



# ÉCOLE DOCTORALE

SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'ENVIRONNEMENT  
ET PHYSIQUE DE L'UNIVERS, PARIS

---

**Titre du sujet : La zone de supra-subduction Ionienne (Péloponnèse, Grèce) : entre déformation actuelle et géodynamique post-alpine.**

Directeur (trice) :

**PUBELLIER Manuel, DR, manupub.pubellier@gmail.com**

Co-directeur (trice) / Co-encadrant(e) : *choisir éventuellement un.e co-directeur.trice avec HDR ou un.e coencadrant.e sans HDR supprimer les mots inutiles et ceux en italique*

**BRIOLE Pierre, DR, briole@ens.fr**

Equipe d'accueil : *à préciser et supprimer la ligne inutile*

**ENS- Laboratoire de Géologie de l'ENS- UMR 8538**

Financement : **Contrat doctoral ENS**

---

**Développement du sujet :** (Maximum 2 pages)

# La zone de supra-subduction Ionienne (Péloponnèse, Grèce) : entre déformation actuelle et géodynamique post-alpine.

Projet de thèse au Laboratoire de Géologie de l'ENS Paris,  
encadrée par Manuel Pubellier et Pierre Briole

8 mars 2021

Simon BUFFÉRAL

## Objectifs

- Caractériser la cinématique active dans la plaque supérieure d'une subduction pour quantifier la déformation au sein et aux limites d'une telle zone.
- Comparer les déformations géologiques néogènes à la dynamique actuelle pour approcher les changements de forces aux limites au cours de cette période.
- Apporter des éléments aux études d'aléa, en termes de dénombrement, cartographie et caractérisation des failles actives.

## 1 Questions de recherche

### 1.1 Introduction / contexte

En zone de subduction, la lithosphère chevauchante est généralement le lieu d'une tectonique particulièrement active et variée, comprenant entre autres une potentielle extension d'arrière-arc, le partitionnement de déformations obliques et/ou de rapides mouvements verticaux, comme c'est le cas au sein du bloc de la Sonde en Asie du SE.

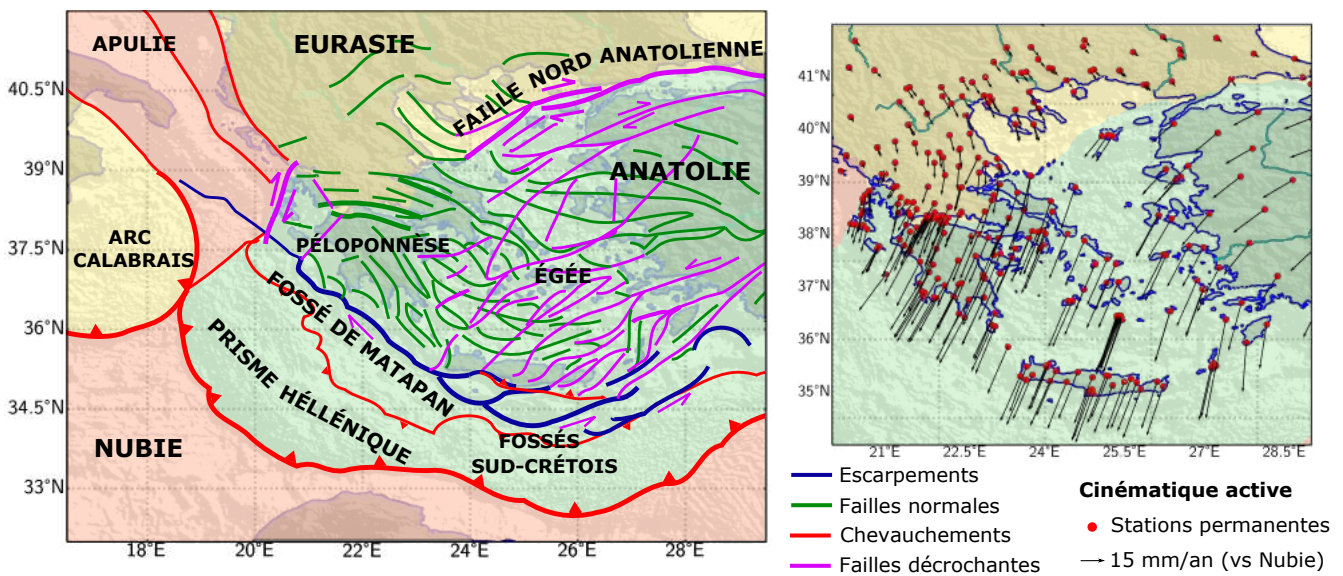


FIGURE 1: Carte géodynamique du domaine égéen montrant les principales structures actives  
*Champ de vitesse actuel d'après [3]; failles modifiées d'après [8]*

