

Offre de stage Master Recherche (2026-2027)

Titre : **Recherche efficace et sans apprentissage de motifs spatio-temporels dans des grands cubes de données satellites**

Discipline : Informatique, Traitement du Signal et des Images

Mots-clés : Traitement d'image, télédétection, séries temporelles, hiérarchies morphologiques, *Pattern Spectra*, algorithmes efficaces, sobriété numérique

Niveau : **Master 2 Recherche** ou **École d'Ingénieurs** (5^e année)

Durée : **5 à 6 mois** (début **février/mars 2027**)

Lieu : **IRISA** – Équipe **IDEFIX**, Campus de Tohannic, 56 000 **Vannes**

Encadrant : François Merciol (francois.merciol@irisa.fr)

Gratification : Conforme à la réglementation en vigueur

Environnement du stage

Le stage se déroulera au sein de l'IRISA (Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires, UMR 6074), un laboratoire de référence en France dans les domaines de l'informatique, du traitement du signal et des images, et de la robotique. Implanté sur trois sites en Bretagne (Rennes, Vannes, Lannion), l'IRISA s'organise autour de 7 départements, dont celui « *Signal, Image, Langage* », auquel appartient l'équipe IDEFIX.

L'équipe IDEFIX (issue de OBELIX) est spécialisée dans l'intelligence artificielle appliquée à l'observation de la Terre, de l'environnement et de l'Univers. Elle conçoit des solutions informatiques originales, efficaces et robustes pour répondre aux défis posés par la complexité des données environnementales. Ses expertises méthodologiques couvrent notamment :

- L'apprentissage automatique et la vision par ordinateur.
- Les hiérarchies morphologiques et les profils d'attributs.
- Les algorithmes efficaces pour le traitement de grandes bases de données.
- Les méthodes sobres et interprétables (faible empreinte carbone).

L'équipe est principalement localisée à Vannes et dispose d'un environnement de calcul performant (clusters CPU et GPU) qui sera mis à disposition du ou de la stagiaire. L'encadrement sera assuré par François Merciol, chercheur à l'IRISA et spécialiste des hiérarchies morphologiques et de leur application en télédétection.

Contexte applicatif

Depuis 2011, le Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) fournit des produits pour la surveillance de l'état, des changements et des caractéristiques de la couverture terrestre (zones végétalisées, non végétalisées, variables biophysiques, conditions de l'eau et de la cryosphère). Ces produits s'appuient sur des données satellites libres d'accès, comme celles des missions Sentinel-1

et Sentinel-2 (résolution spatiale de 10 m, acquisition hebdomadaire), ainsi que sur des données commerciales à très haute résolution (1 m, acquisition annuelle).

Dans ce cadre, l'UMR LETG (Unité Mixte de Recherche : Littoral – Environnement – Télédétection – Géomatique) explore les interactions entre la nature et la société à travers la géographie. L'un de ses objectifs est de renforcer la compréhension et l'automatisation des liens entre les outils d'analyse numérique de séries temporelles d'images satellites et la description ontologique de scènes naturelles. Ce stage s'inscrit dans une collaboration entre l'IRISA et le LETG, avec pour perspective une poursuite en thèse CIFRE avec un partenaire industriel.

Les applications visées incluent :

- La cartographie automatique de structures environnementales (ex : trames vertes, forêts).
- Le suivi de phénomènes dynamiques (ex : événements climatiques, migration d'espèces).
- La détection d'objets ou d'événements dans des séries temporelles (ex : changements d'usage des sols, catastrophes naturelles).

Contexte scientifique

Les hiérarchies morphologiques et les outils qui en découlent, tels que les profils d'attributs et les histogrammes de formes (*Pattern Spectra*), ont démontré leur pertinence pour élaborer des solutions efficaces d'analyse semi-automatique d'images satellites. Leur extension aux séries temporelles d'images satellites a déjà été explorée dans le cadre d'une thèse de doctorat menée conjointement par l'équipe OBELIX (aujourd'hui IDEFIX), le CNES et CLS.

