

## Valorisation du géopatrimoine « Impact de Rochechouart »

Philippe Lambert<sup>1</sup> et le CIRIR Consortium<sup>2</sup>.

### Introduction

Dans le panorama des rares analogues terrestres aux grands impacts météoritiques observés sur les surfaces de la Lune, Mars et autres planètes, le géopatrimoine « Impact de Rochechouart » apparaît comme une richesse pour l'humanité. Pourquoi ? De quoi s'agit-il ? En quoi se distingue-t-il ? Comment l'exploiter ? Comment et pourquoi la valorisation de ce géopatrimoine peut-elle conduire à la valorisation de tous les géopatrimoines « Impact » de la planète et pourquoi la science qui s'y rattache mérite d'être bien plus largement développée qu'elle ne l'est ? Comment la faire connaître, la faire reconnaître et la faire partager par le plus grand nombre et ce faisant, contribuer à « l'élévation du genre humain » par l'élévation de sa culture scientifique et comment ce géopatrimoine en particulier peut aider à y parvenir ? Comment la communauté scientifique en général, celle des géologues en particulier, contribue-t-elle et peut-elle contribuer à ce grand dessein ? Telles sont les questions que nous tentons d'éclairer dans cet article dont la première partie se concentre sur « l'objet » lui-même et adresse les « Pourquoi ? », tandis que la seconde s'attache davantage à la manière et aux « Comment ? », notamment via la mobilisation internationale en cours (« effet CIRIR ») dont cette valorisation est précisément l'objet et la destination.

### Géopatrimoine « Impact de Rochechouart » De quoi s'agit-il ?

Il s'est révélé aux premiers géologues du début du XIX<sup>e</sup> siècle, par des brèches de granites et de gneiss réparties autour de Rochechouart en Haute Vienne et de Chassenon en Charente, recouvrant de

manière discontinue le socle cristallophyllien du Limousin (Texier-Olivier, 1808) (Fig. 1). C'est F. Kraut qui publie dès le milieu des années 30 sur ces brèches (1935, 1937) et qui fait le lien avec les cratères d'impacts à la fin des années 1960 (Kraut, 1967, 1969, Kraut et French, 1971).

Comme tout objet géologique, le géopatrimoine « impact de Rochechouart » est la manifestation d'un phénomène naturel que le géologue tente de reconstituer, dans l'espace et dans le temps, à la lumière des effets enregistrés dans le sous-sol. En l'occurrence, le message est



Figure 1. Haut : Vue aérienne de Rochechouart. Milieu : Eglise de Rochechouart construite en impactites montrant une variété de faciès avec à gauche : colonne en brèche lithique gris bleu à enclaves fondues (provenant de la région de Chassenon), à droite : une brèche polygénique exclusivement lithique (région de Rochechouart), au centre : une brèche de fusion vésiculaire (quasi sans débris ; région de Babaudus), qui toutes présentent une concentration anormalement élevée en nickel facilement détecté par un XRF portable. Bas gauche : Étudiants et enseignants en Planétologie de trois Universités belges réunis autour de Philippe Claeys (au centre), dans la carrière de Montoume, « ex-lac de lave » où a été exploitée une brèche de fusion riche en débris lithiques, montrant des grands joints de refroidissement ; droite : lame mince dans d'une brèche complexe intermédiaire entre brèche de fusion et brèche lithique, vue au microscope optique, en lumière polarisée transmise croisée.

1. CIRIR- Centre International de Recherche et de Restitution sur les Impacts et sur Rochechouart, 2, Faubourg du Puy du Moulin, 87600 Rochechouart. Courriels : contact.cirir@gmail.com ; lambertbdx@gmail.com

2. Liste des membres en annexe 1.



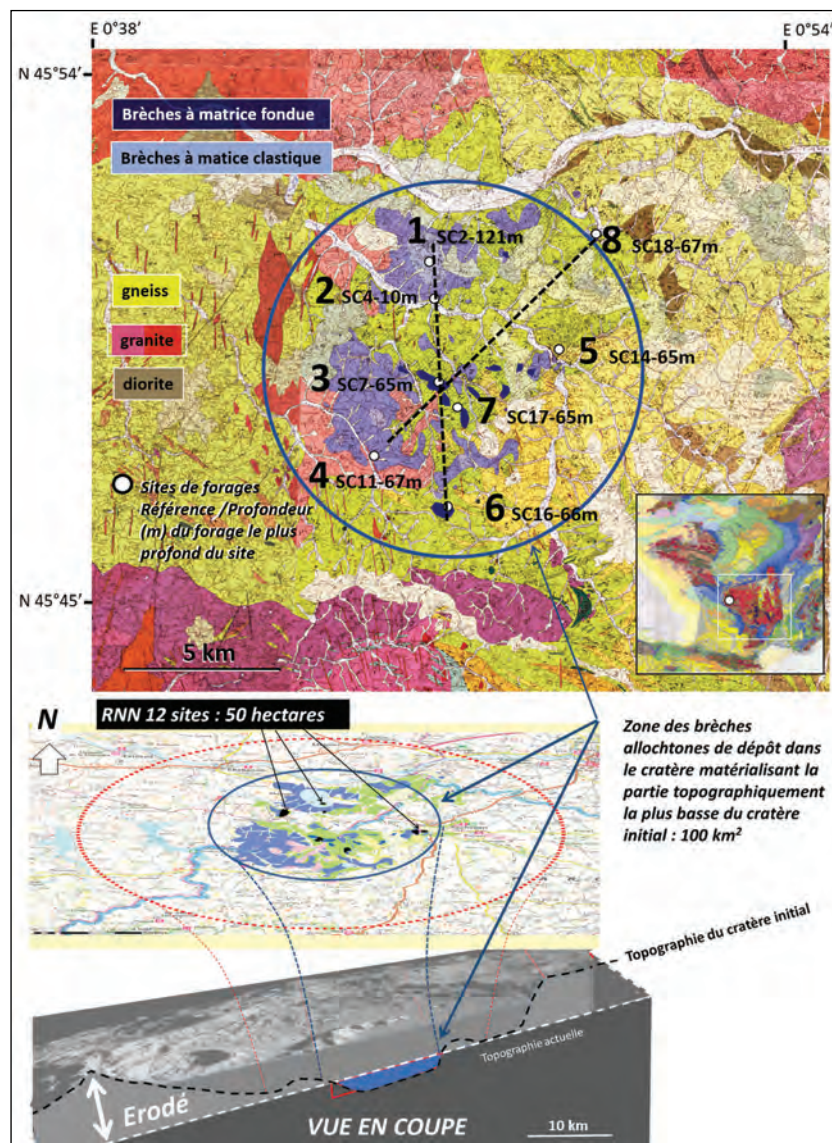
très altéré par l'âge et par l'érosion. Le cratère, formé à la périphérie ouest du socle granitico-gnessique du Massif-Central, a en effet perdu toute expression topographique. Les récentes datations portant sur des matériaux fondus par l'impact situent l'évènement *dans les derniers millions d'années du Trias, donc juste avant la grande extinction en masse Trias-Jurassique*. Ce dont on est sûr, c'est qu'il s'agit bien du résultat de la collision d'un astéroïde avec la Terre et non d'un phénomène sédimentaire et/ou tectonique et/ou volcanique, comme il était interprété avant la fin des années 1960, ni d'un phénomène « crypto-volcanique<sup>3</sup> ». Toutes les roches de la région de Rochechouart, y compris celles utilisées pour la construction des fermes, villages, églises, thermes romains..., en contiennent une petite fraction, laquelle s'exprime notamment par un enrichissement en nickel (Lambert, 1975) et en iridium et autres éléments sidérophiles (Janssens *et al.*, 1976, 1977, Tägler *et al.* 2009). Cette contamination météoritique fait de Rochechouart le premier « astroblème<sup>4</sup> » dont l'origine « cosmique » a été « démontrée », suivi par d'autres, mettant ainsi un terme à la « bagarre » livrée entre « impactologues » et certains volcanologues pendant plus d'une quinzaine d'années, quant à l'origine des structures circulaires développant des effets de choc.

Ce dont on est moins sûr et que les recherches passées et à venir sur la structure de Rochechouart cherchent à éclairer, concerne le détail de ce qu'il s'est passé durant les quelques dizaines de minutes qu'a duré la formation du cratère proprement dit, durant les quelques heures pendant lesquelles se sont propagés séismes et tsunamis, à distance, et durant le temps beaucoup plus long pendant lequel des phénomènes géologiques, biologiques et environnementaux induits par l'impact ont « accompagné » le « retour » aux conditions initiales (si tant est que ce fut le cas).

Une donnée qui manque en particulier pour évaluer plus précisément ce qui s'est passé, et qui caractérise les astroblèmes en général, c'est la taille du cratère initial de Rochechouart. Ce qu'on peut affirmer c'est qu'il est nécessaire-

ment plus large que la zone de 10-12 km de diamètre dans laquelle les brèches d'impact forment une « galette » qui repose à plat sur le socle (Fig. 2).

Quant au diamètre initial, il demeure très incertain. Les données géophysiques (gravimétrie) récemment revisitées, suggèrent 30 à 35 km de diamètre (Pohl, 2015). Celles de la géologie combinées à la mécanique et à la planétologie, conduisent une partie de la communauté à penser qu'il a pu atteindre au minimum 50 à 80 km de diamètre (Lambert, 2010, 2019, et Fig. 3).



3. Phénomène volcanique « hyper explosif » qui a été imaginé capable de générer les ondes de choc et par-delà, le métamorphisme de choc qui caractérise et « authentifie » l'origine « impactitive » des roches qui le manifestent.

4. Terme inventé par Dietz (1963) pour désigner un cratère d'impact érodé ayant perdu son expression topographique.

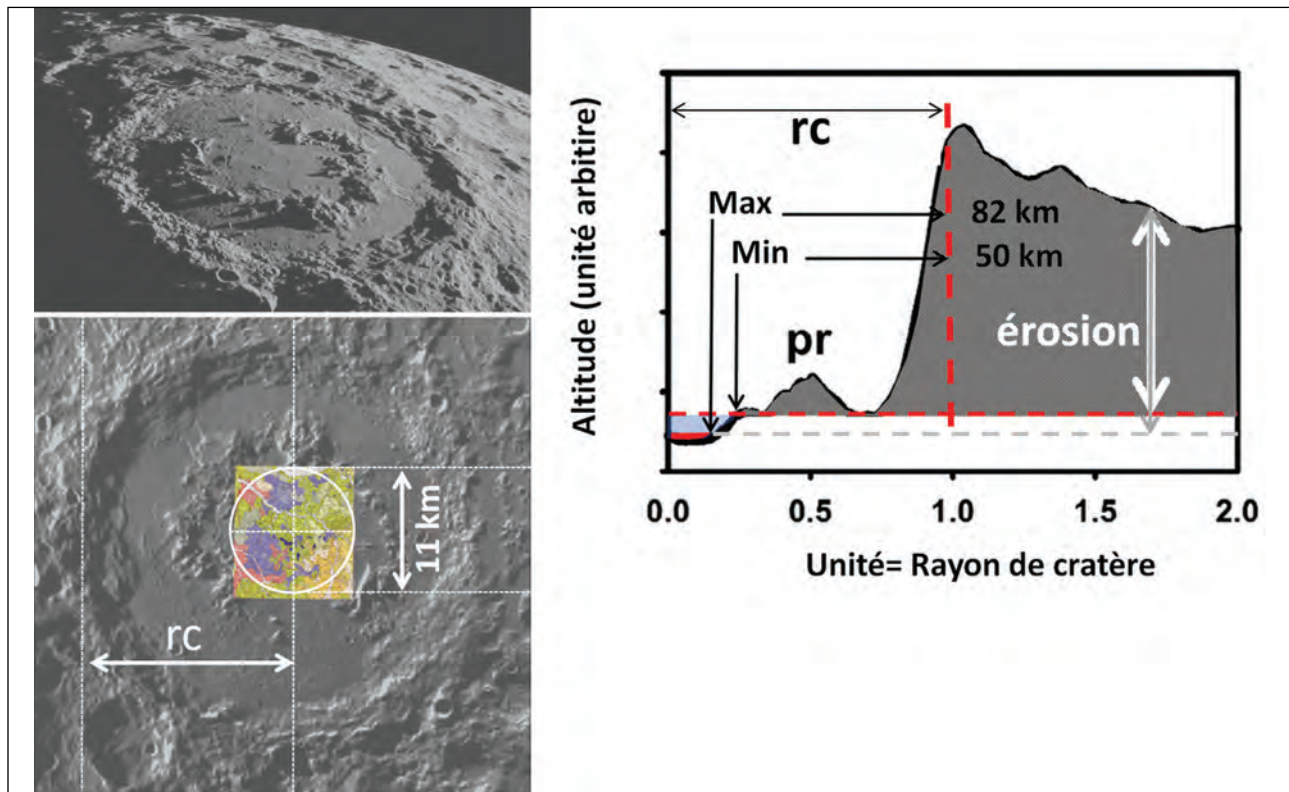


Figure 3. Estimation de la taille du cratère initial de Rochechouart par analyse morphométrique comparée combinant géologie de Rochechouart et données de la planétologie. Haut gauche : Vue oblique du cratère Schrödinger (326 km de diamètre) sur la Lune (image NASA), « classiquement » considéré comme analogue à celui de Chicxulub (Mexique) et qui sert de modèle pour la formation des grands cratères d'impacts dont le pic central s'est effondré formant une dépression centrale pendant la phase de modification de la cavité. Bas gauche : Vue à la verticale du même cratère Schrödinger avec au centre superposition de la carte géologique de la zone des brèches allochtones de Rochechouart, qui « matérialise » la partie la plus basse du cratère initial et dont l'extension est utilisée, vue de droite, pour estimer son diamètre initial en référence au profil topographique du cratère Schrödinger (coupe du cratère Schrödinger issue des travaux de Baker et al., 2016). Rc : Rayon du cratère. Pr : Anneau central. Le diamètre minimum du cratère initial de Rochechouart correspond à celui au-delà duquel l'érosion aurait préservé des brèches de remplissage dans la dépression annulaire, lesquelles ne sont pas observées à Rochechouart. La valeur maximum indiquée est purement indicative. Elle suppose que l'érosion a également entamé les flancs de la dépression centrale, ce qui diminue l'épaisseur du dépôt conservé et conduit à augmenter la taille du cratère initial. Source : d'après Lambert, 2019.

Les réponses aux interrogations concernant le cratère, sa taille, celle du projectile et ce qui s'est réellement passé avant, pendant et après l'impact, toutes ces réponses se trouvent dans les roches du sous-sol de la région de Rochechouart, et même largement au-delà puisque certaines manifestations géologiques lui sont attribuées sont en dehors des frontières nationales (voir plus loin). C'est toute cette « géologie », toutes ces manifestations qui constituent le géopatrimoine « Impact de Rochechouart », que la communauté scientifique a entrepris de valoriser, et ce pour une « cause » qui dépasse largement Rochechouart, qui nous dépasse tous, qui aboutira d'autant mieux et sera d'autant plus profitable que nous serons nombreux à l'embrasser et à la faire connaître. Son objectif est également celui de cet article : donner de l'audience à la géologie des impacts par l'éclairage qu'elle peut apporter sur les questions fondamentales de l'Humanité, lesquelles semblent inscrites dans les géopatrimoines « impacts terrestres » en général et dans celui de Rochechouart en particulier.

## Pourquoi s'intéresser aux impacts ?

L'intérêt pour les impacts tient au caractère fondamental et universel du phénomène. Conséquence de la gravitation, il s'applique à tous les objets, des plus petits aux plus grands, qui gravitent dans le système solaire et autour des étoiles. C'est celui par lequel les planètes se font et occasionnellement, se défont. En pratique, toute la matière constitutive de « notre monde », toute celle qui « nous constitue », a été apportée et a été largement « forgée », au tout début de l'histoire de notre planète, à la faveur des collisions et des impacts. C'est directement et indirectement le processus géologique « premier » des planètes qui gravitent autour des étoiles. Pour nombre des objets planétaires du système solaire, c'est le principal phénomène géologique actif aujourd'hui. On peut raisonnablement penser qu'il en va de même pour un grand nombre d'exoplanètes.

Outre le caractère fondamental du phénomène



géologique « impact » qui justifie à lui seul l'intérêt à le connaître et le comprendre, s'ajoute un intérêt « pratique ». Environ un tiers des impacts identifiés sur Terre sont des ressources économiques. S'ils n'ont pas été recherchés et prospectés comme tels jusqu'à présent sur Terre<sup>5</sup>, ils le pourraient et ils le seront s'agissant de l'exploitation de ressources extraterrestres. Les robots et les astronautes destinés à l'exploration, puis à l'exploitation des objets planétaires proches de la Terre, ainsi que leurs équipes à Terre, auront nécessairement une culture géologique importante et une bonne connaissance des impacts.

