

# Notre atmosphère nous protège-t-elle vraiment de la menace des astéroïdes ?

Jean-Luc Vérant

*ONERA – Office National d'Etudes et Recherches Aéronautiques,  
Centre de Toulouse*



return on innovation

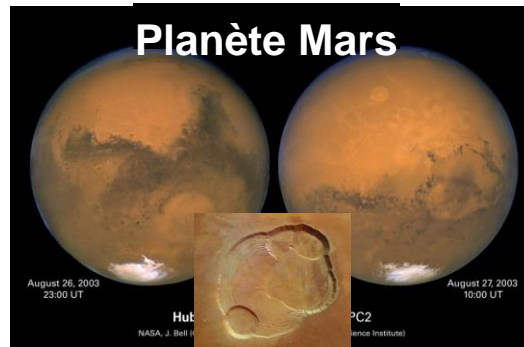
# La Terre et... son atmosphère dense

(Comment) L'atmosphère terrestre peut-elle être considérée comme une barrière contre la menace d'objets venant de l'espace?

✚ Si on considère des objets géocroiseurs inférieurs à 10km

✚ Si on étudie la réaction de l'atmosphère à l'action d'entrée à hyper-vitesse des corps stellaires  
→ en particulier leur formidable changement morphologique

✚ Si on se souvient du peu d'évènements dramatiques survenus sur Terre *de mémoire d'homme*



# Notre atmosphère, notre protection

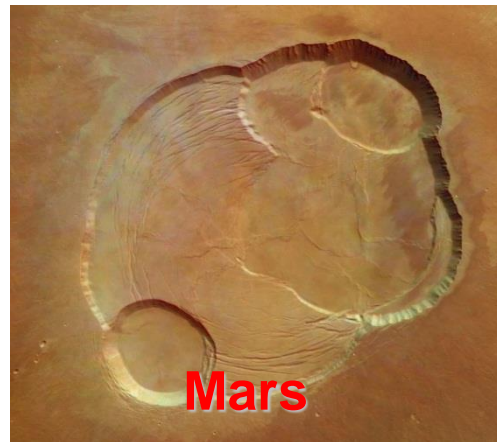
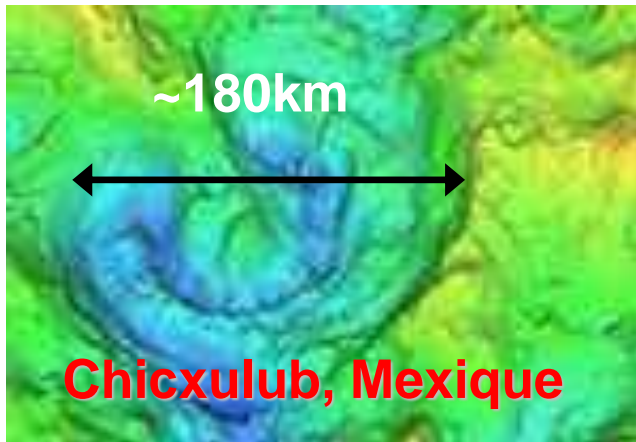
L'atmosphère terrestre est certainement mince mais sa présence change complètement notre perception lors d'impact d'objet stellaire



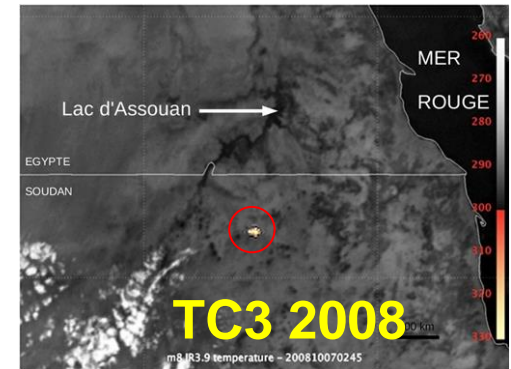
Quand? Où? Comment? Quelle énergie d'impact...  
demandent des réponses précises

