

ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 03



Projet ou collaboration

1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

Titre de l'élément : Projet multi-laboratoires METEORIX

URL de l'élément : <http://www.nanosat.upmc.fr/fr/projet-nanosatellite-meteorix.html>

2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

METEORIX est le projet de nano-satellite soutenu par Sorbonne Université et 3 UFR dont le but est de détecter des météores et des débris spatiaux par traitement d'images en temps réel depuis un satellite. A ce jour, c'est le seul projet de ce type. Par extension METEORIX désigne – pour le LIP6 – la conception d'une charge utile embarquable, dans un satellite, un ballon sonde ou un avion d'observation. Ces travaux se font avec l'équipe CIAN du LIP6 et l'Institut de Mécanique Céleste et du Calcul des Ephémérides (IMCCE) à l'Observatoire de Paris.

3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Ce projet comporte à la fois des objectifs scientifiques astronomiques – déterminer le flux de météores et de débris spatiaux qui entrent dans l'atmosphère terrestre – un objectif pédagogique – impliquer les étudiants dans la conception, la réalisation et l'exploitation d'une mission spatiale via le programme Nanolab Academy du CNES – mais aussi un objectif scientifique majeur : concevoir différentes chaînes de traitement adaptables en complexité pour répondre à différentes contraintes de vitesse de traitement et de consommation (dépendant du porteur). Ce projet permet d'utiliser nos recherches sur arithmétique SIMD, le flot optique, l'étiquetage en composantes connexes et le déploiement automatisé de la chaîne de traitement.

Cela a donné lieu à plusieurs chaînes de traitements :

- ▶ Projet 0 : le projet Meteor de l'Université de Chiba (Japon) a déployé à bord de l'ISS une caméra et un PC pour faire la détection, mais c'est un échec : les vidéos sont descendues sur Terre et traitées manuellement par des volontaires.
- ▶ Projet 1 : conception d'une chaîne de traitement à base de flot optique (les algorithmes à base de fond fixe ne peuvent être utilisés car, la caméra et le fond sont en mouvement) et d'étiquetage en composantes connexes ainsi qu'un banc de validation automatique pour tester différentes combinaisons et paramétrisation d'algorithmes. C'est un succès avec plus de 95% de météores détectés sur l'ensemble des vidéos.
- ▶ Projet 2 : conception d'une seconde chaîne de traitement pour traiter les vidéos d'un ballon sonde espagnol (Géminids 2016). La difficulté est que le plateau n'est pas stabilisé : au roulis et au tangage s'ajoute parfois un angle de lacet très fort. Succès avec 85% de détection sur 31,400 frames.
- ▶ Projet 3 : adaptation du projet 2 pour les tau-Herculedids 2022. Projet international : 4 pays embarquent à bord d'un jet privé une dizaine de caméras, certaines stabilisées, d'autres pas. Résultats encourageants : 68% et 78% de détection sur 17,200 et 52,500 frames des séquences françaises et australiennes. Les contraintes sont de plus respectées : 6.5 W pour une Jetson Nano et 111 fps, 3 W pour une Raspberry Pi4 et 44 fps. Mais plus important, cela a permis la détection d'un cluster de 34 météores où la machine a fait mieux que l'humain entraîné.

Cela a donné lieu à un dépôt open-source git (version non optimisée) et la création d'un framework de test FMDT (*Fast Meteor Detection Toolbox*).

Ces travaux impliquent la participation de 5 doctorants et anciens doctorants de l'équipe sur le flot optique F_{32} et F_{16} , FLSL et arithmétique, LSL et flot optique F_{32} . De plus, deux stagiaires de fin d'étude travaillent sur FMDT. Enfin, deux membres permanents de l'équipe supervisent ces travaux.

Bilan :

- ▶ 4 revues internationales, 3 conférences internationales, 1 conférence nationale, 1 poster [1–10]

- ▶ 1 code open-source disponible <https://github.com/alsoc/fmdt>
- ▶ 6 étudiants de Master2, 4 groupes de 5 élèves ingénieurs Polytech I4.

4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] I. Bournias, R. Chotin, and L. Lacassagne. Using HLS for designing a parametric optical flow hierarchical algorithm in FPGAs. In *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, 2022.
- [2] F. Colas et al. Fripon : a worldwide network to track incoming meteoroids. *Astronomy and Astrophysics (A & A)*, 644 :1–23, 2020.
- [3] N. Rambaux et al. Meteorix : a cubesat mission dedicated to the detection of meteors. In *42nd Assembly of Committee on Space Research (COSPAR)*, 2018.
- [4] N. Rambaux et al. Meteorix camera tests for space-based meteor observations. *WGN, Journal of the International Meteor Organization (IMO)*, 49(5) :1–3, 2021.
- [5] F. Lemaitre, A. Hennequin, and L. Lacassagne. How to speed Connected Component Labeling up with SIMD RLE algorithms. In *ACM Workshop on Programming Models for SIMD/Vector Processing (PPoPP)*, pages 1–8, 2020.
- [6] M. Millet, N. Rambaux, A. Cassagne, M. Bouyer, A. Petreto, and L. Lacassagne. High performance computer vision application for Meteor detection from a cubesat. In *44th Assembly of Committee on Space Research (COSPAR)*, 2022.
- [7] M. Millet, N. Rambaux, A. Petreto, F. Lemaitre, and L. Lacassagne. Meteorix — a new processing chain for real-time detection and tracking of meteors from space. *WGN, Journal of the International Meteor Organization (IMO)*, 49(6) :1–5, 2022.
- [8] A. Petreto, A. Hennequin, , T. Koehler, T. Romera, Y. Fargeaix, B. Gaillard, M. Bouyer, Q. L. Meunier, and L. Lacassagne. Energy and execution time comparison of optical flow algorithms on SIMD and GPU architectures. In *IEEE International Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing (DASIP)*, pages 1–6, 2018.
- [9] T. Romera, A. Petreto, F. Lemaitre, M. Bouyer, Q. Meunier, L. Lacassagne, and D. Etiemble. Optical flow algorithms optimized for speed, energy and accuracy on embedded GPUs. *Journal of Real-Time Image Processing (JRTIP)*, 20,2(32) :1–12, 2023.
- [10] J. Vaubailon, Ch. Loir, C. Ciocan, M. Kandeepan, M. Millet, A. Cassagne, L. Lacassagne, P. Da Fonseca, F. Zander, D. Buttsworth, S. Loehle, J. Tóth, A. Moingeon, and N. Rambaux. A 2022 tau-herculid meteor cluster from an airborne experiment : automated detection, characterization, and consequences for meteoroids. *Astronomy and Astrophysics(A&A)*, 2023.