

Spectro-imageur haute résolution/temps réel de phénomènes rapides



B. Trégon



J. Vaubaillon, F. Colas



S. Bouley

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Objectifs scientifiques : Quels domaines ?

Domaine de l'Astrophysique

- Étude des phénomènes de **rentrée atmosphérique**
- Détermination des **paramètres astrométriques** (trajectoire, orbites)
- Analyse spectroscopique** des météores (Intérêt en planétologie)
- Comportement des **objets artificiels** après désorbitation (Intérêt pour le spatial)
- Physique des **vitesses hypersoniques** (10 à 70 km/s)



Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Objectifs scientifiques : Quels domaines ?

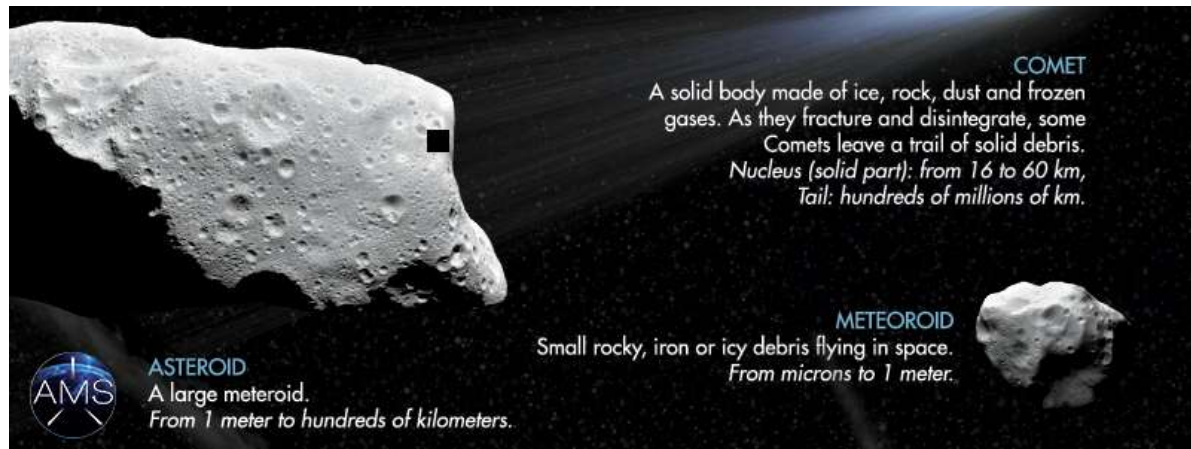
Domaine de la biophysique :

- Imagerie du vivant ou de systèmes modèles (Vésicules lipidiques)
- Étude des phénomènes physico-chimique en microscopie confocale
- Imagerie dynamique par fluorophores (gradients d'espèces chimiques, cartographie de Ph en mode vidéo)
- Imagerie localement en mode « hyperspectral »

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Premier objectif : les objets naturels entrants dans l'atmosphère



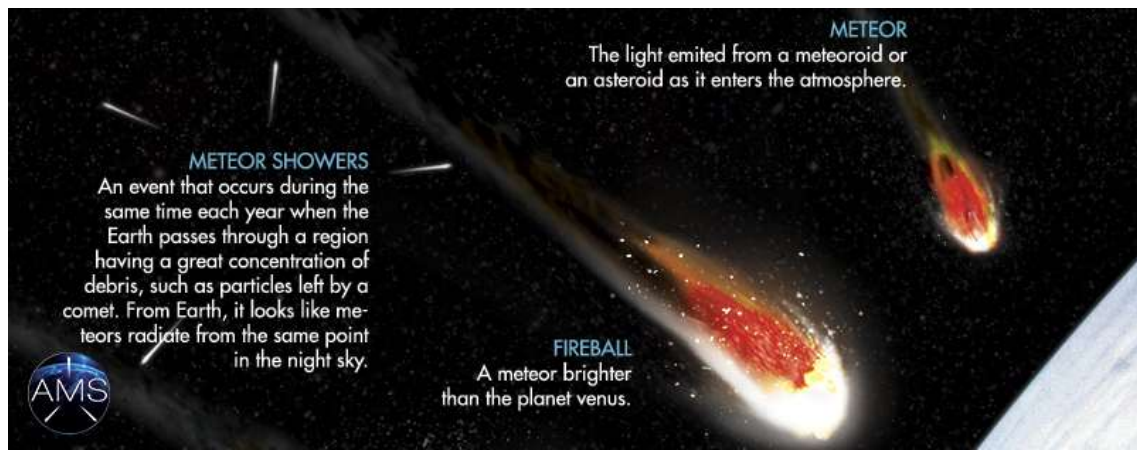
COMET
A solid body made of ice, rock, dust and frozen gases. As they fracture and disintegrate, some Comets leave a trail of solid debris.
Nucleus (solid part): from 16 to 60 km,
Tail: hundreds of millions of km.

