

- Date de la demande (04/01/2016) :

1- Identification du projet (en langue française)

- Acronyme du projet (8 caractères *maximum*) : BAM (Bac-Arc Metallogeny)

- Intitulé du projet (en langue française) : Métallogénie des métaux rares dans les bassins arrière-arc

2- Domaine d'innovation stratégique (DIS) du projet

- Cocher le DIS prioritaire au sein duquel le projet de thèse s'intègre. Vous pouvez mentionner un DIS secondaire (choix à indiquer et argumenter au point 5-Présentation du projet, paragraphe 6). Si aucun DIS ne correspond, cocher « Projet Blanc ».

DIS 1 : Innovations sociales et citoyennes pour une société ouverte et créative

DIS 2 : Chaîne alimentaire durable pour des aliments de qualité

DIS 3 : Activités maritimes pour une croissance bleue

DIS 4 : Technologies pour la société numérique

DIS 5 : Santé et bien-être pour une meilleure qualité de vie

DIS 6 : Technologies de pointe pour les applications industrielles

DIS 7 : Observation et ingénieries écologique et énergétique au service de l'environnement

« Projet Blanc »

- Préciser le sous-domaine correspondant :

3C : valorisation des ressources minières marines

3- Présentation de l'établissement porteur (bénéficiaire de l'aide régionale)

- Établissement porteur du projet (implantation obligatoire sur le territoire régional) :

NB : C'est-à-dire l'établissement bénéficiaire de l'aide régionale. Un seul établissement peut être indiqué.

IFREMER, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, CS 10070, 29280 Plouzané

- Ecole Doctorale :

EDSM (Ecole Doctorale des Sciences de la Mer)

4- Identification du/de la responsable du projet (futur-e directeur-trice de thèse)

- Nom et prénom : Yves Fouquet

- Genre du/de la responsable du projet (F/H) : H

- e-mail : fouquet@ifremer.fr

- Téléphone : 02 98 22 42 54

- Nom du laboratoire : Laboratoire de Géochimie et Métallogénie

- Code du laboratoire (U/UMR/USR/EA/JE/...) : IFREMER/REM/UGM/LGM

- Nom de l'équipe de recherche : Géochimie et Métallogénie

- Nombre HDR dans l'équipe d'accueil : 2

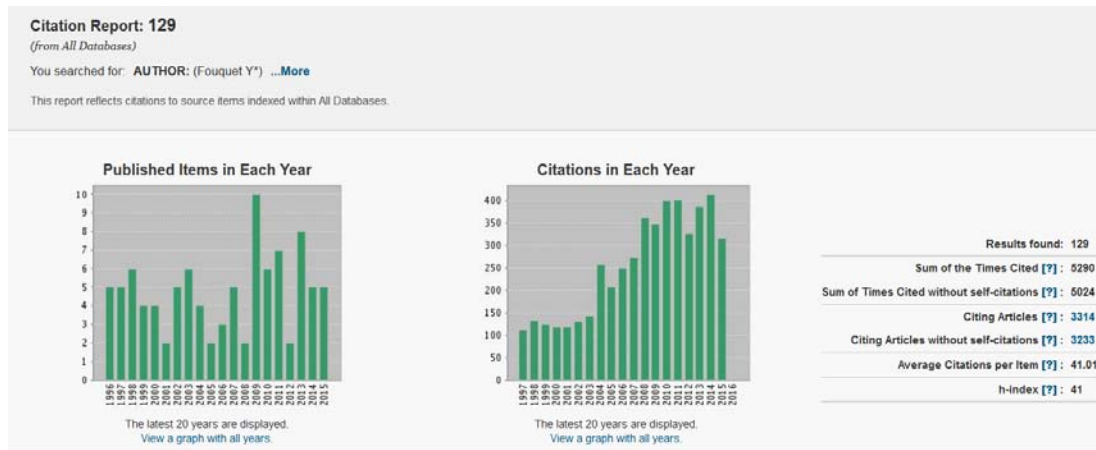
- Nombre de thèses en cours : 3

- Nombre de post-docs en cours : 3

Allocations de recherche doctorale (ARED)
Fiche projet 2016

- **Publications récentes du directeur-trice de thèse** (nb total et 5 références max au cours des 5 dernières années) :

PUBLICATIONS FOUQUET YVES : Articles : 129, résumés : 130, Indice H : 41, citations : 5290



Evrard, C., **Fouquet, Y.**, Moelo, Y., Rinnert, E., Etoubleau, J., Langlade, J.A., 2015. Tin concentration in hydrothermal sulphides related to ultramafic rocks along the Mid-Atlantic Ridge: a mineralogical study. *European Journal of Mineralogy* 27, 627-638.

Fouquet, Y., Alix, A.S., Birot, D., Cheron, S., Charlou, J.L., Donval, J.P., Etoubleau, J., Germain, Y., Guillou, M., Guérin, C., Guyader, V., Konn, C., Labanieh, S., Pelleter, E., Pierre, D., Dupré, S., Scalabrin, C., Patriat, M., Chazot, G., Dymont, J., Szticar, F., Gouin, J., 2015. Discovery of Extensive Hydrothermal Fields in the Wallis and Futuna Back-Arc Environment (SW Pacific), in: SGA (Ed.), SGA - 13th Biennial Meeting - Mineral Resources in a sustainable world • SGA, Nancy, pp. 1223-1226.

