

DEFENSE PLANETAIRE

DART

&

HERA



- **Préambule**
- **Objectifs de la mission DART**
- **Caractéristiques de la mission**
- **Les résultats de la mission DART**
- **Objectifs de la mission HERA**
- **Questions posées par la mission**

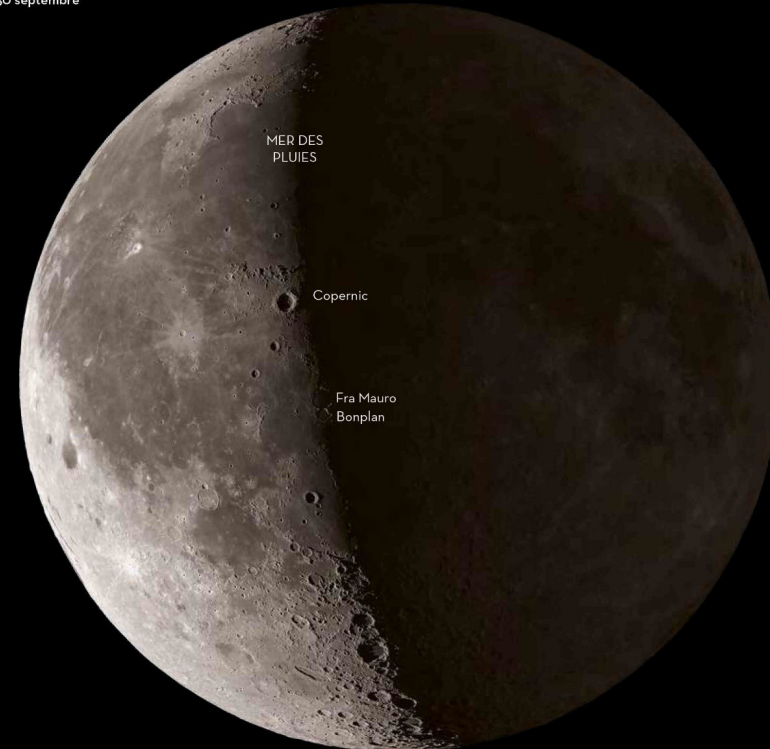
Préambule : des cratères d'impact visibles

