

Une nouvelle application de détection de météores robuste aux mouvements de caméra

C. CIOCAN, M. KANDEEPAN, A. CASSAGNE, J. VAUBAILLON, F. ZANDER, L. LACASSAGNE
 Sorbonne Université, CNRS, LIP6, F-75005, Paris, France
 IMCCE, CNRS, Observatoire de Paris, PSL Université, Sorbonne Université, Université de Lille 1, France
 University of Southern Queensland, Australia

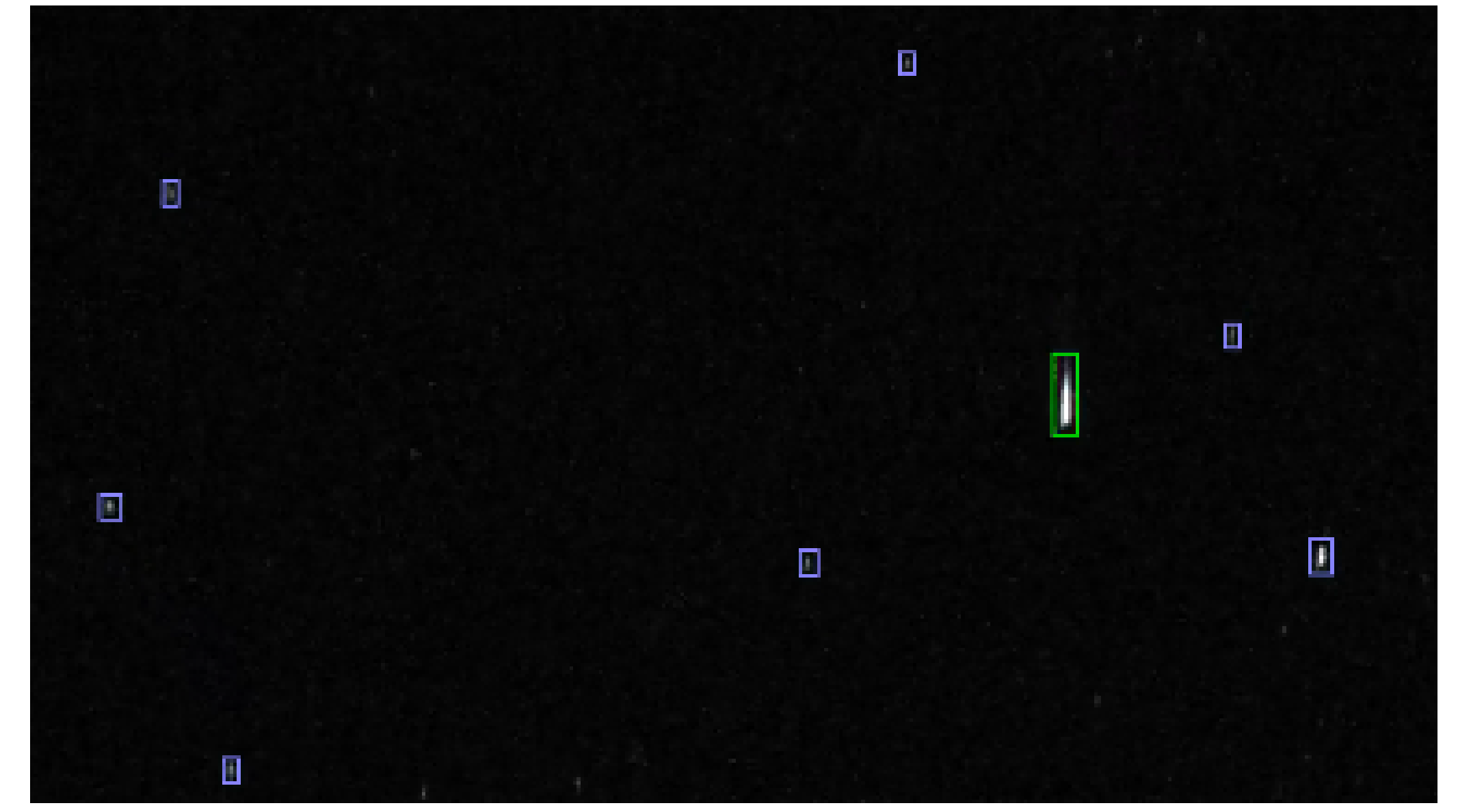


CONTEXTE

- **Détection et caractérisation des météores et des débris spatiaux**
 - Depuis l'atmosphère (ballon-sonde ou avion [1])
