



NOM : YAMATO

PRÉNOM : PHILIPPE

DATE DE NAISSANCE : 23 octobre 1980

GRADE : Professeur des universités

DISCIPLINE PRINCIPALE : Tectonique

CNU : 35 (Structure et évolution de la Terre et des autres planètes)

UNIVERSITÉ OU ÉTABLISSEMENT D'APPARTENANCE : Université de Rennes

UNITÉ DE RECHERCHE D'APPARTENANCE : Géosciences Rennes (UMR 6118)

**CATÉGORIE : JUNIOR**

THÉMATIQUE DE RECHERCHE : TECTONIQUE ET MÉTAMORPHISME

RÉSUMÉ SCIENTIFIQUE À PROPOS DE LA RÉALISATION DU PROJET DE RECHERCHE IUF (2 pages maximum) :

Mon projet de recherche à l'Institut Universitaire de France portait sur l'«évolution pression-température-temps-déformation des roches dans les zones du subduction». Il s'agissait, d'une part, de se concentrer sur la signification des informations enregistrées dans les roches métamorphiques de haute pression - basse-température (en particulier l'interprétation de la pression en terme de profondeur d'enfouissement) et, d'autre part, d'affiner notre compréhension de la rhéologie des roches lorsque celles-ci sont enfouies au niveau des frontières de plaques convergentes. Le but était notamment de tester les hypothèses avancées dans l'article Yamato et Brun (2017) en allant (1) étudier plus précisément sur le terrain la manière dont se déforment les roches lors du métamorphisme en faciès éclogitique (i.e. à des conditions de pression  $> 1.5-2.0$  GPa) et (2) de développer des modèles numériques permettant de quantifier la résistance des roches et leur comportement mécanique dans ces conditions.

Des avancées majeures ont été réalisées sur ces deux points: les travaux menés sur le terrain dans les Alpes (e.g. Thèse de S. Hertgen soutenue en 2018) ont permis de mettre en évidence que les roches enfouies à des conditions éclogitiques ( $\sim 2.2-2.4$  GPa,  $550^{\circ}\text{C}$ ) pouvaient se déformer de manière cassante (Hertgen et al., 2017; Angiboust et al., 2017). Le développement de modèles numériques à l'échelle centimétrique que j'ai réalisé en parallèle a permis d'illustrer que les contraintes effectives subies par les roches pouvaient être élevées dans ces conditions pression-température (Yamato et al., 2019). Nos modèles montrent en effet que celles-ci peuvent atteindre des valeurs de l'ordre de 1 GPa pour une éclogite entièrement fracturée et jusqu'à  $\sim 500$  MPa pour les roches qui contiennent du grenat fracturé.

Un article de synthèse sur la manière dont on peut interpréter les données de pression obtenues par les méthodes de barométrie actuelles en étudiant les roches métamorphiques a également été publié (Bauville and Yamato, 2021a). Nous y avons dérivé des formules simples de conversion de la pression en profondeur qui permettent (ou non) de prendre en compte les contraintes déviatoriques (dans toutes les dimensions de l'espace). Nous les avons ensuite testées sur un ensemble de données de pression provenant de roches métamorphiques de haute pression. Il s'agit d'un article important puisque nous montrons que (1) même de petites contraintes déviatoriques ont un impact significatif sur les estimations de la profondeur, (2) la deuxième composante principale de contrainte  $\sigma_2$  joue un rôle essentiel, (3) plusieurs modèles peuvent expliquer l'évolution de la pression des données mais conduisent à des estimations différentes de la profondeur, et (4) les données de contrainte pourraient offrir un moyen de falsifier l'un des modèles proposés. Les controverses que cet article a suscité (voir Jiang, 2021, Bauville et Yamato, 2021b) montrent que l'interprétation de la pression reste un débat important dans notre communauté et pour lequel nous espérons avoir apporté des éléments de réponse.