ASTEROID
A large meteoroid.
From 1 meter to hundreds of kilometers.

METEOROID
Small rocky, iron or icy debris flying in space.
From microns to 1 meter.



La majorité des météoroïdes entrant dans l'atmosphère est issu de poussière cométaire ou débris astéroïdaux.
De dimension très variable, il en tombe entre 10 et 100 tonnes/jours à la surface de la Terre



METEOR SHOWERS
An event that occurs during the same time each year when the Earth passes through a region having a great concentration of debris, such as particles left by a comet. From Earth, it looks like meteors radiate from the same point in the night sky.

METEOR
The light emitted from a meteoroid or an asteroid as it enters the atmosphere.

FIREBALL
A meteor brighter than the planet Venus.

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Quelques exemples : Bolide du 17 Mars 2016 Région de Londres

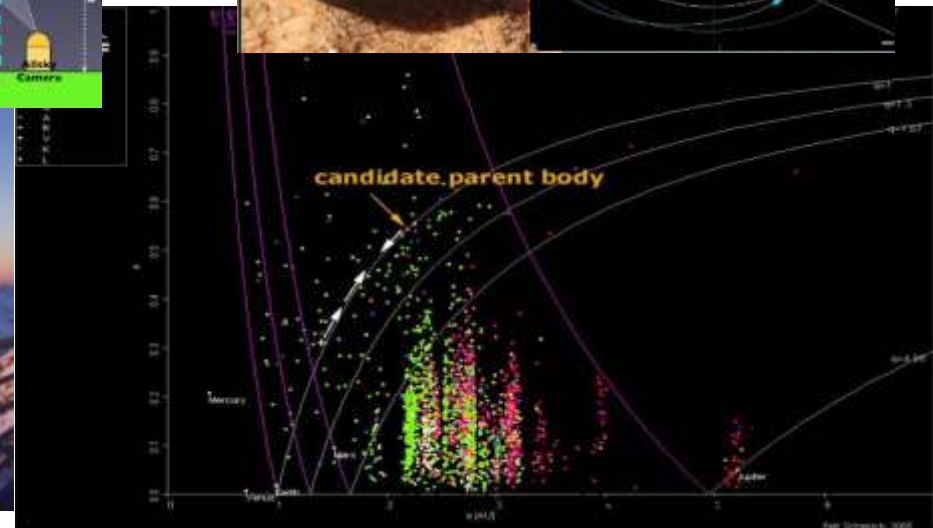
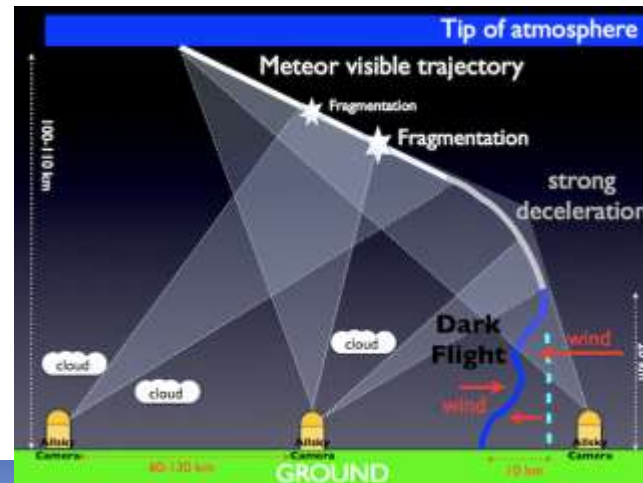


7 caméras d'un réseau de surveillance du ciel Britannique
on capturé simultanément la chute de ce corps

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Détermination des paramètres astrométrique
(orbite ou ellipse de chute au sol)



FRIPON ANR
Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network

GEOPS GEOSCIENCES PARIS SUD

MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

J. Vaubaillon

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Composition des météoroïdes : 2 approches possibles

