# Poussières dans le Sytème solaire

Nicole Meyer-Vernet

A. Guillemin, Le Ciel, 1877

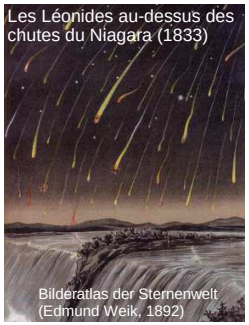
Rencontres du Ciel et de l'Espace, 13/11/2010

nicole.meyer@obspm.fr
http://www.lesia.obspm.fr/perso/nicole-meyer/



## Manifestations sur Terre ?

- Pluies d'étoiles filantes
- Météorites
- Lumière zodiacale


Les Léonides au-dessus des chutes du Niagara (1833)
Bilderatlas der Sternenwelt (Edmund Weik, 1892)

## D'où viennent-elles ?

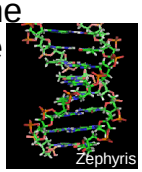
- Comètes
- Astéroides
- Collisions
- Planètes & satellites
- Milieu interstellaire

## Comment les observe-t-on ?

## Que nous apprennent-elles ?

## Quels sont leurs effets ?

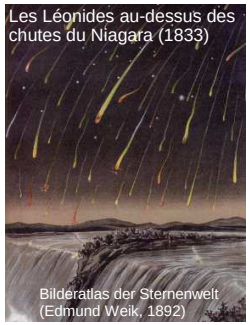
- Interagissent avec le vent solaire
- Témoins de l'origine du système solaire
- Contribution à l'origine de la vie?


Zephyris



## Pluies d'étoiles filantes

Exemple : Léonides 14-21 Novembre


Les Léonides au-dessus des chutes du Niagara (1833)
Bilderatlas der Sternenwelt (Edmund Weik, 1892)

1833
~100000/heure !

Wally Pacholka (Astropics) & Tony Hallas (Astrophoto)

2001 au-dessus du parc de Joshua Tree

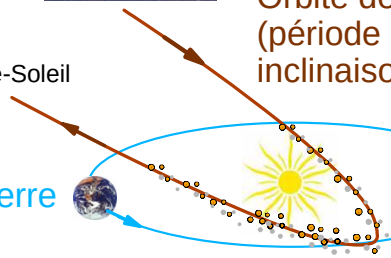


## Pluies d'étoiles filantes

**Léonides** : Passage de la Terre dans les poussières éjectées par la comète 55P/Tempel-Tuttle

Jean Effel

Comète :
périgée 0.98 UA
apogée : 9.3 UA

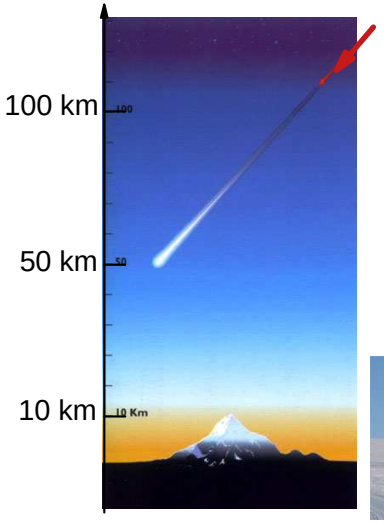


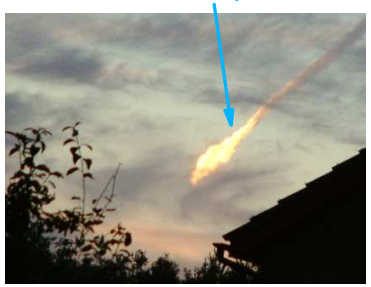

Les plus grosses restent le long de l'orbite

# Pluies d'étoiles filantes

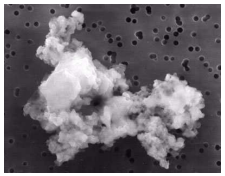
Léonides : entrée dans l'atmosphère à 72 km/s

- Interaction chauffe et produit trainée de plasma



- Visible si poussière > 0.5 mm



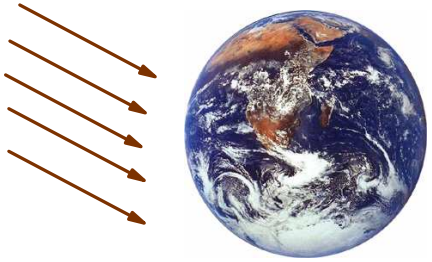
Taille d'un grain de sable

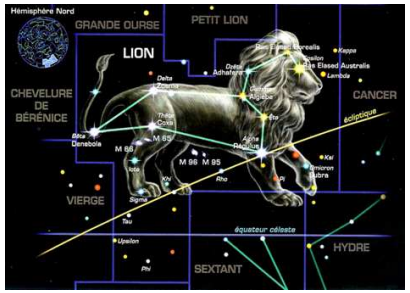
Les grains plus petits sont détectables par radar



# Pluies d'étoiles filantes

Effet de perspective:
les poussières semblent provenir d'un même point



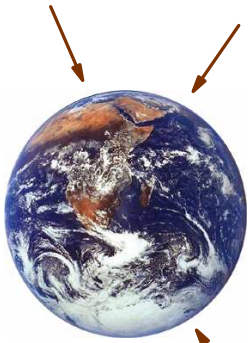



Pour les Léonides, c'est dans la constellation du Lion (SE)

Prévisions : max. visible : 18 Nov. (02h) ~20/heure

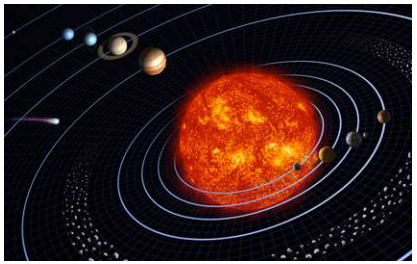


Léonides, Perséides, Geminides ...
Mais même quand la Terre ne traverse pas un essaim de poussières ...



