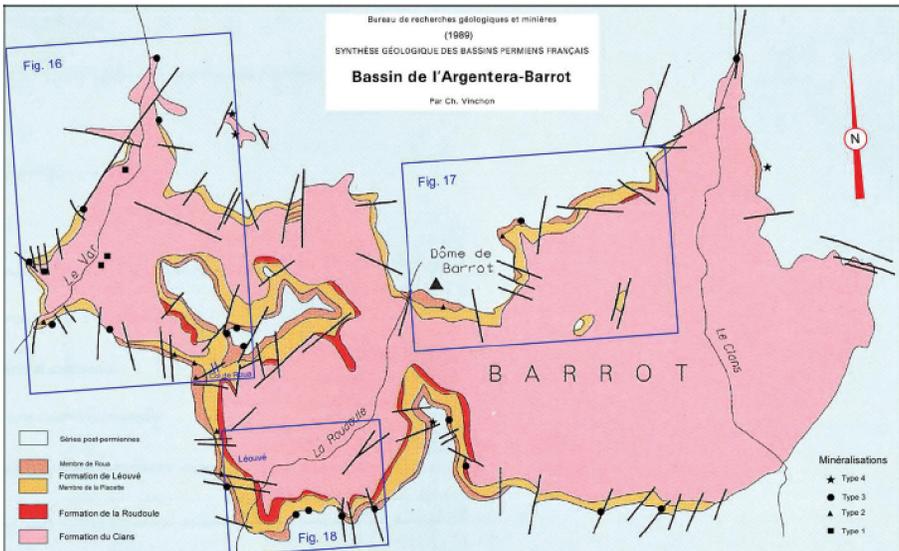


Fig. 4 - Géologie permienne du Dôme de Barrot, d'après Vinchon (1984).

Curvitupus verneti, une aile dans la montagne

Décrite par Laurentiaux, spécialiste des insectes fossiles, initialement dans le genre *Arctotypus*, cette aile isolée, trouvée au lieu-dit du Collet du Brec a défié les pronostics (Laurentiaux et Laurentiaux, 1963, **fig. 5**). Il s'agissait en plus du premier insecte fossile du Permien découvert en France, il a donc été publié dans les Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences. Représentant d'un genre de Meganeuridae, ces Odonates primitifs (Odonatoptera) pouvant atteindre des tailles supérieures à 50 cm d'envergure (70 cm dans le Carbonifère de Commentry, Allier, 75 cm dans le Permien des USA, 55 cm dans le Permien de Lodève, Hérault, Nel *et al.*, 2009), cette aile fossile seule ne permettait cependant pas d'avoir une idée précise des conditions de sédimentation tout en rapprochant cette formation de celles des bassins permien de Lodève et de Saint-Affrique, Aveyron, où ces Méganeurides fossiles ont été trouvés, faisant ainsi une passerelle biologique (biostratigraphique). Ce rapprochement d'abord basé sur des analogies géologiques et sédimentaires a permis également de découvrir dans les formations permien du Centre-Var des fossiles du même type (insectes et crustacés Triopsidés, Garrouste *et al.*, 2009, Garrouste *et al.*, 2017, Conchostraca, non publié) ainsi que des niveaux à plantes inédits.

Malheureusement le fossile de *Curvitupus verneti* est actuellement perdu. Nous n'avons qu'un dessin des nervures (**fig. 6**) et une localisation peu précise, le Collet du Brec, proche de Léouvé ; c'est cependant cette localisation