L'intérêt pour les impacts va encore beaucoup plus loin et dépasse le cadre « géologique ». Il embrasse le cadre « biologique ». L'impact des impacts sur le vivant s'est d'abord révélé aux scientifiques à partir des années 80 par sa dimension catastrophique, avec la « reconnaissance » de l'origine « cosmique » de la grande extinction à la limite Crétacé-Tertiaire (Alvarez *et al.*, 1980). Depuis, l'humanité prend progressivement conscience du risque associé aux impacts d'astéroïdes, lesquels sont aujourd'hui classés dans la conscience populaire, au deuxième rang des risques majeurs de nature à « éteindre » toute l'humanité, derrière la guerre nucléaire (et biologique ?). On notera que la Terre a nécessairement connu au cours de son histoire, des dizaines d'impacts comparables en taille à celui de Chicxulub, et d'autres bien plus grands encore. Dans ce contexte, le nombre et l'importance des extinctions de masse actuellement identifiées sur Terre sont nécessairement largement sous-estimés. S'ajoutent tous les impacts plus petits, bien plus nombreux, responsables d'extinctions qui sans être « globales », ont pu affecter la vie à l'échelle d'un continent et dont on ne connaît pas d'exemples, non pas qu'il n'y en ait pas trace, mais parce qu'elles n'ont pas encore été identifiées comme telles...

Enfin, plus important et plus extraordinaire encore, l'humanité va très vraisemblablement découvrir **dans les années à venir que la Vie est une caractéristique « commune » dans la nature**, en même temps que le rôle fondamental joué par les impacts. Bien que connue depuis 1969 avec la météorite de Murchison<sup>6</sup>, l'étonnante richesse en composés organiques de certaines météorites les plus « primitives » qui nous parviennent commence seulement aujourd'hui à retenir l'attention. Cette abondance démontre d'une part le caractère multiple, commun, et précoce de la « fabrication » des briques du vivant, à travers le Système Solaire. Certes, des organismes vivants (ou leur trace) n'ont pas (encore) été identifiés jusqu'alors dans des objets primitifs telles que les météorites carbonées, ou dans les échantillons rapportés de la surface de la Lune, ou dans les analyses du sol martien par les rovers. Mais, il semble raisonnable de penser que cela ne va pas

tarder. Les développements technologiques à venir, dont celui des biomarqueurs qui sont encore rudimentaires, pourraient rapidement changer la donne. Sans que ce soit une preuve en soit, la « distance » qui sépare les molécules organiques complexes précitées et un organisme très fruste comme un virus, apparaît beaucoup plus faible que celle qui les sépare du monde minéral qui les entoure.

Murchison et les autres météorites riches en molécules organiques mettent également en lumière le rôle fondamental que jouent les impacts dans la dissémination à travers le TEMPS et l'ESPACE, des briques de la Vie, qui ainsi transitent d'un objet planétaire à un autre. Du transfert de ces briques à celle de la Vie elle-même, à la faveur des collisions, il n'y a qu'un pas qu'une partie de la communauté scientifique a déjà franchi, suite à des expérimentations dans l'espace et à des essais de choc et d'ultra-centrifugation qui ont montré que des micro-organismes étaient capables de « survivre » aux conditions environnementales de l'espace et aux ondes de choc générées par les impacts.

Par-delà ce rôle de « vecteur », la communauté scientifique prend progressivement compte du rôle fondamental que les impacts peuvent jouer sur l'habitabilité des planètes et par-delà, sur l'émergence de la Vie. Par nature, les impacts sont des agents de modification « brutale », et « durable » des conditions climatiques et environnementales des surfaces planétaires. On a vu plus haut, les incidences négatives sur le vivant. Mais il en est d'autres, positives au contraire. Les grands impacts étaient déjà pressentis comme agent potentiel de fabrication d'atmosphères transitoires du fait de **la propension des ondes de choc à libérer les composés volatils** contenus dans les minéraux des surfaces planétaires impactées, **dont l'eau** (Lange *et al.*, 1985). Ce n'est que beaucoup plus récemment, après avoir constaté des manifestations sédimentaires sur les flancs du cratère Gale sur Mars<sup>7</sup>, qu'est apparue l'idée qu'ils pouvaient être responsables de la génération de lacs sur des planètes dépourvues d'eau de surface, et ce faisant pouvaient être des acteurs indirects de l'émergence de la Vie par leur incidence sur l'habitabilité des planètes (Segura *et al.*, 2002, Abramov et Kring, 2005, Turbet *et al.*, 2020). Les grands impacts génèrent une « cellule hydrothermale<sup>8</sup> » **de nature à transformer localement et temporairement, une surface planétaire froide, sèche et hostile en un environnement chaud, humide et habitable**, combinaison de l'effet « bouillotte » associé à la grande quantité de matière chaude qui tapisse le fond des grands cratères, de l'effet « circuit de communication » que constitue le gigantesque réseau de fractures généré par l'onde de choc qui s'étend très largement au-delà du cratère, et de l'effet « dévolatilisation » que produit l'on-

5. Ils ont été reconnus comme ressources économiques et exploités avant de s'apercevoir qu'il s'agissait de structures d'impact, comme par exemple les grands gisements miniers associés à l'impact de Sudbury (Canada) ou associés à celui de Vredefort (Witwatersrand-Afrique du Sud) ou les gisements d'hydrocarbures associés à l'impact de Chesapeake Bay (USA) ou de Chicxulub (Mexique).

6. Chondrite carbonée tombée en 1969 en Australie et riche en acides aminés.

7. Voir l'article de F. Rocard dans le numéro 200 de *Géologue*, Mars 2019.

8. Mise en circulation d'eau souterraine, comme dans l'environnement des chambres magmatiques des volcans sur Terre, laquelle conduit à la formation de geysers.

de choc qui libère les volatils contenus dans les minéraux ou dans les pores (Lambert et Lange, 1984). Cette combinaison conduit naturellement à l'installation d'une cellule hydrothermale laquelle s'est clairement développée dans l'impact de Rochechouart. On en retrouve diverses manifestations dans les impactites, dont des teneurs très anormalement élevées en potassium (métasomatisme potassique) qui sont symptomatiques de l'altération hydrothermale pendant la phase de refroidissement du cratère, des feldspaths, constituants majoritaires des roches de la cible (Lambert, 2010).

## Pourquoi s'intéresser aux impacts terrestres ?

Il y a donc largement matière à s'intéresser aux impacts pour les planétologues, les biologistes et les géologues. L'intérêt particulier qu'ils revêtent tient à leur accessibilité. Ils sont et seront pour plusieurs décennies au moins, les seules sources permettant des investigations de terrain et les échantillonnages essentiels à l'étude et la compréhension de ces phénomènes « géologiques ». Dans ce contexte, **on peut s'étonner que la communauté scientifique qui s'y consacre soit aussi réduite**. La planète compte tout au plus une centaine de spécialistes en poste (géochimistes et géophysiciens inclus) se consacrant spécifiquement à l'étude géologique de cratères d'impact terrestres. Cela tient au caractère « hors norme » du sujet, au caractère très récent de sa reconnaissance et accessoirement au nombre restreint d'impacts conservés à la surface de la Terre. Seulement ~200 structures y sont officiellement reconnues à ce jour. Même s'il en reste à découvrir, leur nombre est nécessairement très limité comparé à celui sur la Lune et sur d'autres objets planétaires qui nous entourent. Cela tient à l'importance des processus géodynamiques de surface qui caractérise la Terre, processus qui tendent à renouveler plus vite sa surface que les impacts et à en effacer les cicatrices.

## La « science des impacts », une nouvelle discipline, pour un mécanisme hors norme

La géologie des impacts se situe à la croisée de plusieurs disciplines, ou plus exactement à la croisée des « extrêmes » de plusieurs disciplines, là où le comportement de la matière est très loin de l'équilibre, ce qui conduit à ouvrir de nouveaux champs, **comme le métamorphisme de choc**, avec de nouvelles manifestations, qui n'ont rien à voir avec celles des champs « classiques » connus jus-

qu'alors (idem pour la mécanique des grandes déformations, la physique des ondes de choc... et autres). **L'unité de temps** ne se compte pas en centaines, milliers ou millions d'années comme dans les autres phénomènes géologiques, mais **en millisecondes** et jusqu'à quelques dizaines de secondes pour la formation de la cavité transitoire des très grands cratères d'impact.

## La « science des impacts », une discipline récente

Les cratères impact et autres expressions géologiques du phénomène, notamment le métamorphisme de choc qui se manifeste à l'échelle des roches et de leurs constituants, ne sont reconnus et acceptés par la communauté scientifique que très récemment. Malgré quelques géologues visionnaires, dont Daniel Moreau Barringer au tournant du XX<sup>e</sup> siècle et Robert Dietz qui parvient à publier dans des revues prestigieuses sur l'origine impactitique des cratères lunaires et d'anomalies terrestres (Dietz, 1946, 1947), il faut attendre les travaux de Eugène Shoemaker sur le *Meteor Crater* (Shoemaker, 1959, 1960) et sa découverte avec Edward Chao, des phases de haute pression du quartz dans les flancs et ejectas du cratère (Chao *et al.*, 1960) pour voir la communauté basculer dans l'ère des impacts. La perception de l'importance géologique du phénomène croit alors rapidement avec la reconnaissance d'autres effets de choc et d'autres structures d'impact sur Terre, y compris sans expression topographique (Dietz, 1961, 1963, 1964). Cette prise de conscience n'est pas sans relation avec le déploiement des essais nucléaires (effets des ondes de choc). Elle est également catalysée à partir de 1963-64 par la ré-interprétation des cratères lunaires reconnus comme « impacts », à la faveur des images à haute résolution de la surface lunaire rapportées par les orbiteurs préfigurant les missions Apollo. En 1966, Bevan French et Nicholas Short de la NASA organisent au Goddard Space Flight Center, le premier symposium international sur les effets de choc et sur les cratères d'impact. Les articles pionniers des 70 auteurs qui publient dans les actes de ce congrès (French et Short, 1968) constituent toujours aujourd'hui « la référence » de ce qui est considéré comme une discipline « à part » et « à part entière », tant le caractère exceptionnellement bref et extraordinairement « brutal » du phénomène auquel elle se rapporte la distingue. En pratique cette discipline est à la frontière de la géologie, de la mécanique, de la physique des matériaux, de la planétologie et depuis peu, de la biologie.

## Pourquoi s'intéresser à Rochechouart ?

Les impacts terrestres sont donc un très précieux gisement d'information sur les impacts en général. Pour le public et pour le géologue généraliste, la structure de Rochechouart se distingue principalement par sa remarquable accessibilité géographique. La grande majorité des impacts sur Terre, toutes tailles et états de conservation confondus, se localise dans des régions très reculées du globe (déserts, Grand Nord) et une partie est enfouie sous Terre et/ou sous les eaux. **Rochechouart compte parmi les plus faciles d'accès.** Situé à deux heures de route ou de train depuis l'aéroport international de Bordeaux, le réseau de routes et de chemins qui caractérise cette région encore très rurale, fait qu'il n'est aucun lieu sur l'ensemble de la structure, éloigné de plus de 300 ou 400 mètres d'un endroit accessible avec une voiture de ville. Pour le géologue, cela facilite considérablement les activités de recherche et les études de terrain.

Par ailleurs, seulement une fraction de la population des impacts terrestres se rapporte à des collisions suffisamment importantes pour avoir généré des effets géologiques durables, notamment le déclenchement d'une cellule hydrothermale. Ce sont ces derniers qui attirent la plus grande attention, à l'image de Chicxulub au Mexique. Rochechouart appartient à cette catégorie. Dans celle-ci, la majorité affecte des terrains qui sont sédimentaires ou mixtes avec un socle cristallophyllien recouvert par du sédimentaire comme au Ries (Allemagne) ou à Chicxulub (Mexique). Ceux qui n'affectent que du cristallophyllien sont à ce titre directement analogues aux cratères d'impacts affectant les surfaces planétaires des planètes internes du Système Solaire. Ce sont les plus rares. Rochechouart en fait partie.

Pour le spécialiste, ce qui distingue surtout **la structure d'impact de Rochechouart, c'est la richesse et la diversité des faciès rencontrés**, en dépit de son état d'érosion, ou plutôt à la faveur de son état d'érosion. En effet, s'y trouve exposée la séquence complète des manifestations produites par impact et connues à l'échelle des roches et des minéraux, tant dans le remplissage des cratères et leurs éjectas, que sous leur plancher, dans la cible (Lambert, 1977, 2010) (voir quelques exemples figures 1 et 4). Cette situation est unique et tient pour partie au niveau d'érosion du cratère qui se situe précisément légèrement au-dessus du fond de la dépression centrale du cratère initial (voir figure 2). Cela permet aux matériaux qui remplissent le cratère d'y être exposés dans une zone d'un peu plus de 10 km de diamètre, en même temps que sont également visibles, dans cette même zone, les roches de la cible à la faveur des vallées qui entaillent le dépôt (Kraut et

French, 1971, Lambert, 1977, 2010) (voir figure 2). Dans les autres structures d'impact, l'érosion n'a pas atteint ce niveau qui n'est accessible que par des forages profonds qui ne renseignent que très ponctuellement et qui sont très coûteux (exemple Ries ou Chicxulub). Plus souvent l'érosion a dépassé ce niveau et le remplissage a été décapé (exemple Charlevoix (Canada) ou Vredefort (Afrique du Sud)).

**La revue qui précède éclaire pourquoi le géopatrimoine « Impact de Rochechouart », apparaît effectivement comme une richesse pour l'Humanité, une richesse pour le territoire, une richesse pour la France. Comment le valoriser, comment exploiter cette richesse au bénéfice de la Science et au bénéfice du grand public, des territoires, de l'humanité ?**

Un géopatrimoine n'est pas souvent « sexy » et n'attire généralement pas l'attention ni l'intérêt du grand public. Il y a des exceptions, comme les jeunes volcans qui, parmi les manifestations géologiques, sont les mieux représentés à la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO (13 sites dont deux français, la Réunion et la Chaîne des Puys). Mais les impacts terrestres, pour la plupart, sont très grands, très vieux et très érodés. Ils ne s'expriment pas dans les paysages. C'est le cas notamment de Vredefort Dome (Afrique du Sud) cependant inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO. Rochechouart est dans le même cas. Il est couvert par la végétation et les affleurements y sont relativement peu nombreux et souvent altérés. Dans ce contexte, l'essentiel de la matière à dire, à « montrer », à valoriser, est donc « invisible » à la vue et au profane. La richesse du géopatrimoine est « contenue » dans les roches. Elle doit être « extraite » et transformée pour devenir accessible au public. Autrement dit, pour valoriser le géopatrimoine auprès des scientifiques mais aussi auprès du public, il faut d'abord « exploiter » la matière scientifique qu'il contient et la Science qui s'y rattache. Le géopatrimoine de Rochechouart nous en fournit l'argument et l'opportunité. L'état des lieux qui précède fait apparaître un contraste « saisissant » entre l'importance des impacts en général, celui de Rochechouart en particulier, et l'importance des moyens qui sont consacrés à les connaître et les faire connaître, dans le monde en général, en France en particulier. Il fait également apparaître un contraste « saisissant » entre les atouts dont dispose Rochechouart pour nourrir la recherche sur les impacts, et l'attention qu'il a reçue jusqu'alors. L'impact du Ries (Allemagne) dont l'extension, l'accessibilité géographique et l'environnement académique se comparent à ceux de Rochechouart, est le plus étudié des cratères d'impacts terrestres. Depuis les années 60, les articles, abstracts, thèses, mémoires et autres qui lui sont en tout ou partie,

consacrés, et/ou pour lequel il fournit matière à comparaison (échantillons, modèles...), se comptent par milliers voire davantage. Dans le même temps, Rochechouart en compte moins de 150, dont seulement une trentaine dans des revues internationales à comité de lecture (inventaire exhaustif en annexe 2). Depuis plus de quatre décennies, Philippe Lambert milite à la fois auprès de la communauté scientifique internationale et des pouvoirs publics français, pour mieux le connaître et faire connaître dans la communauté scientifique, et dans le public. Il n'y a eu guère de résultat jusqu'à ce qu'il entreprenne en 2008, la démarche qui a conduit à l'intérêt actuel porté par la communauté scientifique pour le site et qui se matérialise notamment par les forages, scientifiques et par la création du CIRIR (Centre International de Recherches et de Restitution sur les Impacts et sur Rochechouart), dont l'objet, identifié dans sa dénomination, est précisément la valorisation du géopatrimoine impact et « impact de Rochechouart » en particulier. L'idée a été présentée en 2008, à l'occasion de deux congrès internationaux tenus en 2008, à savoir installer le site de géopatrimoine de Rochechouart comme « laboratoire naturel » à disposition de la recherche mondiale sur les impacts et sur les chocs. Le premier congrès réunissait en France la communauté des mécaniciens et des physiciens (Symposium « *Materials under extreme loadings* ») dans laquelle Philippe Lambert a exercé l'essentiel de sa carrière (Lambert et Trumel, 2010). Le second rassemblait géologues et planétologues à Vredfort pour la quatrième édition de la « *Large Meteorite Impact Conference* ». Cinq années ont été nécessaires pour passer de l'idée au projet, présenté en 2014 au congrès de la Meteoritical Society **avec deux objectifs à court terme pour mettre en valeur le site** : générer des échantillons, et générer des projets de recherches en mettant les échantillons gratuitement à disposition des chercheurs (Lambert *et al.*, 2014).