Fouquet, Y., Cambon, P., Etoubleau, J., Charlou, J.L., H. Ondreas, Barriga, F.J.A.S., Cherkashov, G., Semkova, T., Poroshina, I., Bohn, M., Donval, J.P., Henry, K., P., M., Rouxel O. Geodiversity of Hydrothermal Processes along the Mid-Atlantic Ridge - Ultramafic-Hosted Mineralization: a New Type of Oceanic Cu-Zn-Co-Au VMS Deposit, i.D.o.H., 2010. Geodiversity of Hydrothermal Processes Along the Mid-Atlantic Ridge and Ultramafic-Hosted Mineralization: A New Type of Oceanic Cu-Zn-Co-Au Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, AGU Monograph 188, , 321-368.

Moussa, N., **Fouquet, Y.**, Le Gall, B., Caminiti, A.M., Rolet, J., Bohn, M., Etoubleau, J., Delacourt, C., Jalludin, M., 2012. First evidence of epithermal gold occurrences in the SE Afar Rift, Republic of Djibouti. *Mineralium Deposita* 47, 563-576.

Ondreas, H., Cannat, M., **Fouquet, Y.**, Normand, A., 2013. Geological context and vents morphology of the ultramafic-hosted Ashadze hydrothermal areas (Mid-Atlantic Ridge 13 degrees N). *Geochemistry Geophysics Geosystems* 13, 1-20

Ouvrages

Fouquet, Y., Lacroix, D., 2014. Deep Marine Mineral Resources. Edition Quae – Springer, 148 pages

- **Co-directeur-trice de thèse (éventuellement)** : Gilles Chazot, Professeur Université de Brest, Géochimiste
- **Laboratoire de recherche co-encadrant** (nom + code U/UMR/USR/EA/JE/...) "Domaines Océaniques"
UBO/ IUEM/LDO/UMR 6538
Université de Bretagne Occidentale, Institut Universitaire Européen de la Mer, ZI de la pointe du diable, 29280 Plouzané
Tél. : 02 98 22 87 59 e-mail : Gilles.Chazot@univ-brest.fr

PUBLICATIONS : Articles : 49 Indice H : 21, citations : 1426

- Chazot, G. and Mergoïl-Daniel, J. 2012, Co-eruption of carbonate and silicate magmas during volcanism in the Limagne graben (French Massif Central). *Lithos*, 154, 130-146.
- Beaumais, A., Chazot, G., Dosso, L. and Bertrand, H., 2013, Temporal source evolution and crustal contamination at Lopevi Volcano, Vanuatu Island Arc. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 263, 72-84.
- El Atrassi, F., Chazot, G., Brunet, F., Chopin, C. and Bouybaouene, M., 2014, Amphibole genesis in pyroxenites from the Beni Bousera peridotite massif (Rif, Morocco): Evidence for two different metasomatic episodes. *Lithos*, 208-209, 67-80.
- France, L., Chazot, G., Kornprobst, J., Dallai, L., Vannucci, R., Grégoire, M., Bertrand, H and Boivin, P., 2015, Mantle refertilization and magmatism in old orogenic regions : The role of late-orogenic pyroxenites. *Lithos*, 232, 49-75.
- Abbassene, F., Chazot, G., Bellon, H., Bruguier, OL, Ouabadi, A., Maury, R. Deverchère, J., Bosch, D. and Monié, P., A 17 Ma onset for the post-collisional K-rich calc-alkaline magmatism in the Maghrebides : evidence from Cap Bougaroun (northeastern Algeria) and geodynamic implications. *Tectonophysics*, accepted.

5- Présentation du projet (en langue française, 2 à 3 pages)

Résumé du projet (15 lignes) :

Les minéralisations hydrothermales des bassins arrière-arc présentent des enrichissements en métaux précieux et en certains métaux rares. La variabilité de ces enrichissements est contrôlée par des processus physiques (séparation de phase), la richesse des magmas en fluides (fluides magmatiques) et la concentration en métaux dans les différents types de laves réagissant avec l'eau de mer dans les circuits hydrothermaux. Peu de travaux ont été réalisés sur le lien entre les concentrations primaires des métaux dans les roches et leur concentration dans les minéralisations sur le plancher océanique. Les nouvelles techniques analytiques permettent d'avancer sur ce sujet. Nous proposons de mener des recherches sur trois axes : 1) variabilité des métaux en trace dans les laves, 2) mobilisation de ces métaux lors des altérations hydrothermales et 3) processus d'enrichissement dans les minéralisations se formant sur le plancher océanique. L'objectif est de mieux comprendre le transfert des métaux au sein de la croûte océanique. Ce travail constitue le point de départ et s'inscrit dans une approche plus large sur l'étude du cycle des métaux incluant leur transport dans les fluides et leur dispersion par les panaches hydrothermaux dans l'océan profond. .

Mots-clés : Métallogénie, pétrologie, géochimie, minéralogie, métaux, cycles élémentaires, éléments trace, isotopes

Abstract Hydrothermal mineralization of back-arc basins exhibit enrichments in precious metals and in some rare metals. The variability of these enrichments is controlled by physical processes (phase separation), magmas enriched in fluids (magmatic fluids) and the metal concentration in the different types of lava reacting with seawater in hydrothermal circuits. Little work has been done on the link between primary metal concentrations in rocks and their concentration in mineralization on the seafloor. New analytical techniques allow to move forward on this. We propose to conduct research in three areas: 1) variability of trace metals in lavas, 2) mobilizing of these metals in hydrothermal alterations and 3) enrichment processes in mineralization forming on the ocean floor. The goal is to better understand the transfer of metals in the oceanic crust. This work is the starting point and is part of a broader approach to the study of metals cycle including transport in fluids and dispersion by hydrothermal plumes in the deep ocean.