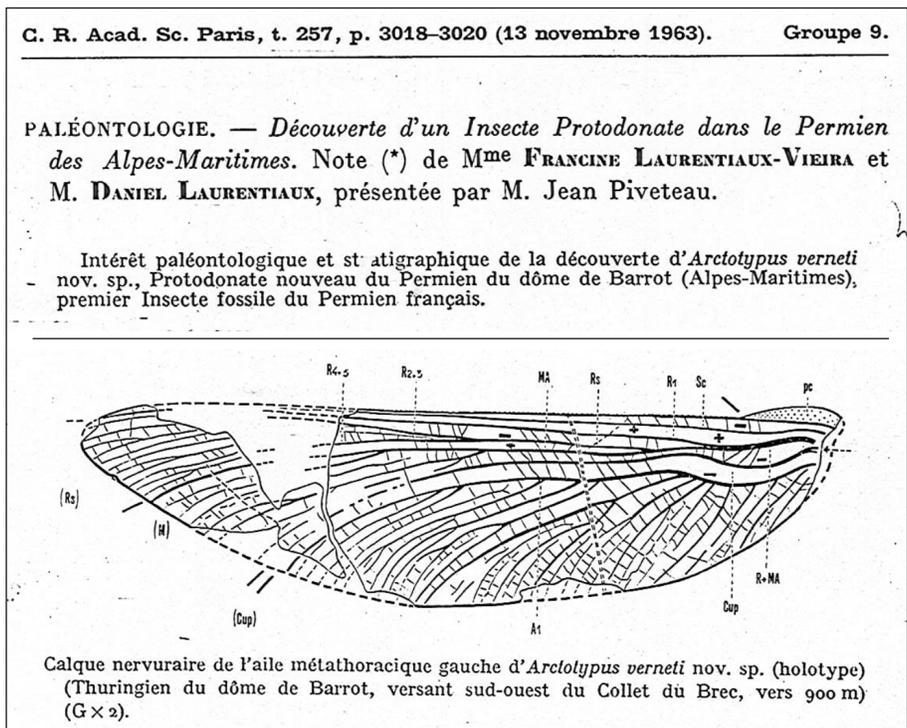


Fig. 5 et 6 - Extraits de l'article de Laurentiaux *et al.* (1963).

qui a orienté au départ nos recherches et de nombreux ichnites (traces d'activités attribuées à divers types d'organismes) ont été trouvés dans un premier temps. Cette zone mérite toujours l'attention et devra être explorée scrupuleusement.

***Permotettigonia gallica*, la sauterelle feuille du Permien**

Au cours de prospections centrées sur la minéralogie et l'archéologie minière, Pierre Rostan a trouvé un fossile exceptionnel, une deuxième aile d'insecte de 60 mm (**fig. 7**) qui nous a laissés perplexes.

Le site de la découverte se localise en rive droite du vallon de Talon, affluent de la rive gauche du Var à l'extrémité aval des gorges de Daluis ; le fossile se montrait à l'affleurement en bordure du sentier menant à la ferme de Roua sur une micro-butte témoin en léger relief, de l'ordre de 2 m² de surface, et sans qu'il soit possible ainsi de prospecter les poursuites latérales de cet horizon.

Le secteur est occupé par la « formation du Cians » stratigraphiquement à environ 120 m sous le contact avec le Trias basal détritique, c'est à dire probablement dans une position voisine de celle du fossile du Collet du Brec.

Le fossile a été rencontré vers la partie supérieure de cette formation qui surmonte les termes d'allure plus massive où ont été entaillées les gorges de Daluis voisines ; il s'agit de dépôts silteux d'allure laminaire admettant des bancs plus massifs à débit prismatique et qui affleurent en général en dépression topographique par rapport aux termes sous-jacents admettant des alternances carbonatées ou volcaniques.

Ces laminites montrent différentes figures sédimentaires typiques de dépôts s'effectuant sous des tranches d'eau très faibles et fluctuantes avec ripple-marks, mud-cracks et impacts de gouttes de pluie ; à cet égard, la plupart de ces derniers fossiles rencontrés ou présentés comme exemples dans la documentation sont plutôt à attribuer, vus en coupe selon le plan de stratification, à des cratères de dégazage ou à des terriers d'animaux fousseurs, montrant que le mimétisme ne se trouve ainsi pas l'apanage des arthropodes fossiles ...