Ce qui a changé en 2008 et a permis au projet de prendre corps et de cristalliser, c'est son « Environnement », à savoir **la reconnaissance par l'État français de la valeur patrimoniale de l'impact de Rochechouart** et la **création de la Réserve Naturelle de l'Astrolème de Rochechouart-Chassenon** (dénommée « Réserve » dans ce qui suit). Cette structure institutionnelle qui a pour objet de préserver le géopatrimoine mais également de le faire connaître notamment auprès du grand public a servi de point d'ancrage pour démarrer la valorisation scientifique en cours rapportée ici. **Pour rendre le projet attractif, il fallait trouver une mesure incitative**, avec des échantillons qui sortent de l'ordinaire, une organisation sur le site lui-même en charge de la conservation et de la gestion de ces échantillons, et en charge des échanges et de la coordination des

travaux, et l'ensemble **à coût nul pour les scientifiques**. Pour ce faire, Philippe Lambert, membre du Conseil Scientifique de la Réserve a proposé d'investir tout l'argent qu'elle pouvait obtenir de l'Etat et des territoires, pour satisfaire la tâche d'inventaire imposée au titre de Réserve Nationale, non dans une étude confiée à un spécialiste, comme il est d'usage, mais dans la réalisation de forages scientifiques peu profonds (donc abordables), mis gratuitement à disposition de tous les spécialistes de la planète par le biais d'une « organisation » appropriée en charge de « rassembler » les dites compétences et de gérer et coordonner les études et échantillons. Les travaux de recherche étant financés par les scientifiques, c'était pour la Réserve, le moyen de récolter une quantité et une qualité d'informations sans commune mesure avec ce qu'elle aurait pu obtenir autrement, à coût nul pour le contribuable français (sinon le coût de réalisation des forages). Pour les scientifiques qui s'engageaient dans cette entreprise, c'était une opportunité unique de pouvoir étudier des échantillons de qualité exceptionnelle, dans un impact encore peu étudié et dans lequel aucun forage scientifique n'avait encore été réalisé. Pour Philippe Lambert, c'était le moyen d'inciter les chercheurs en France et à l'étranger, à se rassembler et à se mobiliser, justifiant ainsi la création de la « structure » qu'il proposait aux territoires et apportant à cette structure, les forces vives et les moyens pour réaliser sa tâche. Enfin, pour le territoire qui s'appêtait à investir dans ce projet structurant et pour son instigateur et responsable pressenti pour le mettre à exécution, c'était le moyen de justifier du minimum d'investissement nécessaire pour le mener à bien. Tout le monde pouvait donc y trouver son compte, et l'a effectivement trouvé. Le CIRIR a été créé en 2016 et la campagne de forages a été réalisée dans les sites de la Réserve fin 2017, complétée par les diagraphies géophysiques réalisées en 2018.

## Les forages : De quoi s'agit-il ?

La clef du succès de toute l'entreprise c'est bien la qualité de ce géopatrimoine, son accessibilité et le caractère exceptionnel de son niveau d'érosion. Contrairement aux autres géopatrimoines impacts forés où il fallait traverser plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres de sédiments avant d'atteindre les impactites (quand ce n'est pas depuis une plateforme qu'il fallait forer, en mer par exemple à Chicxulub au Mexique (Morgan *et al.*, 2017), ou sur un lac, exemple Bosumtwi au Ghana (Koeberl *et al.*, 2007), à Rochechouart le premier mètre foré, est directement exploitable (Lambert *et al.*, 2018, 2019). Du fait de l'accessibilité géographique, les coûts annexes d'installation



et de conduite des forages sont réduits au minimum. Également, nul besoin d'investigations géophysiques longues, coûteuses, incertaines. La géologie de surface nous renseigne très précisément pour positionner les forages. **On « marche sur le gisement »**. L'objectif de la campagne de forage était de traverser le dépôt et de traverser la limite physique du fond du cratère non pas en un point, mais en une série de sites répartis sur l'ensemble du dépôt et en échantillonnant ses principaux faciès : brèches de fusion à bulles et sans bulles, brèches à matrice clastique avec et sans éléments fondus. Le programme de forages a été présenté à la communauté scientifique au congrès « *Bridging the Gap III* » à Fribourg en 2015. Il prévoyait une série de forages sur 8 sites de la Réserve, le long de deux coupes radiales d'une dizaine de km au centre de la structure pour un total de 300 m cumulés (Lambert, 2015). Ce programme a été financé mi-2017, pour un montant total HT de 120 K€ provenant à 42 % de l'État, 38 % de l'Europe et 20% des collectivités locales (la POL<sup>9</sup>-19%, le Conseil départemental de la Charente- 1%). À la faveur d'un appel d'offre bien géré par la Réserve et de l'investissement consenti par le prestataire retenu, la société Hydrogéotechnique, qui a reconnu le caractère exceptionnel de l'exercice et le faire valoir qu'il représentait, les objectifs ont été pulvérisés. Ce sont 544 m qui ont été forés, dont un puits à 121 m et six à 65 m, avec un taux de récupération « record » de 99,7% (542,8 m de carottes récupérées) (Lambert *et al.*, 2019). Ce résultat est à mettre au crédit de l'équipe de forage et à sa direction qui ont pris à cœur d'optimiser la récupération, et n'ont pas compté les heures, tout en respectant le budget. Les opérations de forage ont duré 4 mois. Le total cumulé de carottes récupérées dans les dépôts au fond du cratère est compris entre 260 et 377 m (Lambert *et al.*, 2019). L'incertitude (117 m) se rapporte aux brèches monogéniques et méga-brèches percluses d'intercalations de brèches polygéniques, rencontrées à la base des brèches allochtones. Sans étude plus détaillée, ces formations ne peuvent être interprétées de façon fiable, comme représentant le fond du dépôt dans le cratère ou le toit de la cible.

Quant au total cumulé de carottes récupérées dans la cible, sous les brèches allochtones, il est compris entre 167 et 284 m (Lambert *et al.*, 2019).

Outre les sujets spécifiques à l'impact de Rochechouart (taille du cratère initial, morphologie, effets distaux, âge de l'impact, caractéristiques de la cible et de celles du projectile), les objectifs scientifiques principaux du programme étaient similaires à ceux du forage profond réalisé par la communauté scientifique en 2016 à Chicxulub (Morgan *et al.*, 2017, Lambert *et al.*, 2017). Cela inclut la caractérisation des effets de choc extrêmes, le fractionnement, la mécanique de formation des grands cratères, la caractérisation des processus hydrothermaux induits par les impacts et l'évaluation des effets possibles des grands impacts sur l'habitabilité des planètes et sur l'émergence de la Vie. Les premières observations des forages, confirment la richesse et la diversité des formations traversées et valident la faisabilité de la totalité des projets de recherche établis par les membres du CIRIR

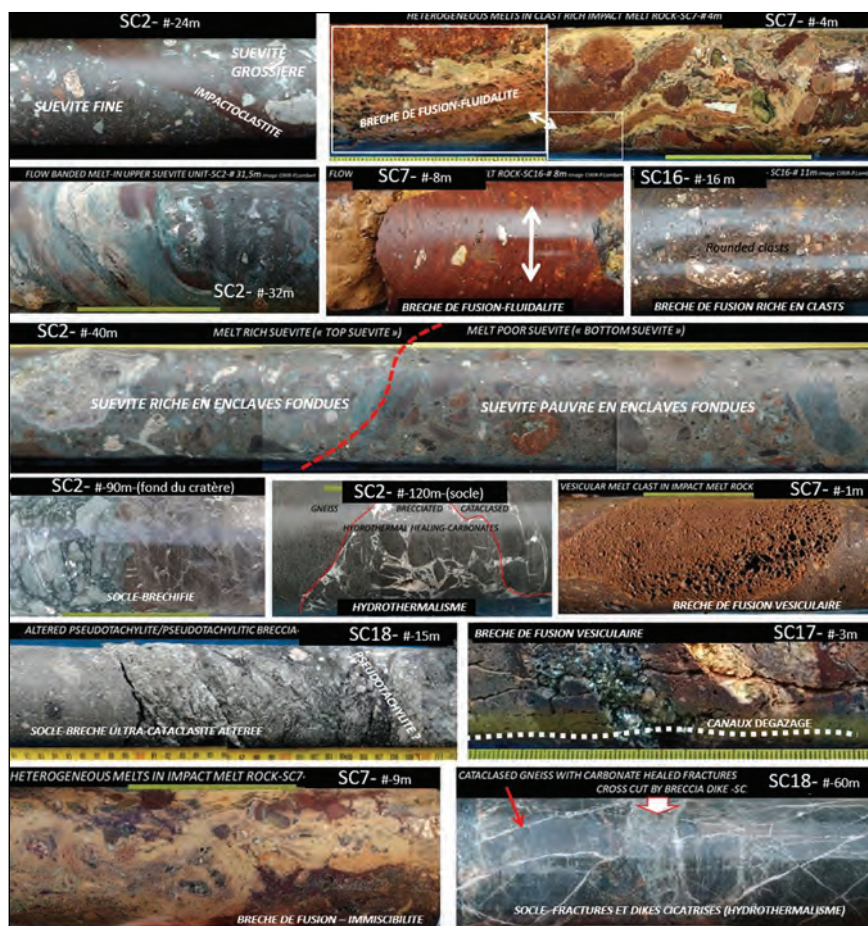


Figure 4. Illustration de la grande diversité des faciès d'impactites rencontrés à l'occasion de la campagne de forages réalisée en 2017-2018 dans 8 des sites de la Réserve Naturelle Nationale de l'Astrolème de Rochechouart Chassenon (voir texte). Toutes les carottes sont représentées avec le haut à gauche du champ. L'échelle est donnée par leur largeur (84 mm). Source : d'après Lambert *et al.*, 2018.



antérieurement à la réalisation des forages.

En qualité et en quantité de matière à étudier, les carottes récupérées dans la campagne de forage 2017-2018 menée à Rochechouart par le CIRIR pour le compte de la Réserve et de la communauté scientifique, se comparent à celles du forage réalisé en 2016 à Chicxulub par la communauté scientifique internationale, avec cependant un budget presque cent fois inférieur.

## Le CIRIR : De quoi s'agit-il ?

Le CIRIR se caractérise par structure associative à « deux étages ». À la base, attachée au territoire du géopatrimoine, la structure juridique porteuse est « locale par nature ». Il s'agit d'une association loi de 1901 un peu particulière puisqu'elle n'est pas ouverte aux particuliers mais aux seuls élus des territoires. L'étage supérieur de la structure constitue la partie active du CIRIR, une association indépendante de compétences et de moyens, le « Consortium », attaché au contenu du géopatrimoine et à sa valorisation. Le directeur du CIRIR assure la liaison et la cohésion/cohérence entre les deux étages de cette organisation. Indépendant, il est nommé et rend compte annuellement au Conseil d'Administration (CA) de la structure porteuse, laquelle lui confie tous pouvoirs et moyens dont elle dispose, pour installer, développer et faire fonctionner cette organisation « taillée sur mesure » pour la tâche de « Service Public » à l'échelle de l'humanité qu'elle s'est assignée. Indépendante, sans charges, sans frontière, sans hiérarchie et sans autre engagement pour ses acteurs que la volonté de travailler ensemble ou individuellement au sein du groupe, au même objectif commun (la valorisation des impacts en général et de celui de Rochechouart en particulier), elle permet au CIRIR de mobiliser personnalités et personnes morales de toutes qualités, spécialités et nations, qu'il serait impossible de réunir et de coordonner autrement. Le Consortium se décompose en deux groupes :

- Le premier rassemble pionniers et personnalités emblématiques des principales disciplines représentées dans le CIRIR (y compris la gestion de géopatrimoine). Ils forment le « Comité des Sages » du CIRIR dont les membres (liste en annexe) peuvent intervenir comme modérateur à l'intérieur du Consortium ou être requis pour éclairer d'éventuelles questions de nomenclature, d'éthique, ou autres. Ils n'ont pas vocation à porter des projets, mais peuvent s'associer à toute initiative à leur convenance et celle des porteurs de projets concernés.
- Le second groupe est constitué des porteurs projets et de volontaires pour participer aux projets dans les

domaines de compétence qui leur sont propres. Ils se regroupent autour des deux tâches fondamentales du CIRIR : « Recherche » et « Restitution ». Dans les deux cas, c'est chaque porteur de projet(s) qui en détermine le contenu, qui se charge de le faire financer et qui le conduit. Globalement le Consortium CIRIR qui vise à s'étendre, rassemble déjà plus de 80 membres répartis dans plus d'une douzaine de nations (liste en annexe). ***Il constitue actuellement la plus grande concentration au monde de moyens et de matière grise dévolus à l'étude des phénomènes d'impacts*** et à la transmission des connaissances qui s'y rattachent.

La structure porteuse est le garant devant l'humanité de la préservation et de la valorisation, en bonne intelligence, du patrimoine extraordinaire auquel elle se rattache. C'est pour cela que son CA est et doit être constitué par ceux dont la fonction est la responsabilité territoriale. Les membres actuels du CA appartiennent aux deux communautés de communes « POL » (à l'origine de l'initiative et de la structure porteuse) et Charente Limousine. Ensemble elles couvrent la zone des dépôts de brèches allochtones au centre du géopatrimoine (cercle bleu sur la figure 1). L'objectif affiché à court et moyen terme, est d'élargir le CA aux représentants des départements et de la Région Nouvelle Aquitaine, pour étendre la représentativité territoriale à toute la zone du cratère initial (qui pourrait avoir atteint 50-80 km de diamètre (Lambert *et al.*, 2019)), et celle dans laquelle les *ejectas* se sont déposés et les fractures induites par l'impact se sont propagées. L'objectif vise également à y introduire tant des représentants de l'État (préfets de département et de région), également garants du géopatrimoine sur le territoire national, que des représentants des institutions nationales, voire internationales, de la Recherche, de l'Éducation, de la Culture et de l'Environnement, au titre du contenu et de la destination des activités du CIRIR.

Enfin, le CIRIR, ce sont également des investissements structurants et une infrastructure financée exclusivement à ce jour par le CA du CIRIR qui a la charge de réunir les fonds. Ils seront prochainement complétés par des appels à souscription et par le mécénat qui pourront être appelés et relayés par tous les membres du CIRIR. Grâce au soutien de l'État et des collectivités locales (la POL au premier chef), le CIRIR dispose déjà, à Rochechouart, de plusieurs bâtiments affectés en tout ou partie à son activité, et de moyens pour les équiper et les faire fonctionner. Deux bâtiments sont dédiés au stockage et au découpage des échantillons dont un doté d'un atelier et d'un petit laboratoire pour la préparation et l'observation optique d'échantillons, de blocs polis et de lames minces. Le CIRIR dispose également d'un bâtiment avec un espa-

ce de travail (bureaux, salle de conférence) et un espace de vie qui permet d'accueillir et de faire travailler jusqu'à une dizaine d'invités sur place. Pour la tenue de conférences, stages ou séminaires notamment, cette capacité est augmentée de 60 places supplémentaires par la mise à disposition par la POL, d'un ensemble immobilier composé de 16 chalets, un restaurant, une piscine et une salle de réunion, situé en bordure de lac à une douzaine de kilomètres de Rochechouart. Associé au CIRIR, le Parc Archéologique des thermes de Cassinomagus, entièrement construit en impactites, peut également mettre ses installations à disposition du CIRIR pour les « grandes occasions ».

