

TITRE DU PROJET (limité chacun à 255 caractères) :

Les associations felsiques –(ultra)mafiques du Massif Central varisque : nature et implications pour la construction de la croûte orogénique.

1) Renseignements administratifs sur la direction de thèse¹ (1 page maximum) :

Directeur de thèse HDR :

Nom : WALTER-SIMONNET

Prénom : Anne véronique

Section CNU : 36

Grade : PU

HDR : Date de soutenance 15/12/2008 Discipline : Géologie

L'HDR devra être soutenue, ou sa soutenance autorisée, au moment du dépôt du présent projet.

Coordonnées (adresse, courriel, téléphone) : 16, route de Gray 25030 Besançon, anne-veronique.walter@univ-fcomte.fr ; 06.74.37.97.43

Unité d'appartenance (intitulé, label, n°, directeur) : Chrono-Environnement, UMR6249, Directrice Emilie Gauthier

2) Descriptif du projet de thèse (devra inclure les rubriques suivantes) :

- **nom et label de l'unité de recherche** : Laboratoire Chrono-Environnement UMR 6249 – Thème GEODE

- **localisation** : Campus La Bouloie – UFR ST – UMLP - Besançon

- **nom du directeur de thèse et du co-directeur** : Anne-Véronique Walter-Simonnet (directrice), Antoine Triantafyllou (Co-encadrant)

- **adresse courriel du contact scientifique** : anne-veronique.walter@univ-fcomte.fr

- **titre du projet** : Les associations felsiques –(ultra)mafiques du Massif Central varisque : nature et implications pour la construction de la croûte orogénique.

- **description du projet** (2 pages maximum) :

1. **Contexte scientifique** : Les associations felsiques–(ultra)mafiques regroupées sous le terme de « complexes leptyno-amphiboliques » (CLA) occupent une position structurale clé au sein de la chaîne varisque. Historiquement définis sur des critères lithologiques (association étroite de roches basiques et acides), interprétés comme des marqueurs

¹ **ATTENTION** : selon l'article 16 de l'arrêté du 25 mai 2016, le total d'encadrants ne peut pas dépasser 2, sauf si l'un des encadrants appartient au monde socio-économique, qui peut venir en sus, ou en cas de co-tutelle; Le décompte des co-encadrements se fera au prorata du nombre d'encadrants : 1 pour 1 encadrant, ½ pour deux encadrants.

possibles de la suture médio-varisque et intégrés dans le modèle structural classique défini par l'empilement de nappes tectoniques : Unité Supérieure des Gneiss (USG), Unité Inférieure des Gneiss (UIG) et domaine para-autochtone. La validité du modèle structural classique en nappes (UGU/LGU/para-autochtone) est aujourd'hui discutée, certaines études (e.g. Vanandois et al., 2024) mettent en avant une dynamique orogénique dominée par le fluage crustal et la transpression plutôt que par de grands chevauchements crustaux précoces et la mise en place de nappes. Des travaux récents (e.g. Couzinié et al., 2024) montrent que certaines associations mafiques–felsiques attribuées aux CLA pourraient ne pas correspondre à des reliques d'océanisation cambrienne–ordovicienne, mais à des épisodes magmatiques plus anciens, voire cadomiens. Cette remise en question a des conséquences majeures : si ces associations ne matérialisent pas une suture océanique, alors l'interprétation actuelle de la structure profonde et du découpage tectonique de la croûte varisque pourrait être partiellement erronée.