Nous avons mis un peu de temps avant de conclure sur la parenté de ce fossile avec les sauterelles modernes. En effet cette parenté a été mise en évidence en étudiant les sauterelles actuelles (Orthoptères Ensifères) et leurs ressemblances morphologiques avec les plantes (morphométrie). De manière tout à fait remarquable et malgré son ancienneté, cette aile présente les mêmes caractéristiques de forme et de nervation que celles des « sauterelles-feuilles » actuelles, connues et très diversifiées dans les régions intertropicales humides (**fig. 8**).

Cette aile fossile, en témoignant de l'ancienneté de ces relations entre plantes et insectes (interaction biologique), a permis de reculer de près de 80 millions d'années les cas avérés de mimétisme. C'est donc un fossile important pour la paléobiologie de cette période.



Fig. 7 - Empreinte fossile de l'aile de *Permotettigonia gallica* (Garrouste et al., 2016).
L'aile mesure 60 mm. Photo R. Garrouste.

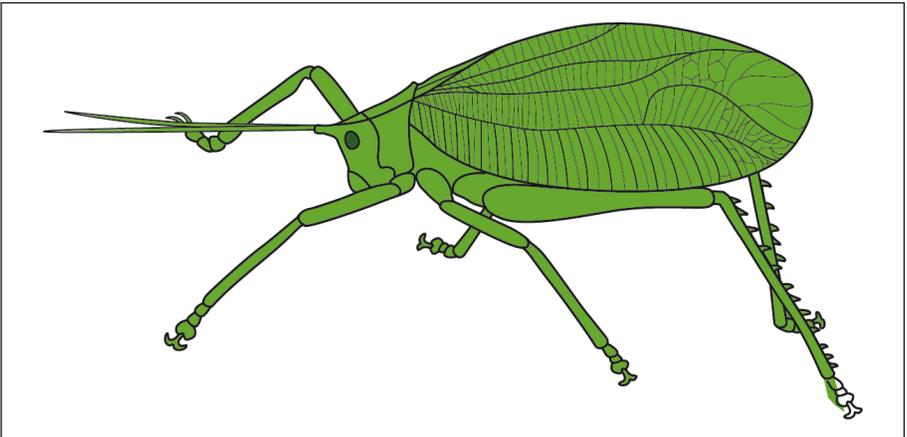


Fig. 8 - Reconstruction de la sauterelle *Permotettigonia gallica*. Dessin Camille Garrouste.

La découverte de ce fossile apporte ainsi de nouvelles clés de compréhension sur les interactions entre organismes vivants, véritables moteurs de l'évolution des espèces. En effet, ces sauterelles mimétiques tentaient déjà d'échapper à leurs prédateurs en prenant l'aspect de feuilles. Les prédateurs pouvaient être des reptiles planeurs connus à la même époque dans des gisements différents (Madagascar, Allemagne) ou des libellules « géantes » (Méganeurides).

Nous avons entre temps commencé à explorer la zone et entrepris des explorations de plus en plus soutenues jusqu'en juin 2016 où nous avons trouvé les premiers Triops.

Les Triopsidés : indicateurs de milieux aquatiques temporaires (fig. 9)

Ce sont les fossiles les plus caractéristiques de ces formations sédimentaires, témoins d'une vie aquatique dans des environnements temporaires.



Fig. 9 - Banc de pélites à Triops et Conchostracés (premier plan). Léouvé.
Photo R. Garrouste.

Ces arthropodes Crustacés (Branchiopodes Notostraca) possèdent une morphologie caractéristique.

La tête et le thorax sont réunis sous un large bouclier en forme de fer à cheval, plus ou moins élancé selon les espèces, prolongé par un abdomen segmenté portant deux longs filaments annelés. Les anglais les appellent crevette-têtard (*tadpole shrimp*).

