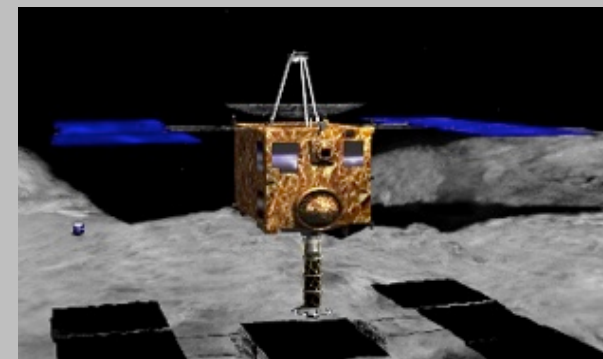


Prospectives IN2P3 GT12

IPHC, 06-02-2020

Micrométéorites ultracarbonées / Hayabusa 2,
origine de la matière organique interplanétaire

J. Duprat et al. IJCLab-IMPMC

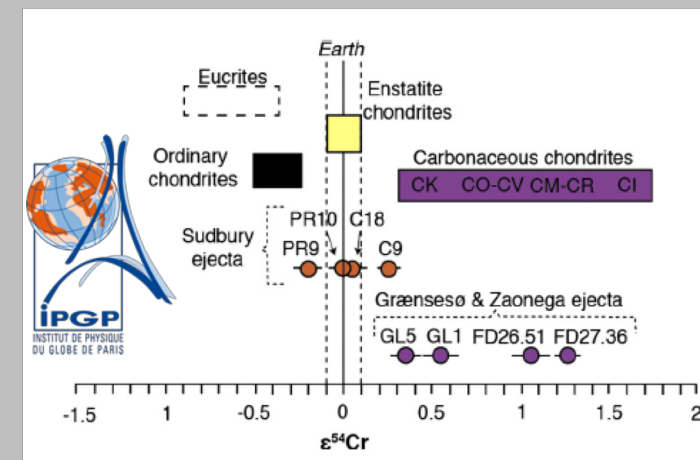


La signature isotopique de l'eau dans les micrométéorites

L. Piani et al CRPG

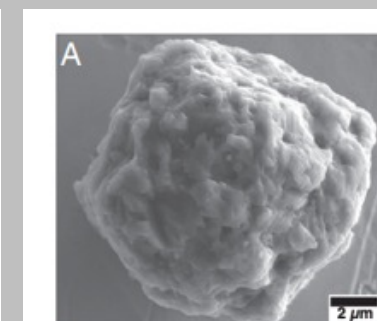
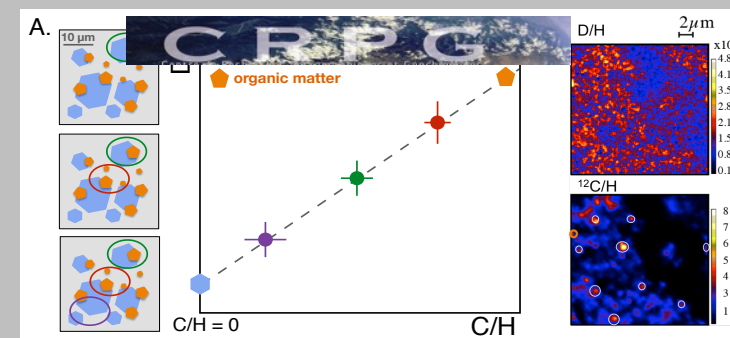
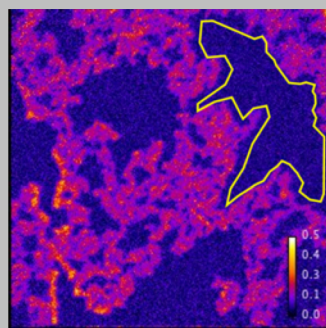
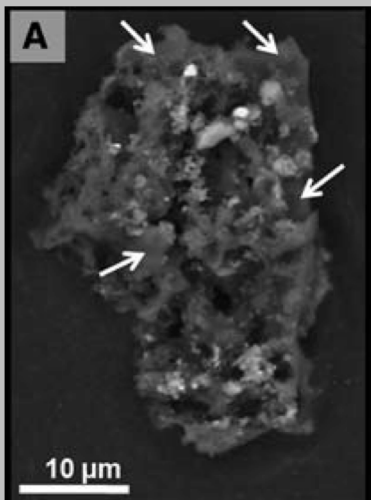
Composition isotopique de haute précision des
micrométéorites

F. Moynier et al IPGP

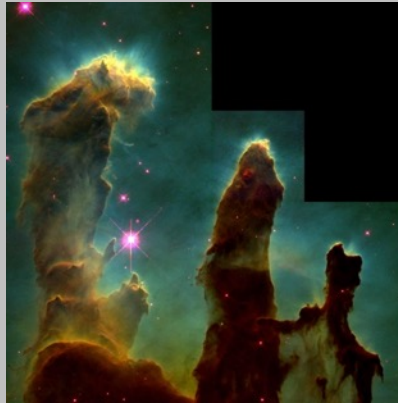
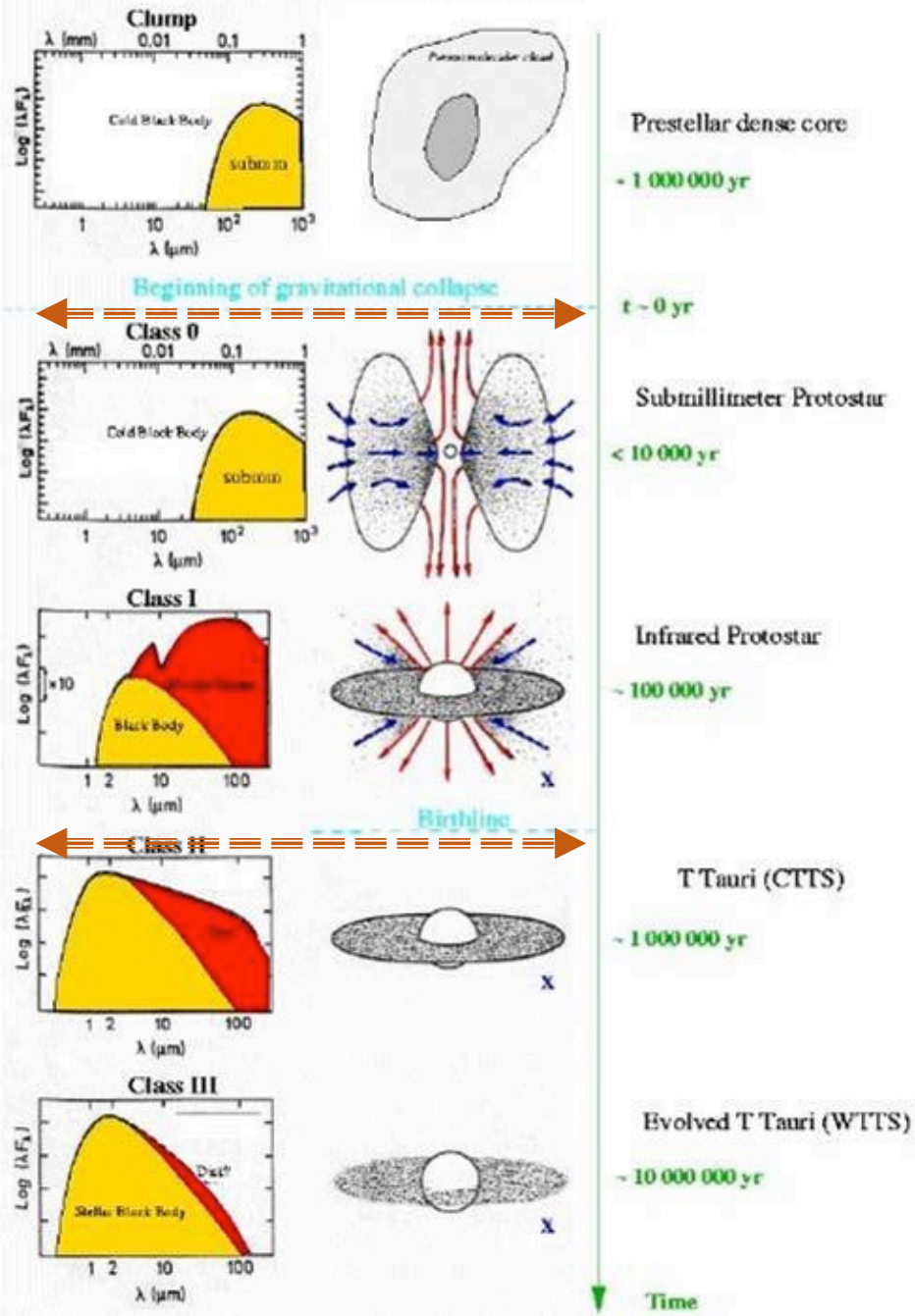


collaborations INSU, INP, INC,

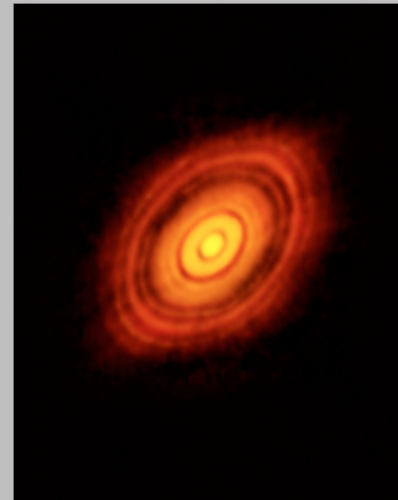
CEA, IPEV, Institut Curie, ...



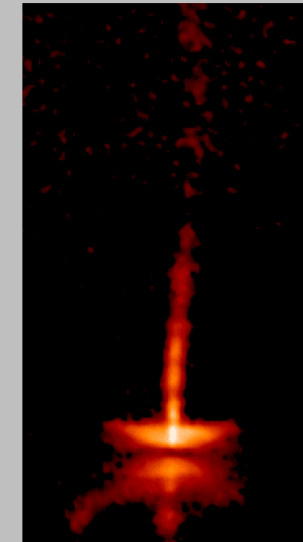
Contexte : les frontières entre milieu interstellaire disques protoplanétaires, planètes, ...



Eagle nebula, 6500 LY (2 kpc),
Size 1 LY, ~50 kAU, ~ 0.3 pc



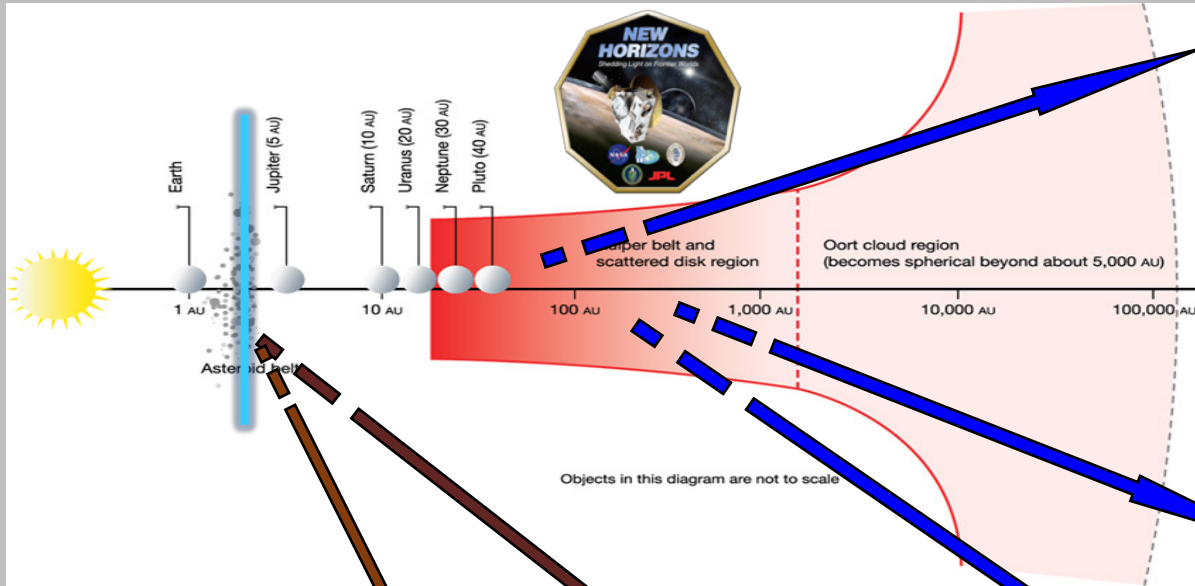
HL-Tauri (450 LY), ALMA 2014



HH 30 (450 LY)
Hubble



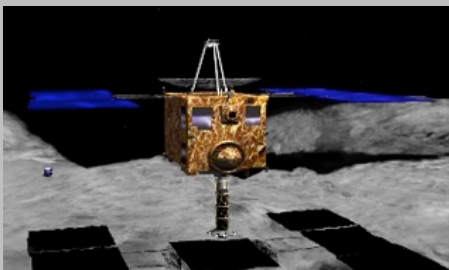
Des échantillons & des observations



STARDUST (*Wild2*, 2006)