Durant cette délégation IUF, mes travaux se sont également portés sur les interactions entre métamorphisme et déformation. Pour cela, j'avais besoin d'étudier un système «simple», bien documenté, et où réaction métamorphique et déformation étaient étroitement associées. Je me suis alors tourné vers une nouvelle cible de terrain, en Norvège, où il était possible d'étudier la déformation associée à la réaction d'éclogitisation d'une anorthosite. Cela s'est fait dans le cadre de la thèse d'E. Bras (qui a débuté en 2020) et a permis d'initier des collaborations fortes avec des collègues parisiens (M. Baïssset, L. Labrousse, et A. Schubnel). Nous avons pu montrer, en couplant observation de terrain et modélisation numérique, que lors du processus d'éclogitisation il existait une étape d'affaiblissement transitoire permettant d'expliquer la localisation de la déformation et l'élargissement des zones de cisaillement au cours du temps (Bras et al., 2021). Sur l'aspect modélisation, l'implémentation des changements de volume ( $\Delta V$ ) dans un code compressible (Yamato et al, 2022) m'a permis de montrer que les contraintes engendrées lors de la réaction d'éclogitisation ( $\Delta V < 0$ ) pouvaient être suffisamment importantes et engendrer un comportement cassant des roches.

De nombreux travaux sont encore en cours comme l'étude des zones d'éclogitisation statiques sur cette cible de terrain de Norvège par exemple (thèse de M. Baïssset) ou encore sur l'implémentation des changements de phase au sein de notre code thermo-mécanique (développé en collaboration avec T. Duretz, Goethe University, Allemagne). L'affaiblissement des roches - comme celui engendré par une réaction comme celle de l'éclogitisation d'une anorthosite - n'est en effet pas une chose triviale à implémenter dans les codes numériques car on se retrouve avec les mêmes problèmes de dépendance à la taille de la grille que ceux que l'on peut avoir en plasticité (e.g. Duretz et al., 2020; Duretz et al., 2021). Le couplage entre (thermo-)mécanique et circulation des fluides, permettant d'initier une réaction métamorphique, est également un nouveau volet de modélisation entamé dans le cadre de la thèse d'Erwan Bras l'an passé et qui donne déjà des résultats prometteurs.

Tout ces développements n'auraient pas pu être menés à bien, ni aller aussi loin sans le soutien financier et le temps libéré qu'offre la délégation à l'IUF. Il n'y a aucun doute que ce projet de recherche a considérablement accéléré mon activité scientifique lors de ces 5 dernières années. L'apport de l'IUF a été majeur notamment pour l'acquisition de noeuds de calcul me permettant d'être complètement indépendant. Ces noeuds sont à présent mis en commun au sein du cluster hébergé à l'Institut de Physique de Rennes. Aujourd'hui, les perspectives en terme de modélisation numérique sont énormes (réalisation de codes numériques nouveaux permettant de prendre en compte les

couplages multi-physique thermo-hydro-chimico-mécaniques) et cela va me permettre d'explorer de nouvelles problématiques scientifiques. La thèse d'E. Bras, actuellement en cours, ainsi que le projet ANR que je dépose cette année qui portent spécifiquement sur le lien entre réactions métamorphiques et déformation des roches sont les témoins de ce nouveau volet de recherche vers lequel je me tourne.

#### PRODUCTION SCIENTIFIQUE DE LA PÉRIODE 2017-2022 :

**Publications scientifiques:** [doctorants ou post-doctorant soulignés]

- Simon M., Pitra P., **Yamato P.**, and Pujol M. (2022), "Isothermal compression of an eclogite from the Western Gneiss Region (Norway)", *Journal of Metamorphic Geology*, 1-23, <https://doi.org/10.1111/jmg.12692>

- Poh J., Eldursi K., Ledru P., **Yamato P.**, Chi G., and Benedicto A. (2022), "Role of hydrothermal circulation along and above inherited basement structures relating to unconformity-related uranium mineralization", *Geofluids*, Article ID 9131289, <https://doi.org/10.1155/2022/9131289>

- **Yamato P.**, Duretz T., Baïssset M., & Luisier C. (2022), "Reaction-induced volume change triggers brittle failure at eclogite facies conditions", *Earth and Planetary Science Letters*, 584, 117520, <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117520>

- Agard P., Soret M., Bonnet G., Ninkabou D., Plunder A., Prigent C., and **Yamato P.** (2022), "Subduction and obduction processes: the fate of oceanic lithosphere revealed by blueschists, eclogites and ophiolites", AGU book, In: *Compressional Tectonics: Plate Convergence to Mountain Building - Volume 2*, Ed. Catlos, Cehmen, Dalziel

- Auzemery A., **Yamato P.**, Duretz T., Willingshofer E., Matenco L., and Porkoláb K. (2022), "Influence of magma-poor versus magma-rich passive margins on subduction initiation", *Gondwana Research*, v.103, p.172-186, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.11.012>