Récupération au sol

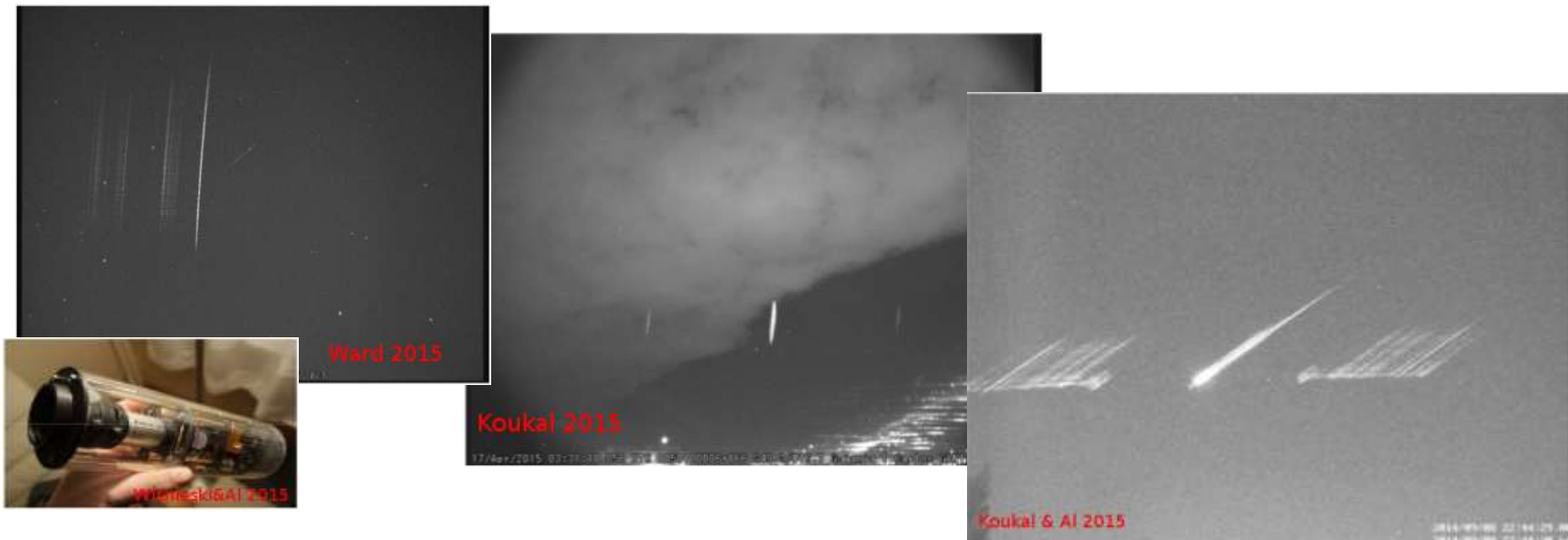


Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Composition des météoroïdes : 2 approches possibles

Analyse spectroscopique au cours de la rentrée atmosphérique



L'état de l'art consiste à placer un disperseur devant l'objectif d'une caméra vidéo

Inconvénient n°1 : Spectres basse résolution ($>10\text{nm/pixel}$)

Inconvénient n°2 : faible sensibilité des capteurs CCD et CMOS en mode vidéo (25 images/seconde)

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Composition des météoroïdes : 2 approches possibles

Analyse spectroscopique au cours de la rentrée atmosphérique

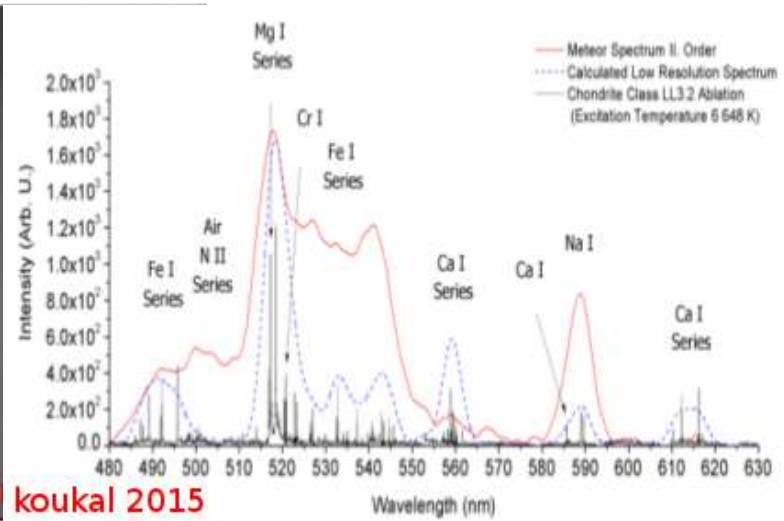


Figure 8 – Combined spectrum image of bolide EN91214 (20141209_161645).

Disperseur devant l'objectif d'une caméra vidéo

Inconvénient n°3 : Orientation aléatoire de la trajectoire d'entrée du météore/Axe de dispersion spectrale

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Composition des météoroïdes : 2 approches possibles

