

POST-DOCTORANT

Temps 100 %;

Projet **FAILLES**: Finding **AI** solutions to decipher Large fault networks in Earth Surface images

Description de l'employeur

Université Côte d'Azur est un grand Établissement Public à Caractère Scientifique Culturel et Professionnel dont les missions fondamentales sont la Formation des étudiant·e·s et des professionnel·le·s, une Recherche d'excellence et une Innovation au service de tous et toutes. Depuis le 1er janvier 2020, cet établissement public expérimental vise à développer le modèle du 21^{ème} siècle pour les universités françaises, basé sur de nouvelles interactions entre les disciplines (pluridisciplinarité et transdisciplinarité), avec une volonté de dynamique collective articulant Formation-Recherche-Innovation, ainsi que de solides partenariats locaux, nationaux et internationaux avec les secteurs public et privé.

Lauréate depuis 2016 de l'Initiative d'Excellence (IDEX) avec « UCA Jedi », du projet 3IA (institut interdisciplinaire pour l'intelligence artificielle) en 2019, d'un projet d'écoles universitaires de recherche (EUR), Université Côte d'Azur est engagée dans une trajectoire de transformation et d'excellence, qui vise à lui donner le rang d'une grande université intensive en recherche à la fois ancrée dans son territoire et tournée vers l'international. Université Côte d'Azur emploie directement plus de 3 000 personnels et accueille chaque année une population de plus de 30 000 étudiant·e·s.

Université Côte d'Azur se compose de différents sites situés principalement à Nice, Sophia Antipolis et Cannes mais largement répartis entre la Seyne-sur-Mer et Menton. Elle bénéficie ainsi d'une situation géographique privilégiée entre mer et montagne offrant un cadre de vie agréable pour ses personnels et étudiant·e·s. Sa localisation au cœur de l'Europe associée à la facilité d'accès de l'Aéroport International Nice Côte d'Azur lui permet d'être une porte ouverte sur le monde académique et scientifique.

Le centre Inria de Sophia Antipolis (<https://www.inria.fr/fr/centre-inria-universite-cote-azur>) et l'Observatoire de la Côte d'Azur (<https://www.oca.eu/fr/>) sont membres d'Université Côte d'Azur.

En savoir plus sur « [Travailler à Université Côte d'Azur](#) »

Le/la post-doctorant(e) est recruté(e) par Université Côte d'Azur, mais effectuera son travail dans le laboratoire partenaire IRISA de l'Université Bretagne Sud (détails ci-dessous).

Descriptif de l'emploi

Contexte général du projet

Le travail proposé s'inscrit dans un vaste projet intitulé Intelligent_Mapping, lui-même inscrit dans le projet PEPR Risques IRIMA financé en 2024 par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) dans le cadre du programme national PIA4 France 2030 (voir <https://www.pepr-risques.fr/fr/programme-de-recherche-risques-irima>). IRIMA est piloté par le CNRS, l'Université Grenoble Alpes et le BRGM, et vise à structurer et renforcer la science des aléas et des risques en France. Intelligent_Mapping est une composante d'IRIMA, soutenue et hébergée par Université Côte d'Azur (Responsable : Isabelle Manighetti, Géoazur ; co-responsable : Elena Di Bernardino, LJAD). Plus spécifiquement, Intelligent_Mapping est intégré au Consortium « Plateformes » porté par le BRGM. L'objectif principal d'Intelligent_Mapping est de développer des algorithmes d'Intelligence Artificielle (IA) capables d'identifier, cartographier et mesurer dans des images aériennes et satellitaires de la Terre, les aléas et risques naturels et socio-environnementaux étudiés dans IRIMA (tremblements de terre, tsunamis, éruptions volcaniques, glissements de terrain, avalanches, inondations, incendies de forêt, zones végétalisées détruites, érosion et modifications des zones littorales, etc.) Le travail de post-doctorat FAILLES se concentre sur l'un des objectifs d'Intelligent_Mapping : le développement d'algorithmes d'IA pour identifier et cartographier, dans les images de la Terre, les réseaux de failles à l'origine des tremblements de terre dévastateurs qui nous affectent.