Rôle extrêmement important que nous devons  
comprendre et prévoir

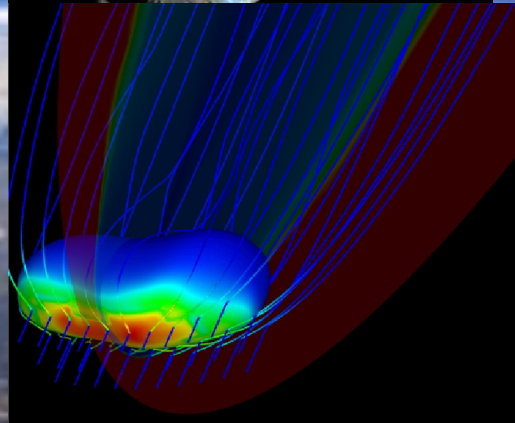
# Deux situations différentes à la traversée atmosphérique ...deux situations différentes au sol



**Liste de 140 cratères de météorites  
catalogués par le monde  
(D. Stephenson, Geodetic Survey of California)**



# A l'interface atmosphérique, le géocroiseur se présente...



**Pente**  
**Vitesse**  
**Masse**  
**Composition**  
**Structure**  
incidence



**Météorite ferreuse**



**Roche ferreuse**

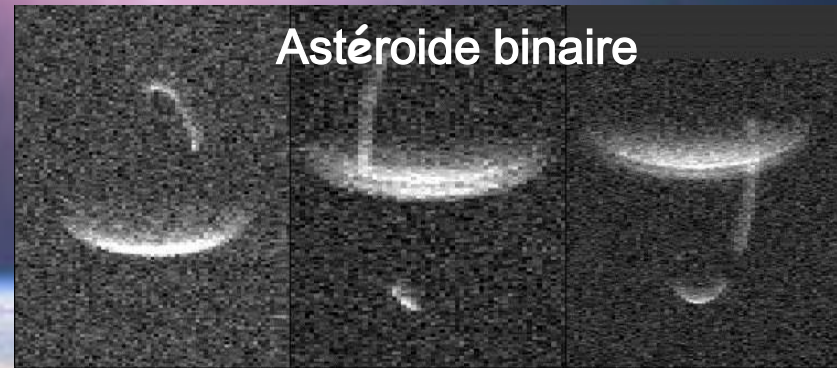
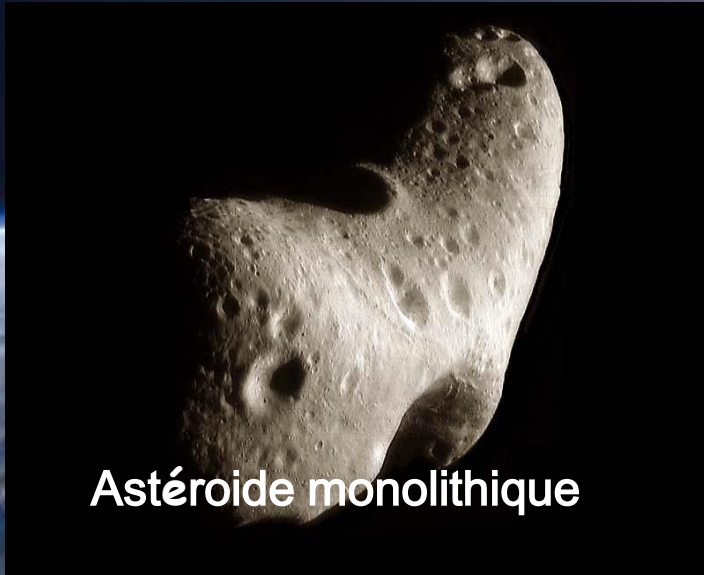