 - Meilleures conditions de détection que sur Terre : pas de contraintes météorologiques
- **Problématique**
 - Caméra non-stabilisée, existence d'un mouvement global
 - Conçu pour les systèmes embarqués (RPI, Jetson, ...)
 - Contrainte de puissance : **< 10 Watts**
 - Temps-réel : **> 25 images/s**
- **Nouvelle application : Fast Meteor Detection Toolbox (FMDT)**

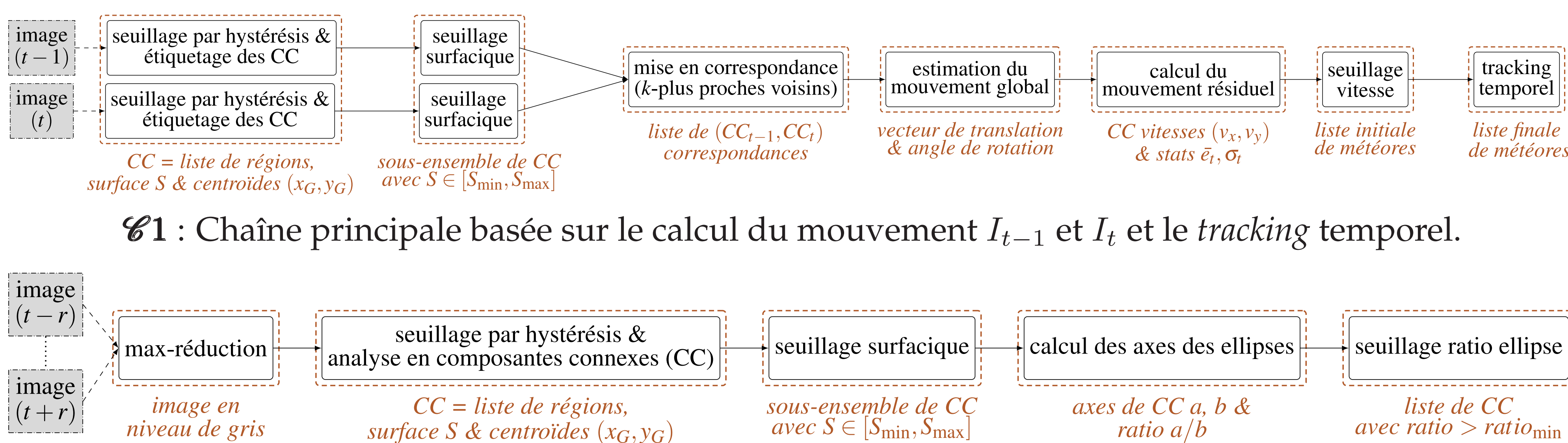


DÉTECTION SUR τ -HERCULIDES 2022



Exemple de détection de météore avec FMDT : en vert - le météore, en bleu - les étoiles.