Sujet et challenges

Les fractures et les failles sont très répandues dans la croûte terrestre et sont associées à des risques telluriques, notamment les séismes, la sismicité induite, les glissements de terrain, la fracturation des réservoirs rocheux, entre autres. Alors que les fractures sont généralement de petite taille, peu profondes et planes, les failles couvrent une large gamme d'échelles de longueur (10^{-6} à 10^3 km) et de largeur en profondeur (1 à 10^2 km), et présentent une architecture 3D complexe (e.g., Giampietro et al., 2025). À toutes les échelles, les failles forment des réseaux denses (aussi appelés zones de failles) comprenant une faille principale et une myriade de fractures et de failles secondaires qui dissèquent intensément la roche autour de la faille principale. Qu'il s'agisse d'une faille principale ou secondaire, la faille est rarement plane mais se compose plutôt de sections déconnectées. Entre autres, la complexité géométrique des failles et des zones de failles a un impact important sur le comportement de la rupture sismique de ces failles : elle contrôle en partie le déclenchement et l'arrêt de la rupture, et donc l'étendue de celle-ci, mais aussi l'amplitude des déplacements et des accélérations du sol, et donc la magnitude du séisme et son potentiel de dommages (e.g., Manighetti et al., 2007 ; Radiguet et al., 2009). Une quantification précise de la géométrie et de l'architecture des failles est donc d'une importance capitale pour mieux comprendre et anticiper les risques sismiques.

La plupart des plans de faille coupent la surface du sol, où ils forment généralement des traces nettes, laissant souvent une empreinte dans la topographie. Ces traces en surface fournissent des informations précieuses sur l'architecture de la zone de faille en profondeur. C'est pourquoi un volume considérable d'observations de failles a été réalisé à la surface du sol au cours du siècle dernier et traduit en cartes 2D reproduisant les traces de failles en surface. Au cours des dernières décennies, l'augmentation rapide du volume de données satellitaires et d'autres données de

télé-détection a grandement facilité la cartographie des traces de failles. La cartographie est généralement effectuée manuellement : l'expert identifie visuellement les traces de fractures et de failles dans les images de télé-détection et les données topographiques, puis reproduit ces traces sous forme de lignes tracées à la main dans un environnement de système d'information géographique (SIG). Ces environnements permettent d'étiqueter de diverses manières les attributs des failles, tels que l'épaisseur des traces, l'importance hiérarchique, les interruptions, les connexions et le mode de glissement, tandis que le niveau de confiance de l'expert dans la reconnaissance des failles peut être évalué qualitativement. Cependant, la cartographie manuelle est extrêmement chronophage, et l'expertise nécessaire n'est pas toujours disponible, ce qui empêche l'analyse de vastes zones de failles à haute résolution et limite considérablement le nombre de cartes de failles précises disponibles.

Récemment, plusieurs approches ont été mises au point pour tenter d'automatiser la cartographie des failles et des fractures à partir de données de télé-détection (Mattéo et al., 2021 ; Esmacili et al., 2025). L'apprentissage profond a été utilisé pour réaliser cette cartographie à partir de données provenant de drones (Batista et al., 2025 ; Chudasama et al., 2024 ; Lambert et al., 2025) ou d'images satellitaires (Mattéo et al., 2021), tant à très haute résolution (Choi et al., 2023 ; Pousse-Beltran et al., 2025) qu'à haute résolution (Gannouni et al., 2025). Le développement de ces nouveaux modèles d'IA est soutenu par la mise à disposition de jeux de données publics (Yaqoob et al., 2024). Dans un contexte plus large, la détection des fissures a fait l'objet de nombreuses études et, depuis certaines tentatives préliminaires telles que DeepCrack (Liu et al., 2019), de nombreuses méthodes utilisant l'apprentissage profond ont été développées (Gupta & Dixit, 2022 ; Pandey & Mishra, 2025). Bien que ces méthodes ne soient pas spécifiquement adaptées aux failles et fractures de la Terre, elles fournissent une bibliographie riche et un ensemble de références pour le projet.

Cependant, aucune des approches existantes ne s'est jusqu'à présent révélée pleinement satisfaisante. Cela s'explique principalement par la grande complexité des traces de failles et des réseaux qu'elles forment à grande échelle : chaque trace de faille est un mélange de sections sublinéaires et curvilignes ; ces sections peuvent être entièrement connectées ou déconnectées ; les traces de failles peuvent se croiser, parfois en se ramifiant les unes vers les autres, parfois en s'interrompant mutuellement. De plus, ces caractéristiques se manifestent différemment selon l'échelle à laquelle les traces de failles sont analysées : alors qu'une trace de faille peut paraître continue et simple à une échelle donnée, elle se révèle très segmentée et complexe à une échelle plus petite. Enfin, bien que les réseaux de failles aient une organisation complexe, il a été démontré que certaines lois d'échelle contrôlent en partie cette organisation, ce qui suggère que certains principes physiques sous-tendent les motifs des réseaux de failles (e.g., Perrin et al., 2016).