Ganymède photographiée par la sonde Juno



La lune dans son dernier croissant

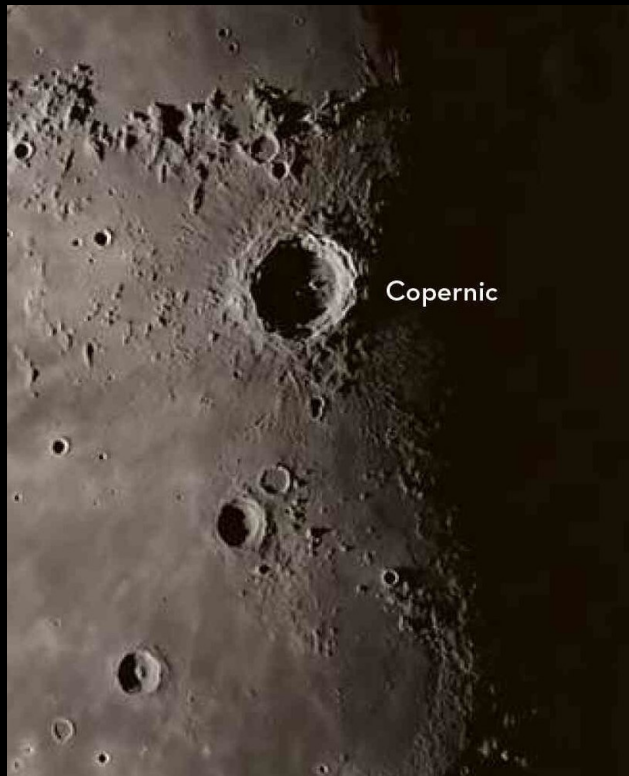
Le 30 septembre



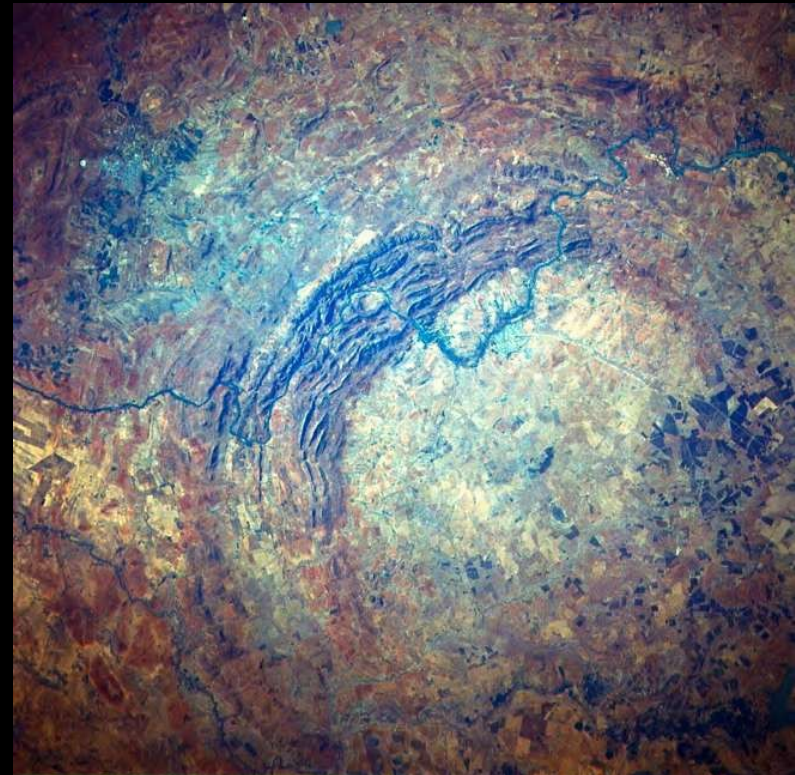
Des cratères sur les astres telluriques

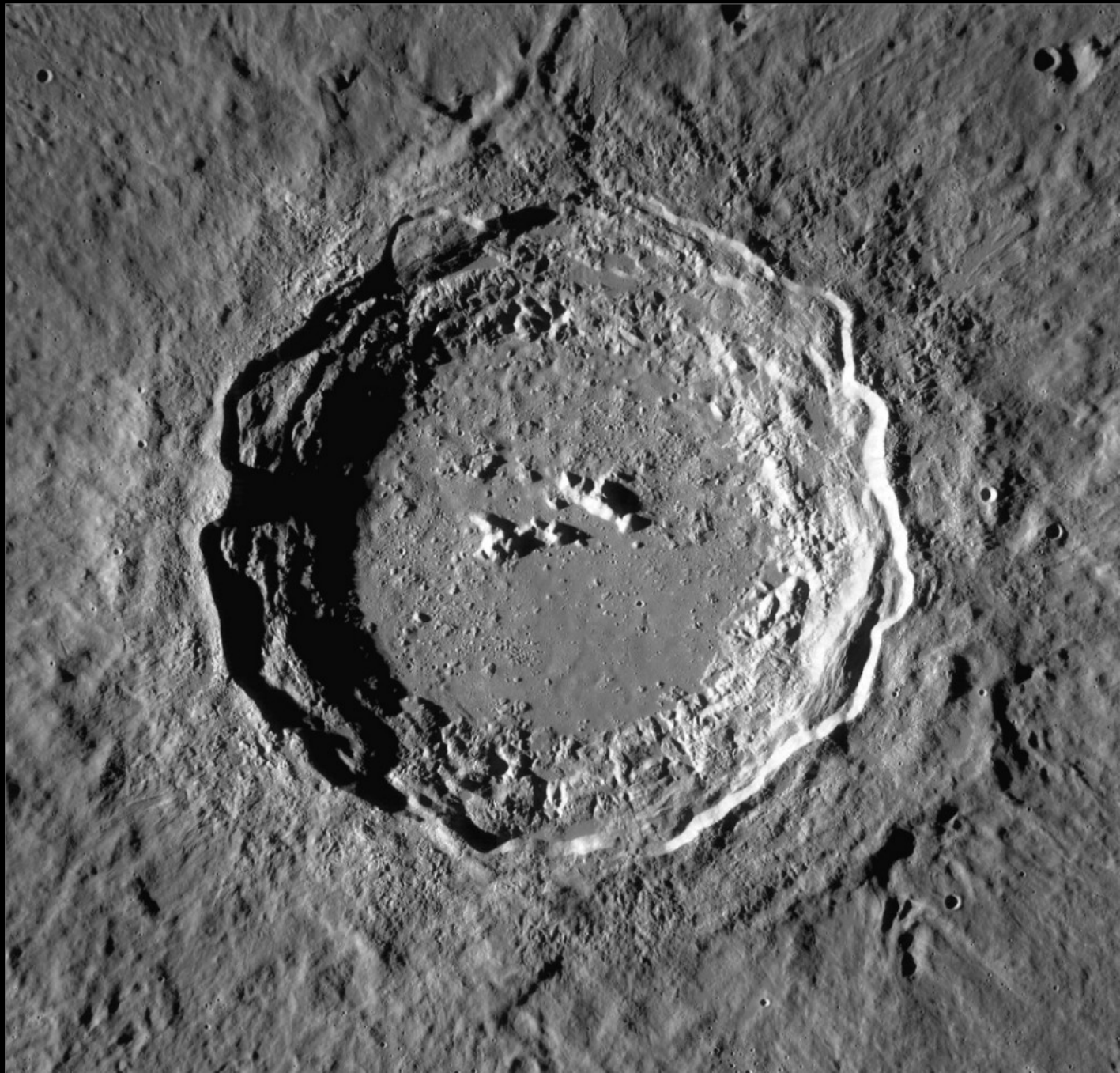
Le cratère lunaire Copernic

Les gradins



Le cratère de VREDEFORT, situé à 120 km au sud ouest de Johannesburg, a été classé au patrimoine mondial de l'Unesco.