Analyse spectroscopique au cours de la rentrée atmosphérique

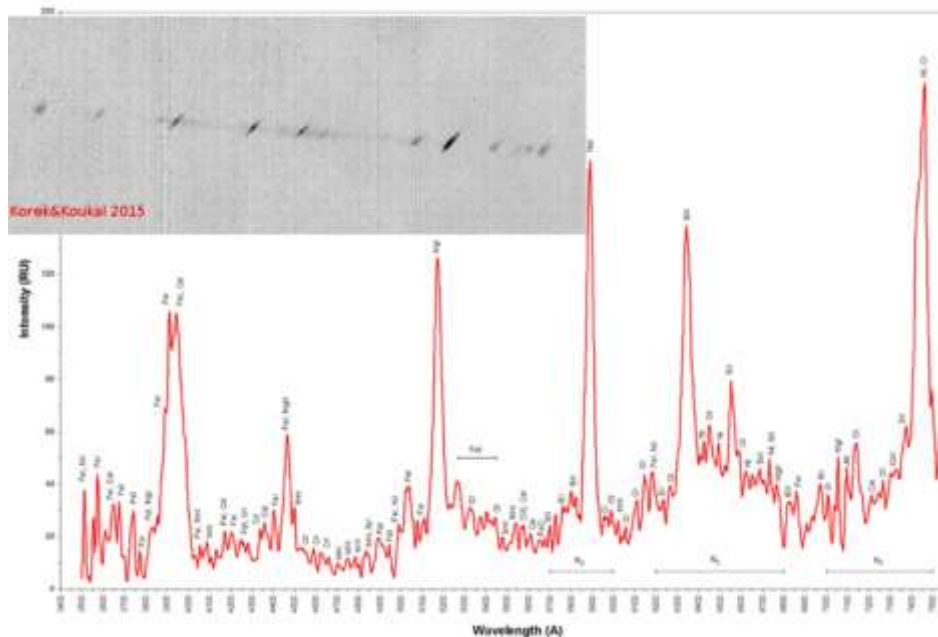


Table 1 – Dominant emission lines seen in meteors.

| Element | Wavelengths (nm) |
|---------------|--------------------------|
| Fe band #4 | 382.1 – 388.7 |
| Ca+ H,K | 393.5, 397.0 |
| Fe band #3 | 421.7 |
| Ca | 422.8 |
| Fe band #2 | 427.3- 441.6, 436 |
| Mg | 516.9, 517.4, 518 |
| Fe band #1 | 527.1 - 545.7 |
| Forbidden O | 557.9 |
| Na | 589.1, 589.8 |
| Atmospheric O | 615.8, 616.0 |
| Si+ | 634.9, 637.3 |
| Atmospheric N | 742.5, 744.4, 747.0 |
| Atmospheric O | 777.4, 777.6, 777.8, 844 |
| Atmospheric N | 818-824, 857-868 |

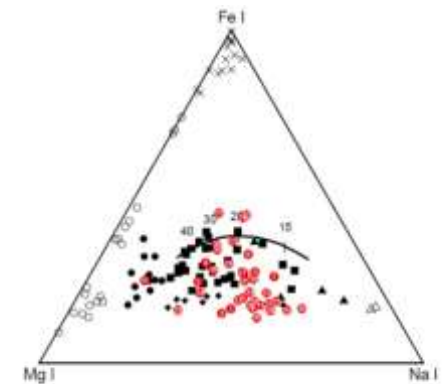


Figure 2 – Spectral classification of 35 analyzed meteor spectra (numbers) along with data from a sample of 97 spectra observed by Benetka et al. (2005) represented by symbols: ● normal, ● Na-poor, ● Fe-poor, ▲ enhanced Na, X iron, + Na-free, and ○ Na-rich.

Disperseur devant l'objectif d'une caméra vidéo

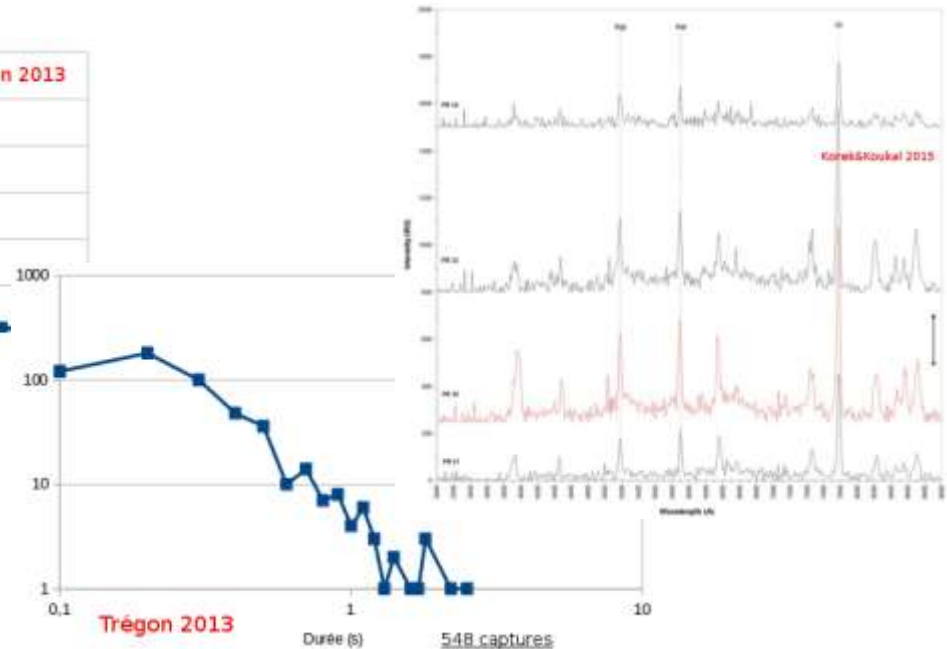
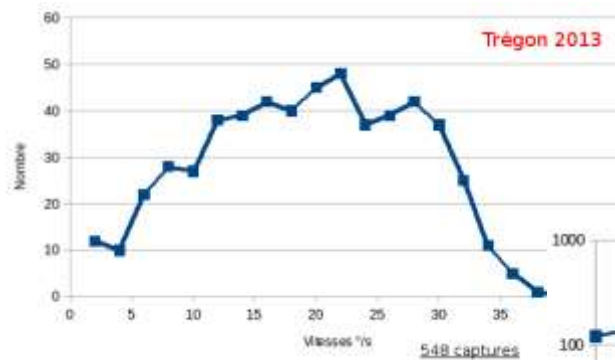
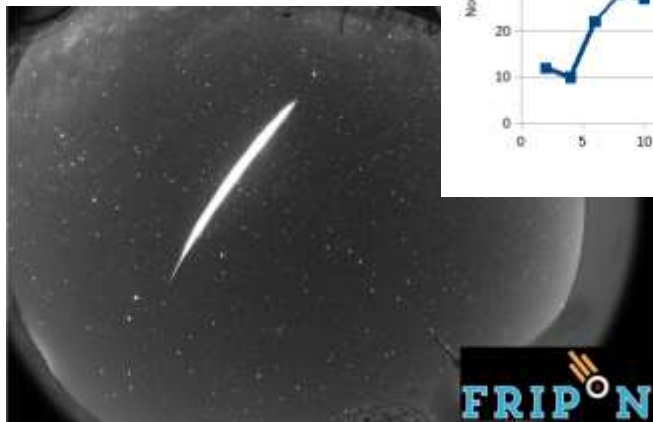
Inconvénient n°4 : Rapport signal sur bruit extrêmement bas.