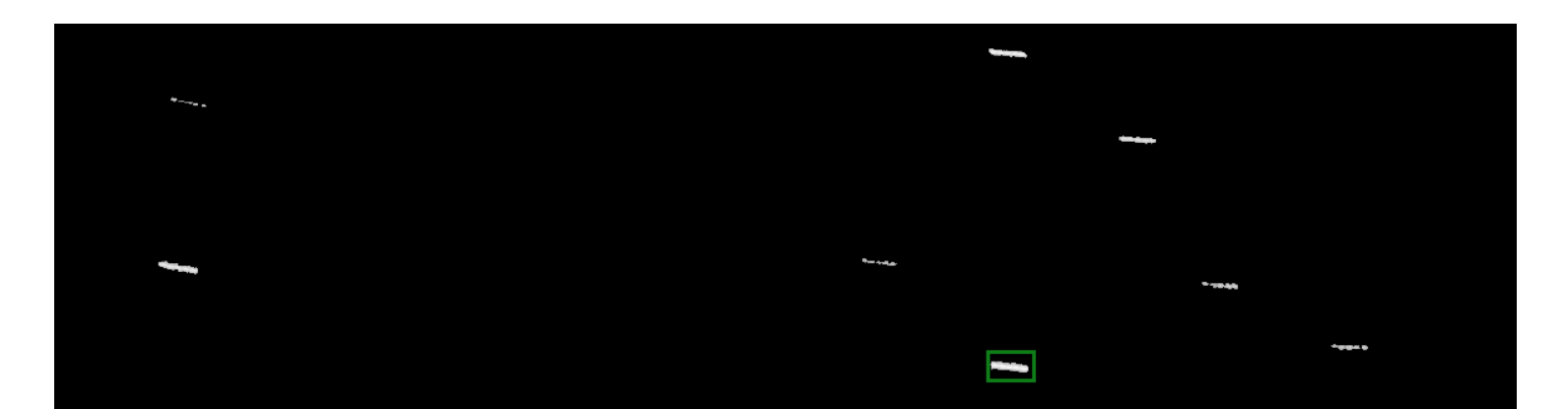
FMDT : LES CHAÎNES DE TRAITEMENT



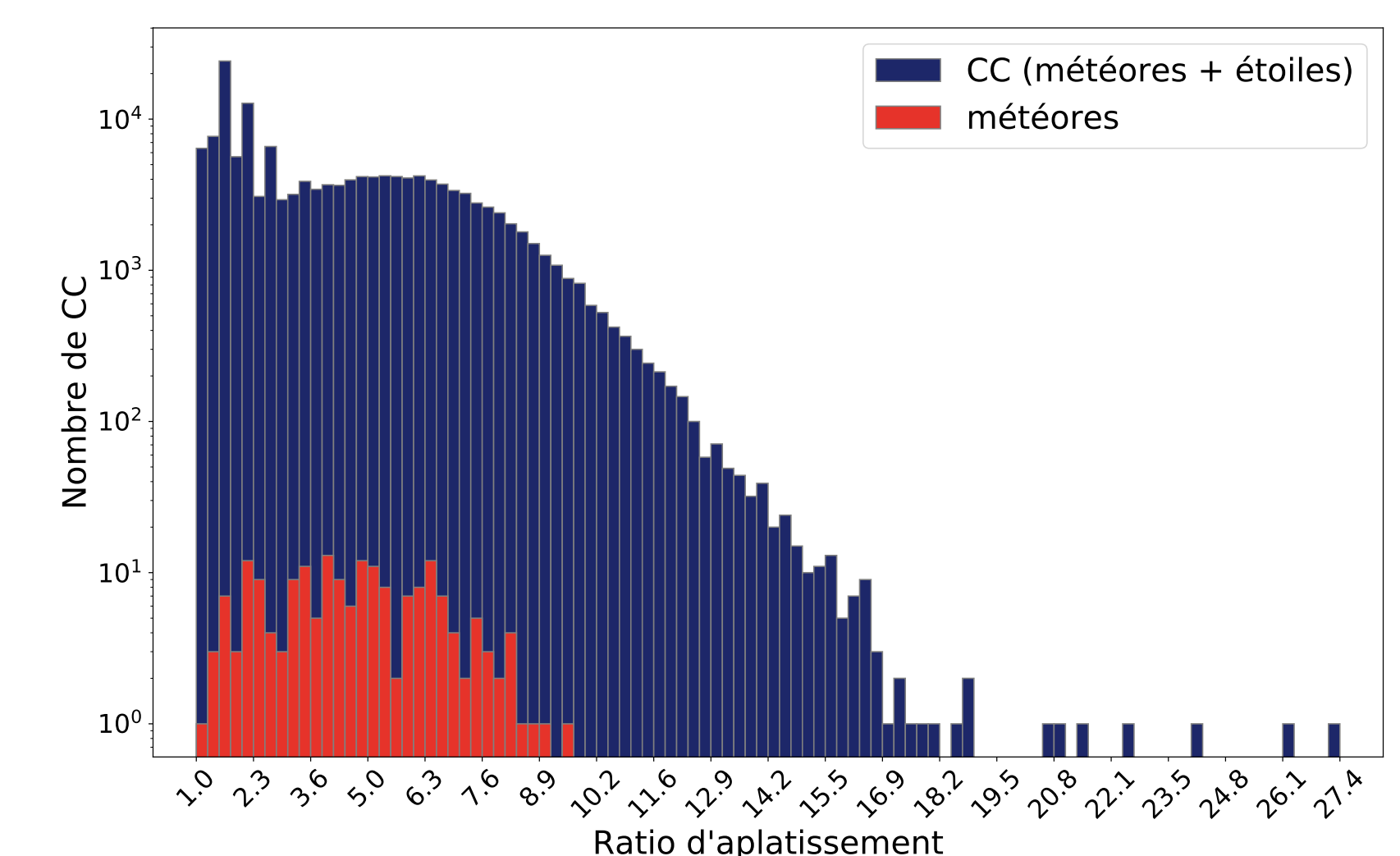
• Code disponible sur GitHub: <https://github.com/alsoc/fmdt>