ROSETTA (*67P/GC*, 2018)



Hayabusa 2 (*Ryugu* 12/2020)



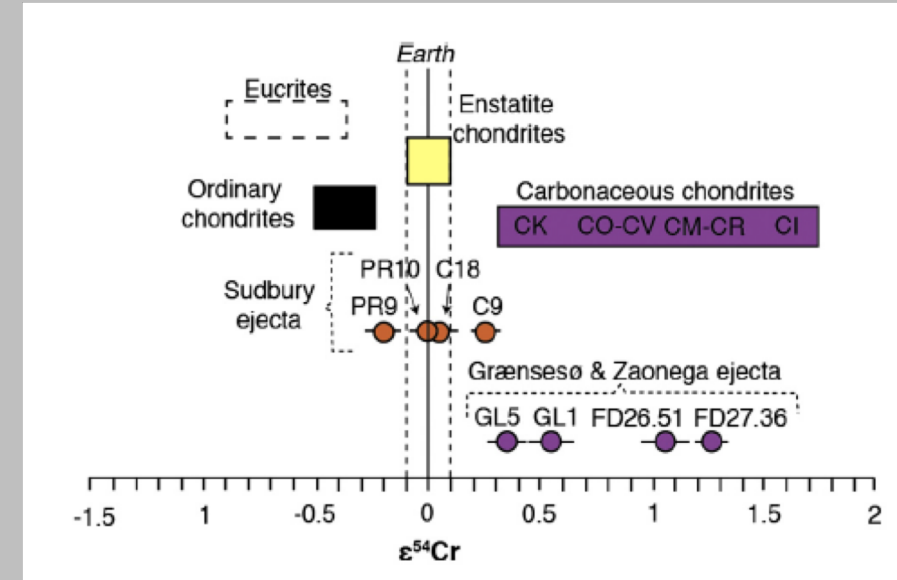
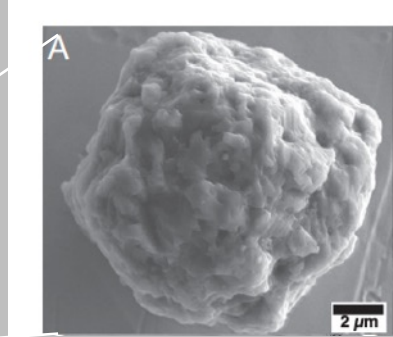
OSIRIS-REx (*Bennu*, 09/2023)



Deep Impact
(*Temple 1*, 2005)

La matière primitive carbonée, le continuum *astéroïdes-comètes*

Quelles sont les phases porteuses de l'héritage interstellaire ?



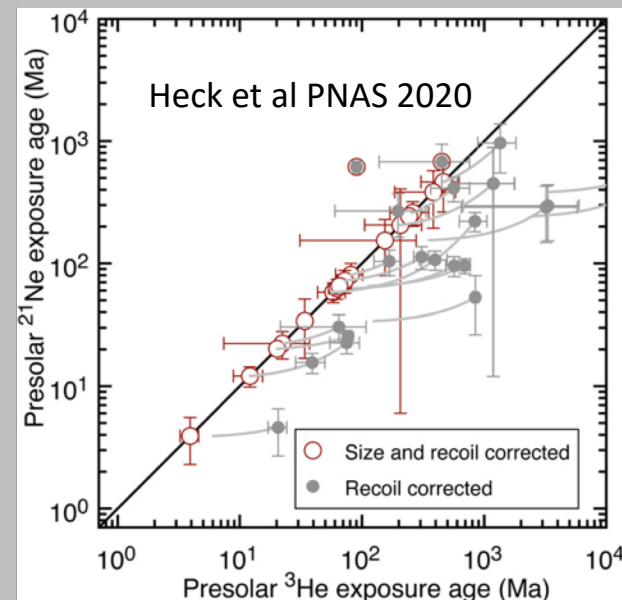
Contribution F. Moynier et al GT12 2020

Perspectives :

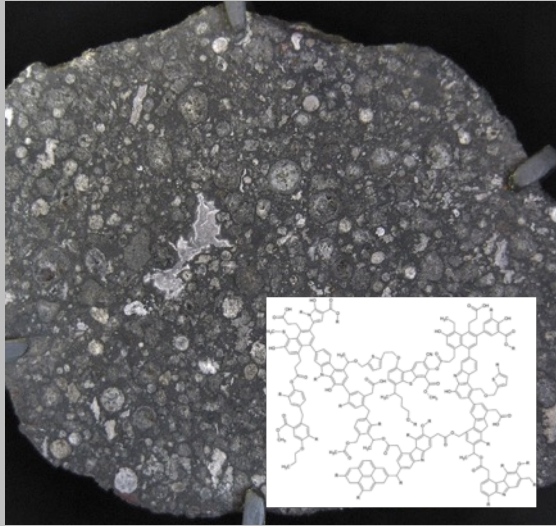
- Nouveaux échantillons
- Développements spectrométrie de masse
- Modèles de nucléosynthèse
- Modèles interactions grains-GCR
- > GANIL ?

- Quel est l'âge des grains pré-solaires ?
- Comment survivent-ils dans le milieu interstellaire ?
- Quelles sont leurs sources ?
- Quelle est l'origine des anomalies isotopiques « *bulk* » ?
- Quelle(s) origine(s) des éléments à courtes durée de vie ?

Expertises : INSU, IN2P3, CEA, INP, ...

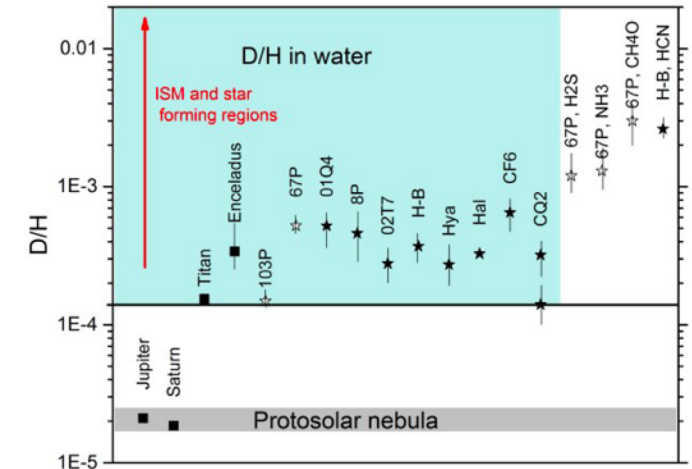


Quelle est l'origine de la matière organique interplanétaire ?



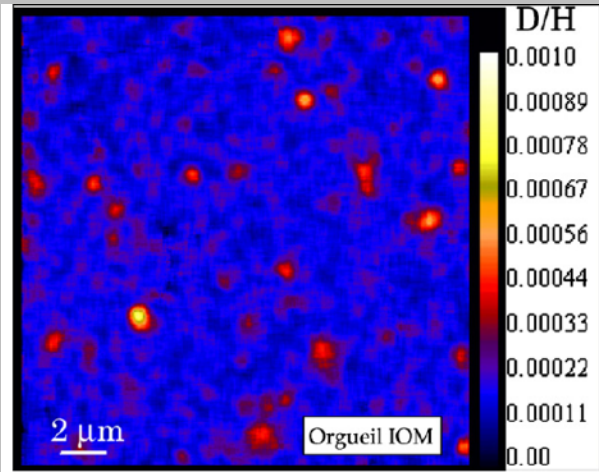
IOM CC

Derenne + 2018

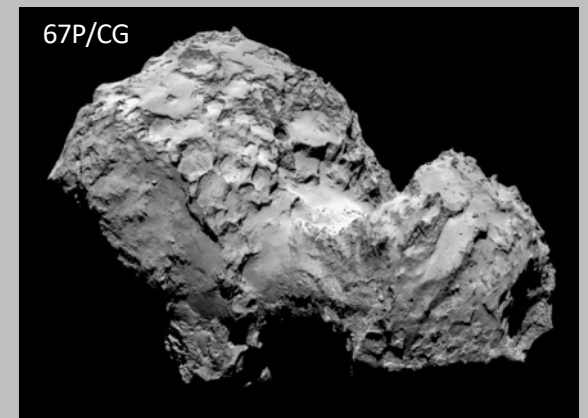
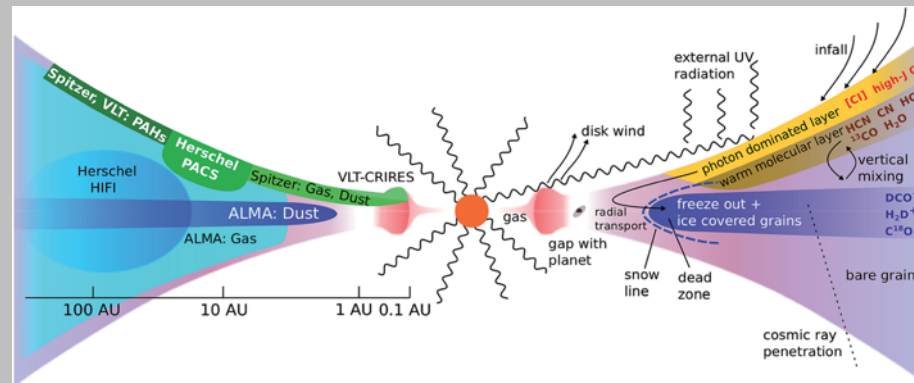


Altwegg+ 2019

Un héritage du nuage moléculaire parent ?

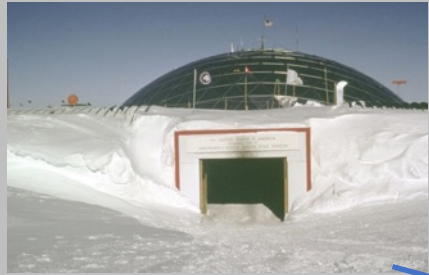


Remusat + 2007

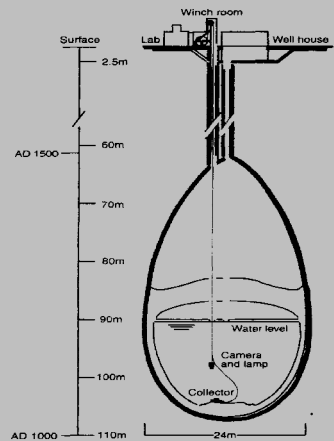


Un héritage des régions froides et denses du disque protoplanétaire ?

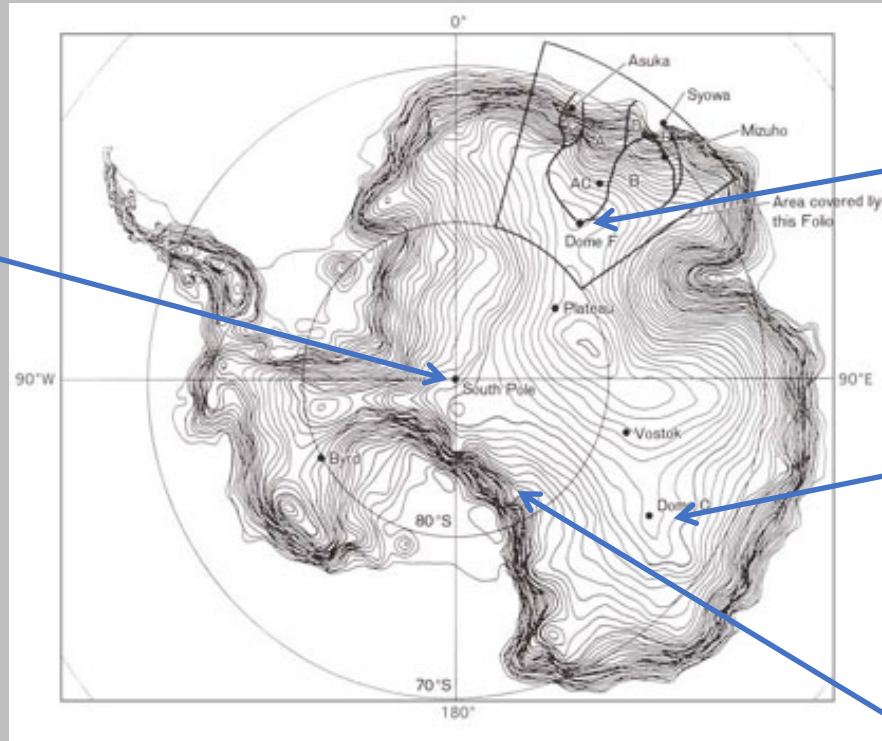
Micrometeorites & Antarctica



Scott Amundsen
South Pole Station



Taylor et al. 1998



Dome Fuji Station



Dome C, Concordia Station



The main collection of micrometeorites are :

- US : South Pole water well collection...
- Japan : Dome Fuji, Syowa Station...
- France, Italy : Dome C, Adélie Land, Transantarctic Mountains...

