

الجزائرية الديمقراطية الشعبية الجمهورية

People's Democratic Republic of Algeria

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

المدرسة العليا للإعلام الآلي - 08 ماي 1945 - بسبدي بلعباس

Higher School of Computer Science
– 08 May 1945 – Sidi Bel Abbès



THESIS

Submitted in fulfillment of the requirements for the degree of **Master**

Field: **Computer Science**

Specialty: **Artificial Intelligence and Data Science**

Topic

Post-Event Flood and Landslide Impact Assessment :
A State-of-the-Art Review of Vision-Language Models and Multi-Source Earth
Observation Data

Presented by:

- Ms. Hafssa AOUAICHIA
- Ms. Nassiba BELHOUARI

Defended on: **06/07/2026**

- Ms. DIF Nassima
- Mr. BENSLIMANE Sidi Mohammed
- Mr. IFTENE Meziane
- Ms. KLOUCHE Badia

Before the jury composed of:

- President of the Jury
- Supervisor
- Co-Supervisor
- Examiner

Academic Year: 2025 / 2026

Résumé

Les événements de précipitations extrêmes déclenchent des inondations et des glissements de terrain catastrophiques, causant des pertes de vies humaines et des dégâts matériels considérables. L'évaluation rapide de l'impact post-événement est essentielle pour la réponse d'urgence, mais elle demeure fondamentalement entravée par la couverture nuageuse qui obscurcit systématiquement l'imagerie satellite optique au moment même où l'information spatiale est la plus urgemment nécessaire, ainsi que par la difficulté inhérente à distinguer des phénomènes de risque spectralement similaires, tels que les eaux de crue turbides et les coulées de débris humides. Ce mémoire présente une revue structurée des fondements théoriques et de l'état de l'art sous-jacents aux systèmes modernes d'évaluation d'impact multi-risques intégrant des modèles vision-langage avec des données d'observation de la Terre multi-sources. Cette revue couvre cinq domaines fondamentaux : l'observation de la Terre par satellite (SAR Sentinel-1, optique Sentinel-2, caractéristiques de terrain dérivées de MNT, ESA WorldCover), les architectures d'apprentissage profond pour la télédétection (CNN, SegFormer, Vision Transformers), les modèles vision-langage (CLIP, LLaVA, Qwen2-VL), l'apprentissage automatique informé par la physique (PINN, équations des eaux peu profondes, physique de la stabilité des pentes), et la quantification de l'incertitude (calibration, prédiction conforme). Une analyse critique de la littérature existante à travers sept domaines thématiques identifie dix lacunes de recherche qui définissent les limites actuelles des systèmes d'évaluation multi-risques post-événement, allant de l'absence d'intégration SAR dans les modèles vision-langage de télédétection au manque de jeux de données de catastrophes annotés pour l'Afrique du Nord. Ces lacunes motivent collectivement la conception d'un pipeline VLM multi-risques unifié fusionnant des données SAR, optiques, de terrain et de couverture des sols, avec des contraintes informées par la physique et une quantification calibrée de l'incertitude, pour la réponse opérationnelle aux catastrophes.

Mots-clés : Cartographie des inondations, Détection des glissements de terrain, Modèles vision-langage, Sentinel-1, Sentinel-2, Fusion multi-sources, Contraintes informées par la physique, Réponse aux catastrophes, Observation de la Terre, Rapports de situation.

Abstract

Extreme rainfall events trigger catastrophic floods and landslides, causing loss of life and extensive damage to infrastructure. Rapid post-event impact assessment is critical for emergency response, yet remains fundamentally challenged by cloud cover that systematically obscures optical satellite imagery at the very moment when spatial information is most urgently needed, and by the inherent difficulty of distinguishing between spectrally similar hazard phenomena such as turbid floodwater and wet debris flows. This memoir presents a structured review of the theoretical foundations and state of the art underpinning modern multi-hazard impact assessment systems that integrate Vision-Language Models with multi-source Earth Observation data. The review covers five foundational domains: satellite Earth Observation (Sentinel-1 SAR, Sentinel-2 optical, DEM-derived terrain features, ESA WorldCover), deep learning architectures for remote sensing (CNNs, SegFormer, Vision Transformers), Vision-Language Models (CLIP, LLaVA, Qwen2-VL), physics-informed machine learning (PINNs, shallow water equations, slope stability physics), and uncertainty quantification (calibration, conformal prediction). A critical analysis of the existing literature across seven thematic domains identifies ten research gaps that define the current limitations of post-event multi-hazard assessment systems, ranging from the absence of SAR integration in remote sensing VLMs to the lack of annotated disaster datasets for North Africa. These gaps collectively motivate the design of a unified multi-hazard VLM pipeline fusing SAR, optical, terrain, and land cover data with physics-informed constraints and calibrated uncertainty quantification for operational disaster response.

Keywords: Flood mapping, Landslide detection, Vision-Language Models, Sentinel-1, Sentinel-2, Multi-source fusion, Physics-informed constraints, Disaster response, Earth Observation, Situation reports