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de l'Astrophysique

Composition des météoroïdes : 2 approches possibles

Analyse spectroscopique au cours de la rentrée atmosphérique



Disperseur devant l'objectif d'une caméra vidéo

Inconvénient n°5 : Vitesse des phénomènes de rentrée atmosphériques

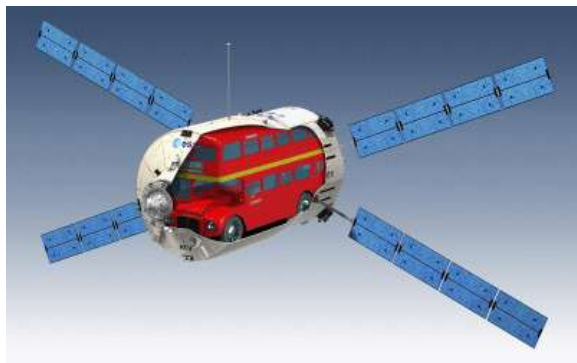
Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine spatial :

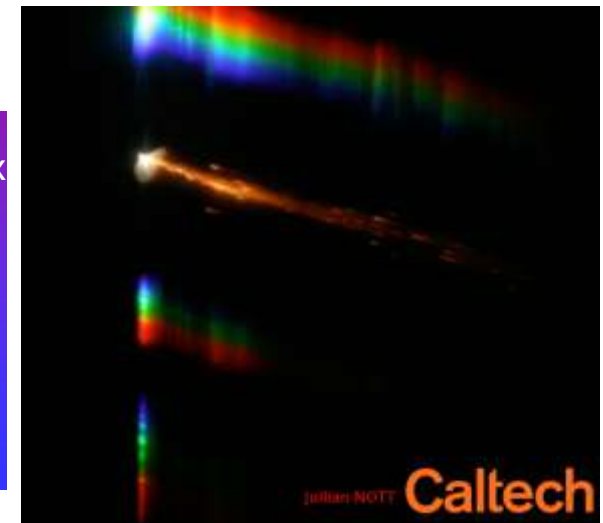
Second objectif : les objets Artificiels entrants dans l'atmosphère



ATV1 Jules Verne avant ré-entrée ($v=7.5\text{km/s}$)