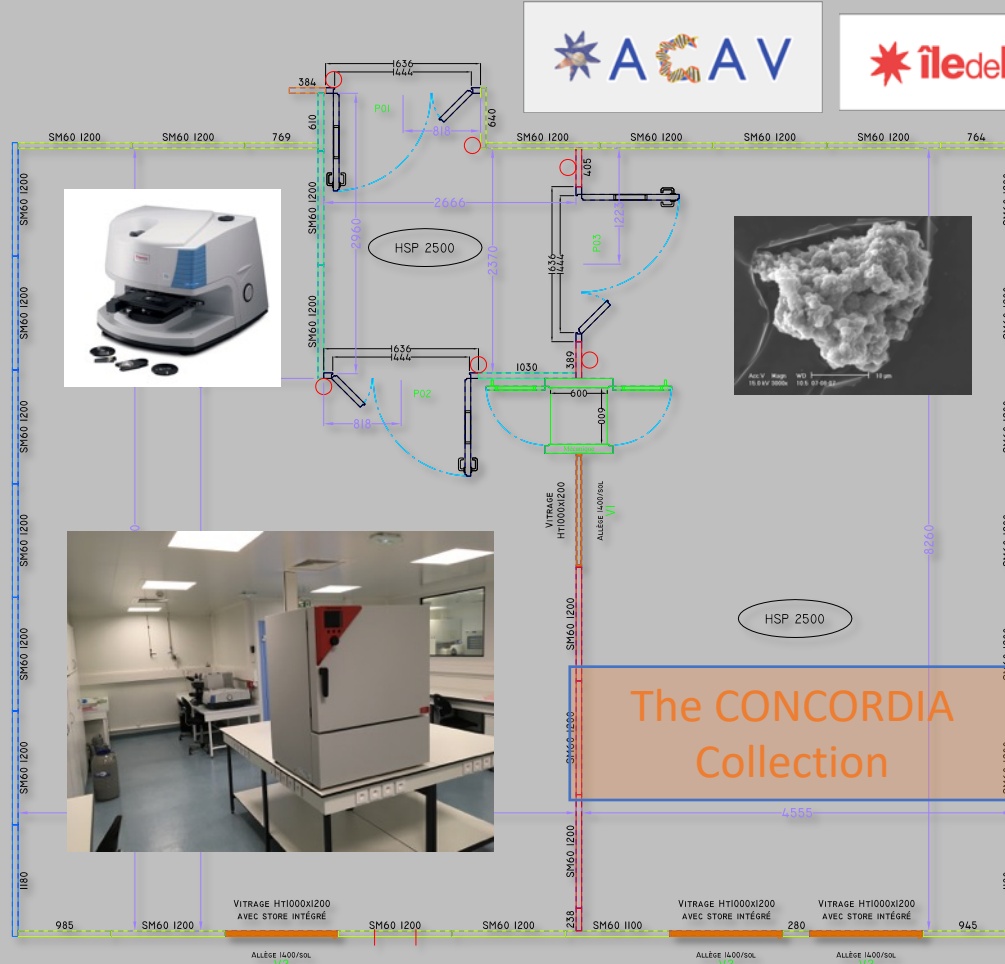
The micrometeorite program @ Concordia



Depuis 2000:
La collection
CONCORDIA

Des particules
préservées de
l'altération terrestre





The Micrometeorite Collection clean room curation & sample preparation

~ 40 m² ISO 7 (classe 10 000 FS 209)

~ 60 m² ISO 8 (classe 100 000 FS 209)

- CONCORDIA micrometeorite curation / analyses / gamma detectors development
- μ -balance, μ -press, ultra- μ -tome,...
- μ -IR (ThermoScientific Nicolet iN10)

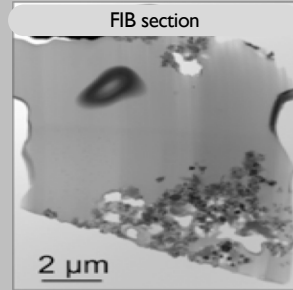
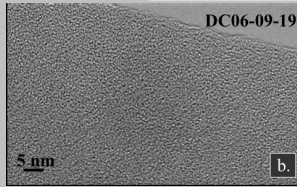


MicrometBase	
Home	Expeditions list
Supports list	Grains list
Expeditions	Meltings
Main supports	Grains
Supports	
Expeditions list	
DC06	Collect place: Dome C Coordinates: 75,110(lat) 123,10(long) Technic: filtrage Collect date: 2006-01-01 146 Grains (54 Fragments)
	Collect place: Dome C

Un réseau d'expertises et de collaborations



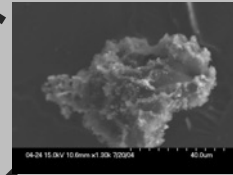
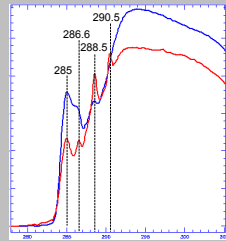
TEM / FIB



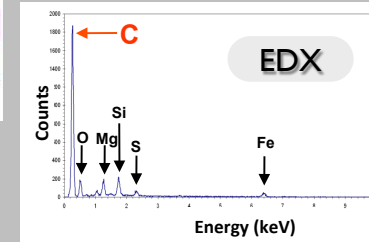
Chemical composition,
Mineralogy, Ultra-thin sections



STXM + XANES

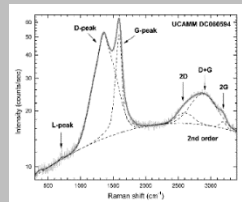


SEM+ EDX

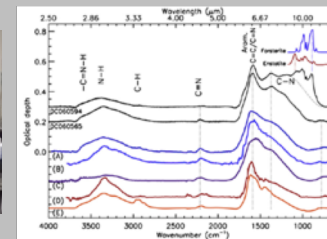


Fonctional group and bonds

Raman Spectroscopy

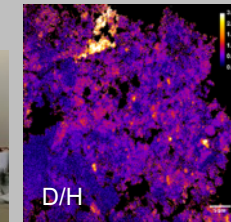


IR Microspectroscopy



Grain morphology and type

NanoSIMS



Isotopic composition

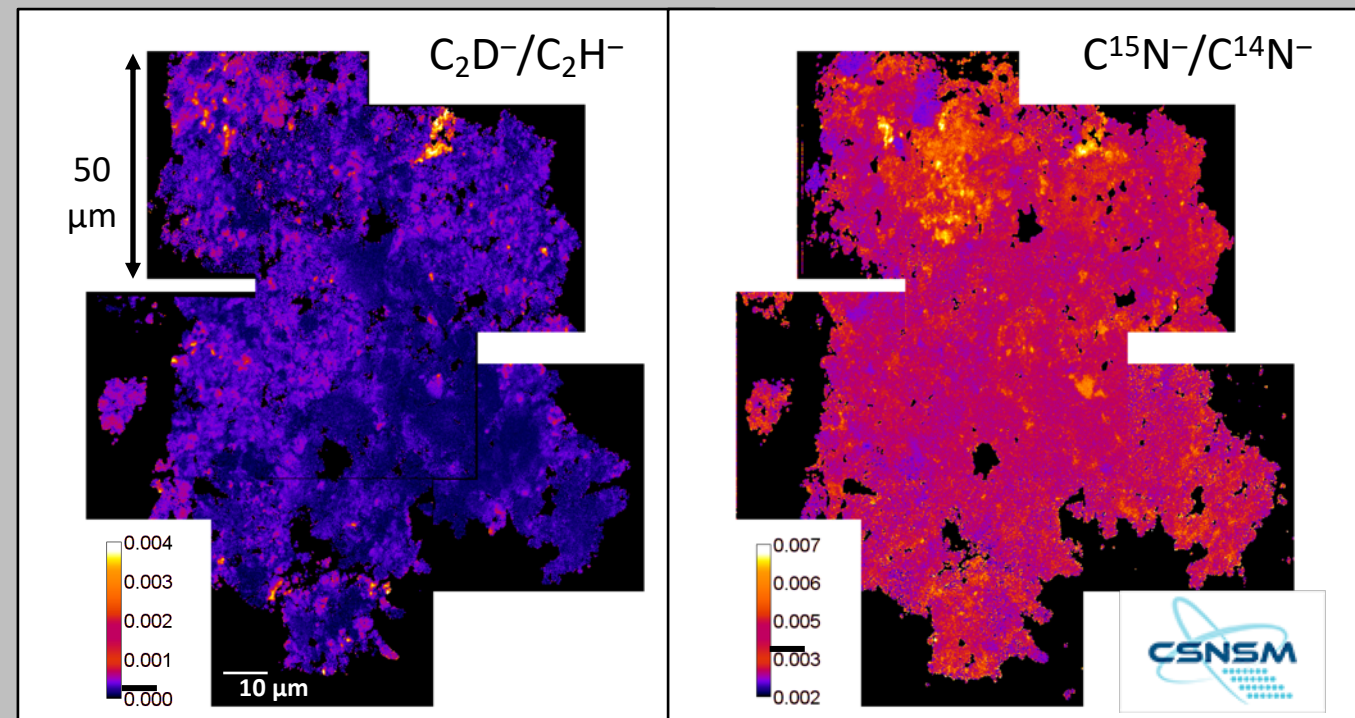
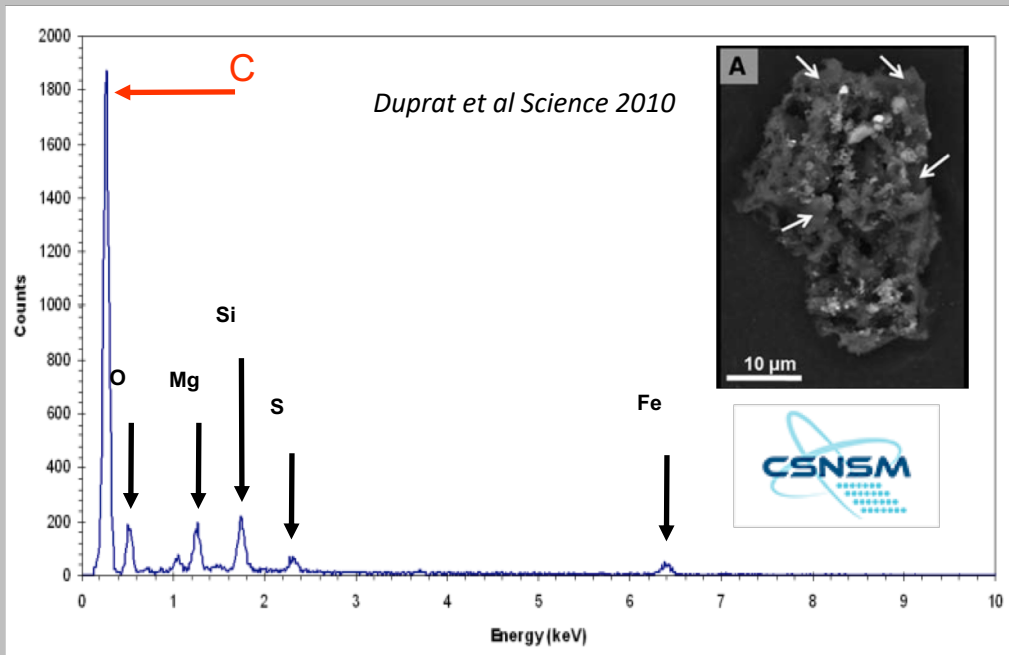