## Valorisation pour et par la géologie, préservation aussi, en complément et en soutien à la Réserve

La communauté regroupée dans le CIRIR valorise le géopatrimoine de Rochechouart à travers les recherches et les publications qui s'y rattachent. Les forages alimentent et vont alimenter des projets de recherche sur plusieurs années, voire plusieurs décennies. Les premiers résultats sont en cours de publications, mais l'essentiel reste à venir. Ils vont motiver d'autres forages, mais également des études de surface de tous ordres, géologie, géophysique, géochimie, biologie. D'ailleurs, toutes ces études sont déjà commencées. En fait, « l'effet CIRIR » s'est manifesté avant même sa création officielle et avant même la réalisation des forages. Il s'est matérialisé ces dernières années, par une « éclosion » de travaux portant sur des échantillons collectés en surface à Rochechouart et par un accroissement significatif du nombre de thèses et publications portant sur le géopatrimoine (voir annexe).

Depuis la création du CIRIR, tout nouvel échantillonnage sur le site et tous travaux portant sur les forages, sur les échantillons du CIRIR et ou de la Réserve sont encadrés par le CIRIR. Ils sont soumis à un engagement contractuel en interne au CIRIR qui s'ajoute à celui de la Réserve pour les échantillons sur son territoire et qui s'ajoute à l'accord moral que signent tous les membres du CIRIR. Cet engagement préalable aux travaux de terrain vise à préserver le géopatrimoine. **Tout demandeur s'engage à n'échantillonner que le strict nécessaire à ses travaux, à suivre et tracer les échantillons et sous échantillons qu'il génère, à restituer la partie qui n'est pas consommée,** et à tenir informé le groupe des travaux entrepris et des résultats acquis. Le groupe constitue une force de conseil, de proposition et un réservoir d'échanges et de collaboration qui bénéficie à chaque membre. Le CIRIR rassemble actuellement de 71 projets de recherche.

En parallèle, le CIRIR développe, gère et met à disposition de la Recherche et de l'Éducation, **une échantillothèque sans équivalent : un « impact sur étagère »**. L'infrastructure existe. Créée pour accommoder les carottes provenant des forages, elle accueille également les échantillons de surface qui ont été collectés par les scientifiques à l'occasion des campagnes de terrain suscitées par « l'effet CIRIR » évoqué plus haut. **Cette échantillothèque a également vocation de préserver le géopatrimoine en évitant les prélèvements là où d'autres existent déjà.** Elle va progressivement s'enrichir de nouveaux échantillons que le CIRIR va gérer et mettre à disposition de la communauté nationale et internationale, selon la procédure de prêt et de suivi, évoquée plus haut. « L'impact sur étagère » s'étendra très largement au-delà des sites en Réserve et couvrira toute la zone centrale de la structure ou affleurent les brèches de retombées (100 km<sup>2</sup>), mais également toute la périphérie, sous le cratère initial. Il s'étendra également aux effets distants, dont les tsunamites/séismites de la fin du Rhétien en France, en Irlande, Royaume Uni, Allemagne, Luxembourg qui ont été récemment découverts ou réinterprétés comme liés à l'impact de Rochechouart (Schmieder *et al.*, 2009, 2010, Kuhlmann *et al.*, 2018, Kuhlmann 2019). Tout échantillonnage actuel et à venir étant encadré par le CIRIR, les **chercheurs et étudiants** profitant du site et du CIRIR pour leurs travaux, sont et seront **acteurs directs du développement des fonds de cette échantillothèque.** Elle sera également enrichie par des prélèvements conservatoires effectués par le CIRIR lui-même. Cela inclut notamment la réalisation de forages carottés de petite profondeur pour lequel il s'est doté de moyens propres (70 mm jusqu'à 10 m de profondeur). Enfin, avec le concours des pouvoirs publics locaux (préfets), le CIRIR prévoit également la mise en place d'une **procédure de science participative, permettant d'élargir son échantillothèque tout en sensibilisant le public et le territoire au géopatrimoine et aux impacts.** Toutes les opérations publiques ou privées qui conduisent à « découvrir » temporairement la roche (puits, tranchées, fondations, etc..) dans la zone centrale de la structure, pourront ainsi être mises à profit pour réaliser des échantillonnages conservatoires par/pour le CIRIR. L'objectif affiché à long terme est de bénéficier d'un échantillonnage systématique avec une taille de maille de 100 m dans la zone centrale ou affleurent les brèches allochtones (100 km<sup>2</sup>). Les études géologiques de détail dont on dispose et les récents forages montrent la variabilité et la complexité des faciès, souvent à quelques dizaines de mètres de distance tant latérale que verticale. Pour espérer comprendre le détail des mécanismes impliqués dans la formation des grands cratères, il faut donc pouvoir documenter et suivre la géo-



logie à une échelle comparable. À Rochechouart, la végétation l'en empêche. La procédure précitée permettra d'y pallier, avec, en parallèle, les résultats attendus du déploiement et le développement en cours sur le site, d'une batterie de techniques de géophysique (dont la spectrométrie gamma (Baratoux *et al.*, 2019), la tomographie électrique (Quesnel *et al.*, 2019), le géomagnétisme embarqué sur drone et autres...) qui bénéficient des données géologiques des forages existants lesquelles seront complétées à la faveur des nouveaux forages mettant en œuvre les outils de carottage dont le CIRIR vient de se doter.

En parallèle, la lithothèque rassemblera des échantillons qui ont donné lieu aux travaux et publications « historiques » sur le géopatrimoine de Rochechouart. Outre l'intérêt muséographique, cette initiative permettra aux chercheurs qui le souhaitent, de « revisiter » et d'étudier avec de nouveaux outils, des échantillons collectés et documentés par le passé, évitant ainsi qu'ils ne « dorment », perdus dans des tiroirs, ou pire, qu'ils disparaissent à la faveur des déménagements, des décès, ou simplement des besoins d'espace de stockage. L'échantillonnage du CIRIR a déjà récupéré la collection privée de Philippe Lambert qui contient la série complète des lames minces (environ 1 000) réalisées à l'occasion de ses travaux sur Rochechouart depuis les années 70. Elle inclut également les lames et échantillons d'autres structures d'impact qu'il a visitées ou étudiées, ainsi qu'une partie de la vaste collection d'expérimentations par choc qu'il a menées à la NASA dans les années 80. Le CIRIR a également récupéré des échantillons utilisés pour dater l'impact (Schmieder *et al.*, 2010), ainsi qu'un vaste ensemble de collections de roches et de lames minces représentatives de la « cible », cédé par l'Université de Lyon. Constitué à la faveur des travaux des thèses de Maurice Chenevoy et de 6 de ses élèves, cet ensemble contient près de 2 000 roches, ainsi que les minutes et notes des cartes géologiques au 50 000<sup>ème</sup> du BRGM auxquelles elles se rapportent (Col-lection CHENEVOY Limousin septentrional (Thèse 1956), Collection BERGER : (1976) Roches basiques et ultra basiques (Châlus et Nexon), Collection DUDEK (1976) Feuille de St-Léonard de Noblat, Collection LAVAL : (1976) Granites de la feuille de Châteauneuf-la-Forêt, Collection MOUTHIER (1976), feuille de Châteauneuf-la-Forêt), Col-lection BONNOT (1978) : Métamorphites de la feuille de St-Léonard, Collection AUGAY (1979) feuille de St-Léonard-de-Noblat). L'objectif du CIRIR est d'inciter d'autres donations du même ordre, pour la même destination. On pense notamment aux collections de François Kraut conservées au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, ou de Philippe Chèvremont, premier auteur de la dernière édition de la feuille au 1/50 000 de Rochechouart.

## Valorisation pour le public et par le public et les collaborations

La communauté principalement « géologique » regroupée dans le CIRIR cherche également à valoriser le géopatrimoine de Rochechouart auprès du public, et pour ce faire, procède comme pour la recherche, en regroupant des volontés et des moyens, et en utilisant ceux dont elle dispose pour en inciter d'autres sur la base du partenariat « gagnant-gagnant ». Les domaines visés touchent l'éducation, la culture, le développement local et territorial, la cohésion sociale.

Grâce à la qualité du site, à l'infrastructure « hôte-lière » du CIRIR, à ses membres, au soutien de la Réserve, le géopatrimoine de Rochechouart attire et accueille déjà des étudiants de diverses nationalités. Le CIRIR prévoit de développer et de « systématiser » cette fonction « centre de formation » en utilisant ses membres et leur réseau pour en faire la promotion, en s'appuyant sur les pouvoirs publics et l'administration de la Recherche pour la relayer en France et à l'étranger ainsi que sur des dispositifs spécialisés comme les réseaux du LPI<sup>10</sup>, de EUROPLANET ou de l'*European Astrobiology Institute*.

Site par excellence pour former/ entraîner géologues impactologues, planétologues et exobiologistes, il est également ouvert à toutes compétences pouvant y trouver avantage, notamment aux géophysiciens et géotechniciens, hydrogéologues, etc. Les puits forés restent ouverts. Ils sont à disposition des écoles d'ingénieurs et des universités pour leurs travaux pratiques. Il suffit d'en faire la demande.

Avec le concours de Jean-Pierre Lebreton, ex-directeur de mission de l'ESA et membre fondateur, entre autres, d'EUROPLANET de l'EPSC<sup>11</sup>, le géopatrimoine Rochechouart est proposé également **comme « centre de formation » pour les astronautes, toutes agences spatiales confondues, et pour les industriels et sociétés de services** qui se développent sur le marché de l'exploitation des ressources naturelles des surfaces planétaires (Lambert et Lebreton, 2019). Les atouts de Rochechouart sont nombreux. Outre, comme indiqué précédemment, la qualité et la diversité des manifestations géologiques liées à l'impact qui y sont exprimées, les équipes du CIRIR comptent déjà dans leurs rangs, les spécialistes qui forment les astronautes des principales agences spatiales de la planète.

S'appuyant sur les technologies multimédia et internet, avec le concours de spécialistes de la communication, celui de ses partenaires étrangers et avec, sur le territoire, celui de la Réserve, des associations et des collectivités locales, le CIRIR prévoit de mettre en scène en temps réel, l'aventure humaine et intellectuelle que constitue

10. LPI-Lunar & Planetary Institute, Houston, Texas, USA.

11. EPSC-European Planetary Science Congress.

« l'exploration » et la valorisation de l'impact de Rochechouart. Cette aventure est directement liée et nous ramène à celle de l'exploration spatiale. D'ailleurs, à l'exception des moyens financiers, les moyens intellectuels, les objectifs scientifiques et la méthodologie appliqués à l'exploration de cette structure d'impact terrestre sont analogues à ceux des missions avec retour d'échantillons sur la Lune (Apollo) et celles à venir sur Mars. L'échantillonnage « CIRIR » est également un analogue du Bâtiment « B31 » (*Johnson Space Center (NASA, Texas, USA)*), qui abrite, gère et « distribue » tous les échantillons collectés sur la Lune pour le compte et au bénéfice de l'humanité.

À l'échelle régionale, nationale et internationale, le CIRIR et ses collaborateurs se proposent d'aider le public et les pouvoirs publics, à s'approprier le géopatrimoine de Rochechouart. Pour ce faire, il incite également le milieu de la Culture, de l'édition, du journalisme, à « s'emparer » des recherches et des expériences directement et indirectement liées à ses activités et à celles de ses collaborateurs, pour en faire des supports éducatifs, de la matière à communiquer et à s'instruire, de la matière à développer des activités, des initiatives, de la matière à lier ces initiatives, à développer fierté et cohésion sociale. Dans ce contexte, il soutient, informe et participe aux initiatives d'entreprises tierces qui diffusent et communiquent sur les impacts et sur Rochechouart, à commencer, sur le territoire même de l'Astroblob, par celles de la Réserve, des associations locales, des offices de tourisme... À l'échelle nationale il s'associe et soutient celles des Réserves de France, celles du Museum National d'Histoire Naturelle et de l'Observatoire de Paris qui, avec d'autres partenaires, ont installé et développent le projet FRIPON (*Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network*). Il soutient également les projets de sciences participatives qui s'y rattachent, Vigie Ciel et Vigie Cratère, lesquels concourent à améliorer et à diffuser les connaissances et les études sur les météorites et sur les impacts. À l'étranger, le CIRIR soutient la fondation ATTARIK (*All Together Taskforce for Advancing Research Innovation and Knowledge*) récemment créée au Maroc pour y promouvoir ainsi que dans les pays arabes, les sciences des météorites, de la planétologie et de l'astronomie auprès des chercheurs, étudiants, enseignants, lycéens, mais également auprès des autorités locales et du grand public. Dans le même registre et à ces mêmes fins, il est engagé dans « L'Initiative Africaine pour les Sciences des Planètes et de l'Espace », notamment en apportant une aide matérielle et intellectuelle à Bamba Niang, doctorant géologue sénégalais dont le sujet de thèse porte sur les impacts dont celui de Rochechouart. Le CIRIR et ses membres se tiennent également à disposition des rectorats pour la formation des enseignants, de la maternelle à l'Université, et à disposition des ensei-

gnants eux-mêmes et des associations, dans la mesure des disponibilités, pour animer, illustrer, transmettre, leur savoir et leur enthousiasme.

Territoires et populations bénéficient et vont bénéficier de cette valorisation du géopatrimoine et de « l'impact du CIRIR » ne serait-ce que par la visibilité et le rayonnement qu'il apporte. Libre à chacun de s'approprier le géopatrimoine et de s'appuyer sur le CIRIR pour en tirer avantage, comme la POL se propose de le faire à travers le projet « Terre et Espace » qu'elle a présenté au Président de Région lors de sa visite rendue au CIRIR en octobre 2019. Ce projet structurant de développement durable vise à développer « *l'offre géo-touristique* » de la région en déplaçant **sur le site du CIRIR**, à Rochechouart, l'association Pierre de Lune (également membre du réseau « FRIPON »), **la Maison de la Réserve et son musée sur les Impacts et les Météorites** (tous deux agrandis pour la circonstance), en y ajoutant un planétarium, des jardins, un auditorium et des salles d'animation de sorte, à créer un pôle éducatif et culturel d'envergure Régionale voire Nationale consacré au géopatrimoine « impact de Rochechouart », et plus généralement à la planétologie et aux sciences et technologies qui s'y rattachent. C'est une initiative qui peut servir d'exemple à l'ensemble des territoires concernés par « l'impact » à l'échelle des départements (Charente, Haute Vienne, Dordogne), de Nouvelle-Aquitaine dans son ensemble, et même de toute la France où les effets directs et indirects de l'impact commencent à être reconnus, voire au-delà de nos frontières (Fig. 5). Pour inciter initiatives et investissements sur le territoire, le CIRIR a endossé le projet CIRIR-UNESCO présenté en 2018 par Philippe Lambert à l'occasion du colloque de restitution de l'Inventaire National du Patrimoine Géologique. Faisant « écho » au projet « forages » qui a permis d'attirer l'attention et de mobiliser la communauté scientifique internationale sur le territoire, le projet CIRIR-UNESCO vise à augmenter sa visibilité et son attractivité auprès du grand public et auprès des décideurs en portant le géopatrimoine et le collectif international qui le valorise, à la liste du patrimoine mondial de l'Humanité.