2. Problématique : Nous identifions plusieurs verrous scientifiques principaux :

- Les assemblages amphibolitiques reflètent-ils uniquement le métamorphisme de lave basiques ? Les modèles dominants attribuent les paragenèses à amphibole au métamorphisme de roches basiques. Toutefois, l'impact de la fusion partielle carbonifère de protolithe felsiques n'a jamais été testé de manière systématique. Nos travaux en cours et résultats préliminaires obtenus dans le secteur de Tournon-sur-Rhône suggèrent que l'anatexie en présence d'eau pourrait être à l'origine (1) de paragenèses amphibolitiques et (2) d'un rubanement type CLA lié à la déformation syn-migmatitique et la ségrégation des liquides silicatés.
- Quelle est la nature pétrogénétique réelle des leptynites : orthogneiss ordoviciens, produits de différenciation magmatique, restes d'anatexie ou unités tectoniquement juxtaposées sans unité génétique ? Leptynites constituent l'un des éléments définitoires des CLA, mais leur nature reste ambiguë. Des âges précambriens ont été obtenus dans certains massifs, tandis que d'autres occurrences montrent des signatures compatibles avec un magmatisme ordovicien extensif. Leur géométrie est fréquemment contrôlée par la déformation, rendant incertaine leur relation primaire avec les amphibolites.
- Les différentes occurrences de CLA correspondent-elles à une entité tectonique unique liée à une suture identifiable, et un processus d'empilement tectonique ou pas ? Les résultats géochronologiques et isotopiques récents démontrent que certaines associations felsiques–mafiques du Lyonnais sont d'âge tardi-édiacarien et liées à un magmatisme d'arc cadomien, excluant leur interprétation comme marqueur du rifting ordovicien ou de la suture médio-varisque.

3. Objectifs : Le projet de thèse vise à :

- Documenter avec précision les relations géométriques des corps mafiques et leptynitiques en distinguant contacts tectoniques, intrusions et relations primaires et en analysant les relations entre déformation, migmatisation et rééquilibrage métamorphique
- Contraindre l'âge des protolithes mafiques et felsiques par géochronologie U-Pb sur zircon (et éventuellement rutile/titanite).
- Déterminer la nature des sources magmatiques (croûte recyclée vs manteau juvénile) via isotopes Hf-Nd.
- Caractériser les conditions P-T-t de l'évolution métamorphique afin d'évaluer l'implication éventuelle dans un contexte de subduction.
- Comparer systématiquement plusieurs occurrences de CLA dans différents domaines structuraux du Massif Central.
- Tester la validité du regroupement tectonique actuel des CLA au sein du modèle USG/UIG/para-autochtone.

4. Approche méthodologique : Le travail combinera : (1) cartographie structurale ciblée et analyse des relations de terrain sur 4 chantiers déjà identifiés au sein du Massif Central, (2) analyse microstructurale, pétrologie quantitative et thermobarométrie, (3) géochimie des éléments majeurs et traces, (4) isotopie Nd-Hf sur roche totale et zircon et (5) datations U-Pb et Rb/Sr in situ (LA-ICP-MS)

Un volet central du projet repose sur une cartographie structurale et lithologique de détail à l'échelle de secteurs de plusieurs dizaines de kilomètres carrés. Les cartes existantes, majoritairement établies dans les années 1970–1980, l'ont été dans un cadre conceptuel où le modèle en nappes était considéré comme acquis et où les CLA constituaient des niveaux repères structuraux.

6. Résultats attendus : Ce projet ambitionne de clarifier la signification géodynamique des associations mafiques–felsiques varisques. Il permettra de repenser la chronologie des apports juvéniles versus recyclés dans la construction de et la dynamique de la croûte orogénique varisque. Nous souhaitons tester la robustesse du modèle structural en nappes (USG/UG/para-autochtone) avec des implications très forte sur la vision actuelle de l'architecture crustale (ex. carte au 1/1000000 du Massif Central Français). En outre, cette meilleure caractérisation de la nature et de l'âge des unités crustales du Massif Central contribuera à affiner les modèles lithosphériques et participera indirectement à l'amélioration des connaissances du sous-sol, enjeu scientifique majeur à l'échelle européenne.

Références :

Couzinié, S., Laurent, O., Bouilhol, P., Chelle-Michou, C., Ganzhorn, A. C., Gardien, V., & Moyen, J. F. (2024). Late Ediacaran juvenile magmatism in the Variscan Monts-du-Lyonnois metamorphic complex (Massif Central, France). *BSGF-Earth Sciences Bulletin*, 195(1), 27.
Vanardois, J., Trap, P., Teyssier, C., & Whitney, D. L. (2024). A reappraisal of nappe structures and strain patterns in the core of the Variscan orogen (French Massif Central). *Tectonics*, 43(10), e2024TC008366.

- Financement du projet – partie Recherche (montants acquis, type de contrat)

Montant de 9000€ acquis (IR P TRAP) pour le début de la thèse. Soumission projet Syster à l'automne 2026.