Mineralogy,
structure of the organic matter





Origine de la matière organique et de l'eau cométaire



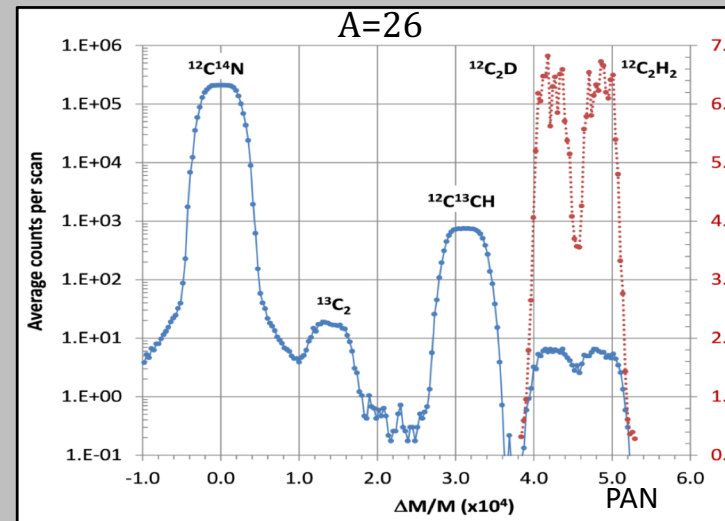
Une découverte récente : les Micrométéorites Ultracarbonées (UCAMMs),

Des grains de comètes en laboratoire

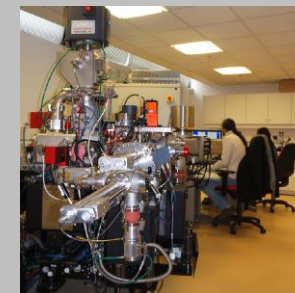
Expertises : INSU, IN2P3, INP, ...

Projet IN2P3 EXTERIOR

ANR COMETOR (C. Engrand) & HYDRATE : L. Piani (CRPG)

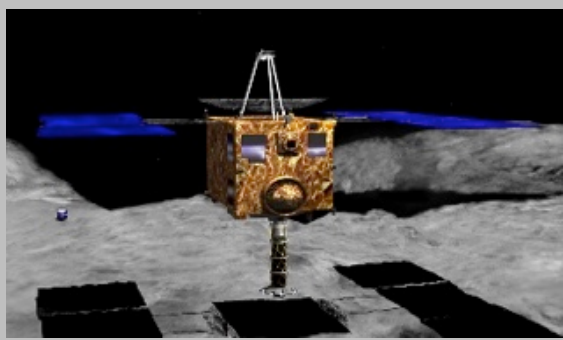


N. Bardin et al. 2015, Rojas+ LPSC 2020

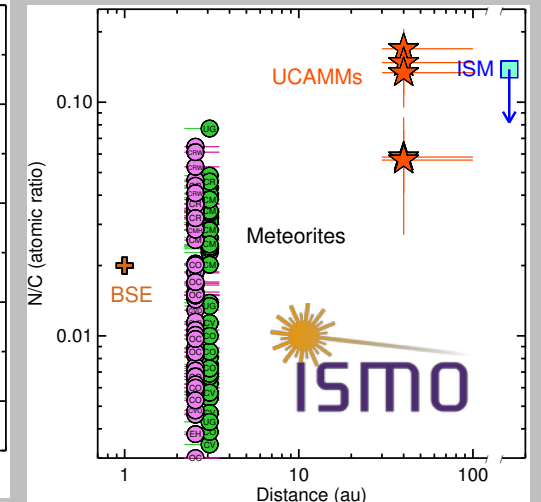
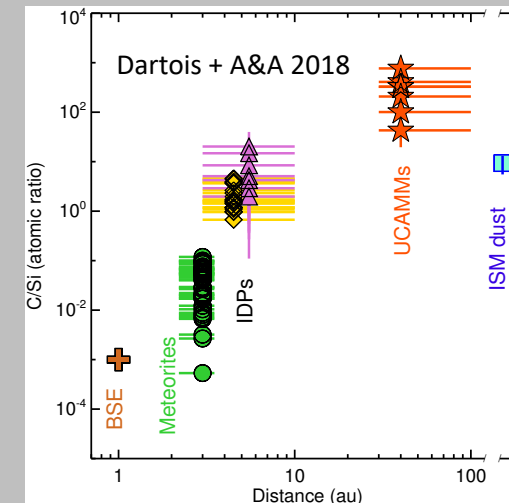
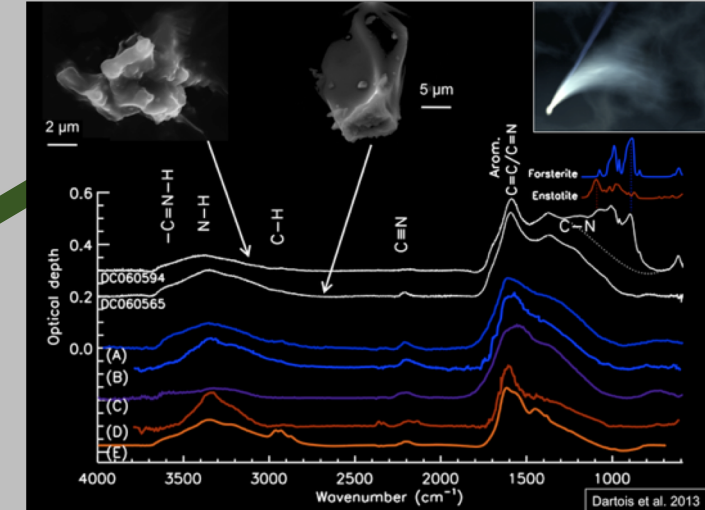
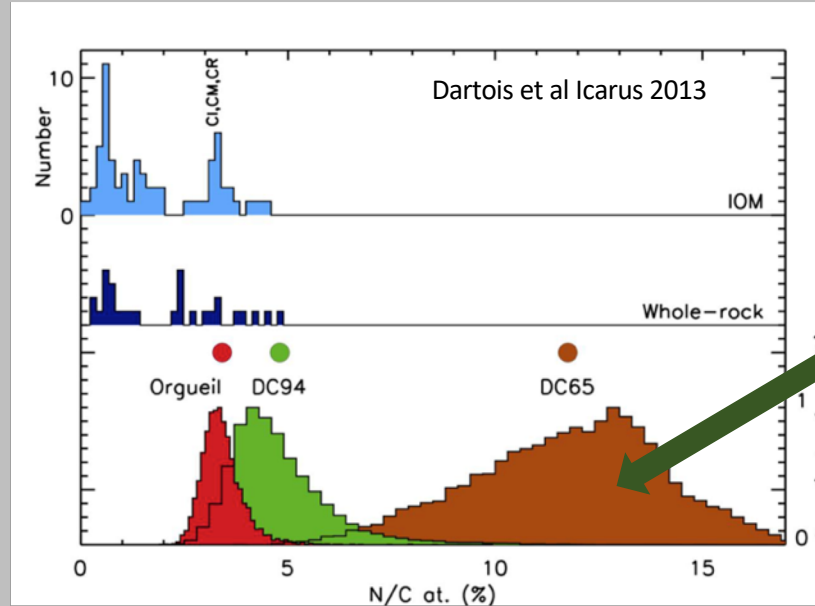


Slodzian et al. M&M 2014

Quelles différences entre matière organique astéroïdale et cométaire ?



Hayabusa 2 (JAXA)
Ryugu sample return 12/2020

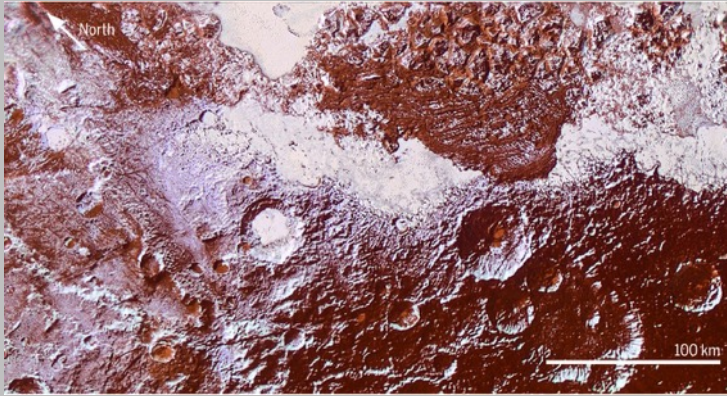


Perspectives :

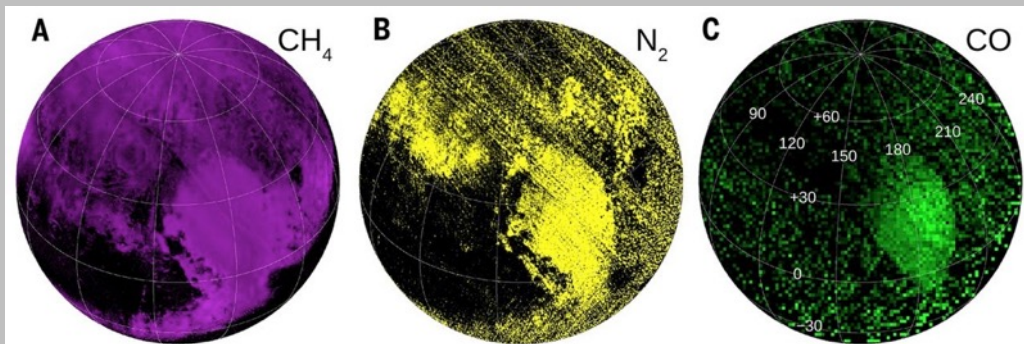
- Quelles seront les caractéristiques de la matière organique d'un astéroïde carboné ?

Irradiation of icy objects beyond the Nitrogen snowline...