Elle est bombardée en permanence par des poussières interplanétaires et des objets plus gros (100 tonnes/jour)

Qui viennent de tout le système solaire ...



.. et de plus loin

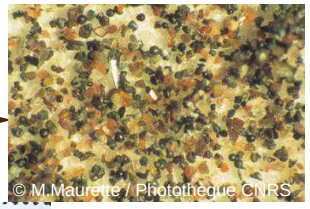
**Les météorites et micrométéorites**



# Météorites et micrométéorites

- Les très petites poussières sont freinées, volatilisées, fondues, fracturées
  - ➤micrométéorites : ~ 100 µm (0.1 mm)

    représentent l'essentiel du flux extraterrestre



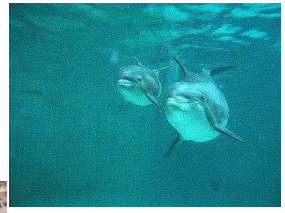

- Les objets plus gros arrivent au sol (en général après fragmentation)
  - ➤météorites

Fragment de la météorite de Hoba (Namibie, 55 t, 84% Fer)

## Où trouver sur Terre des météorites/micrométéorites?

- Dans les sédiments et fonds marins
- Dans les déserts chauds

météorite Dar Al Gani 749 (Lybie)



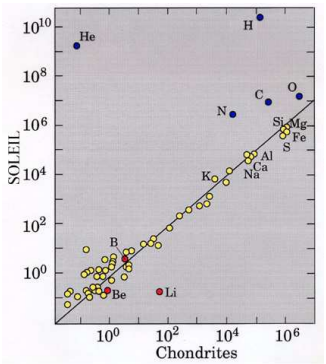
chondrite carbonée
180 kg

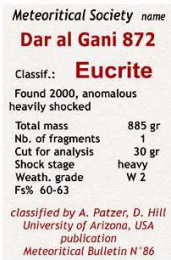
## ● Chondrites = contiennent des chondres

météorites **non différenciées** (mélange fer silicate) donc n'ont pas été altérées

► même composition chimique que le soleil , aux volatiles près

**Rescapées de l'origine du système solaire**






● Les **météorites différenciées** (provenant de planètes ou gros astéroides) moins anciennes

radioactivité interne planète ⇒ fusion
⇒ séparation noyau (métal)/ manteau (silicates)

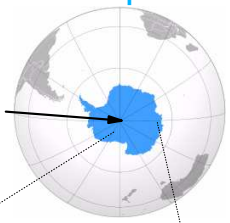


## Où trouver sur Terre des météorites/micrométéorites?

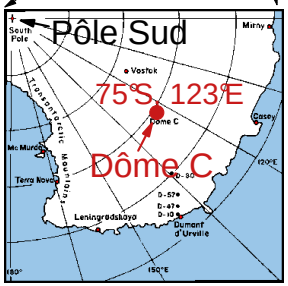
- Dans les déserts froids

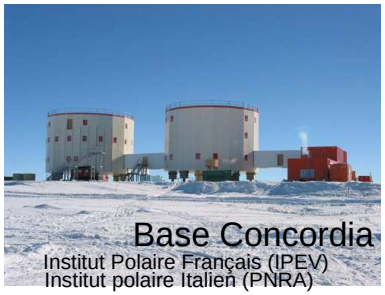
Antarctique

Pôle Sud



- Préservé des contaminations terrestres
- Basse température
- Précipitations faibles et régulières
- Epaisseur 4 km de glace

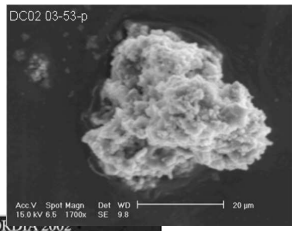


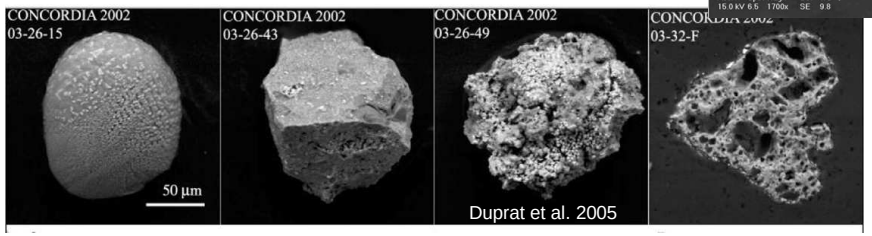



## ☛ Dans les déserts froids

Permet de collecter des poussières fragiles

Une grande partie de la poussière > 30µm extraite de la neige est d'origine extraterrestre