Objectifs scientifiques et méthodologies proposées

Le projet FAILLES vise à développer des algorithmes d'IA innovants capables de détecter et de cartographier les traces de fractures et de failles dans diverses images optiques, ainsi que de restituer leurs motifs naturels, leurs dispositions et leurs interrelations. Il s'appuiera sur les nombreuses données d'images et les cartes de failles de référence disponibles au sein du laboratoire Géoazur. Il s'appuiera sur l'expertise de l'équipe OBELIX dans le domaine de l'AI4EO (Artificial Intelligence for Earth Observation), en se concentrant sur deux méthodologies principales.

1. Modèles Fondation

Les modèles Fondation représentent une avancée majeure en IA, à l'instar du passage de l'apprentissage automatique traditionnel à l'apprentissage profond. De nombreux modèles sont désormais disponibles dans le domaine de l'observation de la Terre et peuvent être utilisés pour intégrer des données de télé-détection dans des espaces latents appropriés (Xiao et al., 2025). Le défi ne consiste plus à extraire les caractéristiques saillantes des images, mais à prédire le réseau de failles à partir des intégrations du modèle. Nous nous concentrerons donc sur la conception d'une tête d'extraction de failles pouvant être intégrée aux modèles de base géospatiaux existants. Pour

ce faire, nous prévoyons de nous appuyer sur nos travaux antérieurs sur les contours actifs profonds et sur le modèle COBRA (Heidler et al., 2023), conçu pour extraire un front de vêlage à partir d'images satellite. Bien que ce modèle soit prometteur, il se limite à un seul contour et repose sur un encodeur simple. Une approche possible consistera donc à étendre ce modèle pour qu'il puisse cartographier plusieurs contours et traiter des données à différentes résolutions. Nous pourrions également nous appuyer sur d'autres méthodes récentes telles que PolySnake (Feng et al., 2024) ou Curvi-Tracker (Heng et al., 2026).

2. Modèles de diffusion

Parallèlement aux modèles Fondation, l'équipe OBELIX étudie les méthodes de diffusion générative, en particulier le Flow Matching, appliquées aux données d'observation de la Terre. Alors que nos travaux récents se sont concentrés sur la génération d'images (Okabayashi et al., 2025), nous souhaitons explorer comment ce paradigme peut être utilisé pour la détection de caractéristiques géologiques. Une telle stratégie semble intéressante car elle permettrait d'estimer les connexions dans les zones masquées (par exemple, sous la végétation) en apprenant la distribution globale des motifs de failles. Pour répondre à ce problème, nous pouvons nous appuyer sur une approche d'apprentissage de champs vectoriels telle que DeepFlux (Xu et al., 2021) et la reformuler dans un contexte de Flow Matching. L'idée est de générer un champ de direction dense où chaque vecteur pointe vers l'axe central du squelette de la faille. Cette approche offre l'avantage d'une continuité géométrique (le champ vectoriel crée un bassin d'attraction autour des failles, contrairement aux masques de segmentation classiques) et d'une robustesse générative (en modélisant la génération du champ vectoriel comme un problème de correspondance de flux, le modèle apprend à reconstruire des trajectoires de flux complètes et continues même lorsque les données d'entrée sont partiellement érodées ou masquées).

Programme de travail

Le programme provisoire pour les 24 mois est défini comme suit :

1. Analyse bibliographique
2. Collecte de données, analyse des vérités terrain et établissement de références de base
3. Développements méthodologiques (le choix précis dépendra de l'état de l'art, de l'expertise et des souhaits du post-doctorant)
 - a. Modèle Fondation, en s'appuyant sur les travaux d'OBELIX sur les modèles efficaces et les contours actifs
 - b. Modèle de diffusion, en s'appuyant sur les travaux d'OBELIX sur l'appariement des flux
4. Évaluation expérimentale, tentatives de généralisation à divers types de failles et d'images ainsi qu'à différentes résolutions, et diffusion scientifique (publications et logiciels)

Opportunités pour le candidat

Le candidat aura non seulement l'occasion d'approfondir et d'enrichir son expertise en IA et en vision par ordinateur, mais aussi de se familiariser avec l'utilisation de l'IA pour traiter des objets curvilignes, omniprésents dans de nombreux domaines tels que l'observation de la Terre, l'environnement, l'imagerie médicale, etc. Le groupe OBELIX dispose d'un réseau national et international très solide, offrant de nombreuses opportunités de collaborations futures. Le candidat aura également l'occasion d'échanger avec les autres chercheurs du groupe OBELIX, tous engagés dans des activités d'IA pour l'observation de la Terre. Enfin, il sera possible de participer à des activités d'enseignement si le candidat le souhaite.