Pluto's surface,
NEW HORIZONS space probe 2016

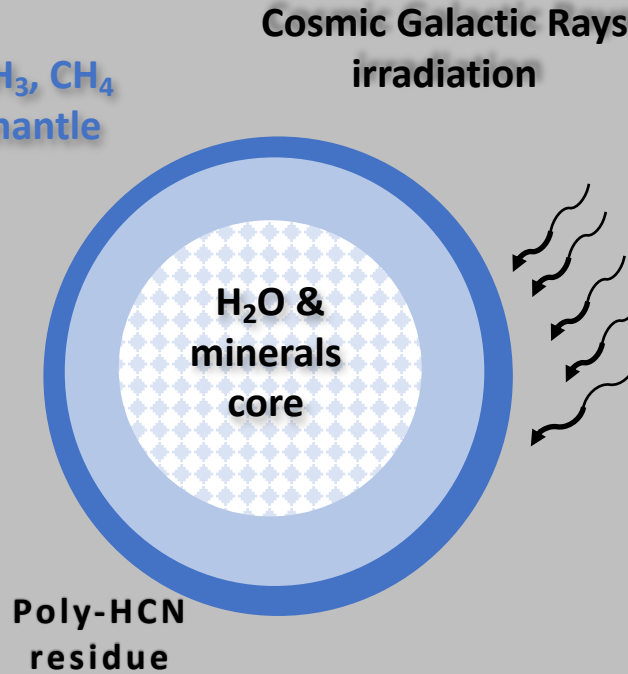


Maps of Pluto's ices CH₄, N₂, and CO

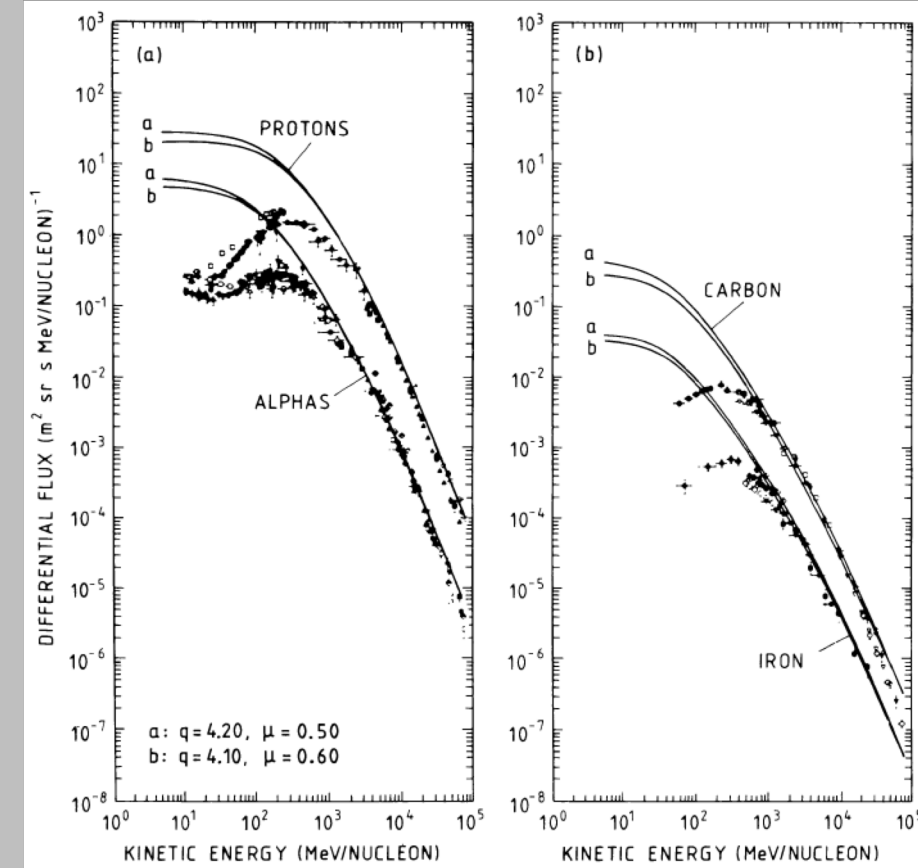


Grundy et al. Science 2016

N₂, NH₃, CH₄
icy mantle

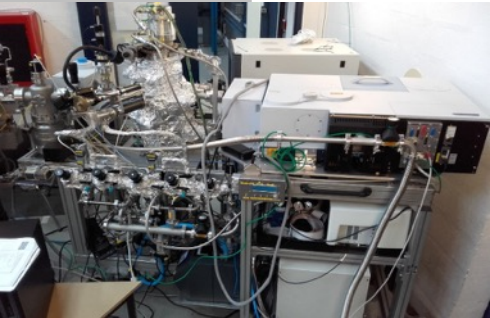
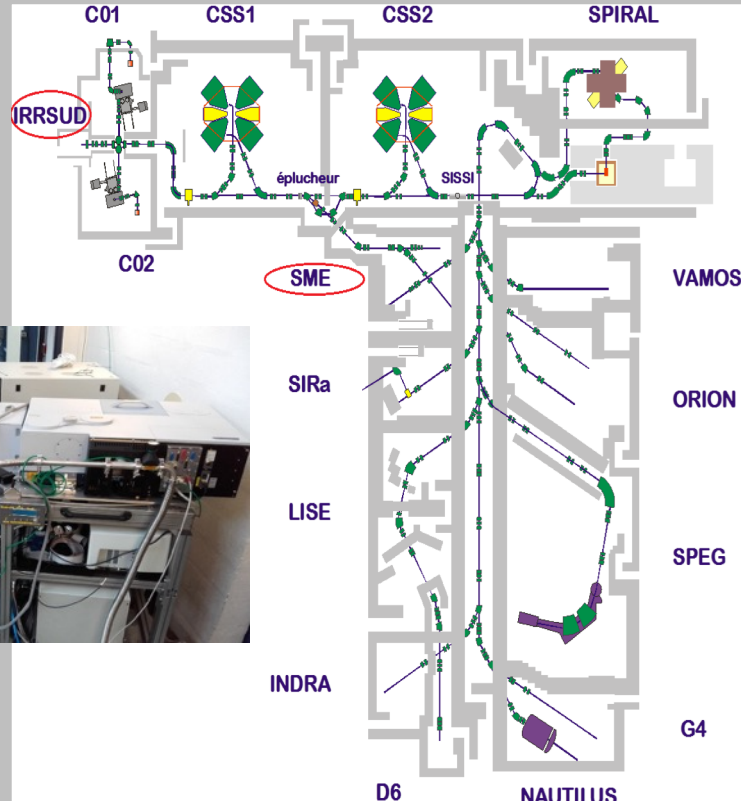


GCR energy spectrum

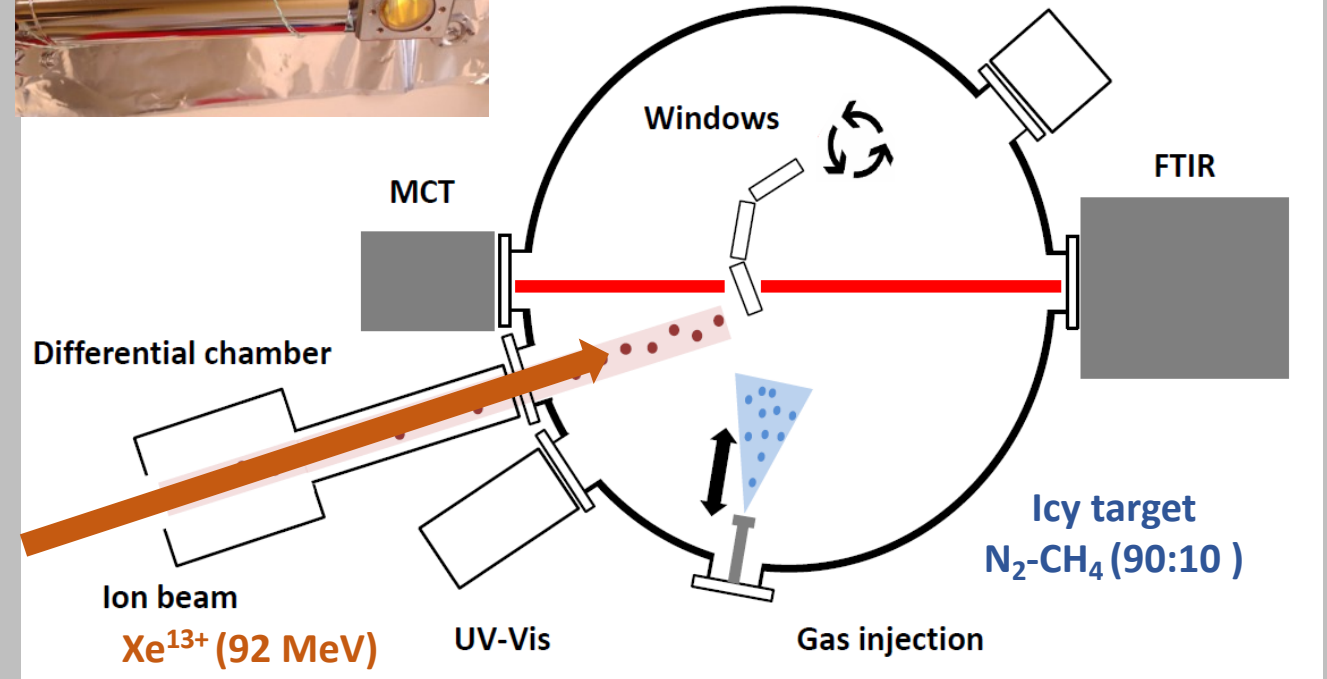


Irradiation @ high energy

Interaction du rayonnement cosmique Galactique (GCR) avec des glaces



Augé et al 2018 Rev. Scient. Instr..



Perspective :

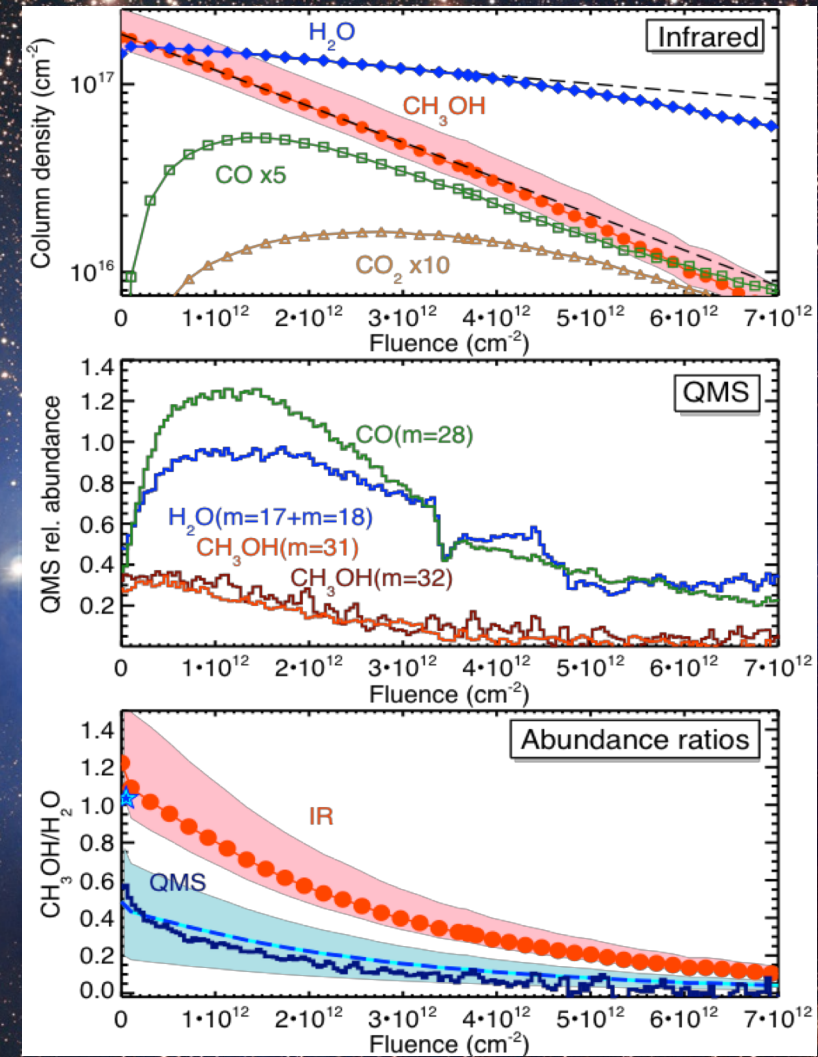
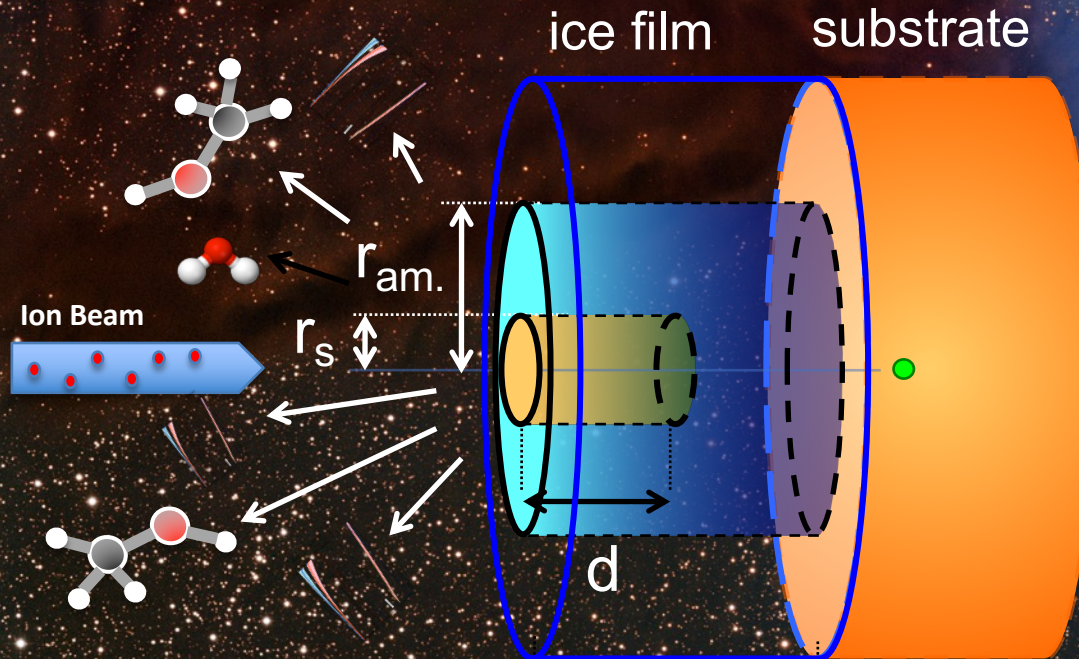
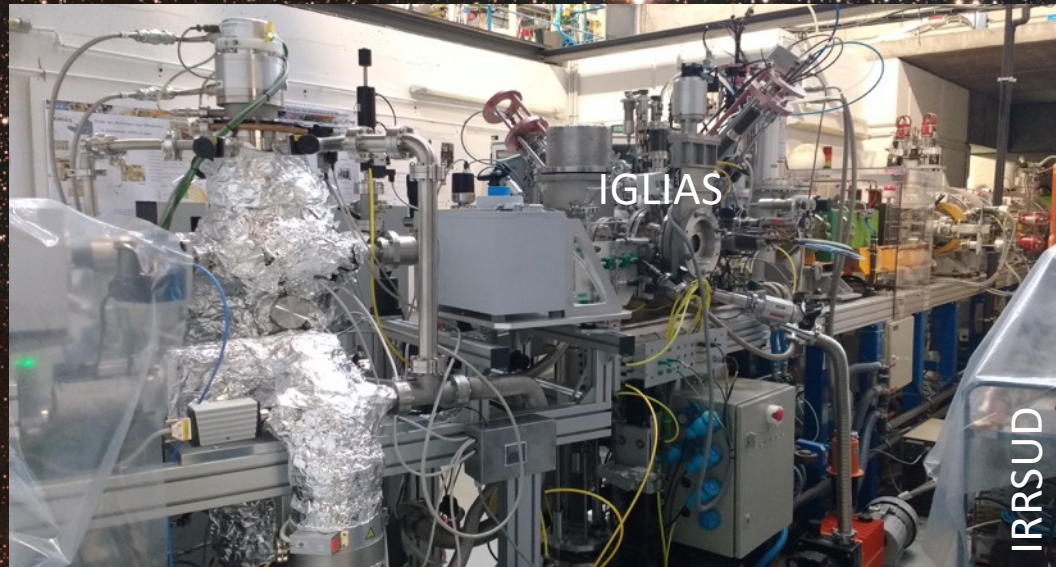
interaction du Rayonnement Cosmique Galactique avec