Keywords: Metallogeny, petrology, geochemistry, mineralogy, metals, elemental cycles, trace elements, isotopes.

Présentation détaillée du projet :

1-Contexte scientifique et socio-économique du projet :

Contexte scientifique

L'activité hydrothermale océanique de haute température est connue depuis trente-cinq ans dans les océans actuels (Corliss et al., 1979; Cyamex, 1978; Edmond et al., 1979; ; Francheteau et al., 1979; Hannington and Herzig, 2001; Rona, 1988; Rona, 2008; Scott, 1985; Scott, 1998; Bougault et al., 1993, Charlou et al., 2010; Fouquet et al., 2010;) . Les stratégies d'exploration suivies durant cette période ont permis de mettre en évidence la grande diversité des systèmes hydrothermaux et des processus géologiques, chimiques, biologiques et microbiologiques associés. La variabilité des systèmes dépend de l'environnement géodynamique et de la nature du substratum. L'activité hydrothermale est maintenant connue dans les principaux contextes géodynamiques (dorsales lentes, dorsales rapides, bassins arrière-arc, arcs, avant arc) et sur des substratums variés (basaltes, andésites, dacites, sédiments, roches ultrabasiqes). Ainsi, les échanges hydrothermaux peuvent se schématiser en quatre grands ensembles : échanges océan / croûte océanique (dorsales, basaltes), échanges océan / manteau (dorsales lentes, roches ultrabasiqes), échanges océan / roches de type arc insulaire (bassins arrière-arc immatures et arcs), échanges océan / roches de type continental (bassins arrière-arc en ouverture intracontinentale). Ces quatre ensembles permettent, par l'étude des fluides et des précipités hydrothermaux, d'appréhender localement différents types de processus d'échanges géochimiques et d'interactions biologiques entre océan et croûte océanique. A une autre échelle, les compositions spécifiques en éléments majeurs et traces des fluides et des minéralisations sont contrôlés par les processus physiques et chimiques (séparation de phase) (Butterfield et al., 1997). Ils permettent également de discuter du cycle des éléments au cours des grands processus géodynamiques. Enfin les sulfures hydrothermaux constituent des dépôts minéraux riches qui constituent une ressource minérale potentielle.

À la fin des années 80, les bassins arrière-arc, situés en arrière des grandes fosses océaniques, ont attiré l'attention des métallogénistes, du fait que la grande majorité des gisements fossiles exploités à terre sont formés dans ce type de contexte. En effet, de par leur localisation près des continents, ils s'incorporent préférentiellement dans les continents lors des collisions de plaques. Ces contextes sont favorables à l'installation de cellules de convection hydrothermale et abritent de nombreux champs hydrothermaux. Les équipes françaises en coopération avec les équipes allemandes (bassin de Lau) et Japonaises (Bassin Nord Fidjien, bassin de Manus) ont été les premières à découvrir et étudier par submersibles ces systèmes hydrothermaux dans les contextes arrières-arc (Fouquet et al., 1990; Fouquet et al., 1991; Fouquet et al., 1993a). Depuis cette date, de nombreuses campagnes dans les bassins arrière-arc de l'ouest et du sud-ouest Pacifique, ont conduit à la découverte de nombreux champs hydrothermaux (Baker et al., 2008; Baker et al., 2006; de Ronde et al., 2009; de Ronde et al., 2004; de Ronde et al., 2008; de Ronde et al., 2007; de Ronde et al., 2003; Embley and Anonymous, 2006; Glasby et al., 2008; Gruen et al., 2009; Hsu-Kim et al., 2008; Kim et al., 2009; Lupton et al., 2008; Lupton et al., 2009; Massoth et al., 2007; Massoth et al., 2005; Massoth et al., 2004; Petersen et al., 2005; Resing et al., 2007; Schardt et al., 2006; Stoffers et al., 2005; Stoffers et al., 2006). Les résultats montrent une intense activité hydrothermale le long des rides arrière-arc et sur une forte proportion des volcans émergés de l'arc insulaire, depuis la Nouvelle Zélande jusqu'au nord du bassin de Lau. La grande instabilité des bassins arrière-arc, ainsi que la grande variabilité de nature des roches volcaniques qui leur sont associées génèrent des sites hydrothermaux extrêmement variés quant à la composition des fluides et des minéralisations. Ces bassins se classent selon leur degré de maturité. Les bassins jeunes peuvent s'ouvrir en domaine de croûte continentale (bassin d'Okinawa, bassin de Woodlark) ou de croûte d'arc insulaire (Bassin de Lau, bassin de Manus). Dans ce dernier cas, l'influence des produits de fusion (basaltes Pacifique, sédiments) issus de la zone de subduction se fait sentir jusque dans la composition de dépôts hydrothermaux associés (Fouquet and Marcoux, 1995). Nous pouvons ainsi voir la marque de phénomènes globaux tels que la subduction dans les phénomènes locaux et la formation des dépôts minéraux. Les bassins plus évolués sont comparables à de petites dorsales sur lesquelles le basalte tholeitique est dominant et les processus minéralisateurs sont très proches de ceux des dorsales.