Parmi ces contextes dits de supra-subduction, le sud de la Grèce n'est pas en reste : bassins extensifs, décrochements d'échelle lithosphérique, prismes d'accrétion et tectonique verticale s'y côtoient activement. La cinématique actuelle y est rapide, avec une extrusion de la plaque anatolienne à une vitesse de l'ordre de 30 mm.an-1 (Fig. 1), contribuant à faire de cette région l'une des plus sismiques d'Europe.

Ces éléments viennent en surimposition d'un paysage géologique déjà fortement contraint par la structuration des nappes alpines, l'hyper-amincissement du domaine égéen, de nombreuses failles normales et une intense tectonique salifère.

## 1.2 Une déformation active

Si le système de fossés actifs sud-crétois s'exprime avant tout par des séismes en transpression, le fossé de Matapan, au sud-ouest du Péloponnèse, est le siège de nombreux séismes aux mécanismes au foyer en extension. Cette tectonique extensive, confirmée par la morphologie en blocs basculés et la présence de loupes de failles normales en cuillère [1], est cohérente avec les vitesses GNSS [2] qui montrent une extension est-ouest depuis le sud-ouest du Péloponnèse jusqu'à l'est de la Crète.

Cette configuration soulève la question de la compétition entre forces de volume et forces aux limites dans l'évolution de la topographie à l'aplomb d'une frontière convergente. En effet, l'escarpement de Matapan, de plus de 3 km de dénivelé, borde un profond bassin flexural, suggérant la présence d'une rampe d'échelle crustale entre le panneau plongeant flexuré et un butoir crustal épaissi, particulièrement à même de s'effondrer (Fig. 2).

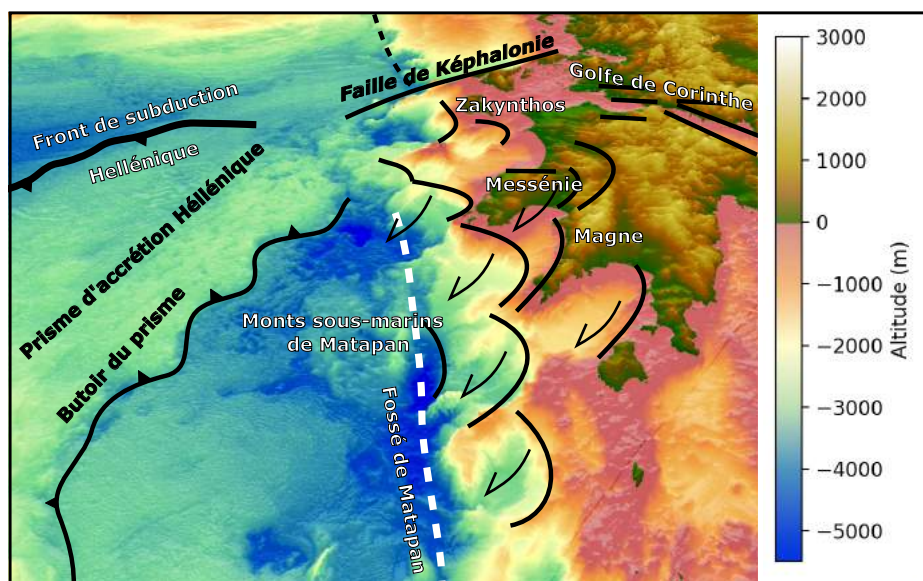


FIGURE 2: Hypothèse de travail : indices morphologiques de tectonique gravitaire au fossé de Matapan Vue oblique vers le NW, exagération verticale  $\times 5$

La surrection Néogène du Péloponnèse, signalée par de nombreuses terrasses marines et éventails alluviaux surélevés [4], pourrait également contribuer à cette dynamique. Cette dernière pourrait ainsi trouver son origine dans des changements de paramètres de subduction (pendage, vitesse), voire le sous-plaquage d'aspérités du panneau plongeant. En effet, la lithosphère est généralement soulevée à l'aplomb de ces aspérités tandis qu'elle s'effondre gravitairement dans leur sillage.