**Chondrite**



**Chondrite carbonée**

# Différentes structures de géocroiseurs... différents scénarios de traversée atmosphérique



# Mécanismes généraux lors de l'entrée atmosphérique ...ou la réaction de l'atmosphère à l'intrusion hypervéloce

## Un géocroiseur entre dans l'atmosphère avec une hyper-vitesse :

L'échauffement maximum est toujours situé à une altitude supérieure à celle de la contrainte mécanique maximale

entre 40.000 km/h et 100.000 km/h (comètes jusqu'à 2 fois plus !!)

et la vitesse d'impact pouvant aller au-delà de 1000km/h

importante enveloppe de plasma d'air à très haute température autour du corps

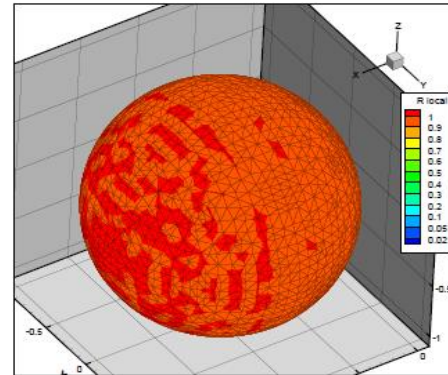
13000°C pour une vitesse de 40.000km/h (11km/s),

30000 °C pour une vitesse de 60.000km/h...

des tailles pouvant atteindre des centaines de mètres voire des kilomètres et pesant bien au delà du million de tonnes (APOPHIS 300m pour 40 Millions T)

**Haute probabilité d'ablation et de fragmentation -  
formation d'essaim de fragments**

# Phénomène d'ablation... dans des conditions infernales (1)



**Mécanisme qui va diminuer  
la menace initiale**



# Phénomène d'ablation... dans des conditions infernales (2)



**Météorite de Willamette (USA)**

- Un géocroiseur fait de Chondrite (roche) a une température d'ablation d'environ 2200°C
- à 12km/s la température du gaz devant la paroi est de 13000°C
- et 30000°C à 16km/s...
- la destruction du matériau évolue à raison de plusieurs dizaines de cm/s

**Plus l'angle d'entrée est faible  
plus l'effet d'ablation sera efficace :**  
→ diminution de la masse du géocroiseur  
donc augmentation de sa décélération

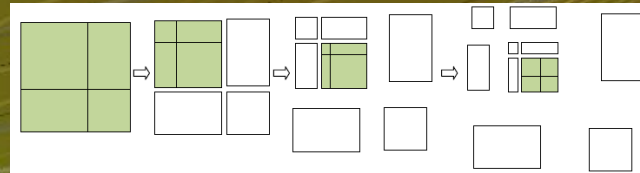
**...par contre plus le géocroiseur est gros  
moins sa température interne changera...  
...parce que l'ablation "épluchera" plus vite le  
corps que ne pourra pénétrer la chaleur**