ℰ2 : CLASSIFICATION PAR ELLIPSE

- **Hypothèse** : le mouvement des météores supérieur à celui des étoiles
 - Rechercher les **formes ellipsoïdales** (CC avec un grand ratio d'aplatissement)
- **Problème** : vitesse de la caméra supérieure à la vitesse des météores
 - Étoiles confondues avec les météores
- **Taux de détection** : 64%



Météore (en vert) avec le même aplatissement que les étoiles.



Histogramme d'aplatissement des ellipses pour Géménides.

ℰ1 : ÉTAPES DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENT

- 1 **Pré-traitement de l'image** : hystérésis, étiquetage des CC
 - Résolution de la sur-segmentation (cf. Fig. 1)
 - Suppression des faux positifs au niveau de l'atmosphère (cf. Fig. 2)
- 2 **Calcul du mouvement**
 - Deux recalages effectués pour éliminer les aberrations (météores)
 - Estimation plus précise du mouvement (ex. 0.91 vs 0.18 pixels de mouvement entre deux images)
- 3 **Tracking temporel**
 - Extrapolation des pistes sur un nombre variable d'images
 - Meilleure classification grâce à la régression linéaire (cf. Fig. 3)

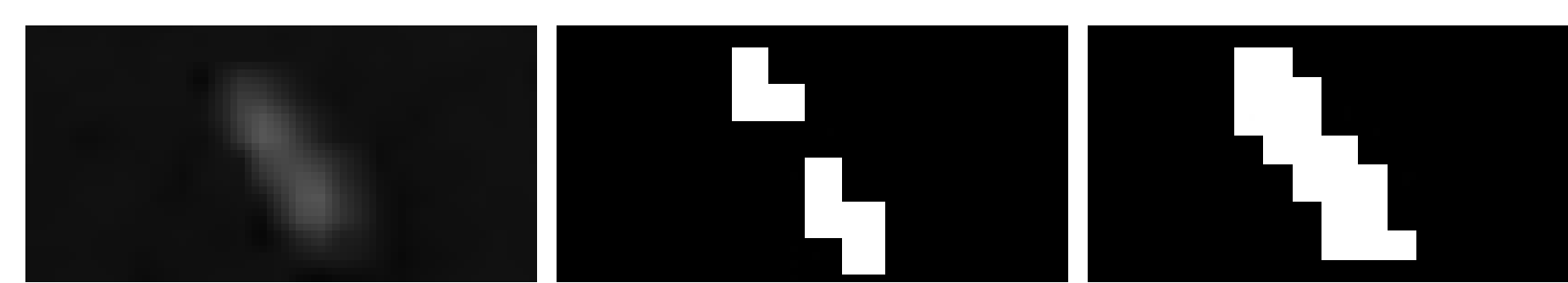


Fig. 1. Sur-segmentation : niveau de gris, binaire et hystérésis.



Fig. 2. Atmosphère : niveau de gris, seuillage simple (26 CC) et hystérésis (1 CC).