Pour clarifier le rôle de cette tectonique gravitaire, la remesure de points de campagnes GNSS, associée à l'étude des données sismologiques, permettra de préciser les directions et vitesses d'extension au sein du Péloponnèse et de

1. Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites

comprendre dans quelle mesure et à quels endroits la déformation se localise. Cela permettra de mieux interpréter cette déformation, à la fois géologiquement et du point de vue de son aléa. La réévaluation des vitesses géodésiques verticales permettra également de discuter la persistance actuelle de la surrection Néogène.

### 1.3 Des déformations finies ne reflétant pas le contexte cinématique actuel

Les modèles dynamiques régionaux existants [5, 9] sont encore considérablement dissemblables, et l'importance des résidus vis-à-vis du champ cinématique actuel témoigne d'une difficulté à expliquer les détails de cette dynamique au sein du Péloponnèse. Ce champ cinématique se révèle par ailleurs difficile à réconcilier avec les observations sismologiques et la cinématique finie. Une meilleure compréhension de la dynamique du Péloponnèse pourrait ainsi permettre de discriminer les effets de l'extrusion anatolienne par rapport à ceux du recul du panneau plongeant Hellénique.

En effet, l'étude morphologique du Péloponnèse révèle une grande variété de structures extensives post-alpines, telles qu'une tectonique gravitaire d'échelle crustale, des failles normales nord-sud et est-ouest, et des faisceaux de fissures, interconnectées avec de grands plis de socle (Fig. 3). Si certaines structures récentes (par exemple le Golfe de Corinthe) peuvent s'expliquer au vu de la cinématique actuelle, d'autres apparaissent difficilement compatibles avec les observations géodésiques et sismologiques, voire parfois contradictoires entre elles, suggérant un certain nombre de modifications des forces aux limites depuis l'Oligocène.

Différents changements géodynamiques au Néogène ont pu concourir à cette évolution, tels que la fin de la progression des nappes alpines, le recul du slab Hellénique, le début de l'extrusion anatolienne, la rotation horaire du Péloponnèse, la migration et rotation de l'Apulie, la subduction (oblique) d'aspérités, ou un éventuel déchirement du panneau plongeant [6].

L'étude morphologique des structures présentes permettra d'affiner les datations relatives des processus en jeu, donc les liens causaux existant entre eux ou avec des perturbations plus larges. Cette étude apportera également de nouveaux éléments aux interrogations sur l'héritage géologique dans la région, pouvant notamment se manifester par la réactivation des failles préexistantes, une interférence des directions de plis, des interactions plis-failles ou le recoupement des directions alpines.

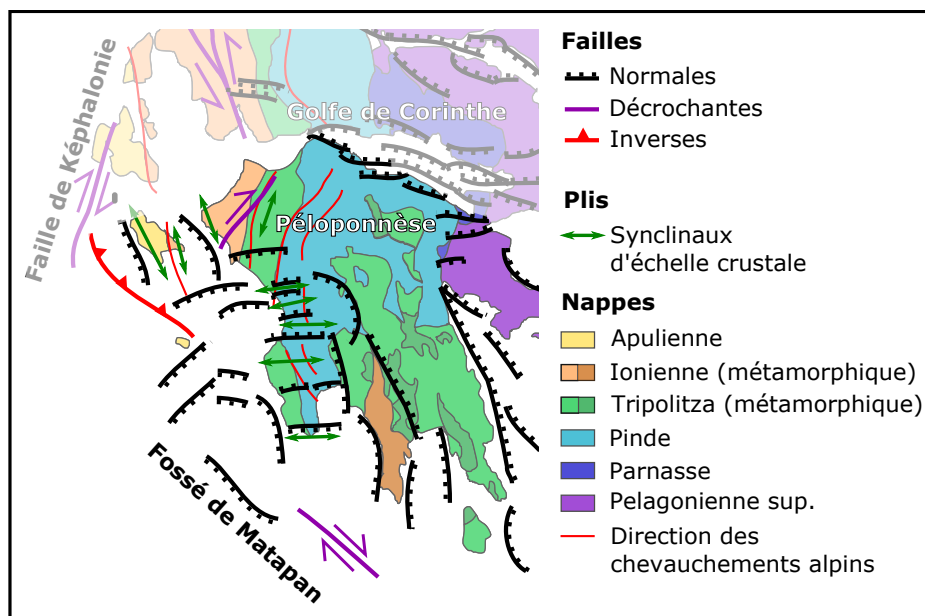


FIGURE 3: Schéma structural simplifié du Péloponnèse. Carte géologique d'après [10]; failles d'après les observations morphologiques, sismologiques et cinématiques préliminaires