**...sauf si le géocroiseur est ferreux...  
l'ablation y sera + efficace**

# Fragmentation... par fracturation

Augmentation continue de la pression et de la décélération

Pas "d'explosion" mais plutôt fragmentation complexe



Mécanisme qui va  
fortement « diminuer »  
la menace initiale

Pour un corps monolithique  
résistant

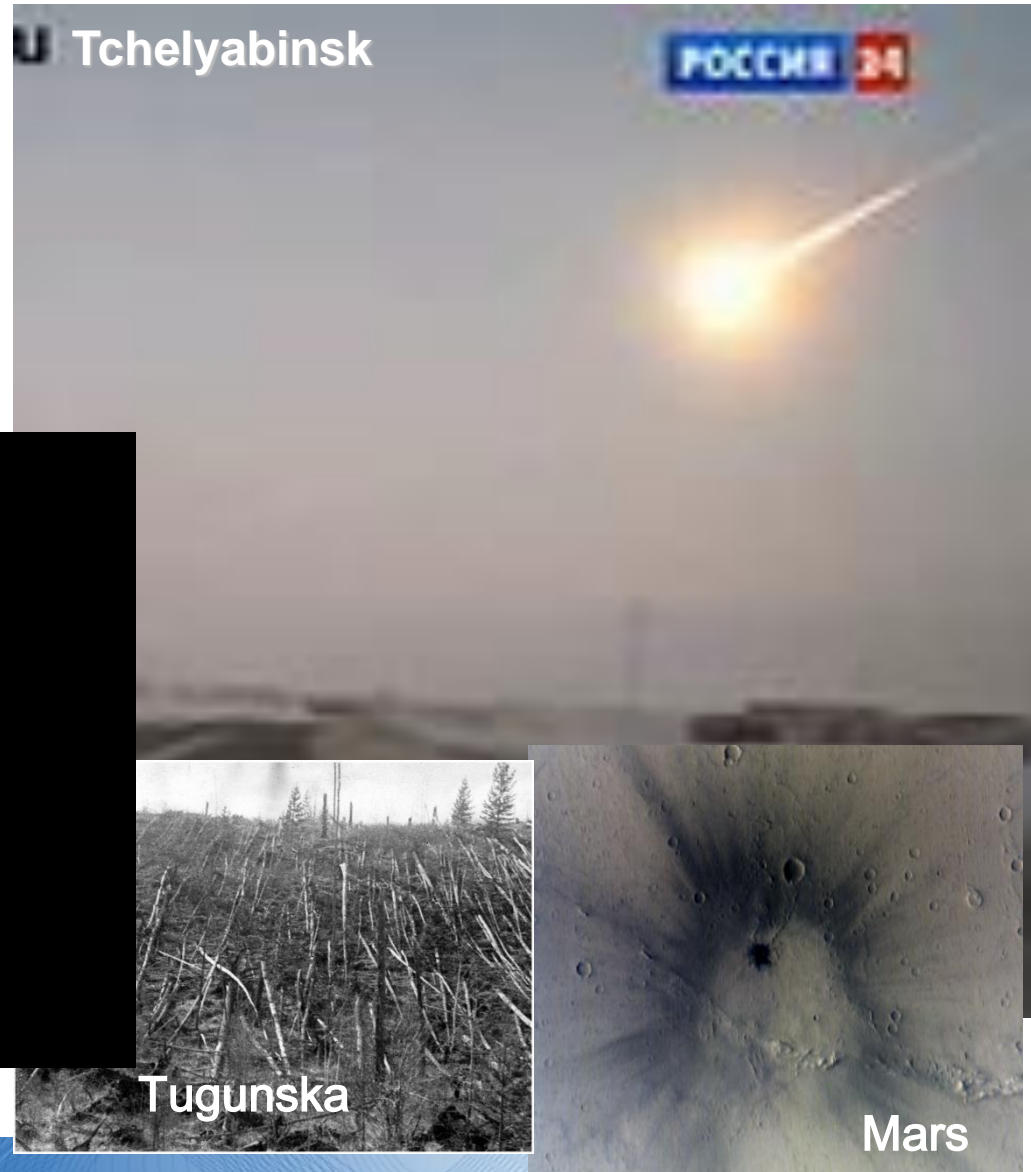
- Fracturation et séparation des fragments .
- Les plus petits décèlent plus vite et passe derrière.
- Masse diminue plus vite que la surface