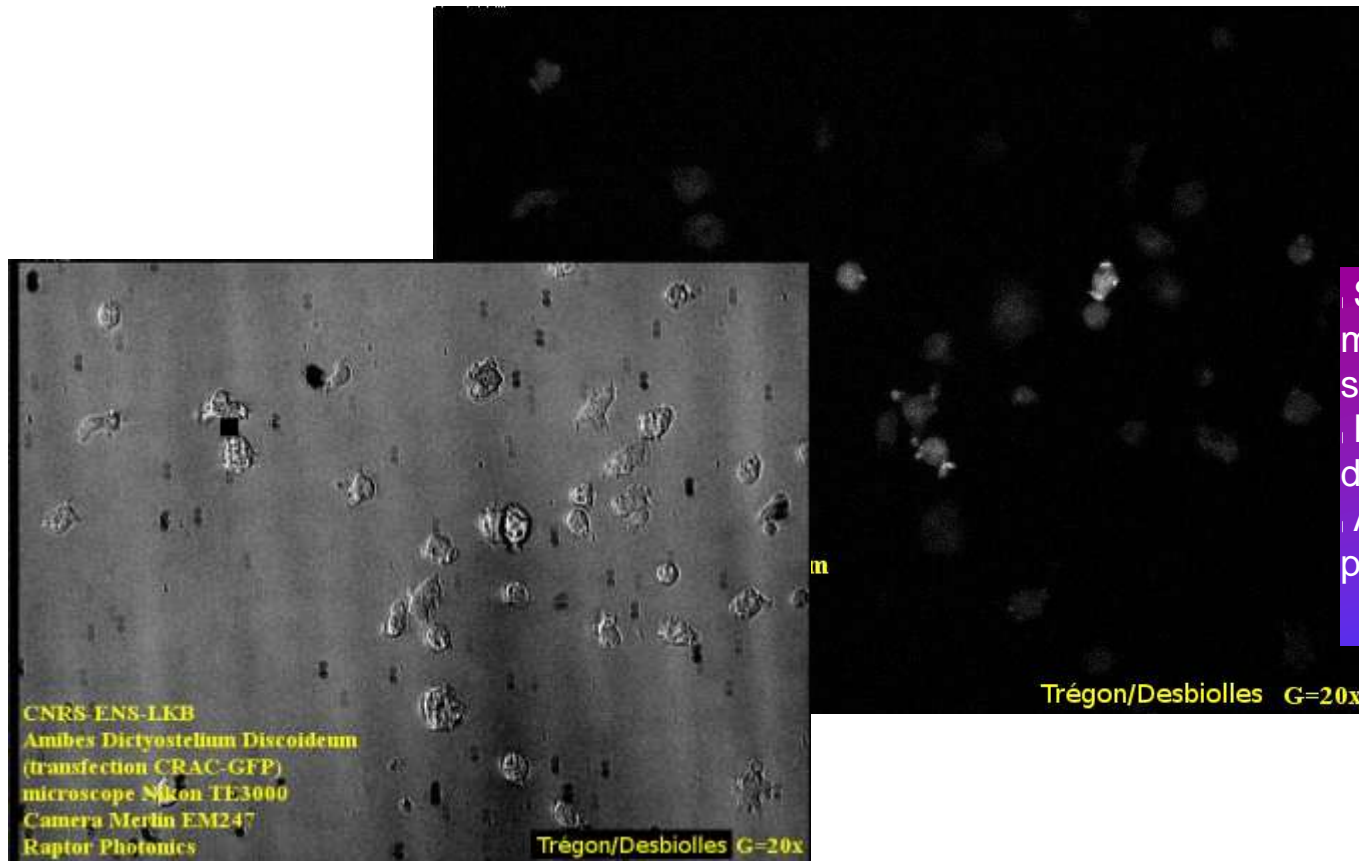
Étude des abrasions de débris spatiaux lors de la rentrée atmosphérique en fonction de leur composition.
Impact de la taille de ces débris en fonction des zones de chute
Gestion de la responsabilité des États en cas d'accidents ou de pollutions



Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de la **biophysique** (perspective LOMA):

Étude des phénomènes physico-chimique en microscopie confocale



Suivi de la localisation de protéines marquées par fluorophores spécifiques sur membranes cellulaires
Étude locale des concentrations d'espèces chimiques
Analyse dynamique des phénomènes physico-chimique

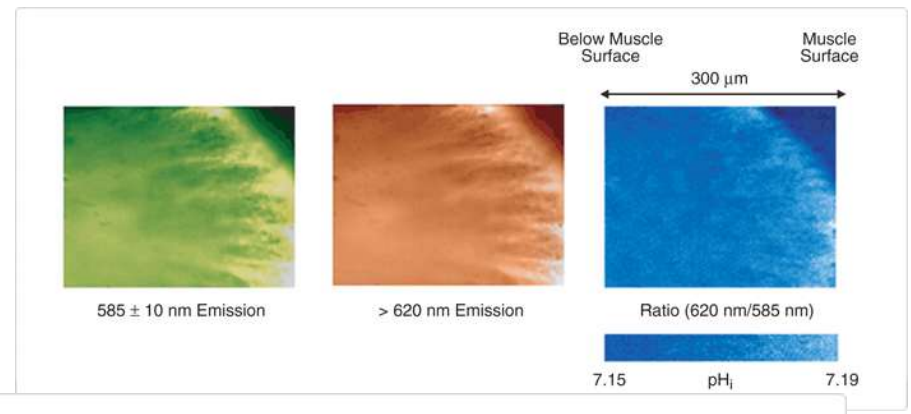
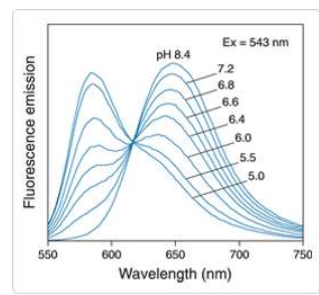
CNRS ENS-LKB
Amibes Dictyostelium Discoideum
(transfection CRAC-GFP)
microscope Nikon TE3000
Camera Merlin EM247
Raptor Photonics