- Connaissances et compétences requises : Géologie structurale, pétrologie des roches métamorphiques et ignées et géochimie, cartographie et analyse de terrain, modélisation thermodynamique pour construction de diagrammes de phases, connaissance en géochronologie notamment U-Pb sur zircon/monazite.

Résumé en français et anglais (limité chacun à 1800 caractères)

Résumé : Les complexes leptyno-amphiboliques (CLA), associations felsiques–(ultra)mafiques du Massif Central, occupent une position structurale clé dans la chaîne varisque. Interprétés comme marqueurs de la suture médio-varisque et intégrés au modèle classique d'empilement de nappes (USG/UG/para-autochtone), ils sont aujourd'hui au cœur de débats majeurs. Des travaux récents suggèrent que certaines associations mafiques–felsiques pourraient être d'âge tardi-édicariens et liées à un magmatisme cadomien, remettant en cause leur interprétation comme reliques d'un rifting ordovicien ou d'une suture océanique. Par ailleurs, le modèle structural en nappes est désormais discuté au profit d'une dynamique d'orogène chaud dominée par la transpression et le fluage crustal.

Cette thèse vise à revisiter la signification des CLA à travers trois verrous principaux : (1) tester le rôle de la fusion partielle carbonifère dans la genèse des paragenèses amphibolitiques et du rubanement de type CLA ; (2) préciser la nature pétrogénétique des leptynites ; (3) évaluer si les différentes occurrences correspondent à une entité tectonique unique ou à un assemblage polycyclique amalgamé.

Le projet combinera cartographie structurale de détail sur quatre secteurs du Massif Central, analyses microstructurales, pétrologie quantitative, géochimie, isotopie Nd–Hf et datations U–Pb et Rb–Sr in situ. Les résultats permettront de contraindre l'âge et les sources des protolithes, de caractériser les conditions P–T–t et de tester la robustesse du modèle structural actuel. Cette approche intégrée ambitionne de renouveler notre compréhension de la construction crustale varisque et de l'architecture profonde du Massif Central.

Abstract : Leptyno-amphibolic complexes (LACs), felsic–(ultra)mafic associations from the French Massif Central, occupy a key structural position within the Variscan belt. Traditionally interpreted as markers of the Medio-Variscan suture and integrated into the classical nappe stacking model (Upper Gneiss Unit/Lower Gneiss Unit/parautochthon), they are now subject to major reassessment. Recent geochronological and isotopic data indicate that some felsic–mafic associations are Late Ediacaran and related to Cadomian arc magmatism, challenging their interpretation as Ordovician rift products or oceanic suture remnants. In parallel, the nappe model itself is questioned in favor of a hot-orogen framework dominated by crustal flow and transpression.

This PhD project aims to revisit the significance of LACs through three main issues: (1) testing the role of Carboniferous partial melting in generating amphibole-bearing assemblages and CLA-type banding; (2) clarifying the petrogenetic nature of leptynites; and (3) determining whether LAC occurrences represent a single tectonic entity or a polycyclic assemblage amalgamated during orogenesis.

The project will combine detailed structural mapping on four selected areas, microstructural and quantitative petrology, whole-rock geochemistry, Nd–Hf isotopes, and in situ U–Pb and Rb–Sr geochronology. By constraining protolith ages, magma sources and P–T–t paths, this integrated approach will test the robustness of the current structural framework and refine models of crustal growth and reorganization in the Variscan orogen.

Préciser le domaine de compétence dans la liste ci-dessous :

- Terre, univers, espace

Indiquez quelques mots clés concernant votre sujet) :

Orogenèse varisque, Complexes leptyno-amphibolitiques, Associations felsiques–(ultra)mafiques, Dynamique orogénique, Anatexie

3) Renseignements sur la direction de thèse pour chaque personne

Directeur HDR et co-directeur, HDR ou non :

Directrice : Anne-Véronique Walter-Simonnet

▪ **3-1 Cours et carrière (1/2 page)**

Ce descriptif devra inclure les rubriques suivantes :