CRATERES

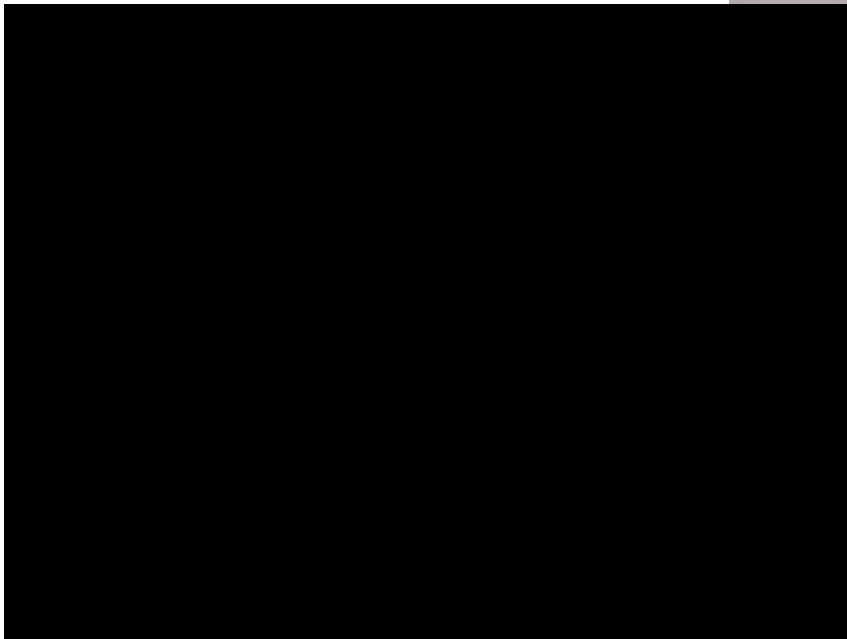
# ...Ou par fragmentation massive (airburst)

**L'airburst est, pour géocroiseur donné, un phénomène rapide, lumineux et bruyant, survenant en altitude et générant une onde de pression pouvant se propager jusqu'au sol.**