Des impacts sur la Terre probables

- Rappel de la présentation de Jacques sur les astéroïdes : des astronautes consultés sont formels: il y aura des chutes d'astéroïdes sur terre;
- Selon une analyse de l'orbite de l'astéroïde Bennu s'appuyant sur les données de la sonde Osiris-Rex
 - 1/1775 : c'est la probabilité d'un impact de cet astéroïde Bennu avec la terre d'ici l'année 2300;
 - le risque sera le plus haut le 24 septembre 2182 (probabilité d'impact 1 sur 2700, soit 0,037%) .
- Astéroïde de 1 km: impact tous les 500.000 ans
- Astéroïde de 140 m: impact tous les 10.000 ans
- Il faut se protéger de cette menace
- Ces impacts peuvent être observés.....

Des impacts visibles sur Jupiter

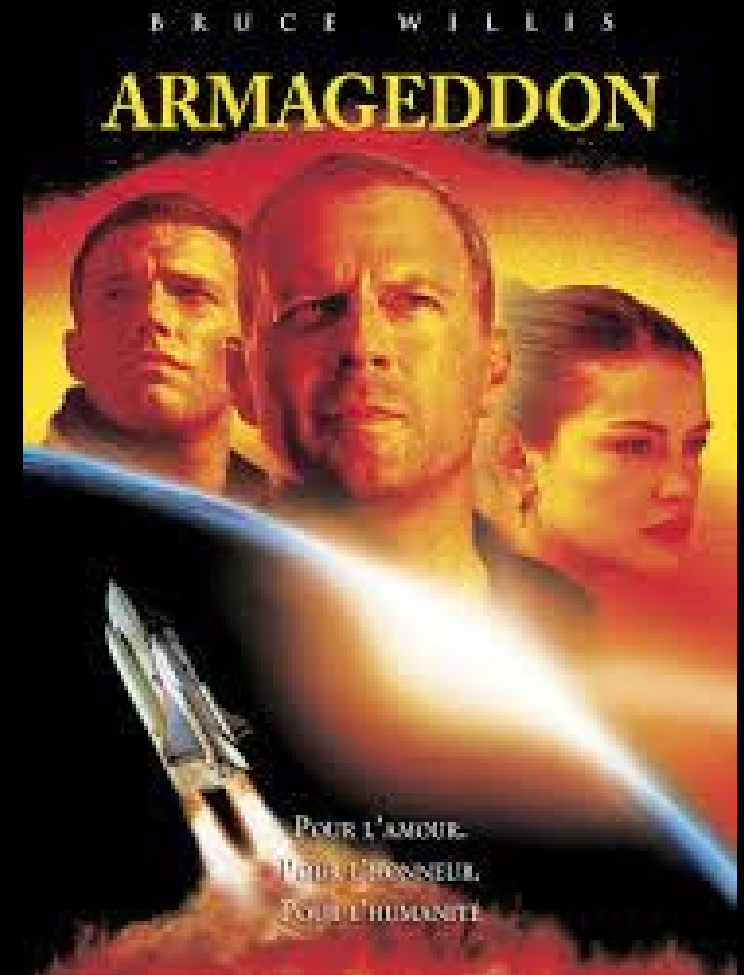
- En 1994, la comète Shoemaker-Levy 9 se disloque avant de bombarder Jupiter pendant 4 jours
- Etude de 2018 : entre 10 à 65 impacts par an avec un corps d'un diamètre de 5 à 20 m
- Impact tous les 2 à 12 ans par un objet laissant des traces visibles
- 13 impacts visibles 'certifiés' depuis 2009
- Dernier impact : 29 décembre 2023.....
- Vidéos:
 - 17 mars 2016
 - 3 juin 2010 par Antony WESLEY



Cliquer sur les images pour voir les vidéos

Comment se protéger de cette menace ?