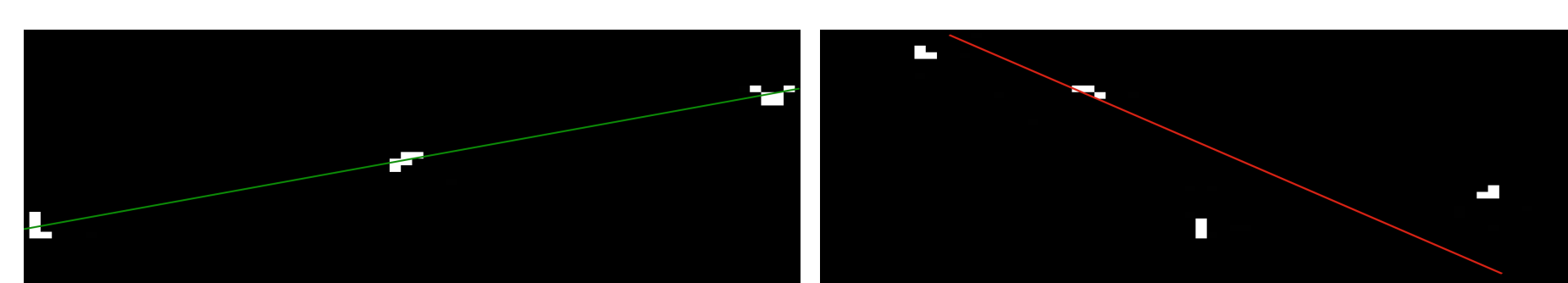


Fig. 3. En vert : piste qui respecte la trajectoire, en rouge : piste supprimée car trajectoire non-rectiligne.

RÉSULTATS

Séquences vidéos	Météores détectés		Images détectées		Taux (FMDT/VT)				
	FMDT	VT	FMDT	VT	Météores	Images	FP	FN	F-score
Géménides (HD)	61	70	776	1222	87%	64%	41	9	0,71
τ -Herculides (Basler - HD)	11	14	126	150	79%	84%	48	3	0,30
τ -Herculides (Sony - 4K)	111	139	807	1457	80%	55%	130	28	0,58
τ -Herculides (cluster - HD)	34	34	223	249	100%	89%	4	0	0,94
Total & moyenne	217	257	1932	3078	84%	63%	223	40	0,62

Résultats obtenus sur un ensemble de vidéos des missions Géménides 2016 [2] et τ -Herculides 2022 [1] (VT = Vérité Terrain, FP = Faux Positifs, FN = Faux Négatifs).

- Contraintes d'énergie et de temps réel atteintes sur RaspberryPi 4 : **26 images/s (HD)** et **4.8 W**
 - Avec optimisations [3] : **44 images/s** et **5.9 W**
- Taux de détection comparable à l'État de l'Art : **84%** vs 80%-95% [4]
- Nombre de Faux Positifs acceptable d'un point de vue astronomique

PERSPECTIVES

- Implémentation d'un flot optique mono-échelle pour compenser le mouvement avant l'étape de max-réduction
- Exploration automatique de l'espace des paramètres avec une méthode d'apprentissage statistique
- Optimisation de l'étape de l'hystérésis qui prend 95% du temps de traitement

BIBLIOGRAPHIE

- [1] J. Vaubaillon et al. A 2022 τ -herculid meteor cluster from airborne experiment: automated detection, characterization and consequences for meteoroids. *Astronomy & Astrophysics*, September 2022.
- [2] F. Ocaña, A. Sánchez de Miguel, Daedalus Project, et al. Balloon-borne video observations of geminids 2016. *preprint arXiv:1911.10064*, 2019.
- [3] M. Kandeepan, C. Ciocan, A. Cassagne, and L. Lacassagne. Parallélisation d'une nouvelle application embarquée pour la détection automatique de météores. In *COMPAS 2023 - Conférence francophone d'informatique en Parallélisme, Architecture et Système*, Annecy (France), France, July 2023.
- [4] S. Molau and P. S. Gural. A review of video meteor detection and analysis software. *WGN, Journal of the IMO*, 33(1):15-20, 2005.