Tchelyabinsk

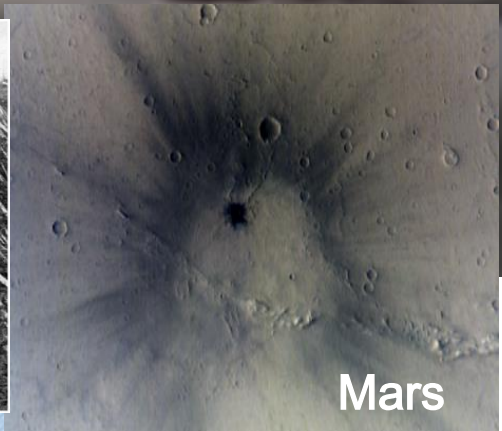
РОССИЯ 24



Simulation Sandia National Laboratories

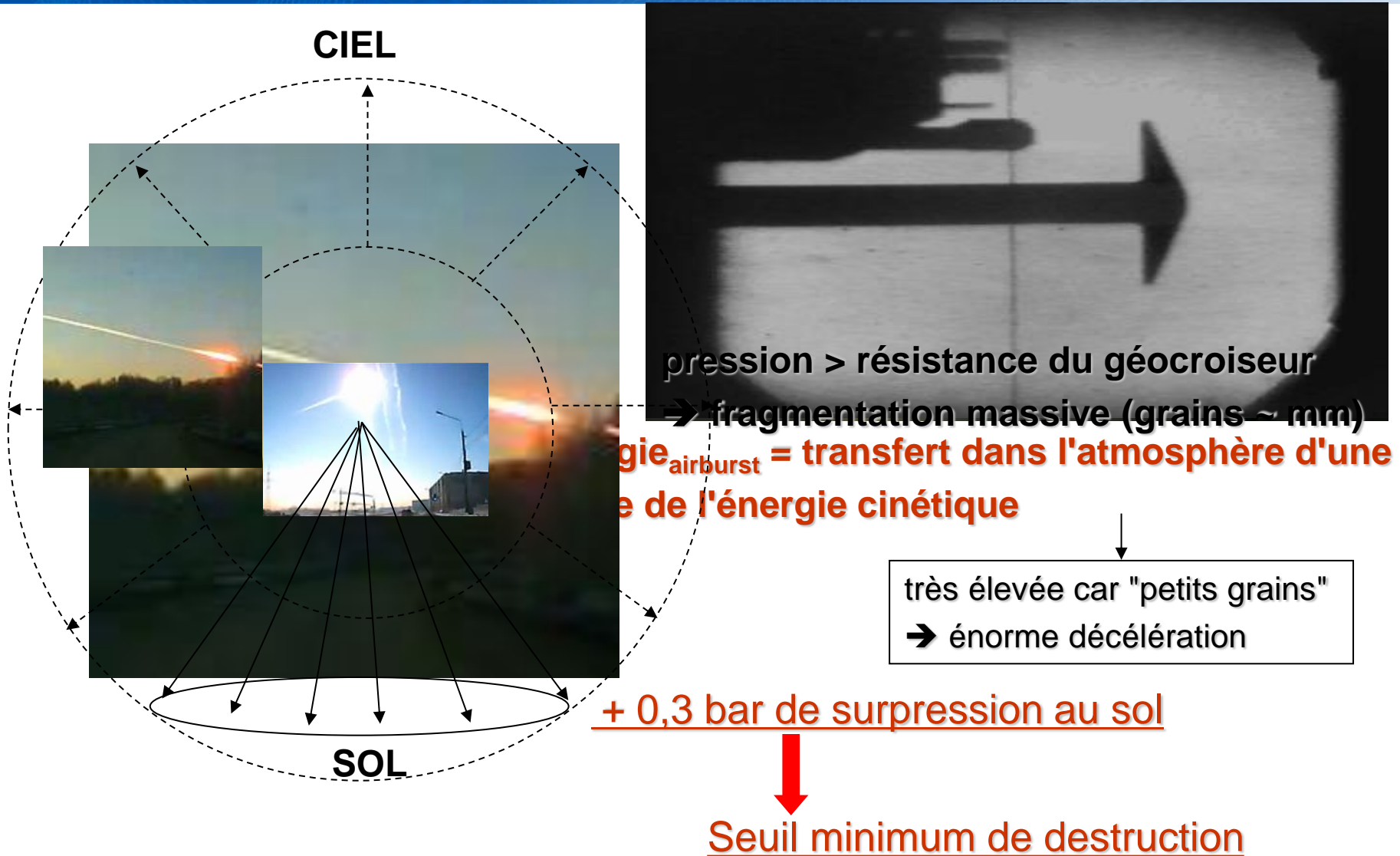


Tugunaska



Mars

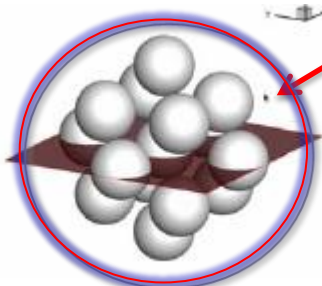
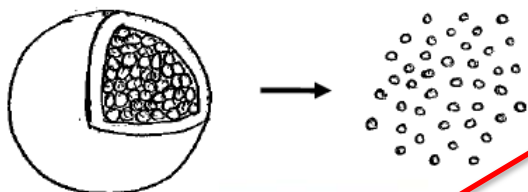
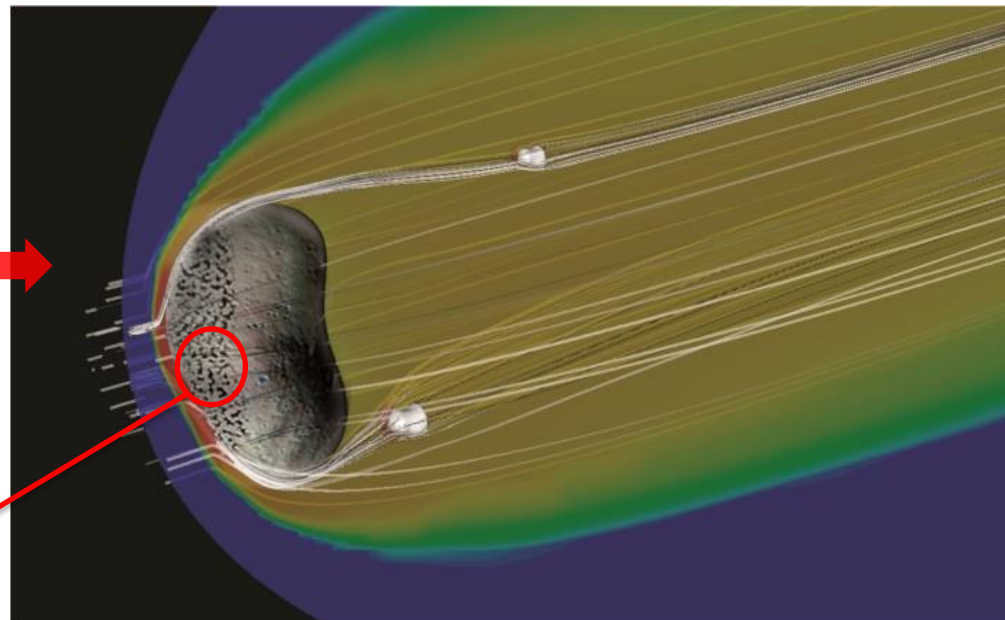
# Mécanisme probable initiateur de l'airburst