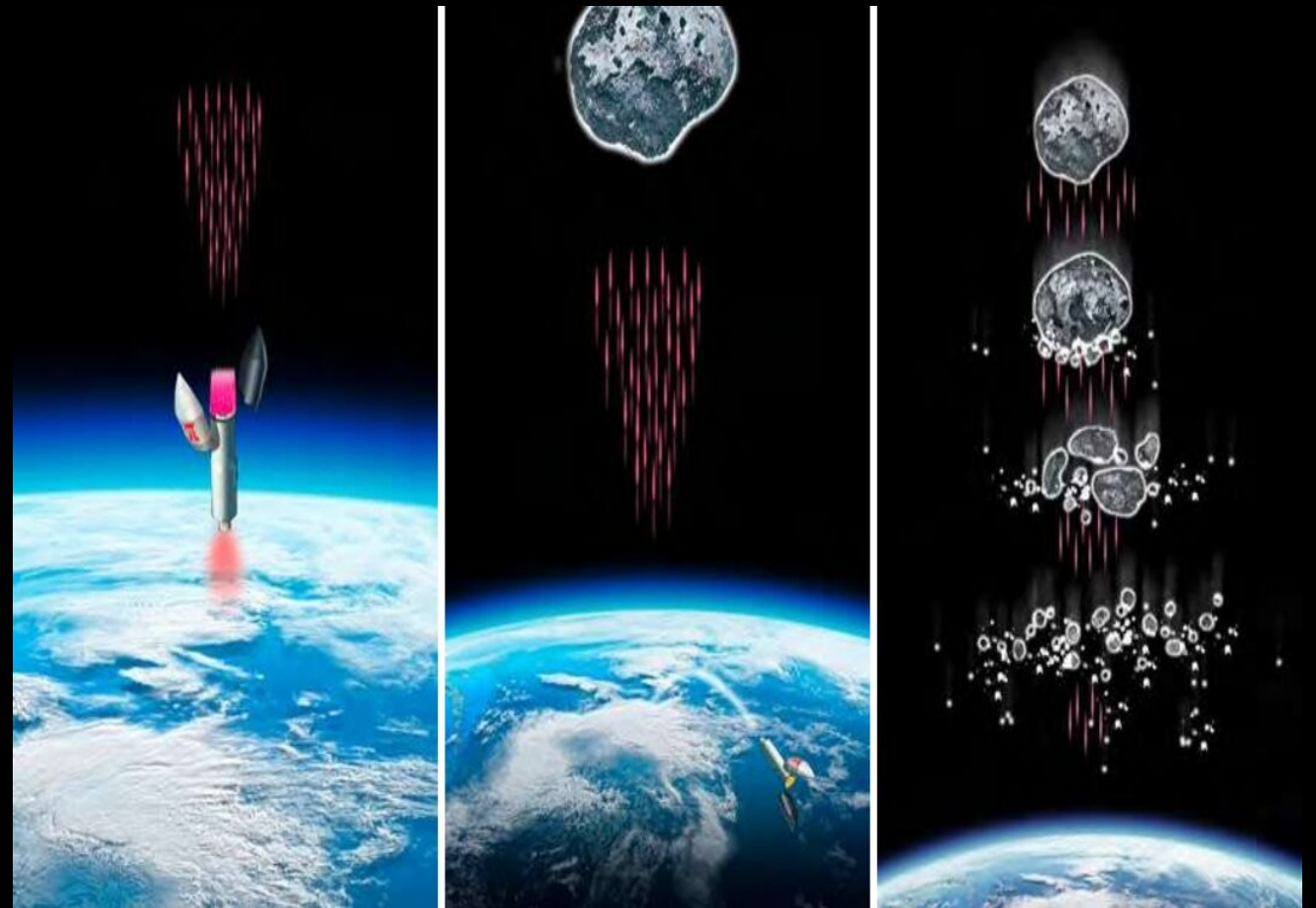
- Il faut trouver la parade contre les géocroiseurs, astéroïdes dont la trajectoire s'approche (croise) l'orbite terrestre,
- **La solution ARMAGEDDON : faire exploser l'astéroïde**
 - Ce sont alors les débris, plus nombreux, mais sur la même trajectoire qui menaceraient la terre;
 - Problème d'éthique à provoquer une explosion nucléaire dans l'espace;
- **Peindre la surface en blanc ou accrocher une voile solaire :**
 - laisser les rayons solaires pousser l'objet
- **La technique du tracteur gravitationnel:**
 - une sonde massive en orbite qui dévierait l'astéroïde :
 - Les deux dernières techniques nécessiteraient une anticipation considérable ;
- **Pulvériser l'astéroïde**
- **Dévier l'astéroïde en l'impactant:**
 - A des millions de km une déviation très légère est suffisante pour éviter la terre



Se protéger en pulvérisant l'astéroïde

Mission PI (Pulverize It) financée par la NASA;

- Pulvériser l'astéroïde en le mitraillant par une escadrille de « pénétrateurs cinétiques hypervéloces »
- Les fragments brûlent dans l'atmosphère
- Nécessite peu d'anticipation (120 mn avant l'impact serait suffisant)
- Des impacteurs sans charge explosive de 10 à 100 kg, soit 10 T en orbite. Capacité d'une Falcon Super Heavy
- Objectif: le géocroiseur APOPHIS qui passera le 13 avril 2029 à 23 000 km de la terre



Dévier l'astéroïde en l'impactant

- Une déviation faible de la trajectoire de l'astéroïde produit un écart important sur de grandes distances
- Comment voir le résultat ?
 - Faire exploser: on voit le résultat!
 - Dévier:
 - il faut être capable de mesurer des déviations de trajectoire très faibles;
 - La mesure de ces déviations peut prendre beaucoup de temps
- D'où l'idée de dévier un astéroïde double pour pouvoir mesurer la déviation relative entre les deux astres ;
- D'où le nom de DART, Double Asteroid Redirection Test