- les glaces interstellaires
- les poussières interplanétaires
- les surfaces cométaires ou astéroïdales

Expertises : IN2P3/CEA, INSU, INP, ...

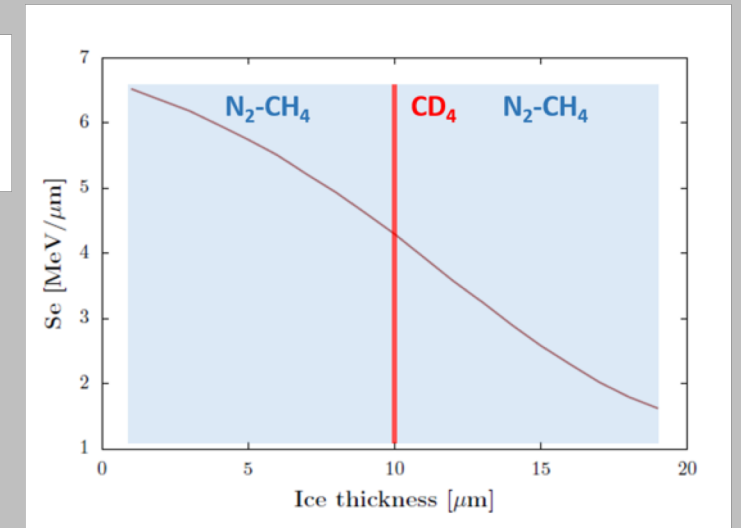
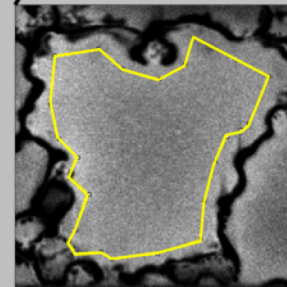
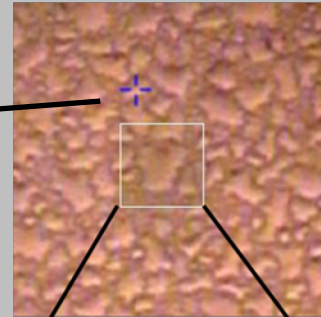
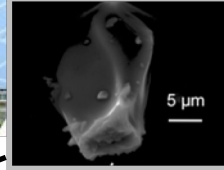
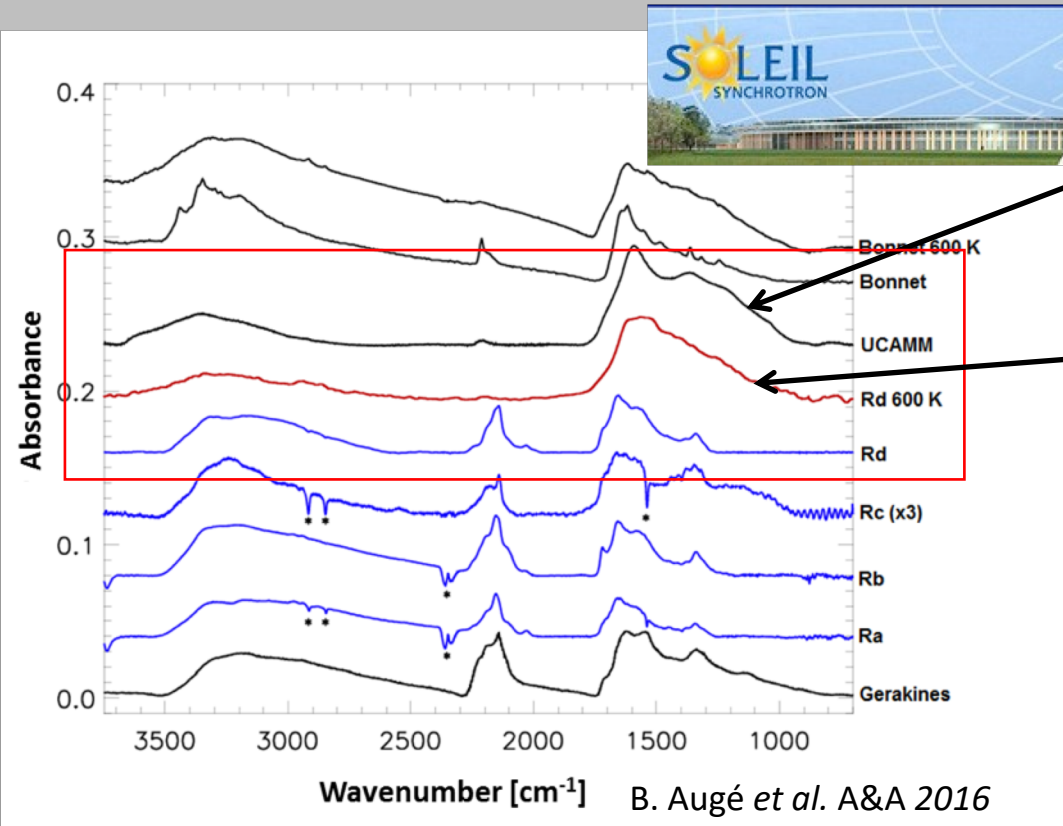


Accelerator experiments on interstellar ice & organics evolution: Sputtering of complex molecules for Astrochemical models



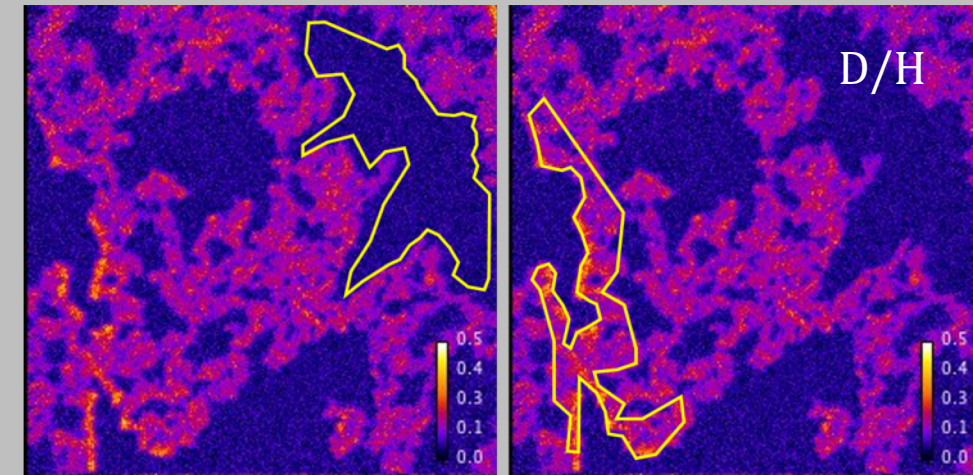
Chabot 2016; Dartois, Chabot et al. 2017, 2018, 2019;
Chabot et al. 2020

Formation de résidus organiques par irradiation ionique (GCR)



$$\text{D/H}_{\text{cold}} = 0,06$$

$$\text{D/H}_{\text{hot}} = 0,17$$



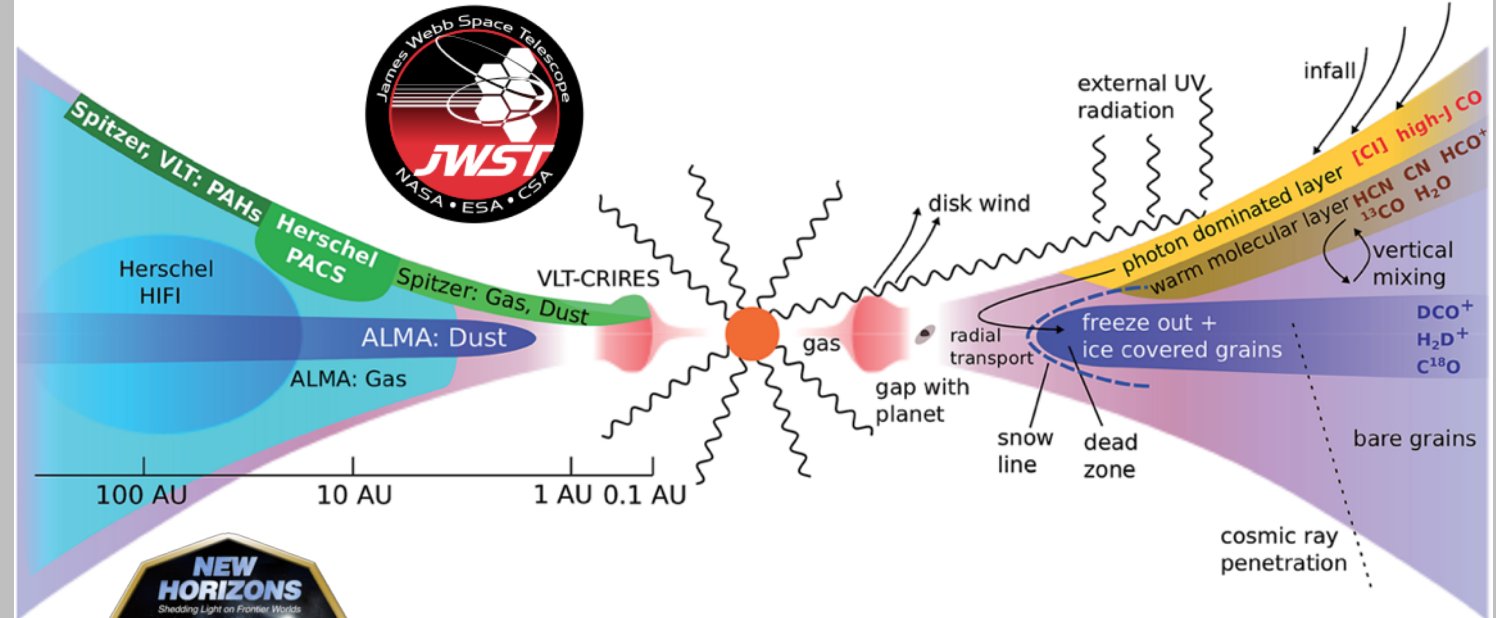
B. Augé et al. A&A 2019

Perspective :

- Simulation de l'évolution de surfaces cométaires
- Formation de précurseurs organiques spécifiques
- Origine des fractionnements isotopiques dans la matière organique interplanétaire

Expertises : INSU, IN2P3/CEA, INP, ...

La matière organique, distinguer l'héritage du milieu interstellaire, du disque protoplanétaire et des surfaces astéroïdales et cométaires ?