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Domaine de la biophysique (perspective LOMA):

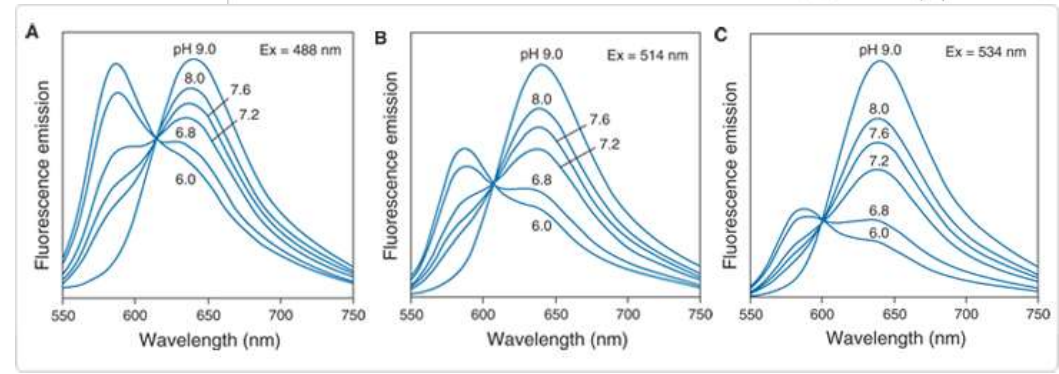
Imagerie dynamique par marqueurs de Ph (gradients d'espèces chimiques, cartographie de Ph en mode vidéo)

- $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ exchange
- K^+/H^+ exchange
- Na^+/H^+ exchange
- $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchange
- NH_4^+ transport
- Lactate transport and metabolism
- Apoptosis
- Phagocytosis
- Regulation of pancreatic insulin secretion
- Voltage-activated H^+ conductance in neurons



ThermoFisher
SCIENTIFIC

Mesure directe de Ph
Inter/intracellulaire ou de fragments
cellulaires isolé à cadence vidéo



Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Cahier des charges de l'instrument :

les principaux verrous technologiques actuels associés aux besoins :

Astrophysique et spatial :

Point n°1 : Spectres très basse résolution ($>10\text{nm/pixel}$)

Point n°2 : faible sensibilité des capteurs CCD et CMOS

Point n°3 : Orientation aléatoire de la trajectoire d'entrée du météore/Axe de dispersion spectrale

Point n°4 : Rapport signal sur bruit extrêmement bas.

Point n°5 : Vitesse des phénomènes de rentrée atmosphériques extrêmement élevée

Biophysique :

Point n°1 : Spectres très basse résolution ($>10\text{nm/pixel}$)

Point n°2 : faible sensibilité des capteurs CCD

Point n°3 : position aléatoire de l'objet à étudier

Solutions mise en œuvre

Spectroscopie très haute performances ($<1\text{nm/pixel}$)

Caméra d'imagerie en techno **EMCCD**

Système d'**optique active** innovant

Camera Spectrale **EMCCD**

Camera Spectrale et Imagerie **haute cadence**

Spectroscopie haute performances (2nm/pixel)

Caméra d'imagerie en techno **EMCCD**

Système d'**optique active** innovant



Défi Instrumentation aux limites

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

L'apport du Défi Instrumentation aux limites

The Meteor Ultimate Survey: speCtroscopy And Trajectory (MUSCAT)



Mission interdisciplinarité
Centre national de la recherche scientifique

Financement Initial :40 %

Caméra d'imagerie en techno EMCCD

Système d'optique active innovant

Spectroscopie haute performances (1nm/pixel)

Spectroscopie très haute performances (0.1nm/pixel)

Camera Spectrale haute cadence EMCCD



Financement
Complémentaire : 60 %



Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Caméra d'imagerie en techno EMCCD



Caméra 1kx1k
EMCCD
Raptor Photonics



Système d'optique active innovant

« Camera spectro-imageur temps réel
en bande visible pour cible
mobile »

Décret de bruyet en cours (DL n°88994-04)



Passage en comité des
engagements du CNRS
le 26/04/2016

Camera Spectrale haute cadence EMCCD



Caméra Linéaire
EMCCD ANDOR
(1600 spectres/s)

Spectroscopie haute performances (1nm/pixel)



Spectro Alpy 600
Shelyak

Spectroscopie très haute performances (0.1nm/pixel)