Nom : WALTER-SIMONNET

Prénom : Anne-Véronique

Age : 62 ans

Facteur h/n (n est le nombre d'années depuis la première publication) : 23/37

Cursus universitaire et carrière

- Depuis 01/09/2025 : Professeure des Universités, Université Marie et Louis Pasteur, UMR 6249 Chrono-Environnement
- 2008 : HDR, Université de Franche-Comté. « Impacts sédimentaires de la présence humaine et des variations climatiques. Exemples d'enregistrements lacustres, fluviaux et estuariens ». Garant HDR : Anne-Marie Karpoff.
- 2002-2025 : Maître de Conférences, Univ. de Franche-Comté devenue Université Marie et Louis Pasteur en 2025, UMR 6249 Chrono-Environnement.
- 2000-2002 : délégation CNRS au Laboratoire de Chrono-Ecologie, UMR 6565, Université de Franche-Comté.
- 1995-2002 : Maître de Conférences, Université de Caen-Basse Normandie, Laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière, UMR 6143.
- 1994-1995 : Attachée Temporaire d'Enseignement et de Recherche, Département de Géologie de l'Université de Caen.
- 1992-1994 : Ingénieur géochimiste (CDD) au Laboratoire de Géochimie du C.E.A., Cadarache.
- 1991 : Doctorat, Université d'Aix-Marseille III. « Caractérisation minéralogique et géochimique de l'altération de la carbonatite de Juquiá (S.P., Brésil) ». Sous la direction de Daniel Nahon et René Flicoteaux.
- 1987 : D.E.A. de Géochimie de la Surface, Université Louis Pasteur de Strasbourg.

▪ 3-2 Publications des 3 dernières années

55-RUFFALDI P., BÉGEOT C., MARIET A.-L., MARTINEAU R., **WALTER-SIMONNET A.V.** – **2025** - 15000 ans d'histoire de la végétation et d'évolution du paysage dans la région des marais de Saint-Gond (Marne, France). *Quaternaire*, 36/3, 123-142 (IF 1).

54-ROBIN V., DUCHAMP L., RUFFALDI P., **WALTER-SIMONNET A.V.**, SCHNITZLER A. - **2024** - L'origine des paysages. In : F. Hein (ed), *Le Pays de Bitche, un territoire en mutation*, Presses Universitaires du Bircherland, Bitche, ISBN 979-10-415-3640-5, pages 53-55.

53-SCHNITZLER A., **WALTER-SIMONNET A.V.**, - **2024** – Les étangs ont une histoire. In : F. Hein (ed), *Le Pays de Bitche, un territoire en mutation*, Presses Universitaires du Bircherland, Bitche, ISBN 979-10-415-3640-5, pages 40-45.

52-ETIENNE D., GEORGES-LEROY M., LAPLAIGE C., **WALTER-SIMONNET A.V.**, RUFFALDI P., DAMBRINE E. - **2023** - Morphometry, distribution and dating of small landforms in North-eastern France. *Quaternaire*, 34/2, 123-134 [<https://doi.org/10.4000/quaternaire.17809>] (IF 0,78).

▪ 3-3 Thèses en cours :

Doctorant :	Année de 1ère inscription	Taux d'encadrement (1, 1/2 ou 1/3) ²	Sujet	Financement :

² Taux d'encadrement = 1/3 est possible dans certains cas (thèse en co-tutelle, encadrant appartient au monde socio-économique, qui peut venir en supplément...)

▪ **3-4 Doctorants ayant soutenu ces 4 dernières années**

(y compris abandons ; noter « abandon » dans la colonne « date de soutenance »):

Doctorant :	Date 1ère inscription	Date de soutenance	Nombre de publications issues de la thèse (donner une référence)	Devenir :
.....				...