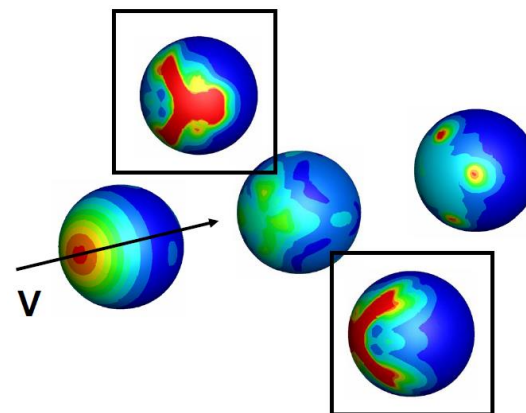
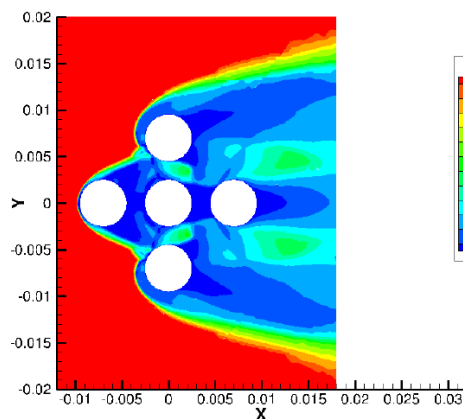
# Recherches actuelles sur l'airburst

## Structure "sac de sable"

- Météoroïde formé de grains de roche emprisonnés dans une enveloppe
- Enveloppe extérieure qui se rompt sous l'effet de la pression aérodynamique trop intense
- On s'interroge sur le comportement des fragments dans le fluide et sur les niveaux de flux de chaleur associés : peuvent-ils expliquer l'airburst en termes de niveaux d'énergie relâchés dans l'atmosphère ?



~ mm



# Fragmentation Massive et Matière au Sol

## Cas TC3 2008



$H_{\text{airburst}} = 37\text{km}$

Rayon = 2m

Masse = 80t

Vitesse<sub>entrée</sub> = 12,8km/s

Pente<sub>entrée</sub> = 19°

Energie<sub>entrée</sub> = 1,2 kT TNT (1/10<sup>ième</sup> Hiroshima)