## 1.4 Contribution de la thèse à l'évaluation de l'aléa sismique et tsunami

Les multiples contextes géodynamiques décrits ici sont pour la plupart sismogènes : environ 150 séismes de magnitude  $M_w \geq 6.5$  se sont produits en Grèce depuis l'an 1800, dont 44 ont été suivis par des tsunamis d'une amplitude non négligeable, et deux séismes historiques ont dépassé une magnitude  $M_w \sim 8.0$  (notamment à l'ouest de la Crète en 365 AD), dont le potentiel retour appelle à une meilleure connaissance des paramètres de la subduction.

Cette étude aidera à mieux comprendre la survenue d'un certain nombre de ces séismes, ayant pu surprendre par leur localisation ou leur nature, tels que le séisme de Patras en 2008, en décrochement pur et sans faille en surface, ou celui de Zakynthos en 2018, également en décrochement pur et sur une faille très peu pentée. En apportant une meilleure connaissance de la taille et de la localisation des failles, de leur taux de couplage, du temps de récurrence des séismes, et de leur potentiel tsunamigène, elle aura des répercussions concrètes sur l'évaluation de l'aléa sismique et tsunami dans la région.

## 2 Méthode

Cette thèse se propose d'aborder la question de la géodynamique du Péloponnèse depuis l'observation, l'acquisition et/ou la compilation de données jusqu'à leur traitement, leur modélisation et leur interprétation, afin de mieux maîtriser l'élaboration des modèles géodynamiques associés, et d'en cerner les limites.

En assimilant ces différentes disciplines pour aller au-delà de leurs restrictions individuelles et de leurs potentiels désaccords, je propose ici une approche synthétique d'un processus géodynamique.

- **Géodésie** : remesure de points de campagne GNSS observés au début des années 2000, pour densifier le champ de vitesse actuellement disponible (basé sur 5 à 10 ans de données acquises à un nombre limité de stations permanentes) ; calcul des vitesses le long de coupes cinématiques à travers le Péloponnèse ; utilisation locale de séries temporelles d'imagerie radar pour localiser la déformation à l'échelle de failles ciblées et quantifier les mouvements relatifs ; production d'un modèle cinématique pour le Péloponnèse, et d'un modèle dynamique du champ de contraintes actuelles associé [7].
- **Sismologie** : à partir des catalogues existants, utilisation de la localisation des essaims sismiques et des mécanismes au foyer des magnitudes  $M_w \geq 3.5$  pour identifier et caractériser les failles actives ; association des séismes historiques à ces failles pour estimer la déformation accommodée aux grandes échelles de temps.
- **Géologie / analyse morpho-structurale** : cartographie préalable sur modèles numériques de terrain (TanDEM-X ou équivalent) et imagerie optique (Pléiades...) des structures visibles ; missions de terrain pour mener des études morpho-structurales de systèmes tectoniques ciblés et en déterminer la vergence, l'ampleur et les âges relatifs ; compilation des âges des terrasses marines et discussion des vitesses verticales ; collection et réinterprétation des mesures tectoniques existantes [2] ; étude morphologique et gravimétrique du prolongement en mer des principales structures ; cartographie structurale de zones d'intérêt (à sélectionner) et production d'un schéma structural synthétique à l'échelle du Péloponnèse à l'aide de qGIS, Illustrator et Agisoft ; intégration dans un contexte géodynamique régional [10].
- **Modélisation et aléa** : réalisation d'un modèle numérique de déformation crustale (programme ADELI ou équivalent), combinant observations structurales et sismologiques et champ de déformation géodésique ; estimation des magnitudes possibles sur les principales failles sismogènes identifiées ; estimation des temps de récurrence des séismes et des zones touchées par cet aléa.

## 3 Environnement de recherche

Ce projet porte sur une région déjà très documentée, pour laquelle l'existence d'observations, de publications et de modèles donne les meilleures chances de faire encore progresser sa compréhension par une approche pluridisciplinaire.

Cette dernière implique un dialogue permanent avec des chercheurs spécialistes des différents domaines abordés. Dans ce contexte, le Laboratoire de Géologie de l'ENS Paris propose une équipe de chercheurs et doctorants de profils variés, disponibles et intéressés par les questions de cette thèse, et de la géodynamique de la Méditerranée en général.