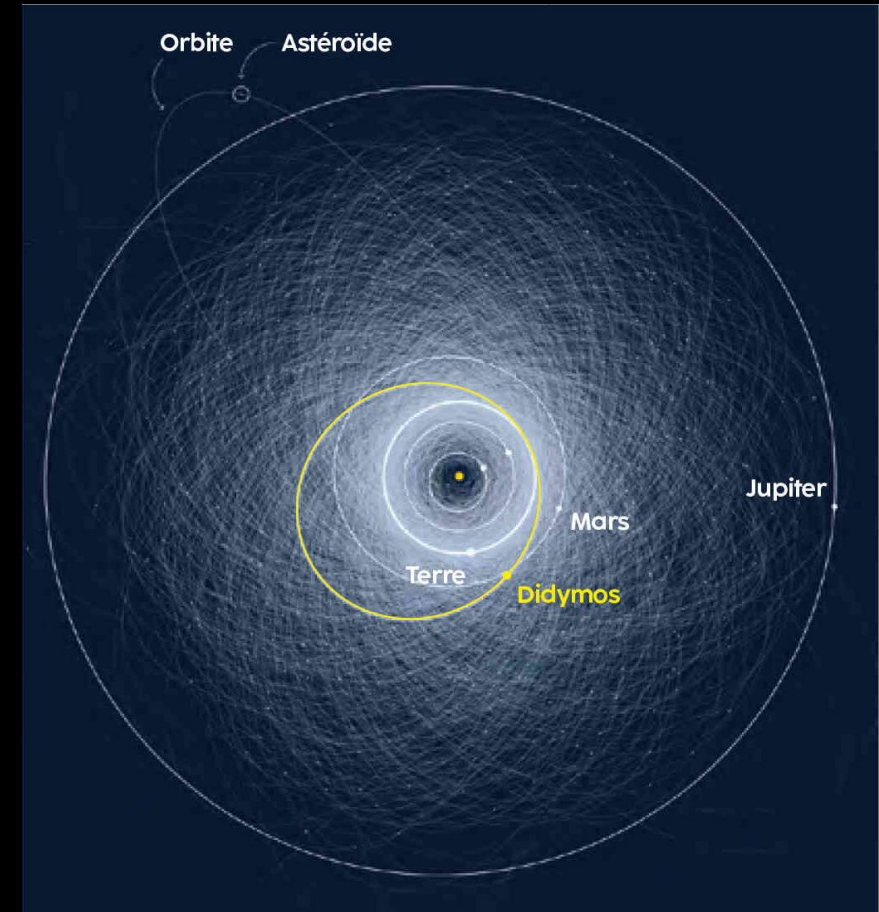
Objectifs de la mission DART

- C'est une mission de défense planétaire ;
- Confirmer être capable d'atteindre une petite cible à grande distance;
- Vérifier s'il est possible de dévier un astéroïde;
 - Pouvoir mesurer les effets de l'impact sur sa trajectoire;
- Etudier le comportement de l'astéroïde impacté
 - Comprendre la porosité et la cohésion des astéroïdes



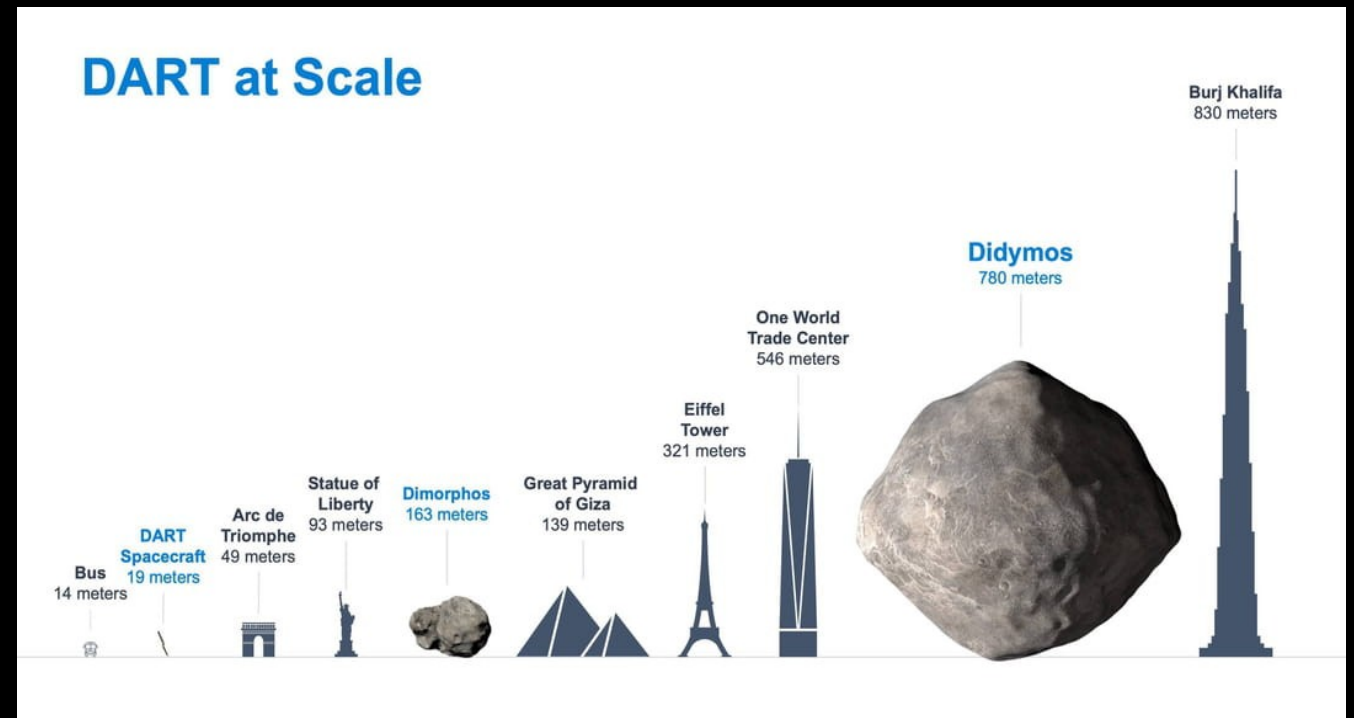
Caractéristiques de la mission DART : la cible