Composition similaire à celle des chondrites carbonées :
- hydrocarbures
- acides aminés

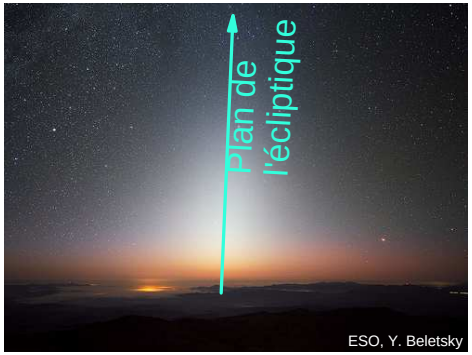
C - carbone
H - hydrogène
O - oxygène
N - azote

et aux poussières mesurées près de comètes

# Quelques manifestations sur Terre

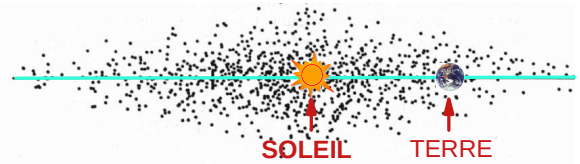
## Lumière zodiacale

Lumière du Soleil diffusée par les poussières interplanétaires de taille > longueur d'onde




Nuage de poussières interplanétaires autour du soleil concentré dans le

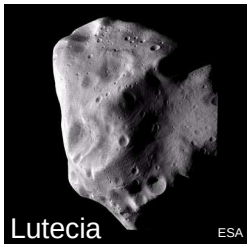
Plan de l'écliptique






# D'où vient la poussière interplanétaire ?

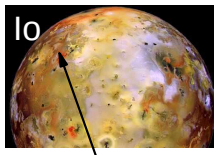
- des astéroides



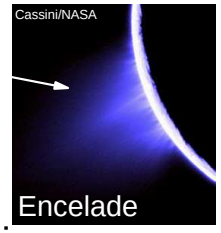

- des collisions d'objets plus gros

- des comètes

- des planètes & satellites




Geyser : glace, NaCl, CH4, C2H2, C3H8



- de l'espace interstellaire

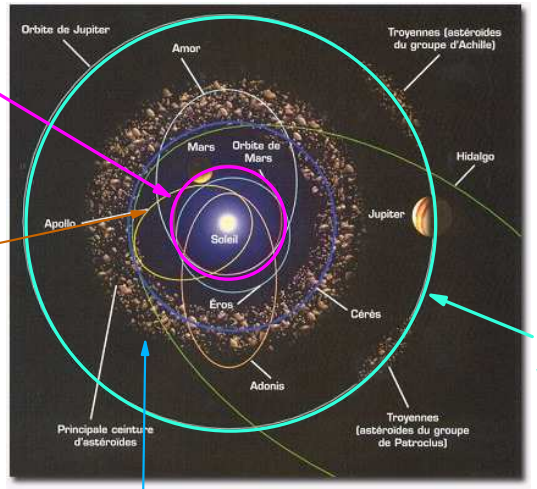


# D'où vient la poussière interplanétaire ?

- des astéroides

Orbite de Mars

Géocroiseurs




Orbite de Jupiter

La plupart sont dans la ceinture principale d'astéroides

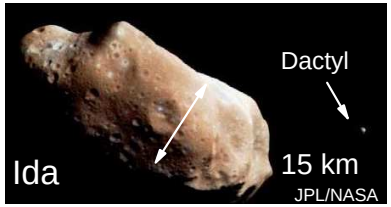
Masse totale ~ 4% celle de la Terre



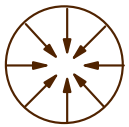
# Astéroides

A quoi ressemble un **astéroide** ?

Ca n'est pas rond ...



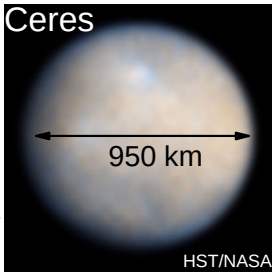

Les **planètes** sont (presque) sphériques



équilibre des forces d'attraction gravitationnelle

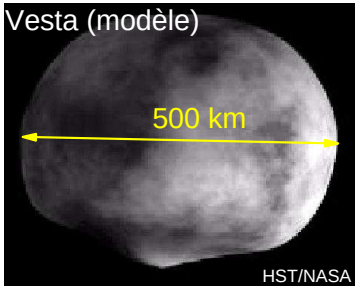
Nécessite une masse suffisante

**Ceres** n'est pas un astéroide : c'est une "planète naine" (comme Pluton)

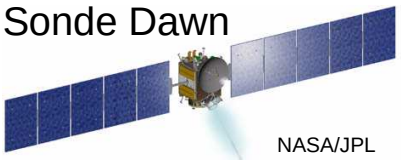


# Astéroides

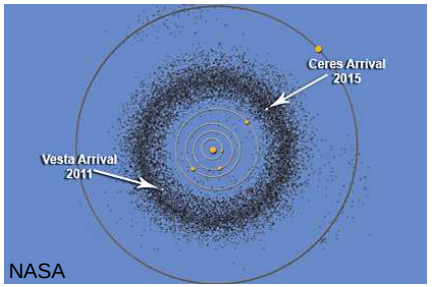
**Vesta** (pas tout à fait une sphère)