References

- Batista, D.B., Savastano, V.L.M., Pinto, M.F. et al. (2025). Semantic Segmentation for Automatic Extraction of Linear Geological Structures from UAV Imagery. *SN Computer Science*, 6:738.
- Choi, Y., Choi, J.H., & Choi, Y. (2023). Fit-for-Purpose Approach for the Detection and Analysis of Earthquake Surface Ruptures Using Satellite Images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 16:9574-9589.
- Chudasama, B., Ovaskainen, N., Tamminen, J., Nordbäck, N., Engström, J., & Aaltonen, I. (2024). Automated mapping of bedrock-fracture traces from UAV-acquired images using U-Net convolutional neural networks, *Computers & Geosciences*, 182:105463.
- Esmaeili, M., Beni, T., Gigli, G. et al. (2025). Rock mass exposure fracture detection through 2D close-range images using image processing techniques: a review. *Earth Science Informatics*, 18:494.
- Feng, H., et al. (2024). Recurrent Generic Contour-Based Instance Segmentation With Progressive Learning. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 34(9):7947-7961
- Gannouni, S., Riahi, R. & Rebai, N. (2025). Deep learning-based lineament extraction: a comparative study of sentinel-1, landsat 9 imagery. *Earth Science Informatics*, 18:462.
- Giampietro, T., Manighetti, I., Leclerc, F., & Gaudemer, Y. (2025). Distributions of throws, widths and scarp slopes on normal faults and their relations to fault growth: Insights from Auto_Throw code, *Journal of Structural Geology*, 196
- Gupta, P., & Dixit, M. (2022). Image-based crack detection approaches: a comprehensive survey. *Multimedia Tools and Applications*, 81:40181-40229.
- Heidler, K., Mou, L., Loebel, E., Scheinert, M., Lefèvre, S., & Zhu, X.X. (2023). A Deep Active Contour Model for Delineating Glacier Calving Fronts. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, 1-12
- Heng, Z., Pagnucco, M., Meijering, E., & Song, Y. (2026) Curvi-Tracker: Curvilinear structure segmentation refinement by iterative tracking. *Pattern Recognition*, 173:112797
- Lambert, Z., Antoine, R., Mauget, C. et al. (2025). A new automatic approach based on visible-thermal infrared data fusion to detect geological fracturation: the case of the Vaches Noires badland, Normandy, France. *Landslides*
- Liu, Y., Yao, J., Lu, X., Xie, R., & Li, L. (2019). DeepCrack: A deep hierarchical feature learning architecture for crack segmentation, *Neurocomputing*, 338:139-153.
- Long, S., Ruan, J., Zhang, W., He, X., Wu, W., & Yao, C. (2018). Textsnake: A flexible representation for detecting text of arbitrary shapes. In *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)* (pp. 20-36).
- Okabayashi, A., Pelletier, C., Audebert, N., Corpetti, T., & Courty, N. (2025). Flow matching pour la super-résolution d'images satellitaires Sentinel-2. In *ORASIS*.
- Manighetti I., Campillo M., Bouley S., and Cotton F., Earthquake scaling, fault segmentation, and structural maturity, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 253, 429-438, 2007.
- Mattéo, L., Manighetti, I., Tarabalka, Y., Gaucel, J. M., Van Den Ende, M., Mercier, A., ... & Malavieille, J. (2021). Automatic fault mapping in remote optical images and topographic data with deep learning. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. DOI 10.1029/2020JB02126
- Pandey, V., & Mishra, S.S. (2025). A review of image-based deep learning methods for crack detection. *Multimedia Tools and Applications*, 84:35469-35511.
- Perrin, C., Manighetti, I., and Gaudemer, Y. (2016a). Off-fault tip splay networks: A genetic and generic property of faults indicative of their long-term propagation. *Comptes Rendus Geoscience*, 348(1), 52-60.
- Pousse-Beltran, L., Lallemand, T., Audin, L., Lacan, P., Nunez-Meneses, A. D., & Giffard-Roisin, S. (2025). ScarpLearn: an automatic scarp height measurement of normal fault scarps using convolutional neural networks. *Seismica*, 4(2).
- Radiguet M., Cotton F., Manighetti I., Campillo M., and Douglas J., Dependency of near-field ground motions on the structural maturity of the ruptured faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 99, No. 4, doi: 10.1785/0120080340, 2009.