Perspective :

Etude de la composante carbonée

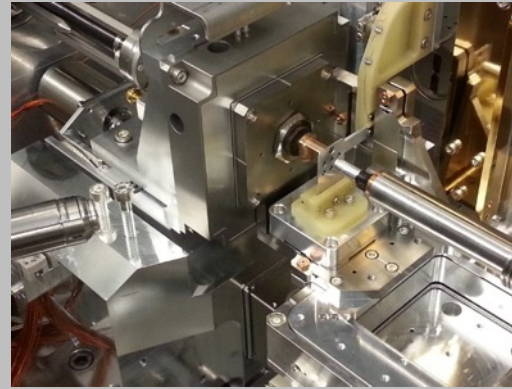
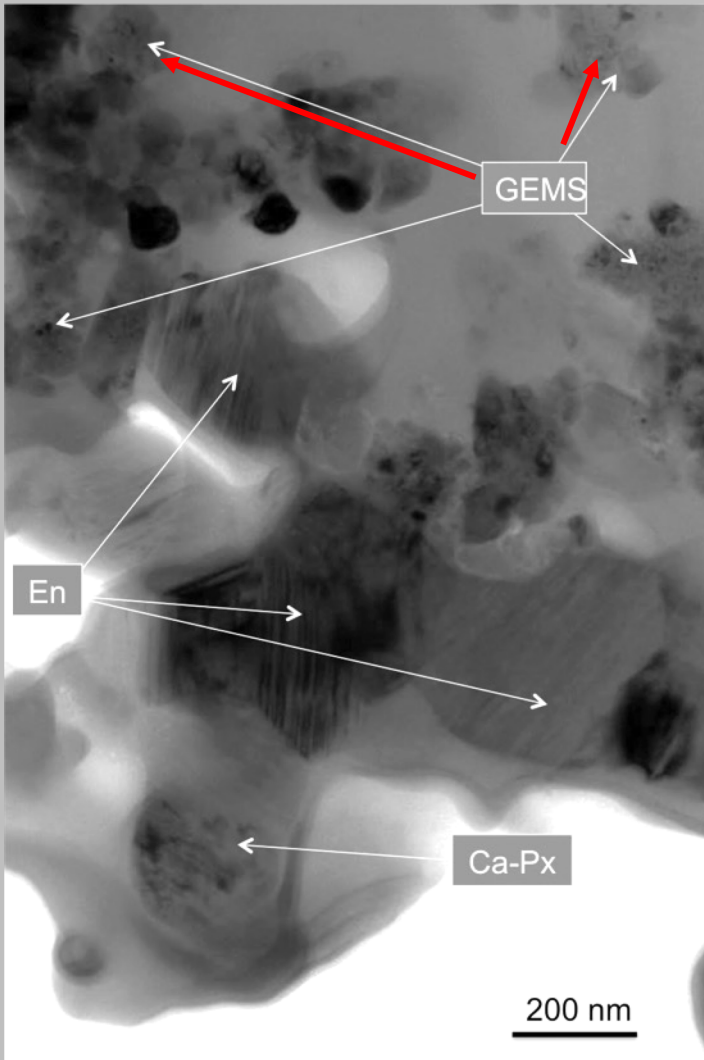
- À la surface à la surface d'objets glacés (*Ultima Thule*)
- Variations entre les parties internes et externes des disques protoplanétaires (JWST)

At the surface of icy bodies

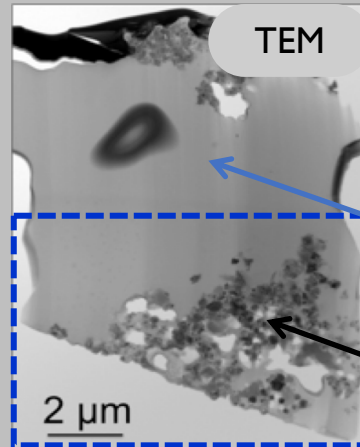
Pluton, New Horizons (NASA) 2016

~50 miles

L'association minéraux-organique



Lame FIB : David Troadec, RENATECH



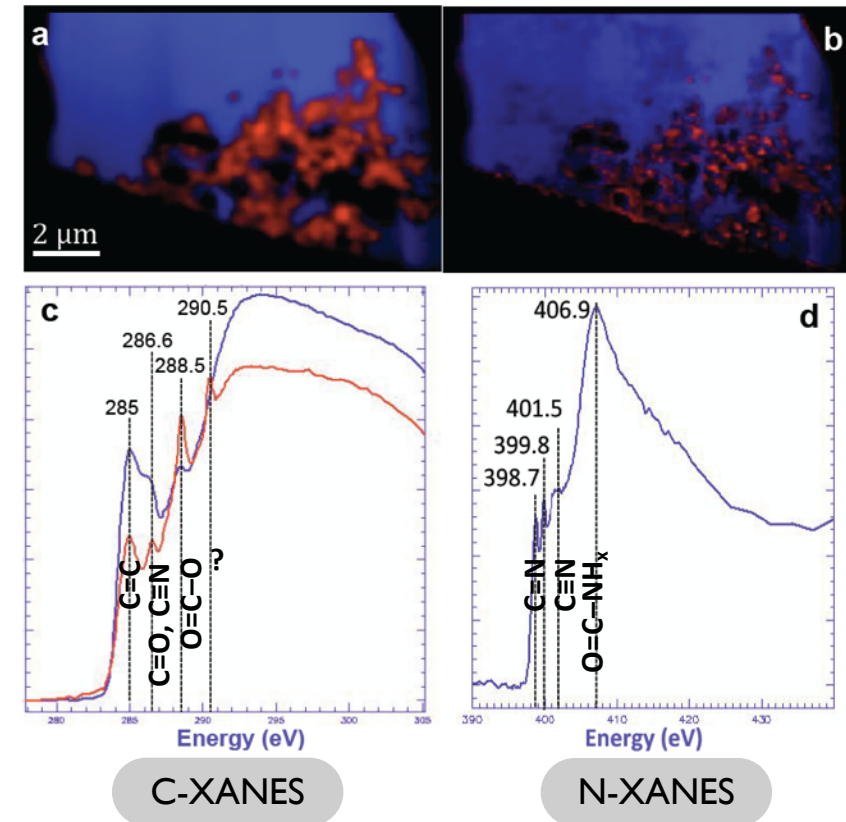
N-rich OM

OM + minerals
less N-rich

e.g. Guerin et al LPSC 2020



Ligne STXM HERMES (SOLEIL)

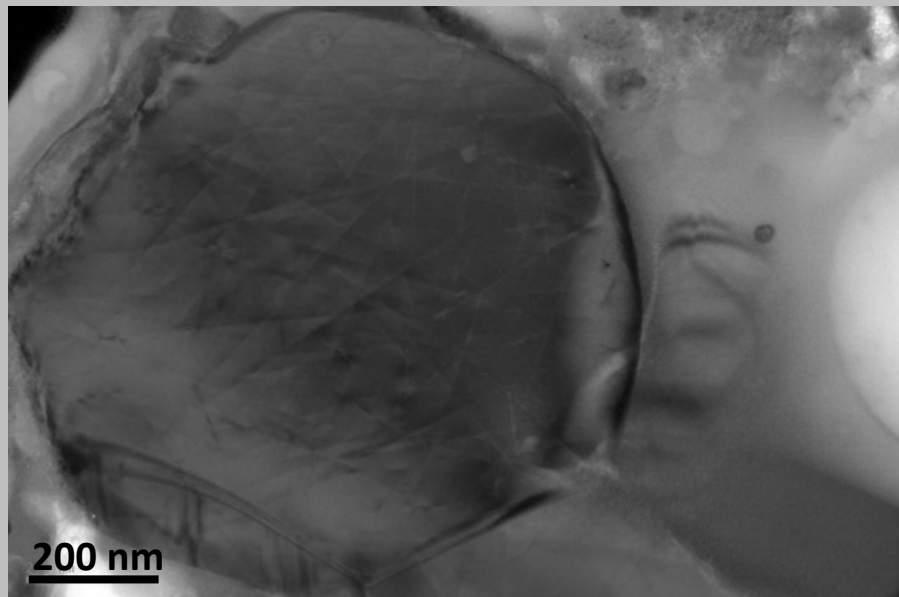
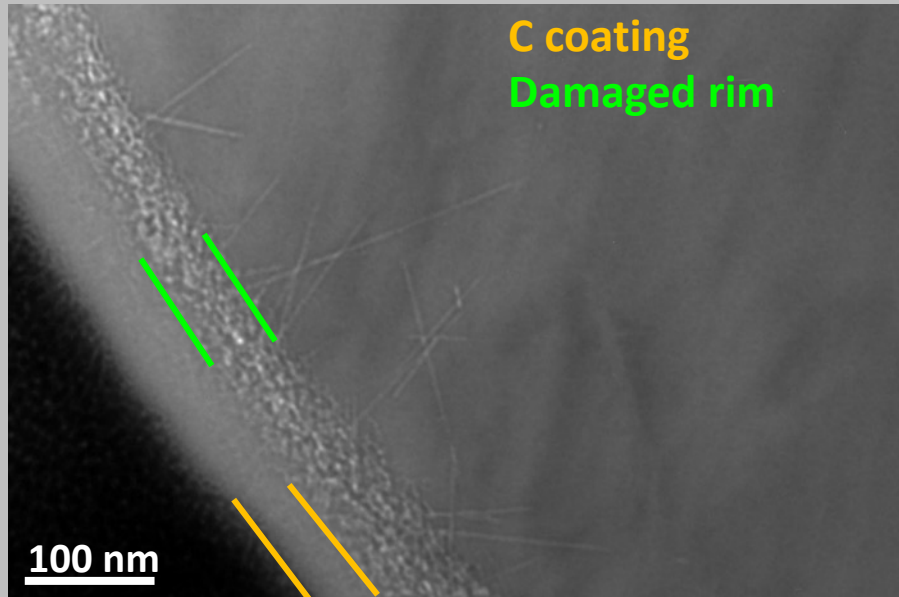


Expertises : INP, INSU

Perspectives :

- Distinguer différents types de MO
- Amorphes / Xtal

Perspective : Irradiation in micrometeorites



Découverte de traces d'ions lourds dans les minéraux

- Solar wind (low energy)

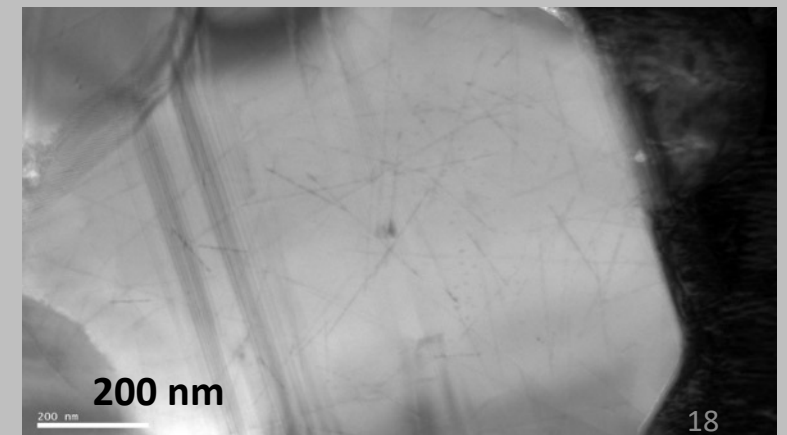
- *Tracks* : $L = 67 \pm 34$ nm ; $1,3 \cdot 10^{10}$ tracks.cm⁻²
- *Rim* : $e = 57 \pm 13$ nm

- Solar flare tracks (higher energy)