Faible récupération de fragments  
au sol

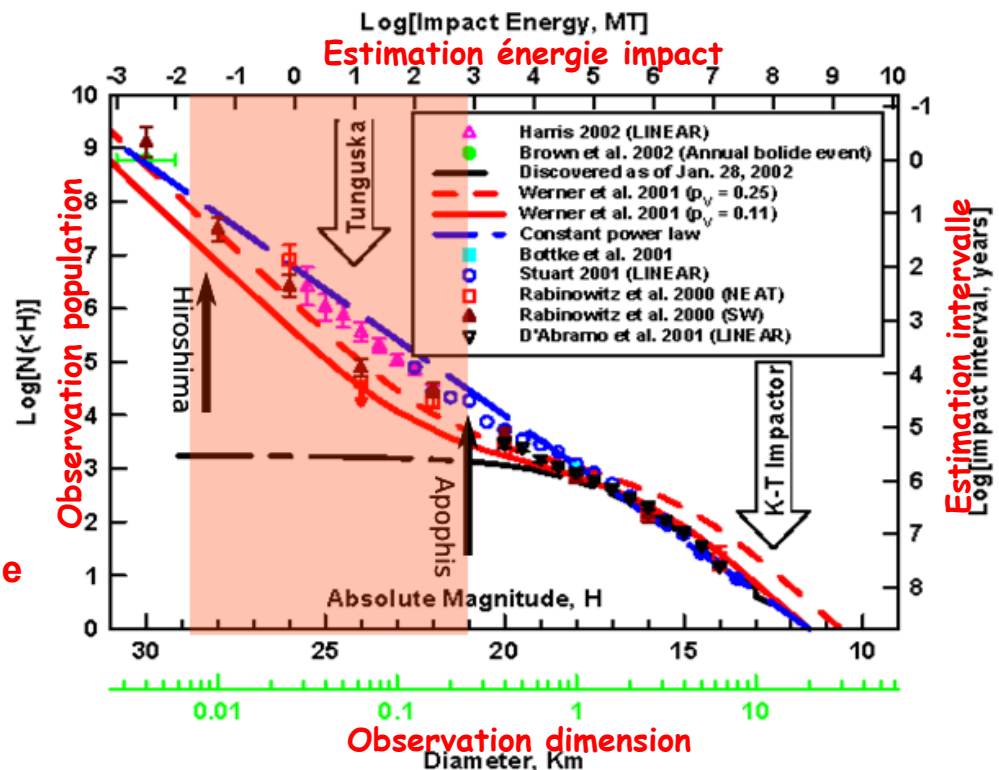
# Cas Tchelyabinsk ou le vécu d'un airburst... en pleine journée de travail dans l'Oural

# Conséquence sur l'appréciation des impacts vs population astéroïdes (cratères et destruction par airburst)

- L'idée qu'il y a une très forte probabilité que les conditions d'impact réelles peuvent être significativement différentes des conditions d'entrée dans l'atmosphère invite à apprécier différemment la relation entre « population observée d'astéroïdes et le risque à la surface de la Terre »

- 1) Pour un impacteur donné, l'astéroïde initial est de plus grande dimension à l'entrée atmosphérique
- 2) Intervalle d'impact réduit?
- 3) l'énergie d'impact doit être seulement obtenue par l'impacteur  
ou  
l'énergie d'entrée est seulement obtenue de l'astéroïde observé

Population cumulée d'astéroïdes vs. Magnitude absolue observée





# Conclusion : et alors ?

L'atmosphère dense de la Terre remplit son rôle protecteur car elle réduit

...et les effets au sol ne résultent que d'une fraction de l'énergie initiale

## Perspectives

...considérons également l'ablation et l'atmosphère comme une propriété salvatrice de notre atmosphère

Attention dans la sur-estimation du danger au sol → catastrophisme

→ Les conditions d'impact dépendent grandement des conditions d'entrée du géocroiseur : masse, vitesse, pente, structure et composition

→ On accèdera à la connaissance interne/externe des

géocroiseurs

→ Mécanismes de dégradation sont mal connus

dans l'état actuel des connaissances

AIDA 2022, HAYABUSA 2, OSIRIS-REXT, APEX (APOPHIS) 2019



Sensibiliser les autorités nationales pour la sécurité des populations

pour action et communiquer auprès du public



Cellule scientifique ASTERISK composée de :

IMCCE, OCA, ObsP, CNES, IRAP, ENSMP, ONERA...