Contexte socioéconomique

Les données acquises sur la source et les processus de concentration des métaux mineurs permettront de déterminer la typologie des bassins arrière-arc et des laves les plus favorables à la formation des minéralisations les plus enrichies en métaux précieux et mineurs. Ces données permettront d'orienter et de focaliser les explorations dans les environnements les plus favorables lors des phases d'exploration régionale. Elles permettront de minimiser le temps nécessaire à l'exploration en ciblant sur les zones ayant le plus fort potentiel. Les études proposées ont ainsi un intérêt direct pour les industriels souhaitant conduire des campagnes d'exploration et d'évaluation des minéralisations en minimisant les coûts par un ciblage plus précis des zones les plus favorables. Il est à noter que contrairement au pétrole profond, les connaissances et l'exploration sur les métaux des grands fonds relèvent jusqu'à présent des activités de recherche.

2-Hypothèse et questions posées, identification des points de blocages scientifiques que le travail de thèse se propose de lever :

L'interaction entre l'eau de mer et les roches volcaniques acides dans les bassins arrière-arc a été découverte à la fin des années 1980 (Fouquet et al., 1993). Par rapport aux dorsales, la plus forte concentration en eau et en volatiles dans les laves arrière-arc conduit à l'introduction de fluides magmatiques dans les circuits hydrothermaux (Herzig et al. 1998). Ces fluides magmatiques peuvent être particulièrement enrichis en métaux (Yang and Scott 2006) et renforcer le potentiel des systèmes arrière-arc pour former des minéralisations sur le plancher océanique. Dans ces environnements les dépôts hydrothermaux sont enrichis en zinc, cuivre, plomb. Une particularité de ces sites est leur forte teneur en argent et or dont les concentrations moyennes dépassent souvent 10 g/t pour l'or et 250 g/t pour l'argent (à titre indicatif, dans les mines terrestres, l'or est considéré comme un élément valorisable à partir de teneurs voisines de 1 g/t). Certaines de ces minéralisations montrent également des concentrations particulièrement élevées en certains métaux rares (Indium, antimoine, germanium,...).

L'une des caractéristiques des minéralisations dans les environnements arrière-arc est d'être associées à des séries volcaniques allant des basaltes jusqu'aux dacite et rhyolites. Trois processus sont connus pour expliquer les différences géochimiques entre les minéralisations des différents sites des bassins arrière arc : 1) Séparation de phase, 2) Contribution de fluides magmatiques et 3) Variation de concentration des métaux dans les laves de la zone de réactions hydrothermale en profondeur. Peu de travaux ont été réalisés pour comprendre le lien entre les enrichissements des métaux dans les minéralisations du plancher océanique et les concentrations en métaux dans les différents types de roches volcaniques primaires. Les nouvelles techniques ICP-MS installées à Brest (PSO) permettent maintenant d'aborder ce sujet afin de comprendre l'origine des métaux dans les minéralisations et de préciser les processus de leur mobilisation et de transfert dans la croûte océanique.

Nous proposons de mener des recherches en trois étapes pour répondre à trois questions scientifiques principales visant à mieux comprendre les processus d'extraction et de concentrations des métaux, en particulier les métaux précieux, depuis les roches source jusqu'aux minéralisations.

1. Quel est la variabilité des concentrations en métaux dans les différents types de roches volcaniques, depuis les roches les plus basiques jusqu'aux roches différenciées ?
2. Quel est le comportement de ces métaux au cours de la différenciation magmatique et lors des interactions hydrothermales (fluides, altérations des roches)
3. Quelles sont les processus de précipitation et de concentration des métaux dans les minéralisations du plancher océanique.

En répondant à ces questions, cette thèse permettra de mieux déterminer les processus d'échanges au sein de la croûte océanique. Ce projet permettra également de produire et de publier les connaissances fondamentales nécessaires à la compréhension du rôle des roches sources dans la diversité des minéralisations et des fluides. Ces données sont centrales pour comprendre le point de départ de la mobilisation des métaux dans les océans et dans les grands cycles géochimiques.

3-Approche méthodologique et technique envisagée :

Afin de répondre aux questions scientifiques développées ci-dessus, ce projet de thèse s'articulera autour de trois axes principaux :

1. Caractérisation des concentrations en métaux dans les laves primaires et des variations de concentrations lors des processus de pétrogenèse et de cristallisation fractionnée. Les approches globales seront complétées par des analyses ponctuelles sur minéraux par ablation laser (HR-ICPMS). Le traçage des roches sources sera appuyé par les analyses isotopiques du plomb et les nouveaux traceurs isotopiques de métaux (MC-ICPMS).
2. Détermination du comportement des métaux lors des altérations hydrothermales des laves. Caractérisation des minéraux et des conditions d'altération. Réalisation de bilans chimiques lors des altérations. (Diffraction X, microscopie optique et électronique, microsonde électronique, ICPMS).
3. Analyse chimique et minéralogiques des métaux majeurs et en trace dans les minéralisations sur le plancher océanique et en subsurface. (Métallographie, diffraction X, MEB, Microsonde électronique)

Dans un premier temps, les efforts se focaliseront sur les échantillons récemment récoltés lors de 3 campagnes Ifremer (2010-2011-2012) dans la zone de Wallis et Futuna (230 roches volcaniques et environ 150 échantillons minéralisés

Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016

prélevés par dragages et en plongée). Des comparaisons seront ensuite réalisées par l'élargissement des études aux autres bassins arrière-arc du SW Pacifique tous échantillonnés lors de campagnes de plongée du Nautilus dirigées par l'Ifremer : 1) Bassin de Lau (Tonga) : campagne Nautilus 1989 (79 échantillons de roches volcaniques et 64 échantillons minéralisés), 2) Bassin nord Fidjien (Fidji) : campagne Starmer 1989 (Une cinquantaine d'échantillons de roches volcaniques et 45 échantillons minéralisés) et 3) bassin de Manus (Papouasie) : campagne Manute 2000 (une centaine d'échantillons de roches volcaniques et 64 échantillons minéralisés). Des comparaisons seront également réalisées avec les minéralisations de l'Atlantique dans le cadre du permis français porté par Ifremer. Tous ces échantillons sont disponibles à l'Ifremer. Dans un premier temps, les études se focaliseront sur les échantillons minéralisés les plus riches en métaux précieux et sur une sélection de roches représentatives des différents faciès volcaniques.

4-Profil du candidat (compétences scientifiques et techniques requises) :

Le candidat devra être titulaire d'un Master II de recherche en géosciences marines. Il devra présenter de solides connaissances en géologie marine, pétrographie et géochimie des laves, minéralogie, métallogénie. Il devra se familiariser avec les techniques analytiques ICP-MS (traces et isotopes). L'étudiant devra également montrer un intérêt pour le travail en équipe et la recherche transdisciplinaire.

5-Positionnement et environnement scientifique dans le contexte régional, et le cas échéant, national et international :

Les études menées permettront de préciser les processus de formation des minéralisations hydrothermales dans les grands fonds océaniques. Brest constitue le principal pôle de recherche national sur ce sujet. L'Ifremer est porteur, au nom de l'état, des deux permis internationaux obtenus par la France dans les eaux internationales pour l'exploration des minéralisations hydrothermales et des nodules dans les grands fonds océaniques.

Ces recherches entrent pleinement dans les axes du plan stratégique et du contrat d'objectif de l'Ifremer. Les analyses sont maintenant possibles à Brest au travers des instruments du PSO associant l'Ifremer et l'UBO. De plus le sujet permet de resserrer les liens entre l'Ifremer et l'UBO en proposant un sujet faisant le pont entre les recherches menées à l'UBO sur la pétro-géochimie et l'origine des laves et les recherches menées à l'Ifremer sur les minéralisations hydrothermales.

6-Pertinence du projet au regard du DIS de rattachement (et/ou du DIS secondaire). Si « projet blanc », préciser les raisons de ce choix :

Le sujet proposé se rattache au **DIS n°3 « activité maritime pour une croissance bleue »** il relève plus particulièrement de l'**axe 3C « valorisation des ressources minières marines »**.

7-Autres informations utiles (projet relevant des Objets d'excellence -OBEX-, projet inscrit dans le cadre des « Projets réservés » régionaux, dont « Projets émergents de recherche »...) :

Le sujet des ressources minérales marines profondes vient également d'être identifié dans les priorités du **Pôle de Compétitivité Mer Bretagne « ressources énergétiques et minières marines »**. Cette thématique a récemment été affirmée par le premier ministre lors du comité Interministériel de la mer (**CIMER**) du 22 octobre 2015 qui a décidé de mettre en place une « *stratégie nationale relative à l'exploration et l'exploitation minière des grands fonds marins* »

La thèse se déroulera dans les laboratoires de l'université de Brest et de l'Ifremer. Le candidat aura accès à l'ensemble des équipements du PSO (MC ICP-MS, HR-ICP-MS, ablation laser), aux moyens propres de l'Ifremer (Métallographie, XRF, XRD, microscopie électronique) et de l'Université de Brest (Microsonde électronique). L'ensemble des échantillons est disponible et ne nécessite pas de campagne à la mer. Le sujet proposé correspond au nouvel affichage du **Labex Mer** sur la métallogénie océanique et recommandé lors de l'évaluation à mi-parcours pour la phase 2 de l'axe 3 du labex mer - 2016-2018.

Les métaux mineurs, parfois qualifiés de stratégiques, sont d'un intérêt croissant pour l'industrie et plusieurs études internationale et européenne soulignent le caractère stratégiques de certains d'entre eux (voir Ref. Europe en annexe).

6- Projet de thèse en cotutelle internationale

- S'agit-il d'un projet de thèse en cotutelle internationale (oui/non) : non
- Si oui, préciser l'établissement pressenti (et le pays de rattachement) :
- Ce projet de thèse fera-t-il l'objet d'un cofinancement international (oui/non) :
(Rémunération du doctorant par l'établissement implanté sur le territoire régional (18 mois sur 36 mois), et l'établissement étranger, qui s'engage également à rémunérer le doctorant dans le cadre de son séjour à l'étranger, soit durant 18 mois -a minima-)
- En cas de cofinancement international, préciser -si vous en avez connaissance- l'organisation du calendrier des périodes de séjour :

7- Financement du projet de thèse

- Part de l'enveloppe financière régionale affectée au projet :
 - Financement Région 100 %
 - Financement Région 50 % (préconisé)
- En cas de financement à 50 %, le cofinancement est-il déjà identifié (oui/non) : oui
- Si oui, préciser la nature du cofinancement (ANR, partenaire privé, Ademe, etc.) :
Le financement demandé est de 50 % du financement de la thèse soit 18 mois. Une demande de co-financement de 18 mois a été déposée à l'IFREMER le 18 novembre 2015.
- Pour le co-financement Région-ARED nous sollicitons un Label Labex Mer pour ce sujet correspondant à l'évolution de l'axe 3.
- Si le cofinancement n'est pas encore confirmé, ouverture prévue de réponse du cofinancier : semaine 8, 2016
- En cas de non-obtention du cofinancement demandé, une autre source de cofinancement est-elle identifiée (oui/non) : non
NB : attestation d'obtention d'un cofinancement ou à défaut, de la demande effectuée, à joindre au dépôt de cette fiche-projet.