- Auzemery A., Willingshofer E., **Yamato P.**, Duretz T. and Beekman F. (2021), "Kinematic Boundary Conditions Favouring Subduction Initiation at Passive Margins Over Subduction at Mid-oceanic Ridges", *Front. Earth Sci.*, 9:765893. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.765893> [PDF]

- Bras E., Baïssset M., **Yamato P.**, and Labrousse L. (2021), "Transient weakening during the granulite to eclogite transformation within hydrous shear zones (Holsnøy, Norway)", *Tectonophysics*, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2021.229026>

- Duretz T., de Borst R., and **Yamato P.** (2021) "Modelling lithospheric deformation using a compressible visco-elasto-viscoplastic rheology and the effective viscosity approach", *Geochemistry Geophysics Geosystems*, <https://doi.org/10.1029/2021GC009675>

- Bauville A., and **Yamato P.** (2021b) Reply to comment by D. Jiang on "Pressure-to-depth conversion models for metamorphic rocks: Derivation and applications". *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 22, e2021GC009907, <https://doi.org/10.1029/2021GC009907>

- Poh J., **Yamato P.**, Duretz T., Gapais D. and Ledru P. (2021) "The transition from ancient to modern-style tectonics: Insights from lithosphere dynamics modelling in compressional regimes", *Gondwana Research*, v. 99, p.77-92, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.06.016>

- Porkoláb K., Duretz T., **Yamato P.**, Auzemery A. and E. Willingshofer E. (2021) "Extrusion of subducted crust explains the emplacement of far-travelled ophiolites", *Nature Communications*, v. 12, 1499, <https://www.nature.com/articles/s41467-021-21866-1>
- Bauville A. and Yamato P. (2021a) "Pressure-to-depth conversion models for metamorphic rocks: Derivation and applications", *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 22, e2020GC009280, <https://doi.org/10.1029/2020GC009280>
- Auzemery A., Willingshofer E., **Yamato P.**, Duretz T., and Sokoutis D. (2020) "Strain localization mechanisms for subduction initiation at passive margins", *Global and Planetary Change*, v.195, 103323, doi: 10.1016/j.gloplacha.2020.103323
- Duretz T., de Borst R., **Yamato P.**, and Le Pourhiet L. (2020), "Towards robust and predictive geodynamic modelling: the way forward in frictional plasticity", *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL086027, doi: 10.1029/2019GL086027
- Hertgen S., **Yamato P.**, Guillaume B., Magni V., Schliffke N., van Hunen J. (2020), "Influence of the thickness of the overriding plate on convergence zone dynamics", *Geochemistry Geophysics Geosystems*, v. 21(2), doi:10.1029/2019GC008678
- Poh J., **Yamato P.**, Duretz T., Gapais D., and Ledru P. (2020), "Precambrian deformation belts in compressive tectonic regimes: A numerical perspective", *Tectonophysics*, v. 777, 228350, doi:10.1016/j.tecto.2020.228350
- **Yamato P.**, Duretz T. and Angiboust S. (2019), "Brittle/ductile deformation of eclogites: Insights from numerical models", *Geochemistry Geophysics Geosystems*, v. 20 (7), p. 3116-3133 doi:10.1029/2019GC008249
- Soret M., Agard P., Dubacq B., Plunder A. and **Yamato P.** (2017), "Petrological evidence for stepwise accretion of metamorphic soles during subduction infancy (Semail ophiolite, Oman and UAE)", *Journal of Metamorphic Geology*, v.35, p.1051-1080, doi:10.1111/jmg.12267
- Angiboust S., **Yamato P.**, Hertgen S., Hyppolito T., Bebout G.E. and Morales L. (2017), "Fluid pathways and high pressure metasomatism in a subducted continental slice (Mt. Emilius klippe, W. Alps)", *Journal of Metamorphic Geology*, v. 35, p. 471-492, doi:10.1111/jmg.12241
- Duprat-Oualid S. and **Yamato P.** (2017), "On the meaning of peak temperature profiles in inverted metamorphic sequences", *Geophysical Journal International*, v.210, p. 130-147, doi:10.1093/gji/ggx129
- Hertgen S., **Yamato P.**, Morales L.F.G. and Angiboust S. (2017), "Evidence for brittle deformation events at eclogite-facies P-T conditions (example of the Mt. Emilius klippe, Western Alps)", *Tectonophysics*, v. 706-707, p. 1-13, doi:10.1016/j.tecto.2017.03.28
- **Yamato P.** and Brun J.P. (2017), "Metamorphic record of catastrophic pressure drops in subduction zones", *Nature Geoscience*, v.10, p.46-50, doi:10.1038/ngeo2852