Co-Directeur : Antoine Triantafyllou

▪ **3-1 Cursus et carrière (1/2 page)**

Ce descriptif devra inclure les rubriques suivantes :

Nom : TRIANTAFYLLOU

Prénom : Antoine

Age : 37

Facteur h/n (n est le nombre d'années depuis la première publication) : 19/10

Cursus universitaire et carrière

- 2020 – aujourd'hui : Maître de Conférence à l'UCBL, OSUL, Laboratoire de Géologie de Lyon : Terre, planètes, environnement (CNRS UMR 5276) – ENS de Lyon.
- 2019-2020 : Chercheur postdoctoral FNRS au Laboratoire de Pétrologie, Géochimie et Pétrophysique (ULiège, Belgique). Projet de recherche: 'The PROBARC project: PROBing the ARC sponge and deep chemical fluxes'.
- 2019 : Chercheur postdoctoral au Geosciences Department (University of Arizona, Tucson, USA). Projet de recherche : 'The ARC-ROOT project: Physical and Chemical filter of Magmatic Fluxes at arc roots'.
- 2018-2019 : Chercheur postdoctoral au GTime laboratory (University of Brussels, Belgique). Projet de recherche: 'Tracking Volatiles (C-O-S-H-Cl-F), Major and Trace elements contents of Primary Magma in Bonin Fore-Arc (Western Pacific)'.
- 2018 : Chercheur postdoctoral au Laboratoire de Planétologie et de Géodynamique (LPG) (Nantes, France). Projet de recherche: 'Investigating the tempo and chemical signature of arc magmatic activity in the Neoproterozoic arc remnant (Morocco)'.
- 2016-2018 : Assistant Temporaire d'Enseignement et de Recherche à l'Université de Nantes et au LPG.
- 2011-2012 : Assistant de Recherche au Département de Géologie Fondamentale et Appliquée – Génie minier, Université de Mons (Belgique).

- *Lauréat du prix Van Ertborn, Early Career Scientist (Royal Science Academy de Belgique, 2020) et du Prix Ami Boué (Société Géologique de France, 2017).*

▪ **3-2 Publications des 3 dernières années**

(A.35) E. Calassou, **A. Triantafyllou**, D. Bosch, O. Bruguier, J. El Kabouri, J. Berger, Ch. Da Ponte, B. Debret, L. Fang, A. Margirier, C. Fellah, V. Gardien, G. Maheo (under revision). Magmatic Arc Tectonics Trigger Neoproterozoic Banded Iron Formations: Insights from the Anti-Atlas BIFs, Morocco. *Accepted for publication in Gondwana Research*. (Q1)

(A34) J. El Kabouri, **A. Triantafyllou**, A. Zouicha, S. Belkacim, F. Caxito, E. Calassou (2026, in press), Ediacaran Ocean Oxygenation Driven by Cadomian Erosion. *Accepted for publication in Gondwana Research*. (Q1)

(A33) K. Regnier, **A. Triantafyllou**, J-P. Perrillat, Ch. Langohr, G. Montagnacc, C. Fellah, J. Bascou, A-C. Da Silva, (2026, in press) From Blue to Red: First Evidence of Heat Treatment in the Production of Minoan Serpentinite Vases through Non-Destructive Study and Experimental Petrology. *Journal of Archaeological Sciences: Report*. (Q1)

(A32) N. Mattielli, S. Clerbois, **A. Triantafyllou**, H-L. Guillaume, G. G. Laruelle, G. Brkojewitsch, N. Paridaens, N. Authom, C. Coquelet (2026). Exploitation of the Granite from the Lavezzi Islands (Southern Corsica) in Roman Times: Archaeological and Geological Investigation. *Proceedings of the ASMOSIA XIII*, p. 133-148(Q1)

E. (A31) El Kabouri, J., **Triantafyllou, A.**, Errami, E., Belkacim, S., Calassou, E., Zouicha, A., & Linnemann, U. (2025). Revising the lithostratigraphic framework of the Ediacaran succession of the Anti-Atlas belt: correlation across the Cadomian domain of the West African Craton. *Journal of African Earth Sciences*, 105696. (Q1)

(A30) Jepson, G., Carrapa, B., Jones, S., Kohn, B. P., Gleadow, A. J., George, S. W., & **Triantafyllou, A.** (2025). An assessment of monazite fission-track thermochronology as a proxy for low-magnitude cooling, Catalina-Rincon Metamorphic Core Complex, AZ, USA. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 26(4), e2024GC011881. (Q1)

(A29) Da Silva, A. C., **Triantafyllou, A.**, & Delmelle, N. (2023). Portable x-ray fluorescence calibrations: Workflow and guidelines for optimizing the analysis of geological samples. *Chemical Geology*, 623, 121395. (Q1)