Allocations de recherche doctorale (ARED)
Fiche projet 2016
Annexe : Références Citées

- Baker, E. T., Embley, R. W., Walker, S. L., Resing, J. A., Lupton, J. E., Nakamura, K.-i., de Ronde, C. E. J., and Massoth, G. J., 2008, Hydrothermal activity and volcano distribution along the Mariana Arc: *Journal of Geophysical Research*, v. 113.
- Baker, E. T., Massoth, G. J., Nakamura, K.-i., Embley, R. W., de Ronde, C. E. J., and Arculus, R. J., 2005, Hydrothermal activity on near-arc sections of back-arc ridges; results from the Mariana Trough and Lau Basin: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems - G (super 3)*, v. 6, p. no.9, 14.
- Baker, E. T., Resing, J. A., Walker, S. L., Martinez, F., Taylor, B., and Nakamura, K.-i., 2006, Abundant hydrothermal venting along melt-rich and melt-free ridge segments in the Lau back-arc basin: *Geophysical Research Letters*, v. 33, p. no.7, 4.
- Bougault, H., Charlou, J. L., Fouquet, Y., Needham, H. D., Vaslet, N., Appriou, P., Baptiste, P. J., Rona, P. A., Dmitriev, L., and Silantiev, S., 1993, Fast and slow spreading ridges: structure and hydrothermal activity, ultramafic topographic highs, and CH₄ output: Rona, Peter A., Thompson, Geoffrey A., v. Special section on Atlantic hydrothermal activity. NOAA, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Miami, FL, United States. *Journal-of-Geophysical-Research, -B, -Solid-Earth-and-Planets*, 98, p. 9643-9651.
- Butterfield, D. A., Jonasson, I. R., Massoth, G. J., Feely, R. A., Roe, K. K., Embley, R. E., Holden, J. F., McDuff, R. E., Lilley, M. D., and Delaney, J. R., 1997, Seafloor eruptions and evolution of hydrothermal fluid chemistry, *in* Cann, J. R., Elderfield, H., and Laughton, A., eds., *Philosophical Transactions - Royal Society. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 355: London, Royal Society of London, p. 369-386.
- Charlou, J. L., Donval, J. P., Kohn, C., Ondreas, H., Fouquet, Y., Jean-Baptiste, P., and Fourré, E., 2010, In press, High production and fluxes of H₂ and CH₄ and evidence of abiotic hydrocarbon synthesis by serpentinization in ultramafic-hosted hydrothermal systems on the Mid-Atlantic Ridge, *in* Rona, P., Devey, C., Dymont, J., and Murton, B., eds., *Diversity of Hydrothermal Systems on Slow-spreading Ocean Ridges*, In press. Geophysical Monograph: Washington, A.G.U.
- Corliss, J., Dymond, J., Gordon, L. I., Edmond, J., von Herzen, R. P., Richard, P., Ballard, R. D., Green, K., Williams, D., Bainbridge, A., Crane, K., and van Andel, T. H., 1979, Submarine thermal springs on the Galapagos Rift: *Science*, v. 203, p. 1073-1083.
- Cyamex, 1978, Découverte par submersible de sulfures polymétalliques massifs sur la dorsale du Pacifique oriental, par 21°N (projet "Rita"): *Comptes Rendus à l'Académie des Sciences de Paris*, p. 1365-1368.
- de Ronde, C., Baker, E., Embley, R., Lupton, J., Butterfield, D., Faure, K., Leybourne, M., Chadwick, W., Ishibashi, J., Resing, J., Walker, S., Merle, S., Greene, R., and Anonymous, 2009, Hydrothermal systems of intraoceanic arcs, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, p. A282.
- de Ronde, C. E., Massoth, G. J., Baker, E. T., Lupton, J. E., Arculus, R. J., Wright, I. C., Stoffers, P., Ishibashi, J., Walker, S. L., Greene, R. R., Faure, K., Takai, K., and Anonymous, 2004, Systematic survey of the Kermadec-Tonga intra-oceanic arc between 1999 and 2004; a significant source of diverse submarine hydrothermal emissions: Washington, American Geophysical Union.
- de Ronde, C. E. J., Baker, E. T., Massoth, G. J., Lupton, J. E., Wright, I. C., Sparks, R. J., Bannister, S. C., Reyners, M. E., Walker, S. L., Greene, R. R., Ishibashi, J., Faure, K., Resing, J. A., and Lebon, G. T., 2007, Submarine hydrothermal activity along the mid-Kermadec Arc, New Zealand; large-scale effects on venting: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems G*, v. 8.
- de Ronde, C. E. J., Massoth, G. J., Baker, E. T., Lupton, J. E., Arculus, R. J., and Anonymous, 2003, Submarine hydrothermal systems along intraoceanic arcs, Abstracts with Programs - Geological Society of America, 35: Boulder, Geological Society of America (GSA), p. 12-13.
- Edmond, J. M., Measures, C., McDuff, R. E., Chan, L. H., Collier, R., and Grant, B., 1979, Ridge crest hydrothermal activity and the balances of the major and minor elements in the ocean; the Galapagos data: *Earth Planet. Sci. Lett.*, v. 46, p. 1-18.
