

## Sujet 2

### Titre

MaxEnt avec motifs et embeddings pour la cartographie de susceptibilité, application à la perte de couvert en Kroumirie

### Résumé

Ce travail vise à concevoir un modèle hybride combinant MaxEnt et des approches d'apprentissage automatique pour cartographier une susceptibilité spatiale à partir de données en présence seule. L'application consiste à estimer la susceptibilité à la perte de couvert en Kroumirie en exploitant des produits de changement disponibles en accès ouvert. L'étude repose sur l'intégration de variables standards (climat, topographie, accessibilité), de motifs calculés sur l'occupation du sol à haute résolution, et de représentations apprises sur séries satellitaires. L'objectif est de comparer un MaxEnt de référence, des modèles supervisés et une version enrichie par variables hybrides, avec validation spatiale et quantification d'incertitude.

### Objectif général

Développer une version améliorée de MaxEnt en intégrant des variables issues de motifs spatiaux et de représentations apprises sur séries satellitaires afin d'optimiser la cartographie de susceptibilité à la perte de couvert en Kroumirie.

### Objectifs spécifiques

- Constituer une base de données spatiale sur la perte de couvert et les variables explicatives.
- Mettre en œuvre un modèle MaxEnt de référence à partir des variables environnementales.
- Développer des modèles de machine learning (Random Forest, MLP) pour générer des indices de susceptibilité à partir des mêmes variables.
- Calculer des motifs spatiaux à partir de l'occupation du sol et générer des variables de configuration à plusieurs échelles.
- Extraire des représentations sur séries satellitaires via auto-supervision et les intégrer comme variables additionnelles.
- Intégrer ces indices et variables hybrides dans MaxEnt pour former un modèle hybride.
- Évaluer et comparer les performances des différentes approches selon des indicateurs spatiaux et statistiques.

### Méthodologie

#### Étape 1 : Données

- Perte de couvert : Global Forest Change v1.12 (2000–2024).
- Climat : précipitations et température (WorldClim 2.1).
- Topographie : altitude et pente (SRTM 30 m).
- Occupation du sol : ESA WorldCover (10 m).
- Séries temporelles : HLS (Harmonized Landsat and Sentinel-2).
- Accessibilité : distances aux routes et aux zones urbaines à partir de sources ouvertes.

#### Étape 2 : Modèles

- MaxEnt de référence : calibration classique en présence seule avec validation par blocs spatiaux et métriques AUC et TSS.
- Apprentissage supervisé : mise en œuvre d'un réseau de neurones multicouche et d'un modèle d'ensemble (Random Forest) sur les mêmes covariables, avec fond ou pseudo-absences contrôlés.
- MaxEnt hybride : intégration des sorties (scores) des modèles supervisés et des variables hybrides comme entrées additionnelles dans MaxEnt.

### Étape 3 : Évaluation

- Comparaison quantitative (AUC, TSS, calibration, sensibilité).
- Comparaison spatiale des cartes par indicateurs de similarité et analyse visuelle.
- Estimation de l'incertitude par bootstrap spatial.
- Analyse de contribution des variables et interprétation des facteurs dominants.

### Plan de travail

- Collecte et traitement des données, définition des présences et du fond.
- Modèle MaxEnt de référence et validation spatiale.
- Développement des variables hybrides (motifs et embeddings) et génération d'indices.
- Construction du MaxEnt hybride et tests comparatifs.
- Analyse, interprétation et rédaction.

### Résultats attendus

- Une base de données géospatiale unifiée pour la Kroumirie.
- Trois cartes comparées : MaxEnt simple, modèles ML/DL, MaxEnt hybride.
- Une évaluation complète de la précision et de la transférabilité spatiale.
- Un protocole reproductible pour l'identification des zones sensibles à la perte de couvert.

### Contributions

- Intégration de motifs spatiaux et de représentations apprises dans un cadre MaxEnt.
- Validation spatiale et quantification d'incertitude sur un phénomène construit à partir de données ouvertes.
- Décomposition de l'apport des familles de variables par ablation et analyse de contribution.

### Références

- Hansen, M. C. et al. Global Forest Change v1.12 (2000–2024), Earth Engine Catalog, 2024.
- Szwarcman, D. et al. Prithvi-EO-2.0: Multi-Temporal Foundation Model for Earth Observation. arXiv:2412.02732, 2024.
- Marsocci, V. et al. PANGAEA: A Global and Inclusive Benchmark for Geospatial Foundation Models. arXiv:2412.04204, 2024.
- Nowosad, J., Hesselbarth, M. H. K. Landscape Motifs and Spatial Patterns. arXiv:2405.06559, 2024.
- ESA WorldCover 10 m v200, description et accès. 2022.
- WorldClim 2.1, documentation. 2024.