Les travaux antérieurs de l'équipe ont permis de développer :

- TRISKELE : Une bibliothèque open-source pour la construction de représentations arborescentes d'images (ex : hiérarchies morphologiques).
- Korrigan : Un démonstrateur pour la recherche de motifs spatiaux dans de grandes bases d'images satellites.

Ces outils ont été utilisés avec succès pour des applications telles que :

- La cartographie à très grande échelle (ex : détection de petites structures boisées).
- La recherche de motifs dans des bases d'images satellites (ex : identification de zones d'intérêt).
- L'analyse de séries temporelles (ex : suivi de l'évolution de la couverture terrestre).

Cependant, les travaux initiaux se concentraient principalement sur des motifs spatiaux. L'enjeu actuel est d'étendre ces méthodes à des motifs spatio-temporels, afin de permettre la détection d'objets ou d'événements dynamiques (ex : feux de forêt, inondations, croissance urbaine).

Sujet du stage

Objectif général

En s'appuyant sur les développements précédents de l'équipe IDEFIX (notamment les *Pattern Spectra* et les hiérarchies morphologiques), l'objectif du stage est de définir une solution originale

et efficace pour la recherche de motifs spatio-temporels dans des grands cubes de données satellites. L'approche devra reposer sur des algorithmes efficaces, garantissant :

- L'interopérabilité des résultats (fonctionnement en « boîte blanche »).
- La sobriété numérique (faible empreinte carbone grâce à l'optimisation des ressources en calcul et en mémoire).

Problématique spécifique

Alors que les travaux initiaux, menés avec le CNES, ont abouti à un démonstrateur permettant la recherche de motifs spatiaux, ce stage vise à ajouter une contrainte temporelle. Cela permettra de détecter des objets ou événements représentés par des motifs spatio-temporels (ex : évolution d'une zone urbaine, propagation d'un incendie, migration d'une espèce animale). Bien que des travaux préliminaires aient été menés pour définir les *Pattern Spectra* pour des données spatio-temporelles, il reste à :

- Formaliser une méthodologie adaptée à la recherche de motifs dans des cubes de données 3D (espace + temps).
- Prototyper une solution efficace et « scalable ».
- Valider l'approche sur des jeux de données réels (ex : séries Sentinel-2, données astronomiques).

Tâches prévues

Au cours du stage, le ou la stagiaire devra :

1. Réaliser un état de l'art :

- Revue des *Pattern Spectra* et de leurs applications en télédétection.
- Analyse des méthodes de recherche de motifs dans les séries temporelles d'images satellites (ex : DTW, *shapelets*, approches morphologiques).

2. Prendre en main l'environnement logiciel :

- Utilisation des outils TRISKELE et Korrigan.
- Analyse de bases de données satellites (Sentinel-1/2, données CLMS).

3. Proposer une méthodologie :

- Extension des *Pattern Spectra* aux données spatio-temporelles.
- Intégration de contraintes temporelles (ex : dynamique, périodicité).

4. Prototyper la solution :

- Implémentation en Python ou C++ (selon les besoins).
- Optimisation pour des grands volumes de données.

5. Valider et évaluer :

- Tests sur des jeux de données réels.

- Comparaison avec des méthodes existantes (ex : apprentissage profond).

Les points forts de ce stage

- Impact concret : Contribuer à des solutions pour le suivi environnemental et la gestion des ressources naturelles.
- Approche innovante : Combiner efficacité algorithmique et sobriété numérique.
- Environnement stimulant : Équipe dynamique, collaborations avec le CNES, le LETG et des partenaires industriels.
- Débouchés : Possibilité de poursuite en thèse CIFRE (ex : comparaison des paradigmes *boîte blanche* vs. *apprentissage profond*).

Modalités de candidature

- **CV + lettre de motivation** (mettre en avant les compétences en algorithmique, traitement d'image et télédétection).
- **Relevés de notes** (Master 1 et 2).
- Contact : François Merciol (francois.merciol@irisa.fr).
- Date limite : **15 novembre 2026** (pour un démarrage en février/mars 2027).