Sonde Dawn




moteurs ioniques

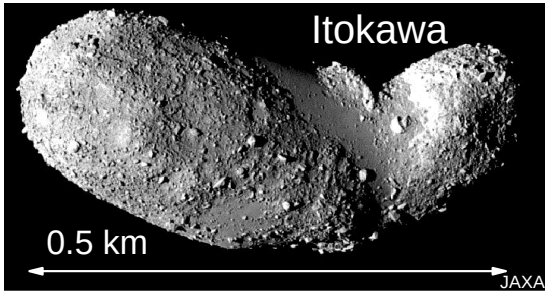



arrivera près de Vesta en 2011
et de Ceres en 2015



# Astéroides visités par des sondes spatiales

La sonde Hayabusa



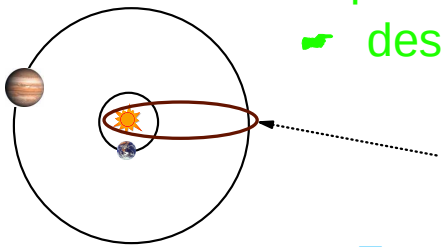

Géocroiseur

2005 : tentative d'atterissage
sur l'astéroide

13/06/2010 : retour de la capsule

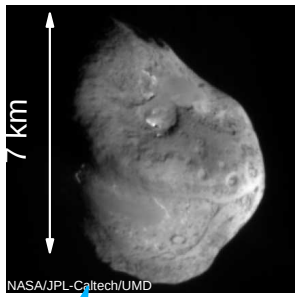
# D'où vient la poussière interplanétaire ?

☛ des comètes



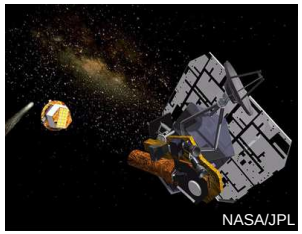
Corps en orbite eccentrique

Loin du soleil, c'est un noyau
qui ressemble à un astéroide




Tempel 1

Deep Impact

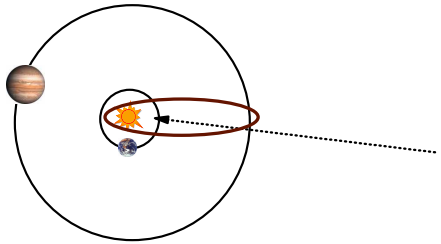



avant (4/07/2005) et après impact du projectile de 370 kg

→ composition : grains de silicate, fer, hydrocarbures, carbonates, ...

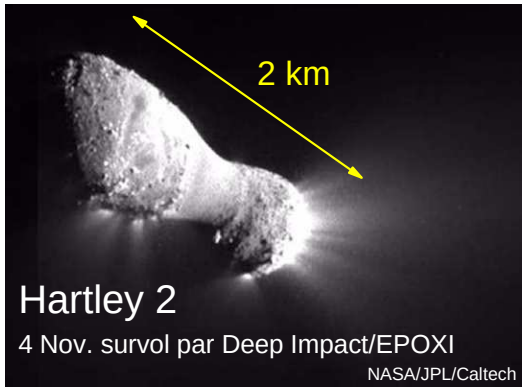


# Comètes



Corps en orbite eccentrique

Près du soleil, les glaces fondent
(se subliment)




Ejection de gaz et
de poussières

300 kg/sec

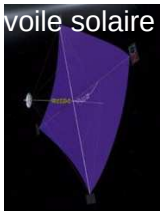
# Comètes

FORMATION DE LA VAPEUR
- A la vue de l'Esprit, la Matière s'est mise dans tous ses états ...

- Le gaz s'ionise
⇒ plasma (électrons, ions)

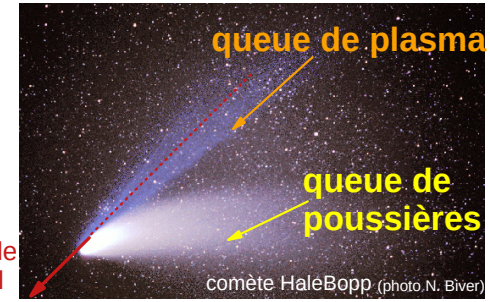
"Quatrième état de la matière"

- Le plasma est guidé par le champ magnétique du vent solaire ⇒ queue de plasma
- Les poussières sont poussées par le rayonnement solaire ⇒ queue de poussières





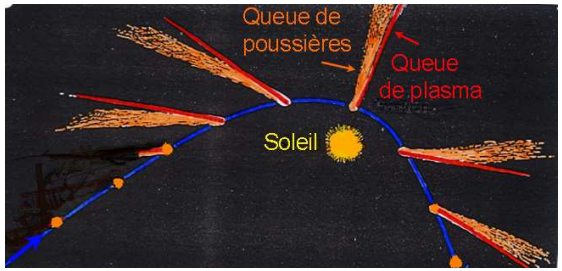

# Comètes




vers le Soleil

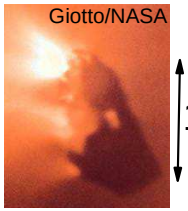
sculptée par le vent solaire
⇒ parallèle à vitesse vent
⇒ queue droite

poussières poussées par rayonnement solaire (et attirées par le Soleil
⇒ queue courbe)