Les fossiles trouvés montrent une très fine conservation d'individus de plusieurs stades de développement, de 2 à 15 mm de diamètre. L'abdomen est très souvent absent (fig. 10 et 11).

En dépit de leur ancienneté (on les connaît depuis le Dévonien), ces organismes subsistent dans les milieux aquatiques actuels temporaires (y compris dans les lacs temporaires du Centre - Var). Ils se sont



Fig. 10 - Détail des pélites à Triops (avec trois Triops de taille différentes. Le plus gros mesure 12 mm de diamètre. Photo R. Garrouste.

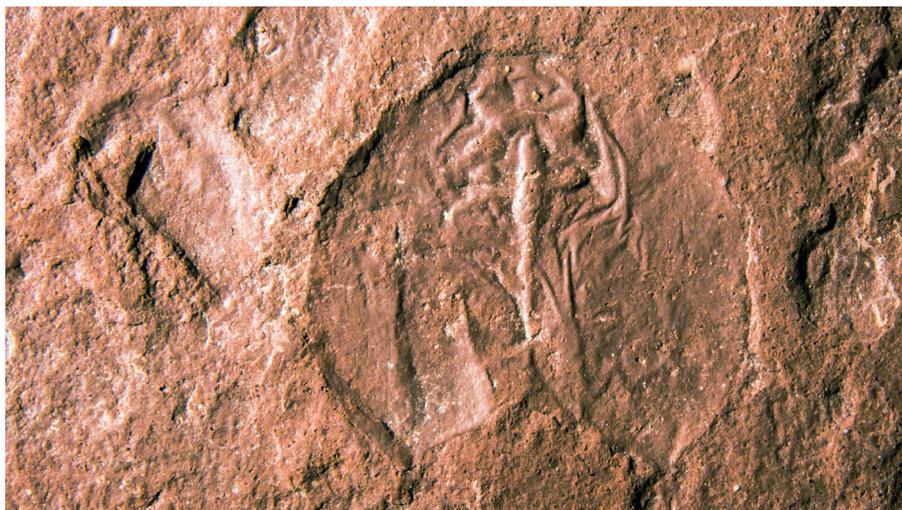


Fig. 11 - Détail d'un Triops. L'empreinte est constituée du bouclier réunissant la tête (en haut) et le thorax. Subsiste une partie de l'empreinte du corps et des pattes. Un conchostracé sur la gauche. Photo R. Garrouste.

très peu modifiés morphologiquement et on leur a souvent attribué le qualificatif de « fossile vivant » (terme ambigu à éviter, car porteur de confusion sur l'évolution). Ils sont considérés comme détritivores, se nourrissant de matière organique dans les sédiments, peut-être un peu carnivores également.

Associés aux Triopsidés, des crustacés « Conchostraca » (ancien nom d'un groupe aujourd'hui éclaté en 3 taxons distincts) sont également trouvés associés dans les affleurements. Ce sont des petits crustacés de quelques millimètres, dont la carapace s'est refermée sur elle-même, enserrant le corps et les pattes de l'organisme dans une coque bivalve pouvant protéger l'animal lors de la dessiccation dans les milieux temporaires (**fig. 12**).



Fig. 12 - Détail d'un Conchostracé (environ 6 mm). Les deux valves sont réunies par une charnière (ici la partie rectiligne). Des stries d'accroissement sont souvent présentes et, avec d'autres ornements de la carapace, servent de caractères pour définir les espèces. Photo R. Garrouste.

En effet, ces formations sédimentaires sont attribuées, outre des contributions liées au vent et au volcanisme (tufs), à des paysages de playa en milieu aride ou semi-aride. Ce sont des larges plaines où circulent des cours d'eau en tresses, provenant de reliefs proches et subissant des inondations périodiques. Les mouvements de ces cours d'eau qui changent sans cesse de place et d'orientation et une certaine saisonnalité sont à l'origine de ces paysages particuliers marqués par une sédimentation assez importante.