***Communications orales invitées:***

2017: Nancy (CRPG)

2018: Berlin (Frei University)

2022: Paris (Sorbonne Université)

OPÉRATIONS DE MÉDIATION SCIENTIFIQUE SIGNIFICATIVES (médias, sciences participatives avec les citoyens, etc.)

- Article rédigé par la responsable de la réserve de l'île de Groix (Le télégramme, 16 Juin 2017) sur nos activités de recherche sur l'île.

- IEC 2023 encadrement de l'excursion pré-conférence en collaboration avec G. Godard (IPGP, Paris) qui a eu lieu du 7 au 9 Juillet 2022.

ENCADREMENT DOCTORAL (Direction de thèses) :

**Solenn Hertgen (2015-2018):** « Impact de la rhéologie de la croûte sur la dynamique des lithosphères en convergence » Co-direction avec Benjamin Guillaume (Geosciences Rennes). Financement : contrat doctoral du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Thèse soutenue le 21 décembre 2018.

**Jonathan Poh (2016-2019):** « Nouvelle modélisation dynamique multi-physique appliquée à la prédiction des sites favorables à la circulation des fluides et à la formation des gîtes d'Uranium de discordance du bassin de l'Athabasca (Saskatchewan, Canada). » Co-direction avec Patrick Ledru (ORANO). Financement: ORANO. Thèse soutenue le 29 Novembre 2019.

**Erwan Bras (2020-2023):** « Impact du métamorphisme sur l'évolution spatio-temporelle des zones de cisaillement : des données de terrain à la modélisation numérique ». Co-direction avec T. Duretz (Goethe Universität, Francfort). Financement : contrat doctoral du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Thèse en cours.

**Martin Simon (2019-2022):** « Étude critique des contraintes d'âges sur le métamorphisme dans les zones de convergence : de l'enfouissement à l'exhumation ». Co-encadrement avec P. Pitra et M. Poujol (Géosciences Rennes). Financement : contrat doctoral du ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Date de soutenance prévue le 10 février 2023.

AUTRES AVANCÉES SIGNIFICATIVES AU COURS DE LA PÉRIODE :

- Mes travaux sur la Norvège m'ont conduit sur d'autres affleurements (dans les Gneiss de l'ouest) où des travaux de pétrologie-géochronologie ont été effectués et permettent, là aussi, de discuter l'interprétation des données de thermobarométrie (Simon et al, 2022).

- Les développements du code thermo-mécanique 2D ont permis de continuer de participer ou de collaborer sur des projets portant sur d'autres problématiques de modélisation à plus grande échelle comme l'initiation de la subduction (Auzemery et al., 2020; 2021; 2022) ou encore la mise en place des ophiolites (Porkolab et al., 2021).

- D'autres projets ont également été menés durant cette période sur la tectonique des lithosphères chaudes en lien avec un projet financé par ORANO (thèse de J. Poh) pour lequel les outils numériques développés (code thermo-mécanique 2D) ont été utilisés et ont permis la publication de 3 articles (Poh et al, 2020; 2021; 2022).

PRIX ET DISTINCTIONS SCIENTIFIQUES OBTENUS AU COURS DE LA PÉRIODE  
(indiquer les dates) :

- Outstanding Publication award of the Geological Society of America Structural Geology and Tectonics division: Octobre 2021
- prix « Heraeus Visiting Professor in Geophysics 2022 » de l'Université Goethe de Frankfurt am Main: Aout 2022

AUTRES OBSERVATIONS :

La pandémie a eu un impact assez fort sur mes activités en 2020 et 2021. Cela a drastiquement limité les échanges scientifiques et collaborations externes ainsi que mes participations aux congrès/workshops. Certaines dépenses (missions de terrain et/ou visites collaboratives notamment) n'ont, de ce fait, pas pu être réalisées. L'université a accepté un report des crédits restant sur l'année 2023.

*Acceptez-vous la mise en ligne de ce document sur le site internet de l'IUF : oui*