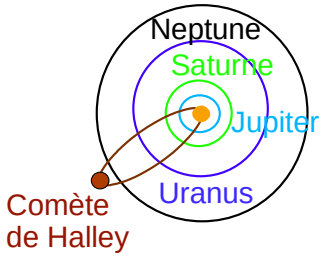



# Comètes

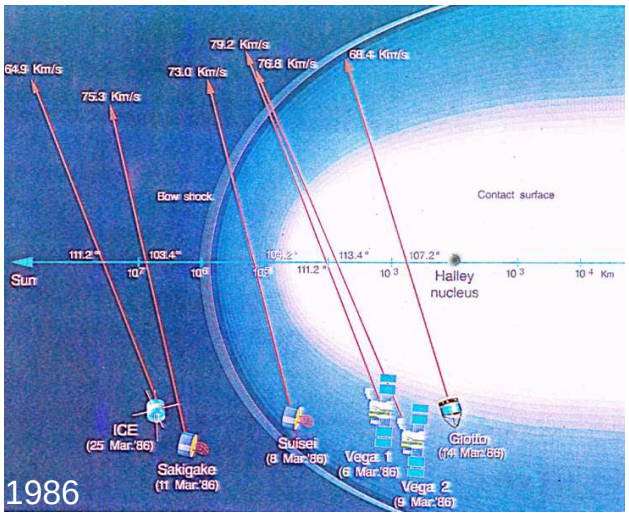



16 km

Comète de Halley 30 tonnes/sec



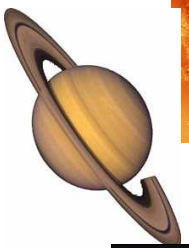

orbite :
- période 76 ans
- périgée 0.6 UA
- apogée 35 UA

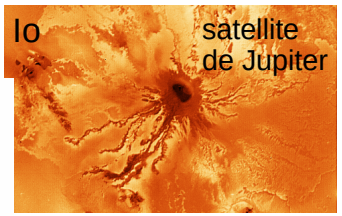


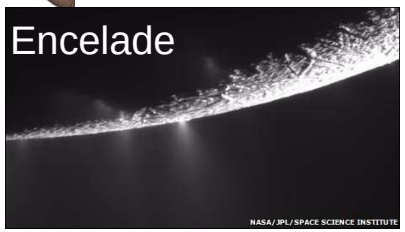



# D'où vient la poussière interplanétaire ?

- des planètes & satellites





# D'où vient la poussière interplanétaire ?

- de l'espace interstellaire

ESO

Entre les étoiles : gaz et poussière

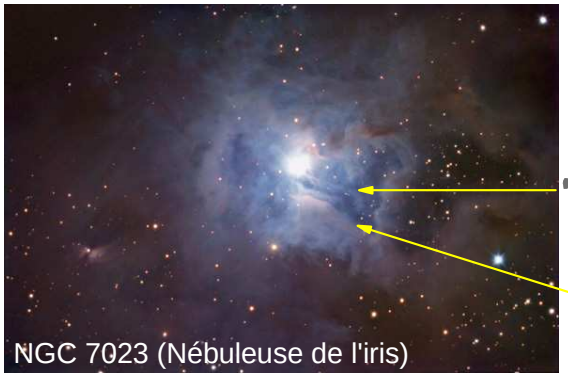


# Poussière interstellaire

Observation à distance:

- Absorbe lumière

des trous dans le ciel !




- Diffuse la lumière
- Emet de la lumière



# Poussière interstellaire

Observation in situ :

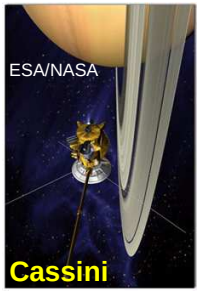
- Grains interstellaires pénétrant dans le système solaire
- Nano grains interstellaires incorporés dans grains plus gros au moment de la naissance du système solaire

# Observations spatiales in situ des poussières

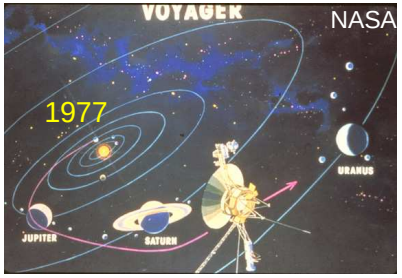
Dans le milieu interplanétaire on peut observer in situ !

Grâce aux sondes spatiales

# Observations spatiales in situ des poussières



- lancement : 1990
- épuisement du radioisotope
- gel de l'hydrazine
- dernier signal : Juin 2009

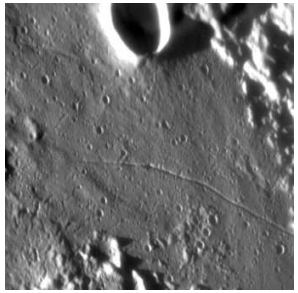


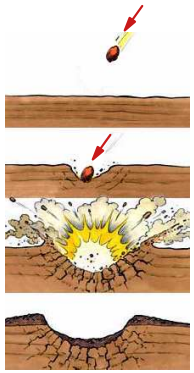

2004 : Voyager 1 (94 AU)
2007 : Voyager 2 (84 AU)