- Embley, R. W., and Anonymous, 2006, Recent explorations of submarine volcanoes along the Mariana and Kermadec Arcs; new windows of opportunity for studying active volcanic and hydrothermal processes, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70: New York, Elsevier, p. A160.
- Fouquet, Y., Cambon, P., Etoubleau, J., Charlou, J. L., Ondreas, H., Barriga, F., Cherkashov, G., Semkova, T., Poroshina, I., Bohn, M., Donval, J. P., Henry, K., Murphy, P., and Rouxel, O., 2010, In press, Geodiversity of Hydrothermal Processes along the Mid-Atlantic Ridge - Ultramafic-Hosted Mineralization: a New Type of Oceanic Cu-Zn-Co-Au VMS Deposit *in* Rona, P., Devey, C., Dymont, J., and Murton, B., eds., *Diversity of Hydrothermal Systems on Slow-spreading Ocean Ridges*. Geophysical Monograph: Washington, AGU.
- Fouquet, Y., and Marcoux, E., 1995, Lead isotope systematics in Pacific hydrothermal sulfide deposits: *Journal of Geophysical Research*, v. 100, p. 6025-6040.
- Fouquet, Y., Von Stackelberg, U., Charlou, J. L., Donval, J. P., Erzinger, J., Foucher, J. P., Harnegny, F., Herzig, P., Mühle, R., Pelle, H., Soakai, S., Wiedicke, M., and Whitechurch, H., 1990, Hydrothermal activity in the Lau Back arc basin sulfides and water chemistry: *Geology*, v. 19, p. 303-306.
- Fouquet, Y., Von Stakelberg, U., Charlou, J. L., Donval, J. P., Erzinger, J., Foucher, J. P., Herzig, P., Mühle, R., Soakai, S., M., W., and Whitechurch, H., 1991, Hydrothermal activity and metallogenesis in the Lau Basin: *Nature*, v. 349, p. 778-781.
- Fouquet, Y., von, S. U., Charlou, J. L., Erzinger, J., Herzig, P. M., Muehe, R., and Wiedicke, M., 1993a, Metallogenesis in back-arc environments; the Lau Basin example: Rona, Peter A., Scott, Steven D., v. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization; new perspectives. National Oceanic and Atmospheric Administration, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Miami, FL, United States. *Economic-Geology-and-the-Bulletin-of-the-Society-of-Economic-Geologists*, 88, p. 2150-2177.
- Fouquet, Y., von, S. U., Charlou, J. L., Erzinger, J., Herzig, P. M., Muehe, R., and Wiedicke, M., 1993b, Metallogenesis in back-arc environments; the Lau Basin example: *Economic-Geology-and-the-Bulletin-of-the-Society-of-Economic-Geologists*, 88, v. A special issue on sea-floor hydrothermal mineralization; new perspectives. Rona, Peter A., Scott, Steven D., editors., p. 2150-2177.
- Francheteau, J., Needham, H. D., Choukroune, P., Juteau, T., Seguret, M., Normark, W., Ballard, R., Fox, P., Carranza, A., Cordoba, D., Guerrero, J., Rangin, C., Bougault, H., Cambon, P., and Hékinian, R., 1979, Massive deep-sea sulfide ore deposits discovered on the East Pacific Rise: *Nature*, v. 277, p. 523-528.
- Iizasa, G. P., Iizasa, K., Hannington, M., Kubota, H., and Notsu, K., 2008, Mineralogy and composition of kuroko deposits from northeastern Honshu and their possible modern analogues from the Izu-Ogasawara (Bonin) Arc south of Japan; implications for mode of formation: *Ore Geology Reviews*, v. 34, p. 547-560.
- Gruen, G., Driesner, T., de Ronde, C. E. J., Heinrich, C. A., and Anonymous, 2009, Controls on hydrothermal system styles in submarine arc volcanoes, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 73, p. A471.
- Hannington, M., and Herzig, P., 2001, Exploration of the modern seafloor: developing new models for VMS and related ore deposit types, *in* Anonymous, ed., *Geological Society of America, 2000 annual meeting*, Geological Society of America (GSA). Boulder, CO, United States, 2000.
- Herzig, P.M., Hannington, M.D., Arribas, A., Jr., 1998, Sulfur isotopic composition of hydrothermal precipitates from the Lau back-arc; implications for magmatic contributions to seafloor hydrothermal systems. *Mineralium Deposita* 33, 226-237.
- Herzig, P.M., Hannington, M.D., Fouquet, Y., Vonstackelberg, U., Petersen, S., 1993, Gold-Rich Polymetallic Sulfides from the Lau Back-Arc and Implications for the Geochemistry of Gold in Sea-Floor Hydrothermal Systems of the Southwest Pacific. *Econ. Geol. Bull. Soc. Econ. Geol.* 88, 2182-2209.
- Hsu-Kim, H., Mullaugh, K. M., Tsang, J. J., Yucel, M., and Luther, G. W., 2008, Formation of Zn- and Fe-sulfides near hydrothermal vents at the Eastern Lau Spreading Center: implications for sulfide bioavailability to chemoautotrophs: *Geochemical Transactions [Geochem. Trans.]*, v. 9, p. 6-6.