(A28) A. Barla, **A. Triantafyllou**, M. N. Ducea, G. Jepson, B. McClelland, N. Giesler, G. Gehrels (2023) A systematic evaluation of titanite reference materials for optimizing trace element and U-Pb analysis by LA-ICP-MS. *Chemical Geology*, 636, 121635. (Q1)

(A27) El Kabouri, J., Errami, E., Becker-Kerber, B., Ennih, N., Linnemann, U., Fellah, C., & **Triantafyllou, A.** (2023). Ediacaran biota from Ougnat Massif (Eastern Anti-Atlas, Morocco): Paleoenvironmental and stratigraphic constraints. *Journal of African Earth Sciences*, 104806. (Q1)

▪ **3-3 Thèses en cours :**

Doctorant :	Année de 1ère inscription	Taux d'encadrement (1, 1/2 ou 1/3)³	Sujet	Financement :
CALASSOU Emma	2023	1/2	Interactions between arc evolution and ocean oxygenation during Neoproterozoic: a coupled approach between detrital zircons and Banded Iron Formations	Projet SENS – UCBL - Pulsation
DA PONTE Charlotte	2025	1/2	Tracer l'évolution géochimique des Océans à l'aide des Formations de Fer Rubanées (Banded Iron Formations)	Financement : ANRJCJC – projet OCEANIF
REGNIER Killian	2023	1/3	Se procurer la pierre en Crète à l'âge du Bronze (IIIe – IIe millénaires av. n. è.) : caractérisation et étude de provenance multi-paramètres des artefacts ophiolitiques en Crète minoenne.	FNRS (Belgian CNRS)

³ Taux d'encadrement = 1/3 est possible dans certains cas (thèse en co-tutelle, encadrant appartient au monde socio-économique, qui peut venir en supplément...)

- **3-4 Doctorants ayant soutenu ces 4 dernières années**
(y compris abandons ; noter « abandon » dans la colonne « date de soutenance »):

Doctorant :	Date 1ère inscription	Date de soutenance	Nombre de publications issues de la thèse (donner une référence)	Devenir :

4 VISA du Directeur d'Unité

Visa du Directeur d'Unité (obligatoire) :

Je soussigné(e) Emilie Gauthier., Directeur(trice) du Laboratoire Chrono-environnement, transmets à l'ED E-S le présent projet, après sa sélection par le laboratoire.

Remarques éventuelles :

Date : 11/03/2026

Signature :



Emilie GAUTHIER
Directrice
UMR 6249 CNRS - UMLP
Chrono-environnement

Rappel : L'ED E-S a, dans son règlement intérieur, listé les critères permettant de guider le choix parmi les projets déposés. Ces critères sont les suivants :

- **Qualités d'encadrement du porteur de projet HDR (flux de thèses, durée des thèses, publications des doctorants, devenir des docteurs, etc...)**
- **Qualité scientifique du porteur de projet HDR**
- **Le(s) financement(s) nécessaire(s) au fonctionnement du projet doivent être acquis.**
- **Qualité scientifique du projet**
- **Priorité aux « jeunes » HDR ou aux professeurs « extérieurs » nouvellement recrutés**

Le Conseil de l'ED E-S contrôlera les sujets déposés, et pourra ne pas retenir des propositions de sujets si les critères ci-dessus ne sont pas satisfaits, et si les critères suivants ne sont pas respectés :

- **Le taux d'encadrement **AU MOMENT DU DEPOT DU PROJET** du directeur HDR ou du co-directeur, ne doit pas dépasser la limite demandée par l'ED, en incluant la future thèse (rappel : la limite est fixée à 2 encadrements pleins, ou 4 ½ co-encadrements)**
- **Le directeur HDR ou le co-directeur ne doivent pas avoir obtenu de financement « contrat doctoral » ou « contrat régional financé à 100% » (ex : ICE ; Bourse régionale 100%) dans les deux années précédant celle du concours.(pour 2026 : 2024 et 2025)**

Ce projet doit être transmis électroniquement par le DU après sa signature à
Christelle CAILLOT (christelle.caillot@ube.fr) avant le 6 mars 2026 – midi

Ne pas changer le format « .doc »...

PAS DE PDF.

Merci