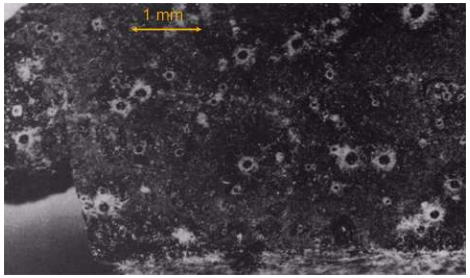
# Observations spatiales in situ des poussières

- **Etude des cratères d'impacts sur la Lune**





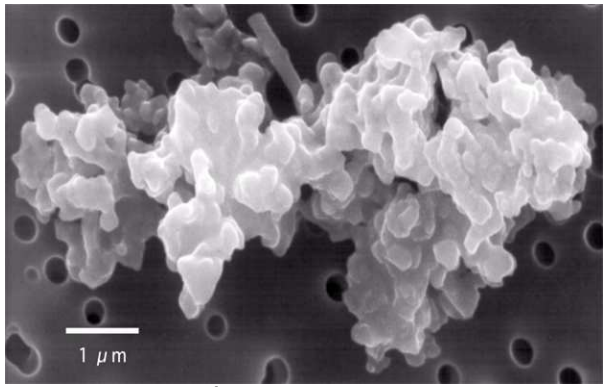
Microcratères






# Observations spatiales in situ des poussières

- **Etude des cratères d'impacts et récolte de poussières**
  - sur des avions

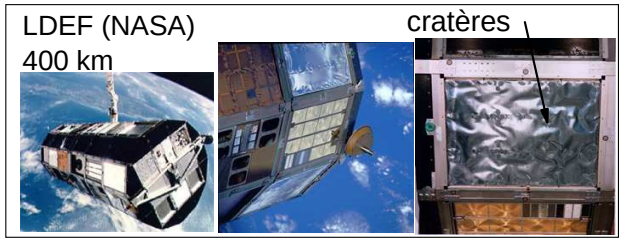



1/100 mm



# Observations spatiales in situ des poussières

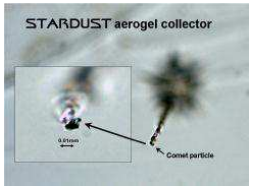
- **Etude des cratères d'impacts et récolte de poussières**
  - sur des satellites en orbite terrestre

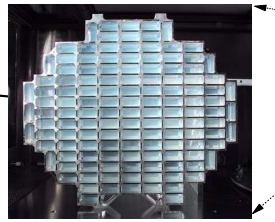



Récupéré après plus de 5 ans en orbite (300-600 km)

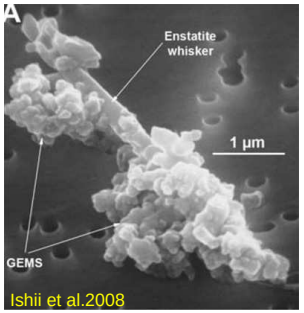
# Observations spatiales in situ des poussières

## Récolte de poussières de comète



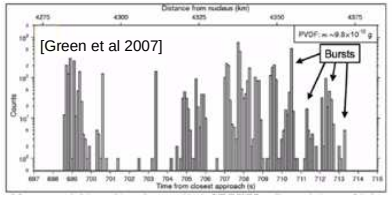



StarDust : rencontre comète Wild 2




Aérogel de silice amorphe pour récolter les poussières

Retour de la capsule (2006)



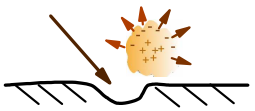

Detecteur de poussières

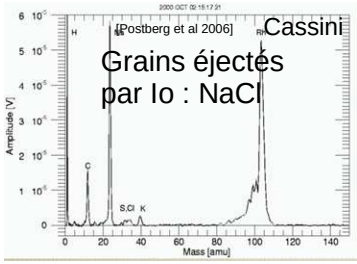


# Observations spatiales in situ des poussières

## Micro poussières

- impact ⇒ cratère
- ⇒ vaporisation/ionisation
  ⇒ signal électrique
- spectre de masse ⇒ composition chimique



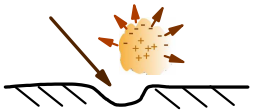


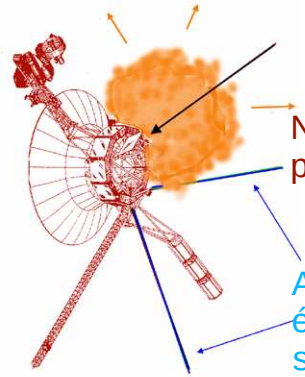

### Détecteurs de micro poussières

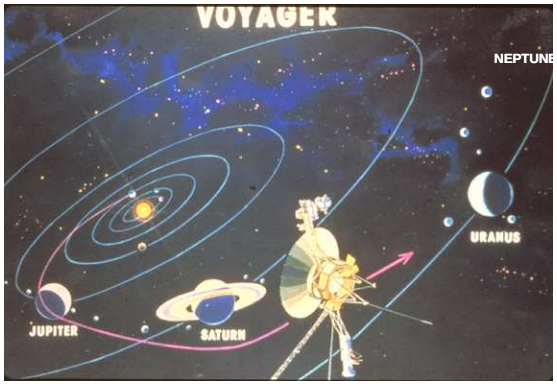
# Observations spatiales in situ des poussières