Ces organismes étaient parfaitement adaptés à ces milieux.

Une dernière découverte : un fragment d'une nouvelle Méganeuride en juillet 2017 ?

Récemment une nouvelle aile d'insecte a été découverte par deux d'entre nous, R. Garrouste et G. Mari, en juillet 2017. Ce spécimen est en cours d'étude et il s'agit probablement d'un deuxième spécimen de Meganeuridae. Ce n'est qu'un fragment et des prospections de terrain seront nécessaires pour en savoir plus sur ce spécimen et le site d'affleurement (dans la région de Léouvé).

Des os dans la montagne ?

Enfin il ne faudra pas négliger la possibilité, dans certains niveaux triasiques et permien, de trouver un bone-bed à Vertébrés comme nous les avons trouvés dans le Centre-Var à Gonfaron (salamandres « géantes » ou Temnospondyles, non publié).

Conclusion : explorons ce massif sédimentaire ! (fig. 13)

En conclusion, il paraît évident que, plus nous parcourons ce massif, plus il nous livre des informations paléontologiques. Les dernières découvertes dans le Var (Gonfaron et Centre-Var) et le Salagou (région de Lodève) aident et stimulent ces travaux par les analogies géologiques et paléontologiques existantes entre les formations. Ces informations sont cependant diffuses, non évidentes et on peut le dire difficiles à trouver, ce qui explique qu'il y eu 40 ans entre les deux découvertes de fossiles d'insectes, puis par une petite augmentation des prospections, une dizaine d'années seulement pour trouver le « cortège » (paléobiocène) habituel de ces formations : crustacés des milieux aquatiques temporaires, pistes d'invertébrés et de vertébrés, puis la troisième aile en juillet 2017 (en cours d'étude !).

La Réserve Naturelle Régionale des gorges de Daluis, créée en 2012 et englobée toute entière dans ce massif, le Parc National du Mercantour qui le contient en partie (pour 2/3 sur la commune de Guillaumes qui fait partie de la zone d'adhésion) sont des atouts pour améliorer les connaissances sur ce massif et les faire partager au plus grand nombre. C'est aussi un élément du développement durable de cette région un peu isolée. Gageons que nous ne sommes pas au bout des surprises dans le Dôme de Barrot, une région qui cumule des atouts en matière de patrimoine naturel, incluant la paléon-



Fig. 13 - Exploration paléontologique dans les gorges de Daluis, août 2017. Photo R. Garrouste.

tologie mais aussi la minéralogie (Mari et Mari, 2011, Sarp *et al.*, 2014) et la présence de plusieurs espèces endémiques de plantes et d'animaux, ainsi que le patrimoine culturel avec la présence de travaux miniers d'âge protohistorique pour le cuivre (Rostan *et al.*, 2005, Mari *et al.*, 2014). Autre élément remarquable, la couleur des pélites induit chez de nombreux animaux (mollusques, insectes, araignées, etc.) une homochromie assez marquée qui peut servir de modèle aux études sur l'adaptation et la spéciation (apparition de nouvelles espèces). Ce phénomène peut avoir joué dans l'apparition de nouvelles espèces, sous-espèces ou populations particulières dans plusieurs lignées animales, marquant ainsi l'influence directe de la couleur du substrat géologique sur la biologie des organismes, en sus de l'influence géochimique. La recherche scientifique d'aujourd'hui étant moins cloisonnée dans ses disciplines, plusieurs aspects pluridisciplinaires peuvent être envisagés, à la croisée des géosciences et des biosciences pour faire du Dôme de Barrot un site atelier pour la géodiversité et la biodiversité réunies dans des programmes de recherche et des restitutions communes. Cette région est de plus inscrite dans une démarche de labellisation UNESCO, qui pourra bénéficier des nouvelles connaissances qui émergeront de ce Massif.