- Kim, J., Son, S.-K., Son, J.-W., Kim, K.-H., Shim, W. J., Kim, C. H., and Lee, K.-Y., 2009, Venting sites along the Fonualei and Northeast Lau spreading centers and evidence of hydrothermal activity at an off-axis caldera in the northeastern Lau Basin: *Geochemical Journal*, v. 43, p. 1-13.
- Lupton, J., Lilley, M., Butterfield, D., Evans, L., Embley, R., Massoth, G., Christenson, B., Nakamura, K.-i., and Schmidt, M., 2008, Venting of a separate CO₂-rich gas phase from submarine arc volcanoes: Examples from the Mariana and Tonga-Kermadec arcs: *Journal of Geophysical Research. B. Solid Earth [J. Geophys. Res.]*, v. 113.
- Lupton, J., Resing, J., Arculus, R., Lilley, M., Embley, R., Baker, E., Butterfield, D., Nakamura, K., Crowhurst, P., Greene, R., and Anonymous, 2009, Hydrothermal systems and recent eruptive activity in the northern Lau Basin, South Pacific Ocean: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 73, p. A804.
- Massoth, G., Baker, E., Worthington, T., Lupton, J., de Ronde, C., Arculus, R., Walker, S., Nakamura, K.-i., Ishibashi, J.-i., Stoffers, P., Resing, J., Greene, R., and Lebon, G., 2007, Multiple hydrothermal sources along the south Tonga Arc and Valu Fa Ridge: *Geochemistry, Geophysics, Geosystems - G (super 3)*, v. 8, p. no. 11, 26.
- Massoth, G. J., Arculus, R. J., Baker, E. T., Butterfield, D. A., Chadwick, W. W., Christenson, B. W., de Ronde, C. E., Embley, R. W., Evans, L. J., Faure, K., Graham, I. J., Greene, R. R., Ishibashi, J., Lebon, G. T., Lupton, J. E., Resing, J. A., Roe, K. K., Schmidt, M., Stoffers, P., Walker, S. L., Worthington, T. J., Wright, I. C., Yamanaka, T., and Anonymous, 2005, Plume-vent fluid connections along the Tonga-Kermadec Arc: Washington, American Geophysical Union.
- Massoth, G. J., Baker, E. T., Lupton, J. E., de Ronde, C. E., Walker, S. L., Ishibashi, J., Worthington, T. J., Arculus, R. J., Resing, J. A., Greene, R. R., Lebon, G. T., Nakamura, K., Stoffers, P., and Anonymous, 2004, A systematic reconnaissance of submarine hydrothermal venting along the south Tonga (Tofua) intra-oceanic arc: Washington, American Geophysical Union.
- Petersen, S., Herzig, P. M., Kuhn, T., Franz, L., Hannington, M. D., Monecke, T., and Gemmill, J. B., 2005, Shallow drilling of seafloor hydrothermal systems using the BGS rockdrill; conical seamount (New Ireland Fore-Arc) and PACMANUS (eastern Manus Basin), Papua New Guinea: *Marine Georesources & Geotechnology*, v. 23, p. 175-193.
- Resing, J. A., Lebon, G., Baker, E. T., Lupton, J. E., Embley, R. W., Massoth, G. J., Chadwick, W. W., Jr., and de Ronde, C. E. J., 2007, Venting of acid-sulfate fluids in a high-sulfidation setting at NW Rota-I submarine volcano on the Mariana Arc: *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, v. 102, p. 1047-1061.
- Rona, P., 1988, Hydrothermal Mineralization At Oceanic Ridges: *Canadian Mineralogist*, v. 26, p. 431-465.
- Schardt, C., Large, R., and Yang, J., 2006, Controls on heat flow, fluid migration, and massive sulfide formation of an off-axis hydrothermal system; the Lau Basin perspective: *American Journal of Science*, v. 306, p. 103-134.
- Scott, S. D., 1985, Seafloor polymetallic sulfide deposits; modern and ancient: Rona, P. v. A., Koski, R. A. Theme issue: Polymetallic sulfide deposits. NOAA, Atl. Oceanogr. and Meteorol. Lab., Miami, FL, United States. *Marine-Mining*, 5, p. 191-212.
- Scott, S. D., 1998, Submarine hydrothermal systems and deposits, *in* Barnes, H., ed., *Geochemistry of ore deposits*, John Wiley & Son, p. 797-875.
- Stoffers, P., Worthington, T. J., Hannington, M. D., Schwarz-Schampera, U., Massoth, G. J., Lundsten, L. J., and Anonymous, 2005, Submarine volcanoes and high-temperature hydrothermal venting on the Tonga Arc, SW Pacific: Washington, American Geophysical Union.
- Stoffers, P., Worthington, T. J., Schwarz-Schampera, U., Hannington, M. D., Massoth, G. J., Hékinian, R., Schmidt, M., Lundsten, L. J., Evans, L. J., Vaiomo'unga, R., and Kerby, T., 2006, Submarine volcanoes and high-temperature hydrothermal venting on the Tonga arc, southwest Pacific: *Geology [Geology]*, v. 34, p. 453-456.
- Yang, K., and Scott, S. D., 2006, Magmatic fluids as a source of metals in sea-floor hydrothermal systems, *in* Christie, D. M., Fisher, C. R., Lee, S.-M., and Givens, S., eds., *Geophysical Monograph*, vol.166: Washington, American Geophysical Union, p. 163-184.

Métaux critiques Europe
http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical/index_en.htm



Allocations de recherche doctorale (ARED)

Fiche projet 2016