## Micro poussières

- impact ⇒ cratère
- ⇒ vaporisation/ionisation
  ⇒ signal électrique






servent aussi de détecteurs de poussières

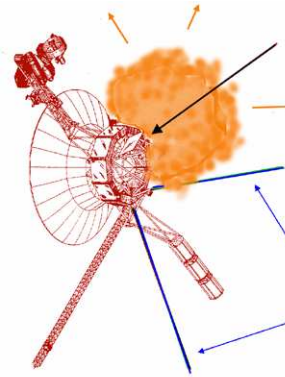


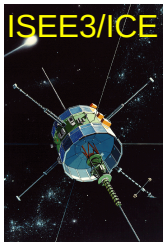
# Observations spatiales in situ des poussières

## Micro poussières

- impact ⇒ cratère
- ⇒ vaporisation/ionisation
  ⇒ signal électrique

La sonde spatiale entière avec ses antennes électriques sert de détecteur géant de poussières !



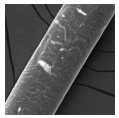



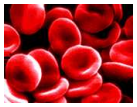
servent aussi de détecteurs de poussières

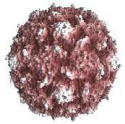
# Observations spatiales in situ des poussières

## Nano poussières

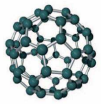
Goutte d'eau
1 mm

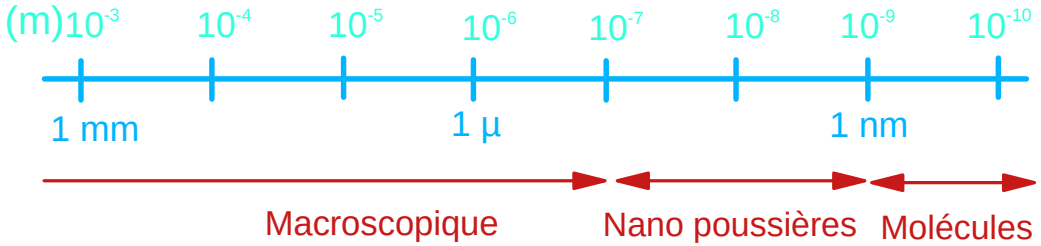

Cheveu
100µ


Globule rouge
5µ


Virus de
la grippe
85 nm

DNA
largeur ~ 2 nm


$C_{60}$
0.7nm





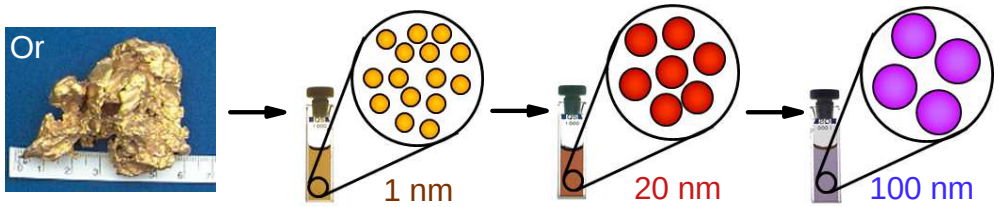

# Observations spatiales in situ des poussières

## Nano poussières

Propriétés différentes de celles de la matière macroscopique

solidité, élasticité, couleur, ... changent

- ►Effets de surface
- ►Effets quantiques




Macroscopique Nanoparticules



## Nano particules

Propriétés différentes de celles de la matière macroscopique

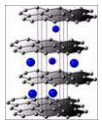
solidité, élasticité, couleur, ... changent

- ►Effets de surface
- ►Effets quantiques

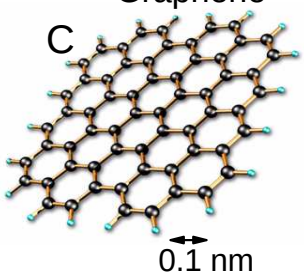
Exemple :

1er cristal à 2 dimensions

Constituant élémentaire du graphite



Graphène




Prix Nobel de Physique 2010 :
A. Geim & K. Novoselov

200 fois plus résistant que l'acier, 6 fois plus léger, ..



# Observations spatiales in situ des poussières

## Nano poussières

Detection récente de nanopoussières par des signaux électriques

à bord des sondes Stereo initialement prévues pour mesurer les éruptions solaires

Stereo/
SECCHI

# Observations spatiales in situ des poussières

## Nano poussières

Comment détecter de si petites poussières ?