Spectro Shamrock
ANDOR

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

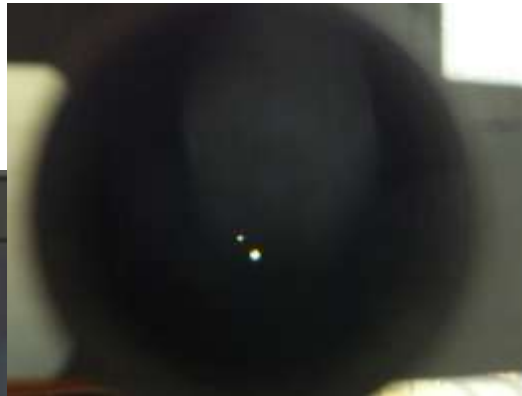
Les résultats : Validation de l'optique active



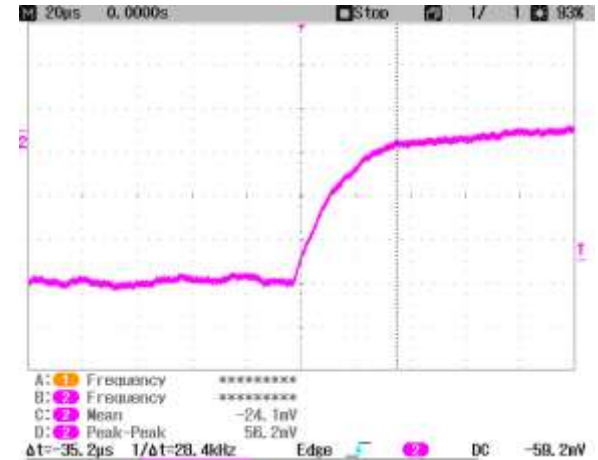
Image Caméra



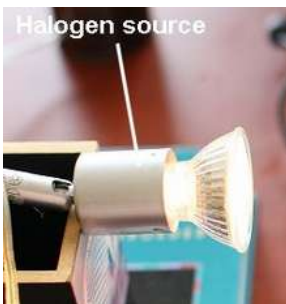
Détection de mouvement



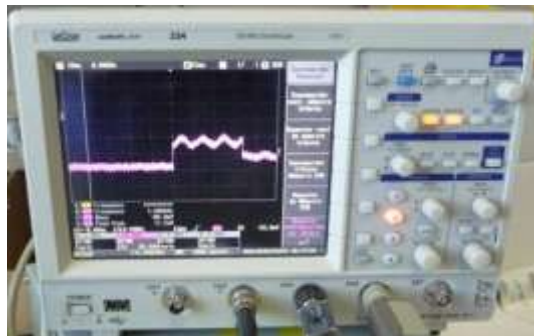
Photons collectés



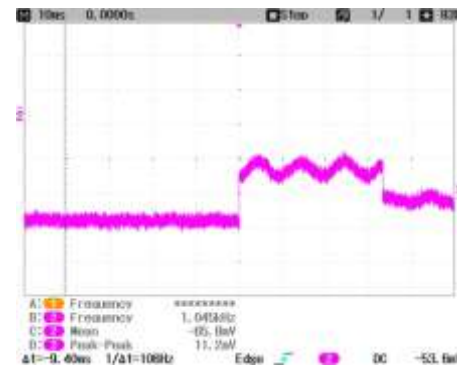
Temps de montée 35μs



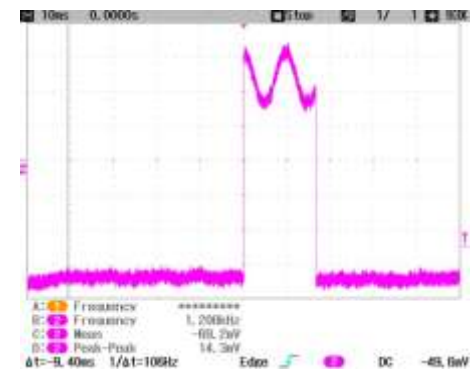
Halogen source



Caractérisation de l'optique active à l'aide d'un photomètre



Pose 30ms



Pose 15ms

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Les résultats : Mars 2016



Première intégration à l'IMCCE

Tests et Validation :



Premier spectres Atmosphériques et sur spot laser mobile

Il subsiste un problème sur le système de collimation optique, provoquant une perte de flux. Une solution a été trouvée et est en cours de mise en place



Essais en conditions réelles à L'Observatoire de Haute Provence (UMS 3470)

Encore en phase de mise au point (12 mois de travail sur 18 prévus), la livraison finale est prévue pour Juin/Juillet.
On espère les premières séries de spectres sur l'Essaim des Perséides au mois d'Août ...

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Les Perspectives :

- ▣ Finalisation de la version Astrophysique sol (Mai/Juin 2016)
- ▣ Réalisation d'une version « avionique » pour l'étude du domaine spatial (Automne 2016)
- ▣ Test de la version biophysique au LOMA (été 2016)
- ▣ Valorisation du système si obtention du brevet

Obtention d'un complément de financement sur le « Défi Instrumentation aux limites 2016 »



Défi Instrumentation aux limites

Spectro-imageur haute résolution/temps réel

Merci de votre attention