$L = 160 \pm 77$ nm ; $3 \cdot 10^{10}$ tracks.cm⁻²

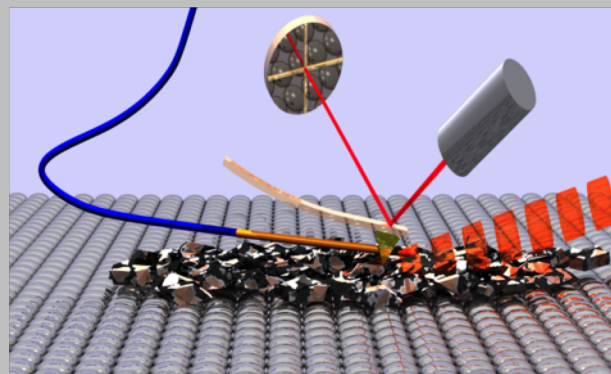
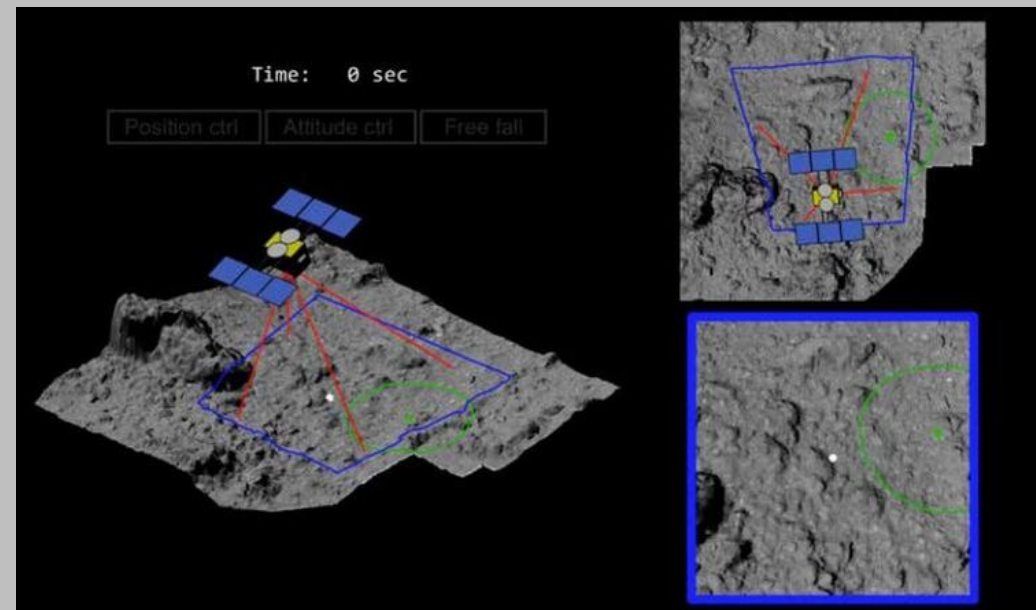
Where and when irradiation took place ?

Futur : Simulation Irradiation IJCLab, GANIL ?
Analyses UMET, IMPMC, ...



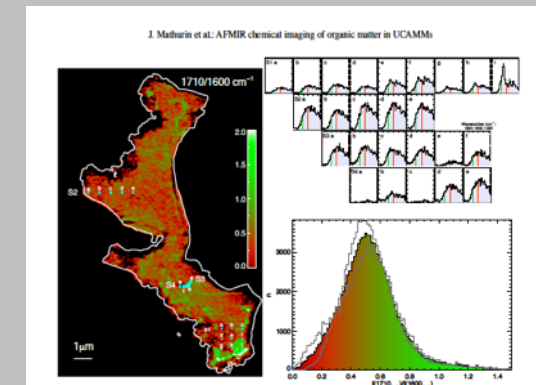


Perspective : Hayabusa II mission, astéroïde carboné *Ryugu*



AFM-IR Atomic Force Microscopy Infra-Red

A Dazzi et al. Ultramicroscopy 2008 (LCP)



- Members of PET for Hayabusa II (Jp)
 - > Analogues / characterisation / expertise

Futur :

- Imagerie IR au delà de la limite de diffraction
- Accès à l'hétérogénéité IR à une échelle nouvelle

Expertises : INC, INSU, INP

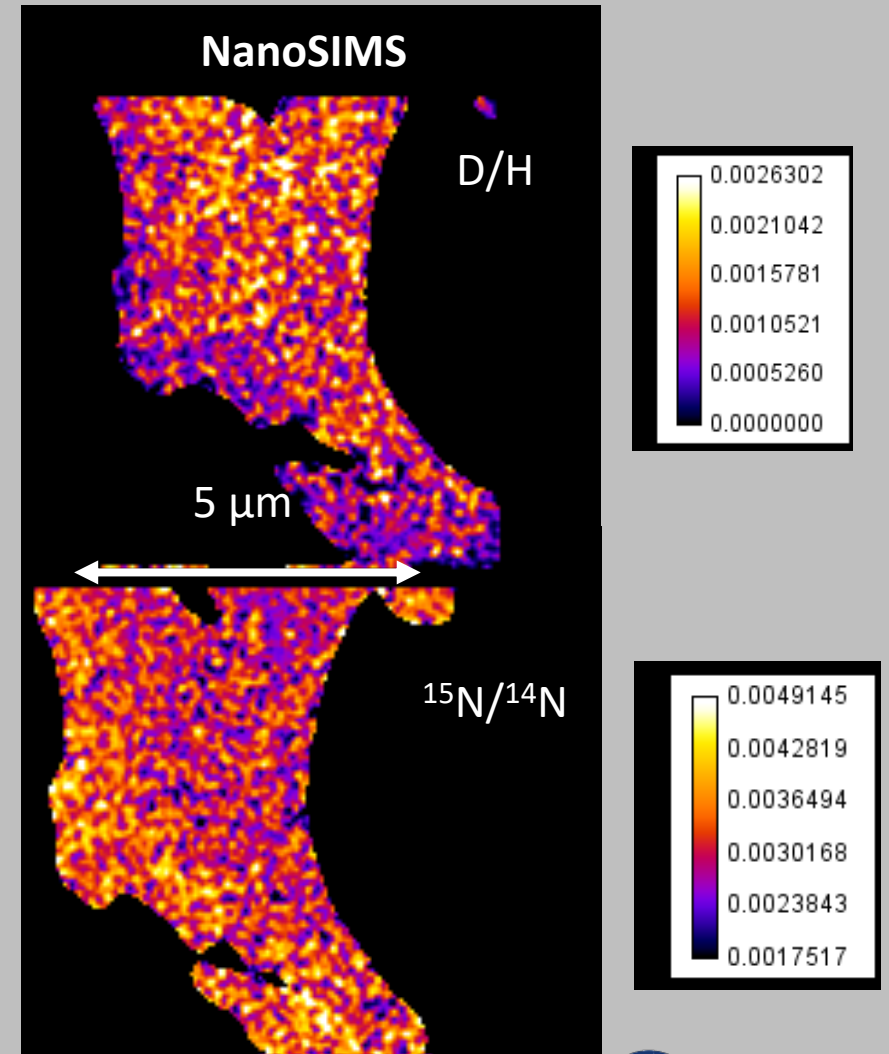
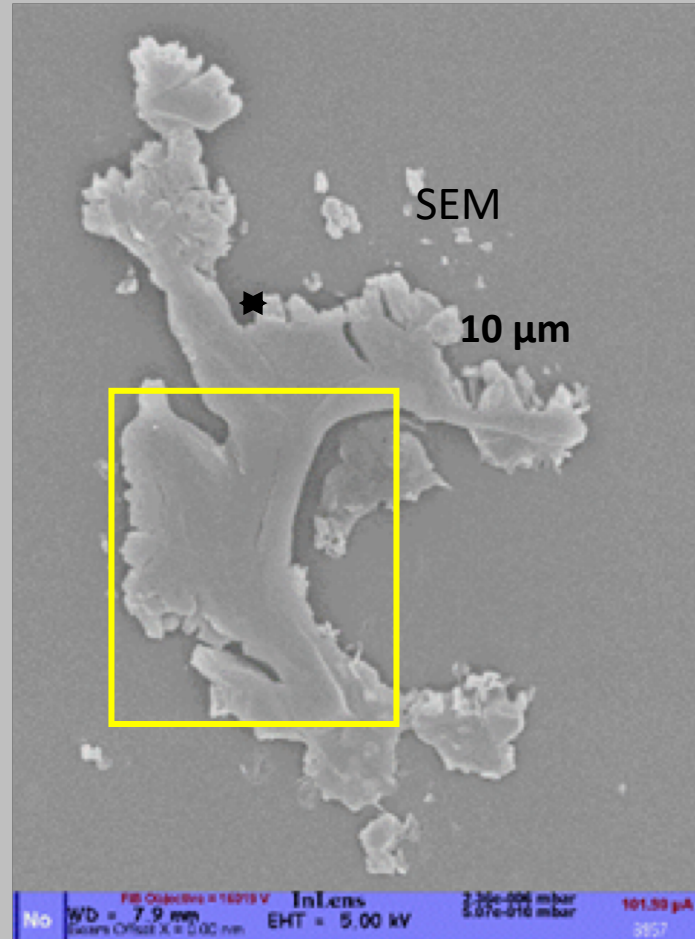
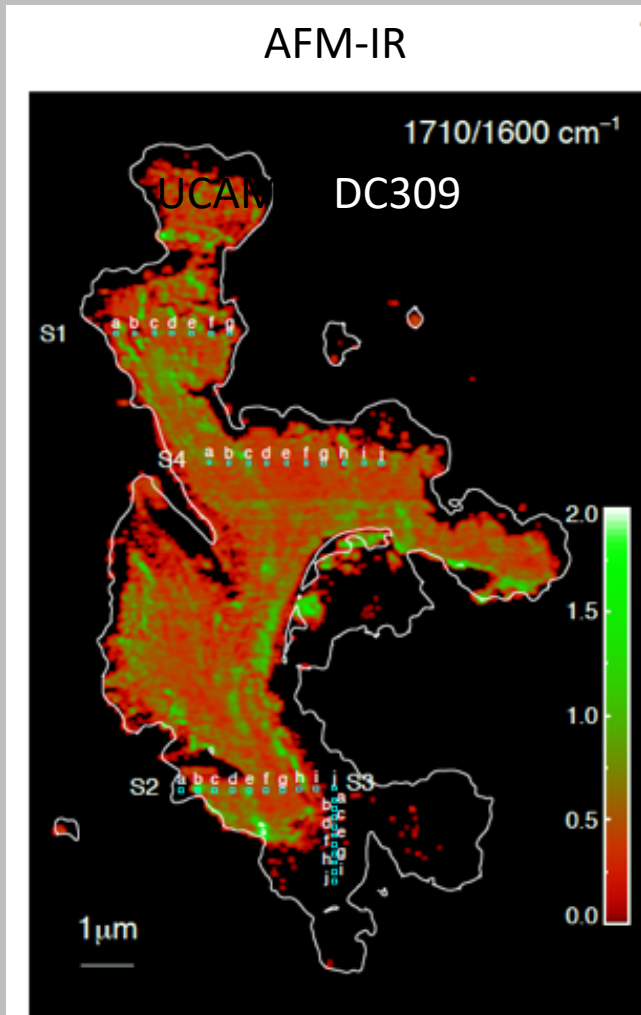
A&A 622, A160 (2019)
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833957>
© ESO 2019

Nanometre-scale infrared chemical imaging of organic matter in ultra-carbonaceous Antarctic micrometeorites (UCAMMs)

Jérémie Mathurin¹, Emmanuel Dartois², Thomas Pino², Cécile Engrand³, Jean Duprat³, Ariane Deniset-Besseau¹, Ferenc Borondics⁴, Christophe Sandt⁴, and Alexandre Dazzi¹

**Astronomy
&
Astrophysics**

Le futur : études AFM-IR, TEM, STXM-XANES, NanoSIMS, μ -IR à l'échelle sub- μ m sur le même échantillon



Prospectives :

Recherche de nouveaux types de particules interplanétaires :

- Collection CONCORDIA
- IPEV, INP, IN2P3, INSU

Origine de la matière organique et de l'eau dans le système solaire et sur la Terre primitive

- Développements en Spectrométrie de masse à émission ionique secondaire (SIMS)
- Etudes de l'isotopie des éléments légers (H, N, C, O ...) dans les minéraux hydratés et la matière organique
- INSU, IN2P3, INP, Institut Curie , Projet IN2P3 EXTERIOR, ANR Hydrate : L. Piani (CRPG)

Formation de composés organiques réfractaires à la surface d'objets cométaires par irradiation par le GCR

- GANIL formation de matière organique par irradiation de glaces, analyses des résidus
- IN2P3/CEA, INSU, INP, Institut Curie

Analyse à l'échelle nanométrique des interfaces minéraux-organiques dans la matière extraterrestre

Analyses des échantillons de l'astéroïde carboné Ryugu (Hayabusa 2)

- Lames ultraminces par Focused Ion Beam (FIB) pour des analyses couplées MET, STXM-XANES,
- NanoSIMS, AFM-IR.
- développement d'analogues synthétiques (ISMO, CRPG)

Les phases porteuses des anomalies isotopiques liés à l'héritage interstellaire

- Spectrométrie de masse à haute résolution, ICP-MS , gazes rares,, ... IPGP, CRPG, Univ. Orleans,