- Choix d'un astéroïde Dydimos qui possède un satellite Dimorphos
- Dydimos est un satellite de type Apollon qui croise l'orbite de la terre (Amor, Aton et Atira)
- Situés à 11 millions de KM au moment de l'impact (ils étaient à 4 millions de KM 19 ans plus tôt)
- Dydimos et Dimorphos ont été observés pendant de nombreuses années



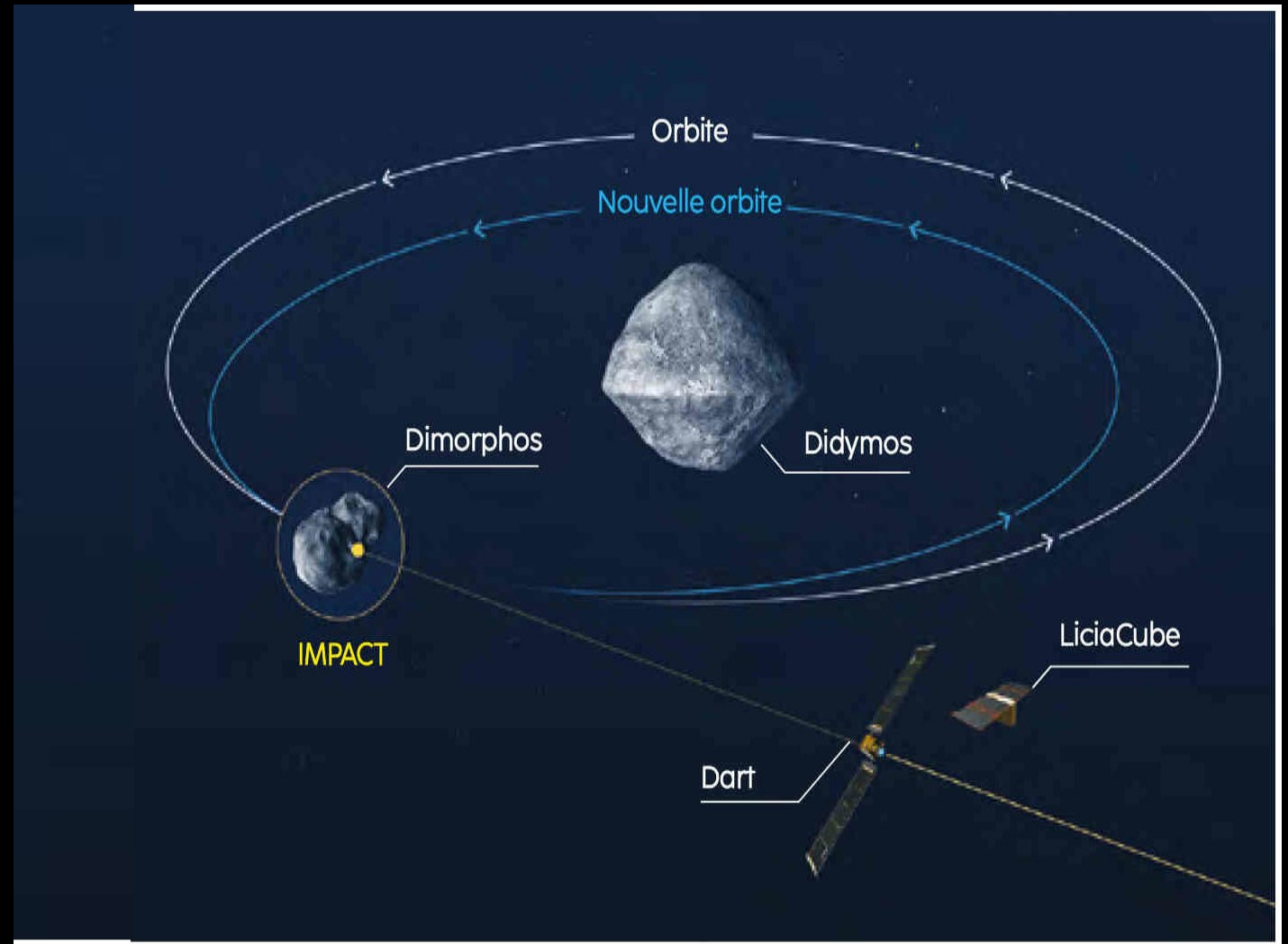
Caractéristiques de la mission DART : la cible