Remerciements

Les auteurs remercient Marc Durand (Nancy) et Georges Gand (Dijon) pour leur contribution à la connaissance du Dôme de Barrot et à l'ensemble des bassins permien de France et les échanges à ce sujet.

Bibliographie

DURAND M., GAND G. (2007) - Le Permien et le Trias du Dôme de Barrot (Alpes-Maritimes). *Livret-guide de l'excursion annuelle de l'Association des Géologues du Permien et du Trias*, 18-20 septembre 2007, pp. 1-26.

GARROUSTE R., NEL A., GAND G. (2009) - New fossil arthropods (Notostraca and Insecta: Syntonopterida) in the Continental Middle Permian of Provence (Bas-Argens basin, France). *CR Palevol*, 8, pp. 49-57.

GARROUSTE R., LAPEYRIE J., STEYER J.-S., GINER S., NEL A. (2017) - Insects in the Red Middle Permian of Southern France: first Protanisoptera (Odonoptera) and new Caloneuroidea (Panorthoptera), with biostratigraphical implications. *Historical Biology*.

GARROUSTE R. et al. (2016) - Insect mimicry of plants dates back to the Permian. *Nature Communications*, 7, 13735 doi: 10.1038/ncomms13735 .

HALDAN M.M. et al. (2009) - A comparison of detailed equatorial red bed records of secular variation during the Permo-Carboniferous Reversed Superchron. *Geophysical Journal International* 177, pp. 834-848.

KRUIVER P.P. et al. (2002) - The implications of non-suppressed geomagnetic secular variation during the Permo-Carboniferous Reversed Superchron. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 131, pp. 225-235.

LAURENTIAUX-VIEIRA F., LAURENTIAUX D. (1963) - Découverte d'un insecte protodonate dans le Permien des Alpes-Maritimes. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences* 257, pp. 3018-3020.

MARI G., MARI D. (2011) - Minéraux des Alpes-Maritimes. *Riviera Scientifique* (spécial centenaire), pp. 77-100.

MARI G., LAPEYRE L., MARI D. (2014) - Les pépites de cuivre natif du quartier de Roua (Daluis, Alpes-Maritimes, France) *Ann. Mus. Hist. Nat. Nice*, XXIX, pp. 27-42.

NEL A. et al. (2009) - Revision of Permo-Carboniferous griffenflies (Insecta : Odonoptera : Meganisoptera) based upon new species and redescription of selected poorly known taxa from Eurasia. *Palaeontographica* (A) 289, pp. 89-121.

ROSTAN P., MARI G. (2005) - L'exploitation protohistorique de cuivre natif de Roua (Daluis et Guillaumes, Alpes-Maritimes). *Mémoire de la Société Préhistorique de France*, La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes, XXXVII, pp. 139-149.

SARP H. et al. (2014) - La barrotite, $\text{Cu}_9\text{Al}(\text{HSiO}_4)_2[(\text{SO}_4)(\text{HAsO}_4)_{0,5}](\text{OH})_{12} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, un nouveau minéral de la mine de Roua (Alpes-Maritimes, France). *Riviera Scientifique*, 98, pp. 3-22.

SONNETTE L. et al. (2014) - Significant rotations related to cover-substratum decoupling: Example of the Dôme de Barrot (Southwestern Alps, France), *Tectonophysics* <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.04.009>.

VINCHON Ch. (1984) - *Sédimentogenèse et métallogenèse du Permien du Dôme de Barrot (Alpes-Maritimes, France) Comparaison avec les ensembles permien voisins*. Thèse d'État, Document du BRGM n° 70, 444 p.

VISSCHER H., HUDDLESTON SLATER-OFFERHAUS M.G., WONG T.E. (1974) - Palynological assemblages from "Saxonian" deposits of the Saar-Nahe Basin (Germany) and the Dôme de Barrot (France) – An approach to chronostratigraphy. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 17, pp. 39-56.