Yaqoob, M., Ishaq, M., Ansari, M.Y. et al. (2024). GeoCrack: A High-Resolution Dataset For Segmentation of Fracture Edges in Geological Outcrops. *Scientific Data* 11:1318.

Xiao, A., et al. (2025). Foundation Models for Remote Sensing and Earth Observation: A survey. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 13(4):297-324

Xu, Y., Wang, Y., Tsogkas, S., Wan, J., Bai, X., Dickinson, S., & Siddiqi, K. (2021). Deepflux for skeleton detection in the wild. *International Journal of Computer Vision*, 129(4), 1323-1339.

Activités principales

Le/la futur(e) post-doctorant(e) devra :

- Se familiariser avec l'état de l'art des méthodes d'apprentissage profond pour la cartographie d'objets curvilinéaires, incluant les modèles fondation et les modèles de diffusion ;
- Construire et organiser un jeu de données d'entraînement sur diverses images satellites ;
- Adapter/Développer les méthodes d'IA pour identifier les objets d'intérêt dans les images ;
- Rédiger des articles (en anglais) décrivant les travaux et destinés aux meilleurs journaux d'informatique et de géosciences ;
- Présenter le travail lors de conférences internationales ;
- Rendre les algorithmes faciles et pratiques à utiliser pour tout utilisateur (les algorithmes seront partagés sur une plateforme ouverte)

Profil recherché

Le/la candidat(e) doit être titulaire d'une thèse en informatique ou dans un domaine connexe (traitement du signal et des images, mathématiques appliquées), ou en géosciences avec des contributions méthodologiques avérées en IA.

Compétences et qualités requises

Nous recherchons un/une candidat(e) fortement motivé(e) par les questions de risques naturels et par devenir un expert dans les développements IA les plus poussés.

Le/la candidat(e) aura également une excellente maîtrise dans les domaines suivants :

- Programmation Python
- Cadre d'apprentissage profond (de préférence Pytorch)
- Utilisation de serveurs GPU Linux en ligne de commande
- Anglais scientifique écrit et parlé

Une expérience avec les SIG et la télédétection serait un plus.

Localisation de l'emploi

Le travail de post-doctorat sera encadré par une équipe comprenant des experts en IA, en télédétection, et en tectonique et mécanique des failles sismogènes. Le post-doctorant sera recruté à l'Université Côte d'Azur mais travaillera dans le laboratoire IRISA de l'Université Bretagne Sud (UBS), dans le cadre d'une convention signée entre l'Université Côte d'Azur et le laboratoire IRISA. IRISA est l'un des plus grands laboratoires nationaux (> 850 personnes) dans le domaine des sciences informatiques. Il est localisé sur plusieurs sites (Rennes, Lannion, Vannes). Le post-doctorant sera hébergé par l'Université Bretagne Sud, à Vannes, une cité médiévale à la fois proche de la mer et de Paris. Le projet sera mené et supervisé par l'équipe OBELIX du laboratoire IRISA, dont l'expertise est fortement reconnue au niveau national et international, particulièrement dans le domaine de l'apprentissage automatique et de la vision par ordinateur pour le traitement et l'analyse de données géospatiales complexes et multi-dimensionnelles. L'équipe a par ailleurs un

accès privilégié à des centres de calcul de haute performance au niveau local et national. Le travail sera mené en collaboration avec le laboratoire Géoazur de l'Université Côte d'Azur, un laboratoire internationalement reconnu pour son expertise en sismologie (étude des séismes) et tectonique active (analyse des failles sismogènes).

Fonction télétravaillable (2 jours max/semaine)

Conditions de candidature

Type de recrutement : CDD de 24 mois

Corps ou niveau de recrutement : être titulaire d'un doctorat

Informations complémentaires

Les candidatures, comprenant un curriculum vitae, une lettre de motivation et les noms et contacts de trois référents, doivent être envoyées à isabelle.manighetti@univ-cotedazur.fr et sebastien.lefevre@irisa.fr, au plus tard le 9 mai 2026.

[Tous nos postes sont ouverts aux personnes en situation de handicap.](#)

Retrouvez tous nos recrutements sur le portail web [Travailler à Université Côte d'Azur](#)

Salaire

Salaire net mensuel : 2869.12 euros par mois avant impôt