Enfin, le CIRIR soutient et participe au projet « GIGA » (*Global Impact Geoheritage Association*). Présenté à la communauté en 2019, ce projet bâti sur le modèle du CIRIR vise à rassembler dans une association internationale, les dirigeants des structures publiques et privées qui, à travers le monde, ont à charge de valoriser des géopatrimoines impacts auprès du grand public (musées, réserves, parcs, géoparcs...) (Lambert, 2019). L'objectif de GIGA est d'augmenter la diffusion de la science des impacts dans le public en aidant ses membres à augmenter leur pertinence, leurs performances et leur audience par des



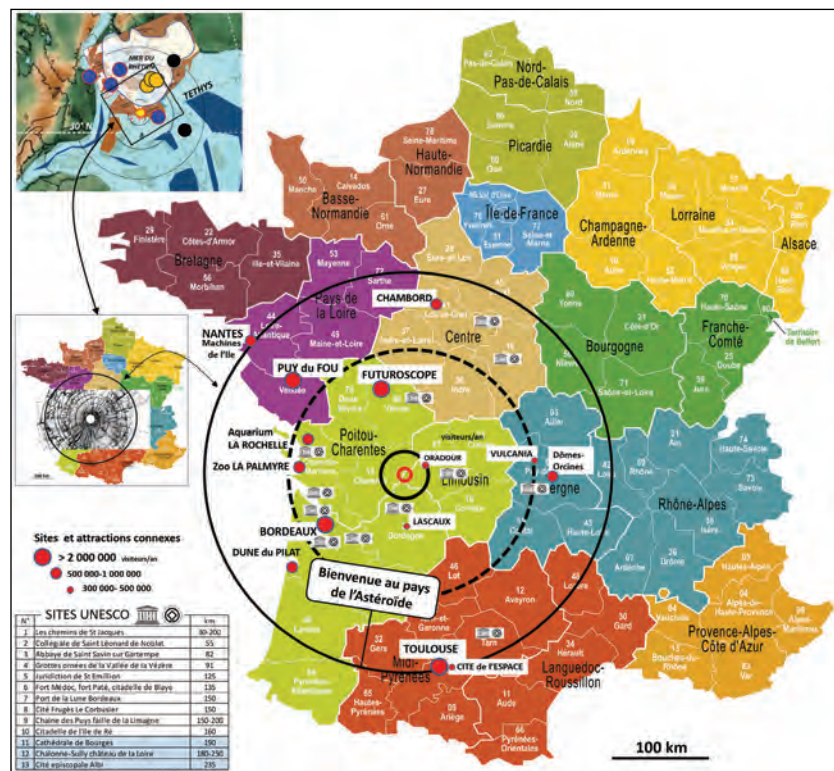


Figure 5. « Bassin » potentiel de valorisation « économique » du géopatrimoine Rochechouart. Cercle noir, zone dans laquelle on peut s'attendre à trouver localement des manifestations géologiques « connectées » au cratère d'impact (liées à la fracturation dans la cible (voir encart à gauche), et/ou aux ejectas (dans/sous la couverture sédimentaire) et dans laquelle sont figurés les « grands sites » touristiques à caractère « culture scientifique- technologique-SVT » (cercles rouges), et les sites inscrits au patrimoine mondial dans le périmètre, qu'on pourrait imaginer « valoriser globalement » dans le cadre du projet CIRIR-UNESCO notamment. Encart en haut, reconstitution paléogéographique au moment de l'impact (d'après Lambert (2019) et les données de Fisher et al. (2012) et de Scotese et Schettino (2017)) avec les positions des géosites de tsunamites/seismites interprétés comme liés à Rochechouart par (Schmieder et al. (2009 et 2010) pour les cercles bleus et noirs et par Kuhlmann et al. (2018) et Kuhlmann (2019) pour les cercles jaunes. Ces géosites et les régions qui s'y rattachent pourraient également être valorisés conjointement et au titre du géopatrimoine « Impact de Rochechouart ».

économies de moyens (mutualisation de fonds muséographiques, de supports, d'expériences), par la valorisation des uns par les autres (communication croisée), et par la constitution d'une force proposition commune permettant d'obtenir collectivement davantage de moyens auprès des institutions locales, nationales et internationales. Le CIRIR et ses membres vont contribuer directement au déploiement du réseau GIGA en apportant « matière à dire » et expertise sur le fond, mais également en incitant les collectivités territoriales, les investisseurs et les milieux académiques au voisinage de géopatrimoines qui en sont dépourvus, à « investir » et à créer musée, géoparc, réserve naturelle pour protéger et valoriser leur géosite. Ils prévoient également d'aider ces structures à accroître leur audience et leur visibilité auprès du public et des pouvoirs publics, par des actions directes, notamment en les incitant et en les aidant à concourir au label Geoparc Mondial de l'UNESCO (une opportunité pour la Réserve et

pour les Réserves de France, si elles le souhaitent, de valoriser leur expérience en matière de gestion de géopatrimoines et de concourir à la protection et à la valorisation de l'ensemble du géopatrimoine « Impacts terrestres » de la planète).

## Conclusions et perspectives

Globalement, le géopatrimoine « Impacts terrestres » mérite une attention beaucoup plus importante que celle reçue jusqu'à présent, que justifie l'universalité du phénomène auquel il se rattache et l'importance fondamentale de ses incidences (y compris et en particulier sur la Vie). Le sujet est cependant encore très « confidentiel » comme la communauté des géologues dont c'est la spécialité. Le CIRIR et ses membres nourrissent l'ambition ultime d'élever et de sensibiliser le public le plus large à l'échelle de l'humanité et notamment les jeunes, aux fins de susciter des vocations et de générer à terme, les compétences et les moyens de le documenter et le faire connaître à sa juste valeur. Pour ce faire, il utilise le géopatrimoine de Rochechouart comme « locomotive » pour « ouvrir la voie » parce que tant sur le fond que sur la forme, il est moteur dans la démarche. Il est « accessible » dans tous

les sens du terme. *Il est unique en France, mais on peut également prétendre qu'il est unique sur Terre*, voire unique à l'échelle de l'Univers. C'est sa nature, sa dimension, son état d'érosion, qui lui confèrent une qualité qui le distingue des quelque 200 structures d'impact reconnues sur Terre, souvent peu accessibles, et des millions d'autres observées sur les objets planétaires qui nous entourent et qui sont encore beaucoup moins accessibles... Les manifestations liées à l'impact de Rochechouart sont enregistrées localement dans le sol et le sous-sol, sur tout le territoire national et même au-delà. Elles sont plus particulièrement exprimées à la bordure ouest du Massif central, dans la zone centrale du cratère aujourd'hui érodé.

*Même si l'activité de valorisation par la recherche du géopatrimoine de Rochechouart a toujours besoin d'efforts et d'attention, on peut raisonnablement affirmer qu'elle est sur la bonne trajectoire et que nous avons dépassé le point de non-retour.* Cela permet d'être un peu plus

serein et de nous consacrer davantage au développement de la partie valorisation auprès du grand public. C'est par la voix de la communication au public et celle de l'éducation et de la culture que nous ferons les plus grands progrès, y compris pour la recherche fondamentale sur les impacts sur Terre et dans l'Univers, en attirant comme indiqué plus haut, les jeunes dans cette discipline et en la faisant connaître et apprécier à sa juste valeur par les pouvoirs publics, par les décideurs, par les gestionnaires des budgets de l'Education et de la Recherche. À ces fins le CIRIR a un rôle fondamental à jouer. Deux projets en direction du public vont aider à atteindre cet objectif, « GIGA » (*Global Impact Geoheritage Association*) qui vise à regrouper et à développer, les structures et initiatives de restitution au public installées dans les géopatrimoines impacts du globe (dont la Réserve à Rochechouart) et le projet CIRIR-UNESCO qui vise à porter le géopatrimoine Rochechouart (effets distants compris) à la liste du patrimoine mondial de l'humanité.

Nous avons entrepris collectivement une mission de « Service Public ». Elle vise à donner de l'audience à la géologie des impacts et à « élever » l'Humanité en éclairant ses questions les plus fondamentales dont les réponses semblent « gravées » dans les géopatrimoines « impacts terrestres » en général et dans celui de Rochechouart en particulier. Ce dernier en a la qualité et les moyens. Les avon-nous ? Cette mission de Service Public dépasse le cadre local, régional et dépasse même le cadre national. Elle s'exerce à l'échelle de la Planète. Elle est très ambitieuse certes, mais sa portée est à la mesure de l'importance universelle du patrimoine unique auquel elle se rapporte. Elle nous dépasse et elle ne pourra atteindre son objectif qu'à la faveur d'une mobilisation très large, *in fine* à l'échelle planétaire. Y parviendrons-nous ? L'avenir nous dira. En attendant le CIRIR, ses membres, les autres initiatives qui valorisent le géosite auprès du public (la Réserve notamment), constituent la première ligne. Leurs compétences, leurs moyens mais également les carottes, les puits, l'échantillonnage, les infrastructures d'accueil, sont à disposition des chercheurs, des enseignants et du public pour ensemble, valoriser le géopatrimoine impact de Rochechouart et par-delà, valoriser l'ensemble des géopatrimoines impacts terrestres et diffuser la science et l'attrait pour la science qui s'y rattache. Même si « l'effet CIRIR » donne déjà des résultats, les contributions se multiplient et les réseaux internationaux s'étendent et s'organisent, les moyens et « l'impact » sont encore très insuffisants et doivent être renforcés. **La communauté géologique de France a l'opportunité de saisir l'occasion de contribuer à cette mission, en s'associant au CIRIR**, en soutenant ses actions, en proposant des initiatives, et relayant des informations.

## Remerciements

Nous remercions les collectivités locales et les populations pour leur confiance dans « l'aventure » scientifique rapportée ici qui permet au géopatrimoine impact de Rochechouart de prendre un essor décisif. Nous rendons hommage au géologue pionnier de la recherche sur le géopatrimoine « impact de Rochechouart », François Kraut (1907-1983), minéralogiste, élève d'Alfred Lacroix au Muséum National d'Histoire Naturelle (voir la bibliographie en annexe), qui s'est intéressé dès les années 1930 à ces roches aussi énigmatiques que complexes que sont les brèches d'impact, avec un œil différent des pétrographes de tiroir de l'époque. Nous rendons également hommage à Claude Marchat (1937-2017), amateur éclairé, pionnier de la valorisation du géopatrimoine auprès du grand public à partir des années 90 et initiateur, promoteur et rédacteur du dossier qui a abouti à l'inscription du géopatrimoine impact de Rochechouart en Réserve Naturelle Nationale en 2008, laquelle contribue directement à sa valorisation depuis. Merci à la Réserve qui, dans ce contexte et à cet effet, s'associe aux efforts du CIRIR pour promouvoir les connaissances et la diffusion des connaissances sur les impacts en général, sur celui de Rochechouart en particulier. Merci aux services de tutelle de l'Etat, qui, avec le concours des territoires, ont donné à la Réserve les moyens de financer le programme de forages et, au CIRIR, les moyens de les conduire et d'exister. Merci également aux personnels et à la direction de la société Hydrogéotechnique qui se sont investis dans cette mission de valorisation patrimoniale en apportant temps et savoirs à la réalisation des forages. Enfin, nous remercions tout particulièrement les scientifiques nationaux et internationaux qui ont rejoint cette aventure, notamment ceux « de la première heure » qui forment le Comité des Sages et le noyau initial du CIRIR et qui avec Philippe Lambert, sont cosignataires des publications depuis la création du CIRIR en 2016. C'est grâce à leur concours et celui des autres membres qui depuis les rejoignent, que s'est opéré et s'opère le changement de vitesse dans la valorisation du géopatrimoine impact de Rochechouart. Dans ce contexte, nous témoignons notre reconnaissance et notre soutien à ceux qui ont échoué ou n'ont pas encore abouti et qui œuvrent pour convaincre leurs institutions de tutelle, en France comme à l'étranger, de débloquer les fonds nécessaires pour leur permettre de réaliser les projets que leur inspire le géopatrimoine de Rochechouart et sa valorisation. Le chemin de la reconnaissance est encore long, il passe par l'information ; merci à la Société Géologique de France, à la revue « *Géologues* » et à sa rédaction, pour leur contribution dans ce registre.



## Références citées

- Abramov O. et Kring D.A., 2005. Impact-induced hydrothermal activity on early Mars. *Journal of Geophysical Research* 110, doi:10.1029/2005JE002453.
- Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F. et Michel H.V., 1980. Extraterrestrial cause for the Cretaceous–Tertiary extinction. *Science*, 208, p.1095–1108.
- Baratoux C., Niang C.A.B., Lofi J., Rochette P., Reimold W.U. et Lambert P., 2019. Mapping the K, Th, U Distribution at the Rochechouart Impact Structure: In-Sight into Impact-Related and Post-Impact Processes, Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019, [#5019].
- Chao E.C., Shoemaker E.M. et Madsen B.M., 1960. First Natural Occurrence of Coesite. *Science*, Vol. 132, Issue 3421, p. 220-222.
- Chèvremont P., Floc'h J.P., 1996. Carte Géologique de la France 1/50 000, feuille 687, Rochechouart, BRGM, Notice explicative par P. Chèvremont *et al.*, 1996, BRGM, France.
- Chèvremont P., Floc'h J.P., Ménillet F., Stussi J.M., Delbos R., Sauret B., Blès J.L., Courbe C., Vuaillet D. et Gravelat C., 1996. Notice explicative, Carte Géologique de la France (1/50 000), feuille Rochechouart (687): BRGM, ISBN: 2-7159-1687-6, 172 pp.
- Dietz R.S., 1946. The meteoritic impact origin of the moon's surface features, *J. Geol.* 54, 6, p. 359-375.
- Dietz R.S., 1947. Meteorite impact suggested by the orientation of shatter-cones at the Kentland, Indiana disturbance. *Science*, 105, p. 42-43.
- Dietz R.S., 1961. Vredefort ring structure: Meteorite impact scar?, *Journal of Geology*, 69, p. 499-516.
- Dietz R.S., 1963. Astroblemes: Ancient Meteorite-Impact Structures on the Earth, *The Moon Meteorites and Comets*, Edited by Gerard P. Kuiper and Barbara Middlehurts, Chicago, The University of Chicago Press, p. 285.
- Dietz R.S., 1964. Sudbury structure as an astrobleme, *Journal of Geology*, 72, p. 412-434.
- Fischer J., Voigt S., Franz M., Schneider J.W., Joachimski M.M., Tichomirowa M., Götz G. et Furrer H., 2012, Palaeoenvironments of the late Triassic Rhaetian Sea: Implications from oxygen and strontium isotopes of hybodont shark teeth, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 353-355, p. 60-72.
- French B.M. et Short N.M., 1968, *Shock Metamorphism of Natural Materials*, Mono Book Corp., Baltimore, 644 p.
- Grieve R.A.F., 2005. Economic natural resource deposits at terrestrial impact structures, In *Mineral Deposits and Earth Evolution*. Geological Society, London, Special Publications, 248, p. 1-29.
- Koeberl C., Milkerit B., Overpeck J., Scholz C.A., Amokao P.Y., O., Boamah D., Dauor S.S., Karp T., Kueck J., Hecky R.E., King J.W. et Peck J.A., 2007. An international and multidisciplinary drilling project into a young complex impact structure: The 2004 ICDP Bosumtwi Crater Drilling Project - An overview, *Meteoritics & Planetary Science* 42, 4/5, p. 483-511.
- Kraut F., 1935. Sur l'origine des brèches de Chassenon (Charente). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 201, p. 221-223.
- Kraut F., 1937. Sur les brèches et conglomérats des environs de Rochechouart (Haute-Vienne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 204, p. 1433-1435.
- Kraut F., 1967. Sur l'origine des clivages du quartz dans les brèches « volcaniques » de la région de Rochechouart. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 264 (série D), p. 2609-2612.
- Kraut F., 1969. Sur la présence de cônes de pression (« shatter cones ») dans les brèches et roches éruptives de la région de Rochechouart. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* 269 (série D), p. 1486-1488.
- Kraut F. et French B.M., 1971. The Rochechouart meteorite impact structure, France: Preliminary geological results. *Journal of Geophysical Research* 76, p. 5407-5413.
- Kuhlmann N., Thein J., Nagel T., Franz S.-O. et Garbe-Schönberg D., 2018. The possible influence of the cosmic impact of Rochechouart (France) on the NE Paris Basin, *GeoBonn 2018 - Living Earth*, 2-6 September 2018 | Bonn-Book of Abstracts Topic 6: Neotectonics, earthquakes, impacts and natural hazards (6b) Impact cratering throughout the solar system, p. 133.
- Kuhlmann N., 2019. Untersuchungen der paläogeographischen, paläoklimatischen, umweltgeologischen und paläoökologischen Verhältnisse in der Oberen Trias und im Unteren Jura im NE Pariser Becken (Luxemburg/Südeifel/Lothringen) unter besonderer Berücksichtigung des Endtriassischen Massenaussterbens - Dissertation University of Bonn, 278 p.
- Lambert P., 1977. Les effets des ondes de choc naturelles et artificielles, et le cratère d'impact de Rochechouart (Limousin France), Thèse d'État, Université de Paris-Sud Centre d'Orsay, 515 p.
- Lambert P., Lange M.A., 1984. Glasses produced by shock melting and devolatilization of hydrous silicates, *Journal of non-crystalline solids*, *Journal of Non-crystalline Solids*, 67, p. 521-542.
- Lambert P., 2010. Target and impact deposits at Rochechouart impact structure, France: in Gibson, R.L., and Reimold, W.U., eds, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV*, Geological Society of America Special Paper, 2010, Special Paper 465, p. 509-541.
- Lambert P., Allard et Rougier J.M., 2014. « Mission to Rochechouart »: Drilling Project and Collaterals, *MAPS* 49, Issue 51, Abstract #5171.
- Lambert P., 2015. Drilling the Rochechouart Impact Structure. In, *Bridging the Gap III: Impact Cratering In Nature, Experiments, and Modeling*, 21-26 September, 2015 - University of Freiburg, Germany, LPI Contribution No. 1861, p.1039.
- Lambert P., 2019. Global Impact Heritage Association: A Project Serving the Public and Impact Research, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI*, Brasilia, September 2019, 5029 pdf.
- Lambert P., Alwmark C., Baratoux D., Bouley S., Brack A., Bruneton P., Buchner E., Chèvremont P., Claeys P., Dence M.R., Floc'h J.P., French B.M., Gattacceca J., Gibson R.L., Goderis S., Grieve R.A.F., Hodges K.V., Hörz F., Jourdan F., Kelley S.P., Kenkmann T., Kring D.A., Langenhorst F., Lee M.R., Lindgren P., Lofi J., Lorand J.P., Luis B., Masaitis V., Meunier A., Moore C.B., Ormö J., Osinski G.R., Petit S., Pohl J., Quesnel Y., Reeves H., Rochette P., Sapere H.M., Schmieder M., Schultz P.H., Schwenzer S.P., Shoemaker C.S., Stöffler D., Trumel H., Westall F., Wittmann A. et Wünnemann K., 2017. Drilling and Research opportunities at the Rochechouart