Outre Manuel Pubellier, qui encadrera les missions de terrain et les analyses géologiques et morphologiques, et Pierre Briole, dont les recherches en géodésie font référence dans la région ; Hélène Lyon-Caen sera disponible pour discuter les données sismologiques ; Javier Escartin la tectonique et la sismicité marine ; Nicolas Chamot-Rooke la géodynamique ; Alexis Rigo la déformation localisée ; Jean-Arthur Olive la modélisation des failles ; Matthias Delescluse la géophysique marine ; Mathieu Rodriguez la tectonique régionale, et Luce Fleitout la gravimétrie et la modélisation mécanique de la déformation.

L'investissement de cette équipe, notamment de Pierre Briole, dans le Corinthe Rift Lab (CRL), est un atout important en termes de connaissance du terrain, d'accès aux données géodésiques et sismologiques, et de liens académiques et institutionnels en Grèce.

Pour la modélisation de la déformation crustale, un séjour de quelques mois est prévu à l'Université de Montpellier, afin de discuter avec des scientifiques intéressés par la géodynamique de la Méditerranée et spécialistes en géologie et rhéologie (notamment Frédéric Gueydan, Christel Tibéri, Fanny Garel et Jean Chéry).

## 4 Perspectives / collaborations

Ce travail, qui peut être vu comme un prolongement vers l'ouest de la thèse récemment soutenue à l'Université de Montpellier par Agathe Faucher (déformation en Eubée-Attique), pourra venir en support d'une possible re-soumission par l'équipe de Montpellier de son projet d'ANR TOAST (initialement soumis en 2018 et associant déjà l'équipe de l'ENS). Ce projet TOAST vise à comprendre les liens entre la tectonique verticale en Grèce et un potentiel déchirement du panneau plongeant Hellénique.

Cette thèse alimentera également la réflexion dans le cadre du projet West Hellenic Arc Tsunami (WHATsun), associant l'ENS, le CEA et des collaborateurs grecs autour de la question de l'aléa tsunami en Grèce. Je pourrai notamment simuler les tsunamis générés par de potentielles ruptures sur les principales failles identifiées au cours de ma thèse, à l'aide du programme TAITOKO, développé par le CEA, sur lequel j'ai pu travailler dans ce cadre.

De plus, la configuration de cette région revêt un intérêt pédagogique certain pour l'enseignement de la géologie dans le secondaire et les classes préparatoires. Titulaire de l'agrégation, je souhaite produire des schémas simplifiés qui pourront servir de supports aux enseignants pour leurs cours sur la géodynamique de subduction.

## 5 Bibliographie

- [1] Andronikidis et al. (2018). Deformation patterns in the southwestern part of the Mediterranean Ridge (South Matakpan Trench, Western Greece). *Marine Geophysical Research*, 39(4) :475–490.
- [2] Angelier (1978). Tectonic evolution of the Hellenic Arc since the late Miocene. *Tectonophysics*, 49 :23–36.
- [3] Briole et al. (2021). The GPS velocity field of the Aegean. New observations, contribution of the earthquakes, crustal blocks model. *Geophysical Journal International*, in review.
- [4] de Gelder et al. (2019). Lithospheric flexure and rheology determined by climate cycle markers in the Corinth Rift. *Scientific Reports*, 9 :4260.
- [5] England et al. (2016). Constraints from GPS measurements on the dynamics of deformation in Anatolia and the Aegean. *American Geophysical Union*.
- [6] Jolivet et al. (2013). Aegean tectonics : Strain localisation, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597 :1–33.
- [7] Kapetanidis and Kassaras (2019). Contemporary crustal stress of the Greek region deduced from earthquake focal mechanisms. *Journal of Geodynamics*, 123 :55–82.
- [8] Sakellariou, D. and Tsampouraki-Kraounaki, K. (2019). Chapter 14 - plio-quadernary extension and strike-slip tectonics in the aegean. In Duarte, J. C., editor, *Transform Plate Boundaries and Fracture Zones*, pages 339–374. Elsevier.
- [9] Sternai, P., Jolivet, L., Menant, A., and Gerya, T. (2014). Driving the upper plate surface deformation by slab rollback and mantle flow. *Earth and Planetary Science Letters*, 405 :110–118.
- [10] van Hinsbergen et al. (2020). Orogenic architecture of the Mediterranean region and kinematic reconstruction of its tectonic evolution since the Triassic. *Gondwana Research*, 81 :79–229.