- ➤ les poussières se chargent électriquement par effet photoélectrique
- ➤ elles sont soumises à la force électromagnétique due au champ magnétique transporté par le vent solaire

➡ Pour les nano poussières, cette force domine les autres

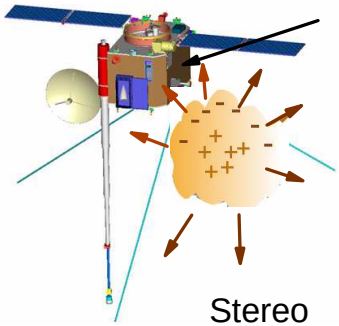
➡ Les nano poussières sont accélérées à la vitesse du vent solaire ~ 400 km/s

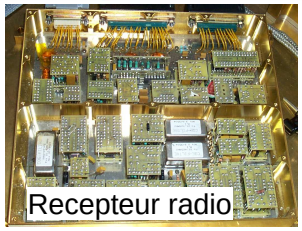
➡ Energie cinétique d'une nanoparticule ~ celle d'une microparticule



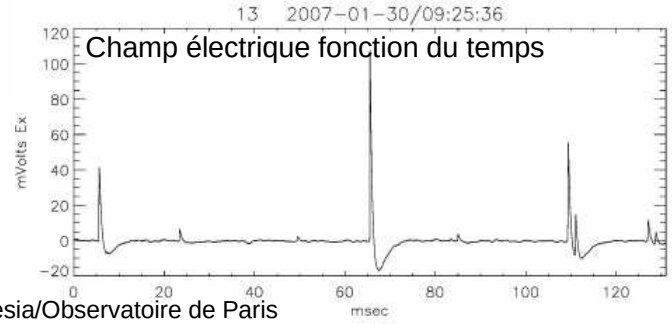
# Observations spatiales in situ des poussières

## Nano poussières




- ☛ Impact de poussière à 400 km/s
- ☛ vaporisation, ionisation
- ☛ nuage de plasma détecté par les antennes électriques

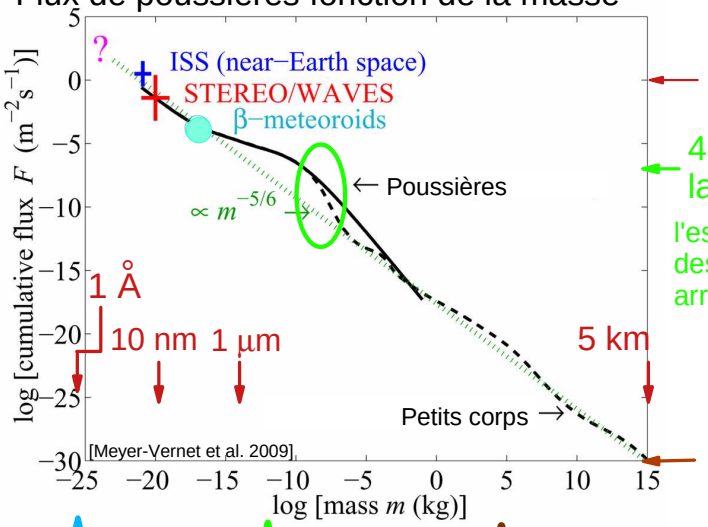



Lesia/Observatoire de Paris



# Observations spatiales in situ des poussières

Flux de poussières fonction de la masse




1/m²/sec

40 tonnes/jour sur la Terre

l'essentiel de la masse des poussières arrivant sur Terre

1 Å

10 nm 1 µm

5 km

Une météorite de 5 km/ 60 Millions d'années sur la Terre

Molécules

Nano poussières

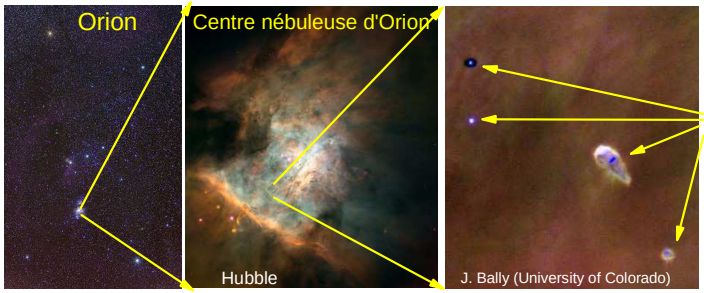
Micro poussières

Météorites

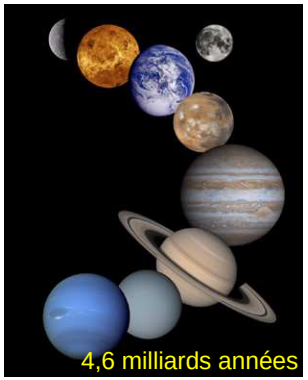


# Poussières : vestiges de la formation du système solaire

- Effondrement gravitationnel d'un nuage de gaz et poussières




- Formation d'un disque tournant de gaz et poussières




- Aggrégation/accrétion ⇒ planètes

- L'étude des poussières rescapées permet de remonter à la formation du système solaire

# Contribution à l'origine de la vie ?

- Formation de l'atmosphère primitive ($CO_2$, $H_2O$) par impacts de comètes, astéroides, poussières et des océans ?

★ à la fin de la formation des planètes, flux de micrométéorites X 1000

- Ingrédients pour la vie : matière carbonée, eau, composés organiques, catalyseurs

➡ météorite Murchison 1969 (Australie) contient 70 acides aminés différents

| | | |
|---|---|---|
| Glycine | Acides carboxyliques $C_2$-$C_{10}$ | Adénine |
| Alanine | Acide lactique | Guanine |
| Valine | Acide β-hydroxy butyri. | Xanthine |
| Leucine | Acide malique | Hypoxanthine |
| Isoleucine | Acide succinique | Uracile |
| Proline | Acide fumarique/ maléique | |
| Acide aspartique | Acétone | |
| Acide glutamique | Urée | |
| | Ethanol | |

➡ micrométéorites contiennent acides aminés

➡ rôle des nano poussières ?