- impact structure, In: Lunar Planet. Sci. 48<sup>th</sup>, #1936.pdf.
- Lambert P., Alwmark C., Baratoux D., Bouley S., Brack A., Bruneton P., Buchner E., Claeys P., Dence M.R., Courtin Nomade A., Duhamel Achin I., Floch J.P., French B.M., Fudge C., Gattacceca J., Gibson R.L., Goderis S., Grieve R.A.F., Hodges K.V., Hörz F., Humayun M., Jourdan F., Kelley S.P., Kenkmann T., Kring D.A., Langenhorst F., Lee M.R., Lindgren P., Lofi J., Lorand J.P., Luais B., Masaitis V., Meunier A., Moore C.B., Ormö J., Osinski G.R., Petit S., Pezard P.A., Poelchau M., Pohl J., Quesnel Y., Ramboz C., Reeves H., Rochette P., Sapers H.M., Schmieder M., Schultz P.H., Schwenger S.P., Sharp T., Shoemaker C.S., Simpson S.L., Stöffler D., Sturkell E., Trumel H., Walton E., Westall F., Wittmann A. et Wünnemann K., 2018. Rochechouart 2017 Drilling campaign: First results, In 49th Lunar and Planetary Science Conference, Mar 2018, The Woodlands, Houston, Texas, USA., #1954.pdf.
  - Lambert P., Alwmark C., Baratoux D., Bouley S., Brack A., Bruneton P., Buchner E., Claeys P., Dence M., Courtin Nomade A., Duhamel Achin I., Floch J., French B.M., Fudge C., Gattacceca J., Gibson R., Goderis S., Grieve R.A.F., Hauser N., Hodges K.W., Hörz F., Humayun M., Jourdan F., Kelley S.P., Kenkmann T., Kring D.A., Langenhorst F., Lebreton J.P., Lee M.R., Lindgren P., Lofi J., Lorand J.P., Luais B., Masaitis V., Meunier A., Moore C.B., Ormö J., Osinski G.R., Petit S., Pezard P., Poelchau M., Pohl J., Quesnel Y., Ramboz C., Reeves H., Reimold U.W., Rochette P., Sapers H.M., Schmieder M., Schultz P.H., Schwenger S.P., Sharp T., Schoemaker C.S., Simpson S.L., Stöffler D., Sturkell E., Trumel H., Walton E., Westall F., Wittmann A. et Wünnemann K., 2019. The Rochechouart 2017-Cores Rescaled: Major Features, In: 50th Lunar and Planetary Science Conference, 18-22 Mar 2019, The Woodlands, Houston, Texas, USA., p. 2083, #2005.
  - Lange M.A., Lambert P., Ahrens T.J., 1985. Shock effects on hydrous minerals and implications for carbonaceous chondrites, *Geochimica et Cosmochimica Acta* (ISSN 0016-7037), 49, p. 1715-1726.
  - Morgan J., Gulick S., Mellett C.L., Green S.L. et the Expedition 364 Scientists, 2017. Chicxulub: Drilling the K-Pg Impact Crater. Proceedings of the International Ocean Discovery Program, 364: College Station, TX (International Ocean Discovery Program), <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.364.2017>.
  - Quesnel Y., Sailhac P., Lofi J., Pezard P., Lambert P., Rochette P., Uehara M., 2019. Multiscale Geoelectrical Investigations on the Rochechouart/Chassenon Impact Breccia, Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019, [#5011].
  - Schmieder M., Lambert P. et Buchner E., 2009. Did the Rochechouart impact (France) trigger an end-Triassic tsunami, 72<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Meteoritical Society, Nancy, France, abstract #5140.
  - Schmieder M., Buchner E., Schwarz W.H., Trierloff M. et Lambert P., 2010. A Rhaetian 40Ar/39Ar age for the Rochechouart impact structure (France) and implications for the latest Triassic sedimentary record. *Meteoritics and Planetary Sciences*, 45, 8, p. 1225-1242.
  - Scotese C.R. et Schettino A., 2017. Late Permian-Early Jurassic Paleogeography of Western Tethys and the World, in "Permian-Triassic Salt Provinces of Europe, North Africa and the Atlantic Margins- Tectonics and Hydrocarbon Potential", Soto J.I., Flinch J. F and Tari G. eds, Elsevier, p. 57-95.
  - Segura T.L., Toon O.B., Colaprete A., Zahnle K., 2002. Environmental effects of large impacts on Mars, *Science*, 298, p. 1977-1980.
  - Shoemaker E.M., 1959. Impact mechanics at Meteor Crater, Arizona, Doctoral Thesis. Princeton University. Princeton, NJ. 55 p.
  - Shoemaker E.M., 1960. Penetration mechanics of high velocity meteorites, illustrated by Meteor Crater, Arizona., 21<sup>st</sup> Int. Geol. Congress, Copenhagen, p. 418-434.
  - Texier-Olivier M.L., 1808. Statistique générale de la France : département de la Haute-Vienne, Testu imprimeur, Paris. 559 p.
  - Turbet M., Gillmann C., Forget F., Baudin B., Palumbo A., Head J., Karatekin Ö., 2020. The environmental effects of very large bolide impacts on early Mars explored with a hierarchy of numerical models, *Icarus* 335, 113419 (<https://doi.org/10.1016/j.icarus.2019.113419>).

## Annexe 1 – CIRIR Consortium - Liste des membres du « Comité des Sages »

NOM	AFFILIATION	PAYS
Pohl Jean	Université Ludwig-Maximilians, Munich	Allemagne
Stöffler Dieter	Museum d'Histoire Naturelle/Université Humboldt de Berlin	
Dence Michael	Dominion Observatory - Service Géologique du Canada, Ottawa	Canada
Grieve Richard	Université Western Ontario, London, Ontario	
Brack André	CNRS - Orléans	France
De Vewer Patrick	Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris	
Johan Zdenek†	CNRS/BRGM - Orléans	
Meunier Alain	Université de Poitiers	
Reeves Hubert	CNRS/CEA - Paris - France	
Masaitis Victor†	Karpinskii All - Russian Geological Research Institute, St. Petersburg	Russie
French Bevan	Smithsonian Institution, Washington DC	USA
Hörz Fred	Nasa, Johnson Space Center, Houston, Texas	
Moore Carleton	Center for Meteorite Studies, Tempe, Arizona	
Schultz Pete	Brown University, Providence, Rhode Island	
Shoemaker Carolyn	US Geological Survey, Flagstaff, Arizona	

† Décédé.

## CIRIR Consortium - Liste des membres du « CIRIR Recherche »

NOM	AFFILIATION	PAYS
Gibson Roger	Université de Witwatersrand, Johannesburg	Afrique du Sud
Cavosie Aaron (en cours)	Université Curtin, Perth	Australie
Jourdan Fred	Université Curtin, Perth	
Buchner Elmar	Université de Sciences Appliquées Neu - Ulm	Allemagne
Kuhlmann Natascha (en cours)	Université de Bonn	
Kenkmann Thomas	Université de Fribourg	
Langenhorst Falko	Université d'Iena	
Poelchau Michael	Université de Fribourg	
Thein Jean (en cours)	Université de Bonn	
Wünnemann Kai	Muséum d'Histoire Naturelle/Université Humboldt de Berlin	
Claeys Philippe	Université Virje, Bruxelles	Belgique
Déhaïs Thomas	Université libre - Université Virje, Bruxelles	
Goderis Steven	Université Virje, Bruxelles	
Hauser Natalia	Université de Brasilia	Brésil
Reimold Uwe	Université de Brasilia (et Université Humboldt, Berlin)	
Flemming Roberta (en cours)	Université de Western Ontario, London, Ontario	Canada
Osinski Gordon	Université de Ontario, London, Ontario	
Simpson Sarah	Université de Ontario, London, Ontario	
Walton Erin	Université MacEwan, Edmonton	
Ormö Jens	Centre d'Astrobiologie de Madrid	Espagne
Jöeleht Argo (en cours)	Université de Tartu	Estonie
Baratoux David	GET - IRD - CNRS - Université de Toulouse	France
Bouley Sylvain	GEOPS - Université Paris - Sud Orsay	
Colas François	Observatoire de Paris	
Courtin Alexandra	GEOPS - Université Paris - Sud Orsay	
Duhamel-Achain Isabelle	BRGM - Orléans	
Faure Michel	ISTO - Université d'Orléans - CNRS - BRGM	
Floc'h Jean-Pierre	Université de Limoges	
Gattacceca Jérôme	CNRS Aix - Marseille	
Geffroy Claude	IC2MP - CNRS - Université de Poitiers	
Lambert Philippe	CIRIR - Rochechouart	
Lebreton Jean-Pierre	Observatoire de Paris/Université d'Orléans	
Le Maire Pauline	BRGM - Orléans	
Lofi Johanna	Géosciences Montpellier - CNRS - Université Montpellier	
Londeix Laurent	EPOC - CNRS - Université de Bordeaux	
Lorand Jean-Pierre	Université de Nantes	
Luais Béatrice	CRPG - CNRS - Université de Nancy	
Munsch Marc	EOST - CNRS - Université de Strasbourg	
Petit Sabine	IC2MP - CNRS - Université de Poitiers	
Pezard Philippe	Géosciences Montpellier - CNRS - Université Montpellier	
Quesnel Yoann	CEREGE - Université Aix Marseille	
Ramboz Clairette	ISTO - Université d'Orléans - CNRS - BRGM	
Rochette Pierre	CEREGE - Université Aix Marseille	
Sailhac Pascal	GEOPS - Université Paris - Sud Orsay	
Trumel Hervé	CEA - Le Ripault - Monts	
Westall Frances	CBM - Université d'Orléans - CNRS	
Zanda Brigitte	Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris	
Dhingra Deepak (en cours)	Indian Institute of Technology, Kanpur	Inde
Niang Bamba	Université Cheikh Anta Diop, Dakar	Sénégal
Alwmark Carl	Université de Lund	Suède
Sturkel Erik	Université de Göteborg	
Lindgren Paula	Université de Lund	
Daly Luke (en cours)	Université de Glasgow	UK
Kelley Simon	Université d'Edimbourg	
Lee Martin	Université de Glasgow	
Pickersgill Anne-Marie (en cours)	Université de Glasgow	
Schwenzer Suzanne	Open University	
Fudge Crystyl	Arizona State University, Tempe, Arizona	USA
Humayun Munir	Florida State University, Tallahassee, Florida	
Hodges Kip	Arizona State University, Tempe, Arizona	
Kring David	Lunar & Planetary Institute, Houston, Texas	
Rasmussen Cornelia (en cours)	University of Texas, Austin, Texas	
Sapers Haley	Caltech, Californie	
Schmieder Martin	Lunar & Planetary Institute, Houston, Texas	
Sharp Tom	Arizona State University, Tempe, Arizona	
Wittmann Axel	Arizona State University, Tempe, Arizona	



## CIRIR Consortium - Liste des membres du « CIRIR Restitution »

NOM	AFFILIATION	PAYS
Buchner Elmar	Administrateur Steinheim Impact crater Museum	Allemagne
Burkhardt Heike (en cours)*	Directeur Ries Geopark	
Hölzl Stefan (en cours)*	Directeur Ries Crater Museum	
Poesges Gisela*	Département du Développement Durable, District de Doau - Ries	
Wittner David (en cours)*	Maire de Nördlingen - Ries	
Cavosie Aaron (en cours)	Université Curtin, Perth	Australie
Bouley Sylvain	Responsable Vigie Cratères	France
Bruneton Patrice	Géologue, CSRPN Limousin, expert en géopatrimoine	
Château Frédéric	Directeur Parc Naturel Régional Périgord Limousin	
Colas François	Observatoire du Pic du Midi - Co-fondateur réseau Fripon	
De Wewer Patrick	Directeur INPG (Inventaire National Patrimoine Géologique)	
Dreyer Marie	Directeur Parc Archéologique Cassinomagus	
Londeix Christian	Administrateur Réserve Naturelle Nationale Saucats Labrède	
Michel François	Géologue, expert national carrières de pierre, écrivain, guide Haute Montagne	
Mouthier Bernard	Professeur Emeritus - Université de Lyon	
Poupart Pierre	Curateur Réserve Naturelle Nationale Astroblème Rochechouart - Chassenon	
Rossi Philippe	Ex Président Commission Carte Géologique du Monde - UNESCO	
Rougier Paul	Co-Directeur Office de Tourisme Porte Océane du Limousin	
Rougier Paul	Président Association Pierre de Lune	
Sicard Sandra	Conseil Départemental Charente (Base archéologique Chassenon)	
Thomas Pierre	Professeur Emeritus - Ecole Normale Supérieure de Lyon	
Zanda Brigitte	Responsable Vigie Ciel - 65 millions d'observateurs	
Chennaoui Hasnaa (en cours)	Président ATTARIK Foundation for Meteoritics and Planetary Science	Maroc
Baratoux David	Président «Initiative Africaine pour les Sciences des Planètes et de l'Espace»	Sénégal
Daly Luke (en cours)	Université de Glasgow	UK
Schwenzer Suzanne (en cours)	Open University	
Barringer Drew (en cours)*	PDG Barringer Crater Company	USA
Kent Matthew (en cours)*	PDG Meteor Crater Enterprises	
Sapers Haley (en cours)	Caltech, Californie	

\* Lié au projet GIGA (voir texte).

## Annexe 2 – Géopatrimoine « Impact de Rochechouart » : Bibliographie complète

- 1969-Kraut F., 1969. Quelques remarques relatives aux brèches de Rochechouart, Chassenon (Haute-Vienne, Charente) et aux suévites du Ries (région de Nördlingen, Allemagne), Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 269, (série D), p. 1163-1165.
- 1969-Kraut F., 1969. Sur la présence de cônes de pression ("shatter cones") dans les brèches et roches éruptives de la région de Rochechouart, Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 269 (série D), p. 1486-1488.
- 1969-Kraut F., 1969. Über ein neues Impaktit-Vorkommen im Gebiete von Rochechouart-Chassenon (Départements Haute Vienne und Charente, Frankreich), Geologica Bavarica, 61, p. 428-450.
- 1969-Kraut F., Short N. et French B.M., 1969. Preliminary report on a probable meteorite impact structure near Chassenon, France (abstract), Meteoritics, 4, 3, p. 190-191.
- 1970-Kraut F. et French B.M., 1970. The Rochechouart impact structure, France (abstract), Meteoritics, 5, p. 206-207.
- 1971-Kraut F. et French B.M., 1971. The Rochechouart meteorite impact structure, France: Preliminary geological results, Journal of Geophysical Research, 76, p. 5407-5413.
- 1971-Pohl J. et Soffel H., 1971. Paleomagnetic age determination of the Rochechouart impact structure (France), Zeitschrift für Geophysik, 37, p. 857-866.
- 1971-Pohl J. et Soffel H., 1971. Paleomagnetic results from the Rochechouart (France) impact site (abstract), Meteoritics, 6, 4, p. 299.
- 1972-Kraut F., 1972. État actuel des recherches relatives aux impactites de la région de Rochechouart, France, Proceedings of the 24<sup>th</sup> International Geological Congress, 15, p. 157.
- 1972-Kraut F., 1972. Milieu générateur et morphologie des « shatter cones » dans la région de Rochechouart (Haute-Vienne et Charente), Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 274 (série D), p. 2560-2562.
- 1972-Raguin E., 1972. Les impactites de Rochechouart (Haute-Vienne), leur substratum cristallophyllien, Bulletin du B.R.G.M., section 1, 3, p. 1-8.
- 1974-Kraut F. et Becker J., 1974. Lithologies et métamorphisme progressif des impactites de la région de Rochechouart, Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 278 (série D), p. 2893-2896.
- 1974-Lambert P., 1974. Étude géologique de la structure impac-

- titique de Rochechouart (Limousin, France) et son contexte, Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, section I, 3, p. 153-164.
- 1974-Lambert P., 1974. La structure d'impact de météorite géante de Rochechouart, Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Paris-Sud, Orsay, France, p. 148.
  - 1974-Lambert P., 1974. La structure impactitique de Rochechouart (Limousin, France) et son contexte structural régional, par interprétation de « photosatellite », image ERTS, Bulletin du B.R.G.M., 1, 4, p. 177-183.
  - 1975-Kraut F. et Becker J., 1975, Zoneography of the Rochechouart impact structure and giant crystals in the quartz vein of St-Paul-La-Roche (abstract), Meteoritics, 10, p. 430-431.
  - 1975-Lambert P., 1975. Dommages dans le quartz soumis au métamorphisme de choc par observation en microscopie électronique à balayage. Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (deuxième série), section IV, 1, p. 31-51.
  - 1975-Lambert P., 1975. Nickel enrichment of impact melt rocks from Rochechouart. Preliminary results and possibility of meteoritic contamination (abstract), Meteoritics, 10, p. 433-436.
  - 1975-Wagner G.A. et Storzer D., 1975. The age of the Rochechouart impact structure (abstract), Meteoritics, 10, p. 503-504.
  - 1976-Janssens M.-J., Hertogen J., Takahashi H., Anders E. et Lambert P., 1976. Meteoritic material in the Rochechouart crater, and the prevalence of irons among crater-forming meteorites (abstract), Symposium on Planetary Cratering Mechanics. Flagstaff, Arizona, p. 62-63.
  - 1976-Janssens M.-J., Hertogen J., Takahashi H., Anders E. et Lambert P., 1976. Rochechouart impact crater: Identification of meteorite (abstract), Meteoritics, 11, 306.
  - 1976-Lambert P., 1976. Caractéristiques du cratère d'impact de Rochechouart d'après la zonéographie du métamorphisme de choc dans la formation actuelle (abstract), 4<sup>ème</sup> Réunion des Sciences de la Terre de Paris, Bulletin de la Société Géologique de France, p. 247.
  - 1976-Lambert P., 1976. Enrichissement en Ni des verres d'impact de Rochechouart par contamination météoritique (abstract), 4<sup>ème</sup> Réunion des Sciences de la Terre de Paris, Bulletin de la Société Géologique de France, p. 248.
  - 1976-Lambert P., 1976. The meteoritic contamination in the Rochechouart crater: Statistical geochemical investigations (abstract), Symposium on Planetary Cratering Mechanics, Flagstaff, Arizona. p. 69-71.
  - 1976-Lambert P., 1976. Caractéristique du cratère d'impact de Rochechouart d'après la zonéographie du métamorphisme de choc dans la formation actuelle, 4<sup>ème</sup> Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Paris, p. 247.
  - 1976-Lambert P., 1976. Erratum: « Nickel enrichment of impact melt rocks from Rochechouart, [Meteoritics, 10, 433-436 (1975)], Meteoritics, 11, p. 96.
  - 1977-Janssens M.-J., Hertogen J., Takahashi H. et Palme H., 1977. Meteoritic material at 4 large impact craters (abstract), EOS, 58, p. 424-425.
  - 1977-Janssens M.-J., Hertogen J., Takahashi H., Anders E. et Lambert P., 1977. Rochechouart meteorite crater: Identification of projectile, Journal of Geophysical Research, 82, 5, p. 750-758.
  - 1977-Lambert P., 1977. Les effets des ondes de choc naturelles et artificielles, et le cratère d'impact de Rochechouart (Limousin, France), Thèse d'État, Université de Paris-Sud, Orsay, France, p. 515.
  - 1977-Lambert P., 1977. Rochechouart impact crater: Statistical geochemical investigations and meteoritic contamination, In Impact and Explosion Cratering, edited by Roddy D.J., Pepin R.O. and Merrill R.B. Pergamon Press (New York), p. 449-460.
  - 1977-Lambert P., 1977. The Rochechouart crater: Shock zoning study, Earth and Planetary Science Letters 35, p. 258-268.
  - 1977-Lambert P., Pagel M. 1977. Sur les éléments planaires des quartz provenant des structures de Carswell et Charlevoix (Canada) et Rochechouart (France), Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 284 (Série D), p. 1623-1626.
  - 1977-Lambert P., 1977. Principales caractéristiques de la structure d'impact de Rochechouart, Actes du 102<sup>ème</sup> Congrès national des sociétés savantes, Limoges, 1977, Bibliothèque Nationale, Sciences, II, p. 117-128.
  - 1977-Lambert P., Sorel D., Carey E. et Brunier B., 1977. New developments on shatter cone studies (abstract). Meteoritics, 12, p. 285-286.
  - 1977-Sorel D., Lambert P., Brunier B. et Carey E., 1977. Étude microtectonique des « shatter cones » de la structure d'impact de Rochechouart (Limousin, France). Comptes rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, série D, 284, 21, p. 2087-2090.
  - 1978-Lambert P., 1978. Results and implications of research of coesite and stishovite in Rochechouart crater (abstract), Meteoritics, 13, p. 530-531.
  - 1978-Palme H., Janssens M.J., Takahashi H., Anders E., Hertogen J., 1978. Meteoritic material at five large impact craters, Geochimica et Cosmochimica Acta, 42, p. 313-323.
  - 1978-Pohl J., Ernstson K. et Lambert P., 1978. Gravity measurements in the Rochechouart impact structure (France) (abstract), Meteoritics, 13, p. 601-604.
  - 1979-Horn N.P. et El Goresy A., 1979. Fe-Cr-Ni-metals in rocks from the floor of the Rochechouart crater: Material of the impacting body? (abstract), Meteoritics, 14, p. 424.
  - 1980-Horn N.P. et El Goresy A., 1980. The Rochechouart crater in France: Stony and not iron meteorite? (abstract), 11<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, p. 468-470.
  - 1980-Lambert P., 1980. Relative mobility of siderophile elements and mass evaluation of the redistribution of the meteoritic contamination in the Rochechouart astrobleme, 26<sup>th</sup> International Geological Congress, 3, p. 1249.
  - 1980-Palme H., Rammensee W. et Reimold U., 1980. The meteoritic component of impact melts from European impact craters (abstract), 11<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, p. 848-850.
  - 1981-Horn W., El Goresy A., 1981. Discovery of metallic residues of the Rochechouart meteorite in basement rocks, Bulletin de Minéralogie, 104, 4, p. 587-593.
  - 1981-Lambert P., 1981. Rochechouart: Geochemistry (abstract), Large Body Impacts and Terrestrial Evolution Conference, Snowbird, Utah, p. 26.

- 1981-Lambert P., 1981. Rochechouart: Geology (abstract), Large Body Impacts and Terrestrial Evolution Conference. Snowbird, Utah, p. 27.
- 1981-Lambert P., 1981. Breccia dikes: Geological constraints on the formation of complex craters, In Multi-Ring Basins: Formation and Evolution, Proceedings Multi-ring Basins, Lunar and Planetary Science, Schultz P.H., and Merrill R.B., eds., Pergamon, New York., p. 59-78.
- 1981-Lambert P., 1981. Reflectivity applied to peak pressure estimates in silicates of shocked rocks, *Journal of Geophysical Research*, 86, B7, p. 6187-6204.
- 1982-Horn W., Schmetzer K. et El Goresy A., 1982. Optische und röntgenographische Untersuchungen von Quarzen aus geschockten Gesteinen der Meteoritenkrater Ries und Rochechouart, *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen*, 143, p. 61-90.
- 1982-Lambert P., 1982. Anomalies within the system: Rochechouart target rock meteorite, In Geological implications of impacts of large asteroids and comets on Earth, edited by Silver L.T. and Schultz P.H., Geological Society of America Special Paper 190, p. 57-68.
- 1982-Lambert P., 1982. Rochechouart: A flat crater from a clustered impact (abstract), *Meteoritics*, 17, 4, p. 240-241.
- 1983-Lambert P., 1983. Erratum: «Rochechouart: a flat crater from a clustered impact» [*Meteoritics* 17(4):240-241 (1982)], *Meteoritics*, 18, 2, p. 170.
- 1983-Oskierski W., 1983. Geologisch-Petrographische Untersuchungen im Zentralbereich der Impaktstruktur von Rochechouart, SW-Frankreich, unter besonderer Berücksichtigung der Petrographie und Geochemie von Brecciengängen des Krater-Untergrundes, Diploma Thesis, University Münster, pp. 193.
- 1983-Oskierski W., Bischoff L., 1983. Petrographic, geochemical and structural studies on impact breccia dikes of the Rochechouart impact structure, SW France (abstract), 14<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, p. 584-585.
- 1983-Reimold W.U., Bischoff L., Nieber-Reimold J., Oskierski W. et Rehfeldt A., 1983. Petrographic and geochemical studies on the basement rocks of the Rochechouart meteorite crater, France, and pseudotachylite therein (abstract), 14<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, p. 636-637.
- 1983-Reimold W.U., Reimold N.J., Oskierski W. et Rehfeldt A., 1983. A geochemical and chronological study on amphibolites and granitic rocks from the Haut-Limousin, Massif Central, *Fortschritte der Mineralogie*, 61, 178-180.
- 1983-Reimold W.U., Oskierski W. et Schmidt A., 1983. Rb-Sr age dating of the Rochechouart impact event and geochemical implications for the formation of impact breccia dykes (abstract), *Meteoritics*, 18, 3, p. 385-386.
- 1984-Reimold W.U., Bischoff L., Oskierski W. et Schäfer H., 1984. Genesis of pseudotachylite veins in the basement of the Rochechouart impact crater, France. I Geological and petrographical evidence (abstract), 15<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, p. 683-684.
- 1984-Reimold W.U., Bischoff L., Oskierski W., Rehfeldt A., Schmidt A., 1984. Genesis of pseudotachylite veins in the basement of the Rochechouart impact crater, France. II. Geochemical evidence and genetic model (abstract), 15<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, p. 681-682.
- 1984-Reimold W.U., Oskierski W. et Schäfer H., 1984. The Rochechouart impact melt: Geochemical implications and Rb-Sr chronology (abstract), 15<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, p. 685-686.
- 1984-Schmidt T., 1984. Bearbeitung und Auswertung von Schweremessungen im Gebiet der Impakt-Struktur von Rochechouart (Massif Central, Frankreich). – Diploma thesis, University of Munich.
- 1987-Bischoff L. et Oskierski W., 1987. Fractures, pseudotachylite veins and breccia dikes in the crater floor of the Rochechouart impact structure, SW-France, as indicators of crater forming processes. In Research in terrestrial impact structures, edited by Pohl J., Earth evolution sciences, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, F.R., Germany, p. 5-29.
- 1987-Reimold W.U. et Oskierski W., 1987. The Rb-Sr-age of the Rochechouart impact structure, France, and geochemical constraints on impact melt-target rock-meteorite compositions. In Research in terrestrial impact structures, edited by Pohl J., Earth evolution sciences, Friedrich Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, Braunschweig, F.R., Germany, p. 94-114.
- 1987-Reimold W.U., Oskierski W. et Huth J., 1987. The pseudotachylite from Champagnac in the Rochechouart meteorite crater, France, *Journal of Geophysical Research* 92, B4, E737-E748.
- 1988-Spray J.G., 1998. Impacts on Earth in the Late Triassic - REPLY, *Nature*, 395, p. 126.
- 1994-Chèvremont P., 1994. The astrobleme of Rochechouart (France) (abstract), European Science Foundation, Third International Workshop Shock Wave Behaviour of Solids in Nature and Experiments, Limoges, France.
- 1995-Hough R.M., Langenhorst F., Stöffler D., Pillinger C.T., Gilmour I., 1995. Suevites from the Rochechouart impact crater, France, and the lake Mien impact crater, Sweden: The search for robust carbon minerals (abstract), *Meteoritics and Planetary Sciences*, 30, p. 521-522.
- 1996-Chèvremont P. et Floc'h J.P. 1994. Carte Géologique de la France 1/50 000, feuille 687, Rochechouart, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, France.
- 1996-Chèvremont P., Floc'h J.P., Ménillet F., Stussi J.M., Delbos R., Sauret B., Blès J.L., Courbe C., Vuillat D. et Gravelat C., 1996. Notice explicative, Carte Géologique de la France (1/50 000), feuille Rochechouart (687) : BRGM, ISBN: 2-7159-1687-6, 172 p.
- 1997-Kelley S.P. et Spray J.G., 1997. A late Triassic age for the Rochechouart impact structure, France, *Meteoritics and Planetary Sciences*, 32, p. 629-636.
- 1998-Spray J.G., Kelley S.P., Rowley D.B., 1998. Evidence for a late Triassic multiple impact event on Earth. *Nature*, 392, p. 171-173.
- 1999-Kenkmann T. et Ivanov B.A., 1999. Low-angle faulting in the basement of complex impact craters: Numerical modelling and field observations in the Rochechouart structure, France (abstract), 30<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, #1544.
- 2000-Kenkmann T., Ivanov B.A. et Stöffler D., 2000. Identification of ancient impact structures: Low-angle normal faults



- and related geological features of crater basements, In *Impacts and the Early Earth*, edited by Gilmour I. and Koeberl C., Lecture Notes in Earth Sciences, Springer-Verlag, 91, p. 279-307.
- 2003-Tagle R., Stöffler D., Claey s P. et Erzinger J., 2003. A non-magmatic iron meteorite as impactor for the Rochechouart crater (abstract), 34<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, #1835.
  - 2006-Carporzen L. et Gilder S., 2006. Evidence for coeval Late Triassic terrestrial impacts from the Rochechouart (France) meteorite crater, *Geophysical Research Letters*, 33, L19308, doi:10.1029/2006GL027356.
  - 2006-Gilder S.A. et Carporzen L., 2006. Evidence for coeval Late Triassic terrestrial impacts from the Rochechouart (France) meteorite crater (abstract), *Eos Transactions, American Geophysical Union* 87, 52, Fall Meeting, #GP11A-0056.
  - 2006-Lambert P. et Trumel H., 2006. Rochechouart impact structure: Review of ground truth data and constraints on mechanical interpretation (abstract), 1<sup>st</sup> International Conference on Impact Cratering in the Solar System, European Space Agency, Noordwijk, The Netherlands, CD-ROM.
  - 2007-Ferrière L. et Koeberl C., 2007. Ballen quartz, an impact signature: New occurrence in impact melt breccia at Rochechouart-Chassenon impact structure, France (abstract), 70<sup>th</sup> Annual Meteoritical Society Meeting, #5079.
  - 2007-Koeberl C., Shukolyukov A. et Lugmair G.W., 2007. Chromium isotopic studies of terrestrial impact craters: Identification of meteoritic components at Bosumtwi, Clearwater East, Lappajarvi, and Rochechouart, *Earth and Planetary Science Letters*, 256, p. 534-546.
  - 2007-Trepmann C.A., 2007. Microstructures in quartz veins from the Rochechouart impact structure and St Paul de la Roche, France – high stress behaviour of quartz during rapid loading, *Geophysical Research Abstracts*, 9, #04964.
  - 2007-Trepmann C.A., 2007. Shock effects in quartz: compression versus shear deformation – An example from the Rochechouart impact structure, France, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 15, (abstract), A1036.
  - 2008-Lambert P., 2008. Impact deposits at Rochechouart-Chassenon (abstract), Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution (LMI IV) Meeting, Johannesburg, South Africa, #3034.
  - 2008-Lambert P. et Delage P., 2008. Rochechouart plans for museum and research, Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution (LMI IV) Meeting, Johannesburg, South Africa.
  - 2008-Lambert P., 2008. Multiscale modeling of large impact and the Rochechouart Chassenon Test Site Initiative, *Materials under Extreme Loadings – Application to Penetration and Impact -Second US-France conference organized by the International Center for Applied Computational Mechanics*, p. 1-3.
  - 2008-Lambert P. et Trumel H., 2008. Physical Modeling: Multi-Scale Approach and its Applicability to Large Meteorite Impacts, Large Meteorite Impact and Planetary Evolution-IV, Vredefort Dome, South Africa, LPI-1423, p. 124-125.
  - 2008-Trepmann C.A., 2008. Shock effects in quartz: Compression versus shear deformation – An example from the Rochechouart impact structure, France, *Earth and Planetary Science Letters*, 267, 1-2, p. 322-332.
  - 2009-Chèvremont P., 2009. Carte géologique harmonisée du département de la Haute-Vienne (87). Notice géologique, BRGM/RP-57447-FR.
  - 2009-Ferrière L., Koeberl C. et Reimold W.U., 2009. Characterization of ballen quartz and cristobalite in impact breccias: New observations and constraints on ballen formation, *European Journal of Mineralogy* 21, p. 203-217.
  - 2009-Lambert P. et Reimold W.U., 2009. Rochechouart Impactoclastites (abstract), 72<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Meteoritical Society, Nancy, France, #5223.
  - 2009-Sapers H.M., Osinski G.R. et Banerjee N., 2009. Re-evaluating the Rochechouart impactites: Petrographic classification, hydrothermal alteration and evidence for carbonate bearing target rocks (abstract), 40<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, #1284.
  - 2009-Schmidt G., 2009. Refractory element fractionation (Os/Ir, Rh/Ir, Ru/Os) in impact craters: Projectile identification of Rochechouart, Sääksjärvi, Boltys, Dellen, Mien, etc (abstract), 72<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Meteoritical Society, Nancy, France, #5001.
  - 2009-Tagle R. et Lambert P., 2009. Field tracing and mapping projectile contamination in impactites with portable  $\mu$ -XRF instruments: potentials and real time field testing at Rochechouart, 72<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Meteoritical Society, Nancy, France.
  - 2009-Schmieder M., Buchner E., Schwarz W.H., Trieloff M. et Lambert P., 2009. A Triassic/Jurassic boundary age for the Rochechouart impact structure (France) (abstract), 72<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Meteoritical Society, Nancy, France, #5138.
  - 2009-Schmieder M., Lambert P. et Buchner E., 2009. Did the Rochechouart impact (France) trigger an end-Triassic tsunami? (abstract), 72<sup>nd</sup> Annual Meeting of the Meteoritical Society, Nancy, France, #5140.
  - 2009-Tagle R., Schmitt R.T. et Erzinger J., 2009. Identification of the projectile component in the impact structures Rochechouart, France and Sääksjärvi, Finland: Implications for the impactor population for the Earth, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 16, p. 4891-4906.
  - 2009-Trepmann C.A., 2009. Shock effects and pre-shock microstructures in hydrothermal quartz veins from the Rochechouart impact structure, France, *Journal of Structural Geology* 31, 10, p. 1183-1196.
  - 2010-Lambert P. et Trumel H., 2010. Geomaterials under extreme loading: The natural case, in Buzaud, E., Ionescu and Voyiadjis eds, *Materials under extreme loadings: Application to penetration and impact*, John Wiley, p. 1-44.
  - 2010-Lambert P., 2010. Target and impact deposits at Rochechouart impact structure, France, in Gibson, R.L., and Reimold, W.U., eds, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV*, Geological Society of America Special Paper, Special Paper 465, p. 509-541.
  - 2010-Lambert P. et Koeberl C., 2010. Basic research and protection/valorization of geological heritage, RV3P3 conference, Agadir.
  - 2010-Schmieder M., Buchner E., Schwarz W.H., Trieloff M. et Lambert P. 2010. A Rhaetian 40Ar/39Ar age for the Roche-

- chouart impact structure (France) and implications for the latest Triassic sedimentary record, *Meteoritics and Planetary Sciences* 45, 8, p.1225-1242.
- 2011-Lambert P., Osinski G.R. et Sapers H.M., 2011. Basal Suvite and Basal Impact Melt Rocks, a Single Impactite Unit Marking the Bottom of Rochechouart Transient Crater, *MAPS*, vol. 46, 51, Wiley, p. 130.
  - 2014-Eitel M., Gilder S.A., Kunzmann T. et Pohl J., 2014. Rochechouart impact crater melt breccias record no geomagnetic field reversal, *Earth and Planetary Science Letters* 387, p. 97-106.
  - 2014-Lambert P. et Goderis S., 2014. Rochechouart impactoclastites & T-J mass extinction, *MAPS* 49, Issue 51, Abstract #5182.
  - 2014-Lambert P., Allard J.L. et Rougier J.M., 2014. «Mission to Rochechouart»: Drilling Project and Collaterals, *MAPS* 49, Issue 51, Abstract #5171.
  - 2014-Sapers H.M., Osinski G.R., Banerjee N.R., Ferrière L., Lambert P. et Izawa R.M., 2014. Revisiting the Rochechouart impact structure, France, *Meteoritics & Planetary Science* 49, 12, p. 2152-2168.
  - 2015-Kelley S., Lambert P. et Schwenger S.P., 2015. Rochechouart hydrothermal overprint: disentangling the timing of events through Ar-Ar dating, In: 46<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, 16-20 March 2015, The Woodlands, TX, USA.
  - 2015-Lambert P., 2015. Rochechouart as Natural Laboratory: a review, In: 46<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, 16-20 March 2015, The Woodlands, TX, USA.
  - 2015-Lambert P., 2015. Drilling the Rochechouart Impact Structure, In *Bridging the Gap III: Impact Cratering In Nature, Experiments, and Modeling*, 21-26 September, 2015 - University of Freiburg, Germany, LPI Contribution No. 1861, p.1039.
  - 2015-Ramboz C., Chèvremont P. et Lambert P., 2015. Continental-scale environmental and geochemical distal effects of the Rochechouart impact at the lower Hettangian, 13<sup>th</sup> SGA Biennial Meeting, INSU-01310951, p. 6.
  - 2015-Simpson S.L., Boyce A.J., Lambert P., Lee M.R. et Lindgren P., 2015. Stable isotope studies of the Rochechouart impact structure: sources of secondary carbonates and sulphides within allochthonous and parautochthonous impactites, In: 46<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, 16-20 March 2015, The Woodlands, TX, USA.
  - 2015-Simpson S.L., Boyce A.J., Lambert P., Lindgren P. et Lee M.R., 2015. Evidence for localized high temperature hydrothermal fluid flow within the sub-crater environment of the Rochechouart impact structure: observations from a polymict breccia dike, In: 46<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, 16-20 March 2015, The Woodlands, TX, USA.
  - 2016-Horne A., 2016. (U-Th)/He, U/Pb, and radiation damage dating of the Rochechouart-Chassenon Impact Structure, France, ASU Master Thesis, 2016-09, p. 61.
  - 2016-Lambert P., Goderis S., Hodges H.V., Kelley S., Lee M.R., Jourdan F., Osinski G.R., Sapers H.M., Schmeider M., Schwenger S., Trumel H. et Wittman A., 2016. Preparing the 2017 Drilling Campaign at Rochechouart Impact Structure, 79<sup>th</sup> Meteoritical Society Meeting, Berlin, abstract #6471pdf.
  - 2017-Cohen B.E., Mark D.F., Lee M.R. et Simpson S.L., 2017. A new high-precision <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age for the Rochechouart impact structure: at least 5 Ma older than the Triassic-Jurassic boundary, *Meteoritics and Planetary Science*, 52, 8, p. 1600-1611.
  - 2017-Lambert P., Alwmark C., Baratoux D., Bouley S., Brack A., Bruneton P., Buchner E., Chèvremont P., Claeys P., Dence M.R., Floch J.P., French B.M., Gattaccca J., Gibson R.L., Goderis S., Grieve R.A.F., Hodges K.V., Hörz F., Jourdan F., Kelley S.P., Kenkmann T., Kring D.A., Langenhorst F., Lee M.R., Lindgren P., Lofi J., Lorand J.P., Luais B., Masaitis V., Meunier A., Moore C.B., Ormö J., Osinski G.R., Petit S., Pohl J., Quesnel Y., Reeves H., Rochette P., Sapers H.M., Schmeider M., Schultz P.H., Schwenger S.P., Shoemaker C.S., Stöffler D., Trumel H., Westall F., Wittmann A. et Wünnemann K., 2017. Drilling and Research opportunities at the Rochechouart impact structure, In *Lunar Planet. Sci.* 48th, #1936.pdf.
  - 2017-Lambert P., Poupart P. et Allard J.L., 2017. Research opportunities with the CIRIR programs and the first drilling campaign at Rochechouart, Fourth Arab Impact Cratering and Astrogeology Conference, AICAC IV-Algiers, April 2017.
  - 2017-Lambert P., Poupart P. et Allard J.L., 2017. Valorizing the Rochechouart Impact Geoheritage, Fourth Arab Impact Cratering and Astrogeology Conference, AICAC IV-Algiers, April 2017.
  - 2017-Simpson S.L., Boyce A.J., Lambert P., Lindgren P. et Lee M.R., 2017. Evidence for an impact-induced biosphere from the  $\delta^{34}\text{S}$  signature of sulphides in the Rochechouart impact structure, France, *Earth and Planetary Science Letters* - 460 p. 192-200.
  - 2018-Lambert P., Alwmark C., Baratoux D., Bouley S., Brack A., Bruneton P., Buchner E., Claeys P., Dence M.R., Courtin Nomade A., Duhamel Achin I., Floch J.P., French B.M., Fudge C., Gattaccca J., Gibson R.L., Goderis S., Grieve R.A.F., Hodges K.V., Hörz F., Humayun M., Jourdan F., Kelley S.P., Kenkmann T., Kring D.A., Langenhorst F., Lee M.R., Lindgren P., Lofi J., Lorand J.P., Luais B., Masaitis V., Meunier A., Moore C.B., Ormö J., Osinski G.R., Petit S., Pezard P.A., Poelchau M., Pohl J., Quesnel Y., Ramboz C., Reeves H., Rochette P., Sapers H.M., Schmeider M., Schultz P.H., Schwenger S.P., Sharp T., Shoemaker C.S., Simpson S.L., Stöffler D., Sturkell E., Trumel H., Walton E., Westall F., Wittmann A. et Wünnemann K., 2018. Rochechouart 2017 Drilling campaign: First results, In 49<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, Mar 2018, The Woodlands, Houston, Texas, USA., #1954.pdf.
  - 2018-Poupart P., Larent N. et Yserd M.F., 2018. Inventaire et valorisation du patrimoine géologique de la Réserve Naturelle Nationale de l'astrolème de Rochechouart-Chassenon : des forages pour améliorer les connaissances, Congrès INPG, Chambéry, 15-17 octobre 2018.
  - 2018-Lambert P., Dreyer M., Poupart P. et Sicard S., 2018. Potentiel Géotouristique de l'Impact Météoritique de Rochechouart-France, Séminaire « Géosites de l'Algérie », El Bayadh, Octobre 2018.
  - 2018-Lambert P., Allard J.L., Ratier J. et Bouty P., 2018. CIRIR-Valorisation internationale de l'impact de Rochechouart : Contribution au développement local, à la Réserve Naturelle et à l'inventaire national du patrimoine géologique, Congrès INPG, Chambéry, 15-17 octobre 2018.

- 2018-Kuhlmann N., Thein J., Nagel T., Franz S.-O. et Garbe-Schönberg D., 2018. The possible influence of the cosmic Impact of Rochechouart (France) on the NE Paris Basin, *GeoBonn 2018 - Living Earth, 2-6 September 2018 | Bonn-Book of Abstracts Topic 6: Neotectonics, earthquakes, impacts and natural hazards – 6b) Impact cratering throughout the solar system*, p. 133.
- 2019-Lambert P., Alwmark C., Baratoux D., Bouley S., Brack A., Bruneton P., Buchner E., Claeys P., Dence M., Courtin Nomade A., Duhamel Achin I., Floch J., French B.M., Fudge C., Gattaccca J., Gibson R., Goderis S., Grieve R.A.F., Hauser N., Hodges K. W., Hörz F., Humayun M., Jourdan F., Kelley S.P., Kenkmann T., Kring D.A., Langenhorst F., Lebreton J.P., Lee M.R., Lindgren P., Lofi J., Lorand J.P., Luais B., Masaitis V., Meunier A., Moore C.B., Ormö J., Osinski G.R., Petit S., Pezard P., Poelchau M., Pohl J., Quesnel Y., Ramboz C., Reeves H., Reimold U.W., Rochette P., Sapers H.M., Schmieder M., Schultz P.H., Schwenzer S.P., Sharp T., Schoemaker C.S., Simpson S.L., Stöffler D., Sturkell E., Trumel H., Walton E., Westall F., Wittmann A. et Wünnemann K., 2019. The Rochechouart 2017-Cores Rescaled: Major Features, In *50<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, 18-22 Mar 2019, The Woodlands, Houston, Texas, USA.*, p. 2083, -#2005.
- 2019-Rasmussen R. et Stockli D.F., 2019. Spatial U-Pb Age Preservation in Shocked Zircon – A Brief Case Study from the Rochechouart Impact Crater, In *50th Lunar and Planetary Science Conference, March 2019, The Woodlands, TX, USA.*, #2820.
- 2019-Ormö J., Sturkell E. et Lambert P., 2019. Sedimentological Evidence for a Forceful Resurge at the Rochechouart Impact Crater, France: Implications for Target Environment, In *50<sup>th</sup> Lunar and Planetary Science Conference, March 2019, The Woodlands, TX, USA.*, #1785.
- 2019-Lambert P., 2019. Combining geoconservation and valorization at the Rochechouart meteoritic impact (France), *Impacts and their Role in the Evolution of Life*, Tällberg, Sweden, June 2019.
- 2019-Plan A., Lindgren P. et Lambert P., 2019. Zircon microtextures in the Rochechouart impactites, *Impacts and their Role in the Evolution of Life*, Tällberg, Sweden, June 2019.
- 2019-Lambert P. et CIRIR Consortium, 2019. « Mission to Rochechouart » project : a review, *82nd Meteoritical Society Meeting, Sapporo*, abstract, #6140.
- 2019-Plan A., Lindgren P. et Lambert P. 2019. A survey of zircon microtextures in the Rochechouart impactites, *82<sup>nd</sup> Meteoritical Society Meeting, Sapporo*, abstract, #6140.
- 2019-Lambert P., Lebreton J.P. et CIRIR Consortium, 2019. The Rochechouart impact geosite for research, education and training, *EPSC Abstracts Vol. 13, EPSC-DPS2019, Geneva September 2019*, # 1934.
- 2019-Schmidt G., 2019. Re-investigation of projectile types from terrestrial impact craters – Hiawatha (Greenland), Popigai (Siberia), Clearwater East, Brent, Wanapitei (Canada), Gardnos (Norway), Rochechouart (France), Ries (Germany), *EPSC Abstracts Vol. 13, EPSC-DPS2019, Geneva September 2019*.
- 2019-Lambert P., 2019. An Eroded Peak Ring Impact Recording a Tsunami on Earth: Rochechouart, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019*, #5021.
- 2019-Lambert P., 2019. Current Stage of the CIRIR Research and Outreach at Rochechouart, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019*, #5027.
- 2019-Lambert P., 2019. Global Impact Heritage Association: A Project Serving the Public and Impact Research, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019*, #5029.
- 2019-Schmidt G., 2019. Distinguishing Different Types of Projectiles from Terrestrial Impact Craters – Clearwater East (Canada) and Rochechouart (France) Re-Investigated, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019*, #5006.
- 2019- Quesnel Y., Sailhac P., Lofi J., Pezard P., Lambert P., Rochette P. et Uehara M., 2019. Multiscale Geoelectrical Investigations on the Rochechouart/Chassenon Impact Breccia, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019*, #5011.
- 2019-Rochette P., Demory F., Cherait O, Hervieu L., Celerier B., Lofi J., Pezard P.A., Lambert P. et Quesnel Y., 2019. Core and Downhole Petrophysical Properties of the Rochechouart Impact Rocks, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019*, #5046.
- 2019- Baratoux C., Niang C.A.B., Lofi J., Rochette P., Reimold W.U. et Lambert P., 2019. Mapping the K, Th, U Distribution at the Rochechouart Impact Structure: In-Sight into Impact-Related and Post-Impact Processes, *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution VI, Brasilia, September 2019*, #5019.
- 2019-Kuhlmann N., 2019. Untersuchungen der paläogeographischen, paläoklimatischen, umweltgeologischen und paläoökologischen Verhältnisse in der Oberen Trias und im Unteren Jura im NE Pariser Becken (Luxemburg/Südeifel/Lothringen) unter besonderer Berücksichtigung des Endtriassischen Massenaussterbereignisses, *Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms-niversität, Bonn*: 278 p.
- 2020-Rasmussen R., Stockli D.F., Erickson T.M. et Schmieder M., 2020. Spatial U-Pb Age Preservation in Shocked Zircon – A Brief Case Study from the Rochechouart Impact Crater, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 273, p. 313-330.
- 2020-Lambert P., Dreyer M., Poupart P. et Sicard S., 2020. Potentiel Géotouristique de l'Impact Météoritique de Rochechouart-France, *Mémoire du Service Géologique de l'Algérie*, n° 21, p. 5 - 27.
- 2020-Lambert P., Allard J.L., Ratier J. et Bouty P., 2020. CIRIR-Valorisation internationale de l'impact de Rochechouart : Contribution au développement local, à la Réserve Naturelle et à l'inventaire national du patrimoine géologique, *Actes du colloque INPG 2018, Mémoire Hors-Série de la Société Géologique de France*, sous presse.
- 2020-Lambert P. et CIRIR Consortium, 2020. Valorisation du géopatrimoine « Impact de Rochechouart, *Géologues*, 205, Le patrimoine géologique français, Juin 2020, sous presse.