- Dydimos:
 - Diamètre de 780 m
- Dimorphos:
 - Diamètre de 160 m
 - Masse de 4,8 Milliard de kg
- Distance entre les deux: 1,2 km
- Période de rotation: 11H55mn



Caractéristiques : la mission

- 23 novembre 2021 : décollage de la mission DART a bord d'une fusée Falcon 9
- 26 septembre 2022: DART percute Dymorphos
- Poids de DART: 570 kg
- Vitesse au moment de l'impact : 6 km/s soit 22 500 km/h
- Largage avant l'impact d'un nanosatellite Licia Cube pour observer les effets





Cliquer sur l'image

Impact vu par différents instruments

Le nanosatellite italien Licia
Cube au moment de l'impact

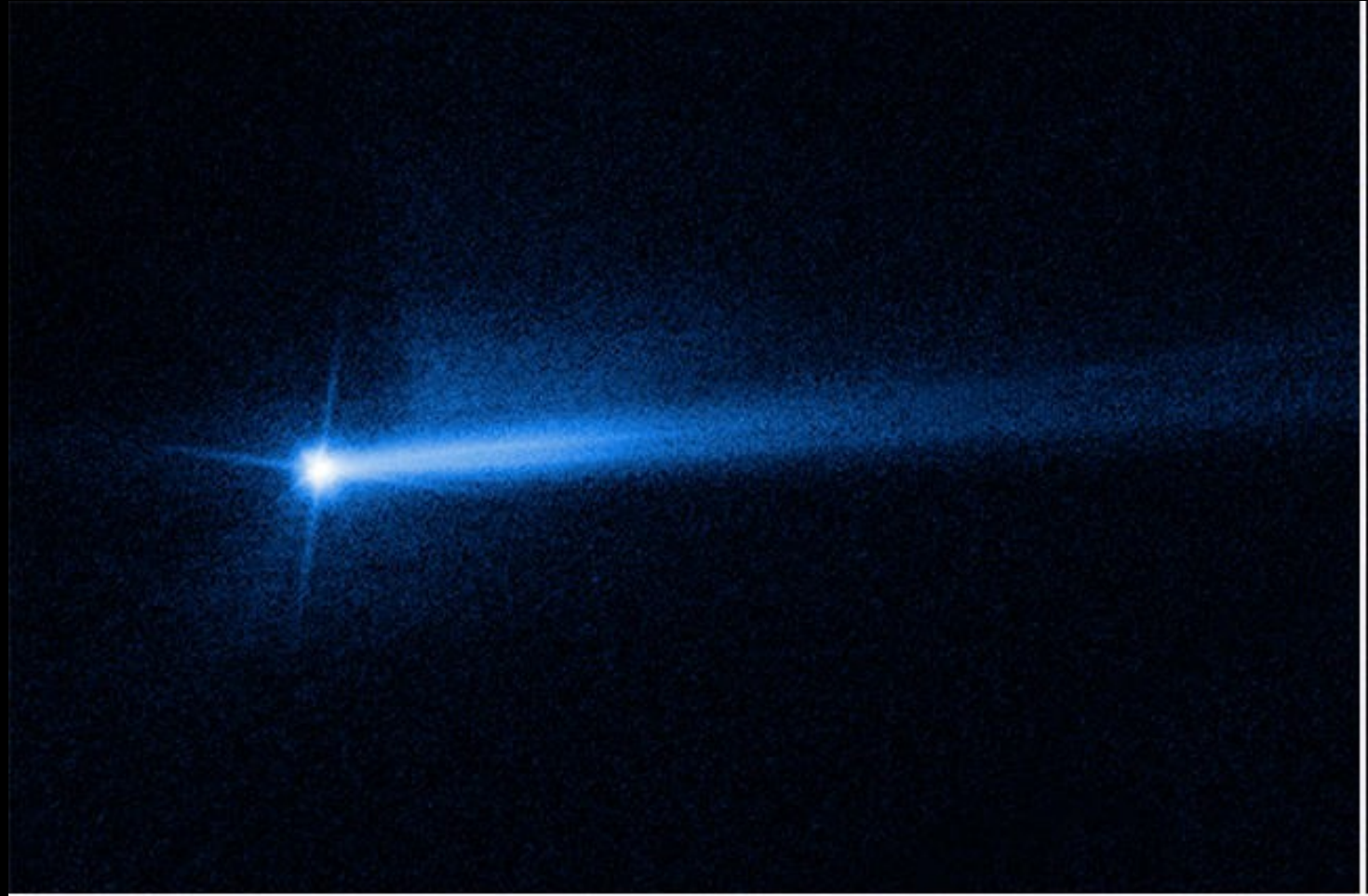


Impact vu par différents instruments

Le télescope spatial Hubble

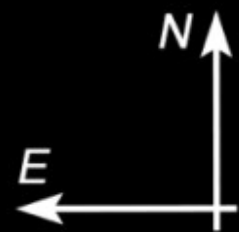
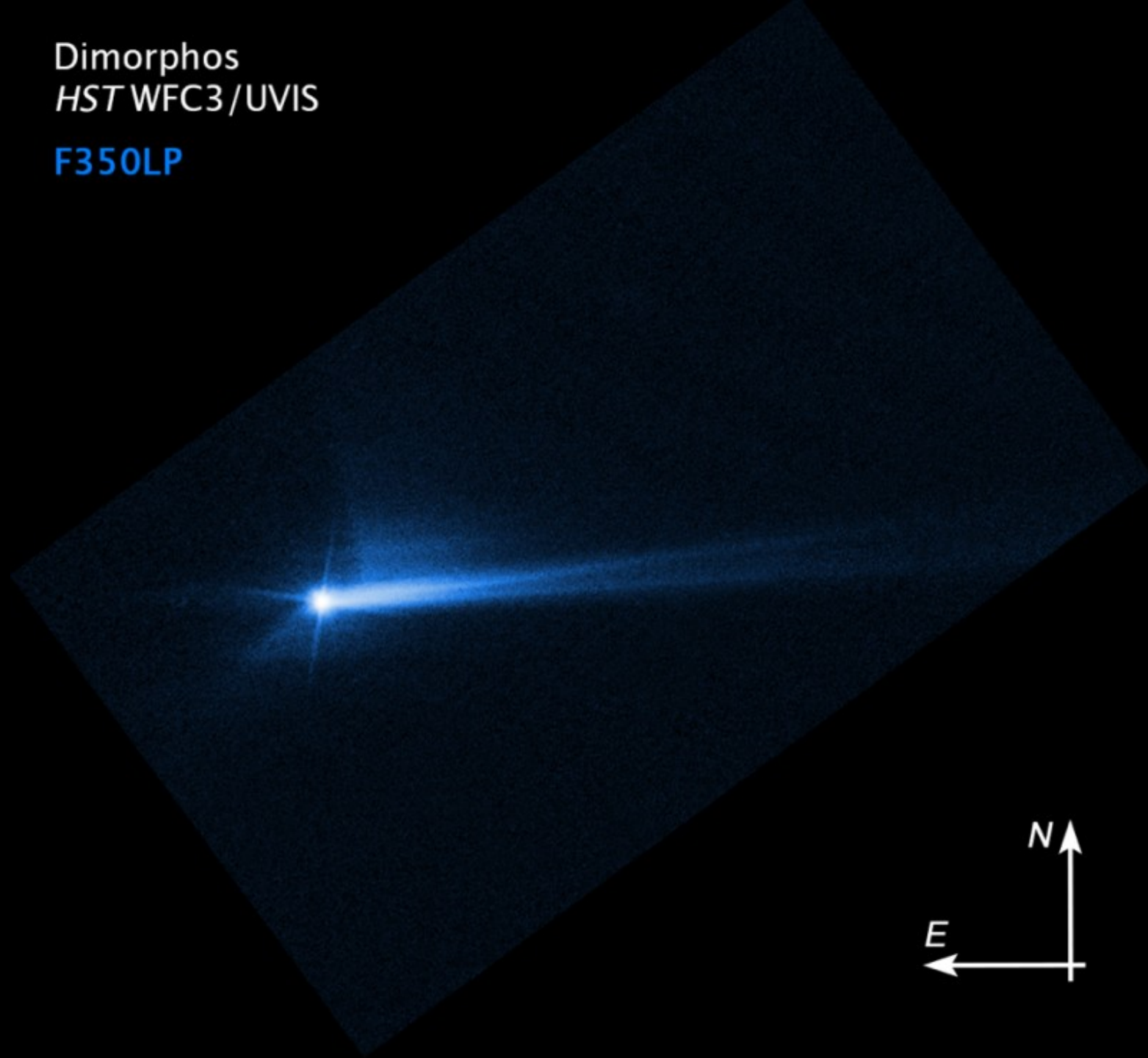
**Les scientifiques planchent
sur le double panache vu par
Hubbel.**

**La 2ème queue apparait
entre 5,7 et 8,8 jours après
l'impact et disparaît 18,5
jours après**



Dimorphos
HST WFC3/UVIS

F350LP



Impact vu par différents instruments

Le télescope Soar au Chili



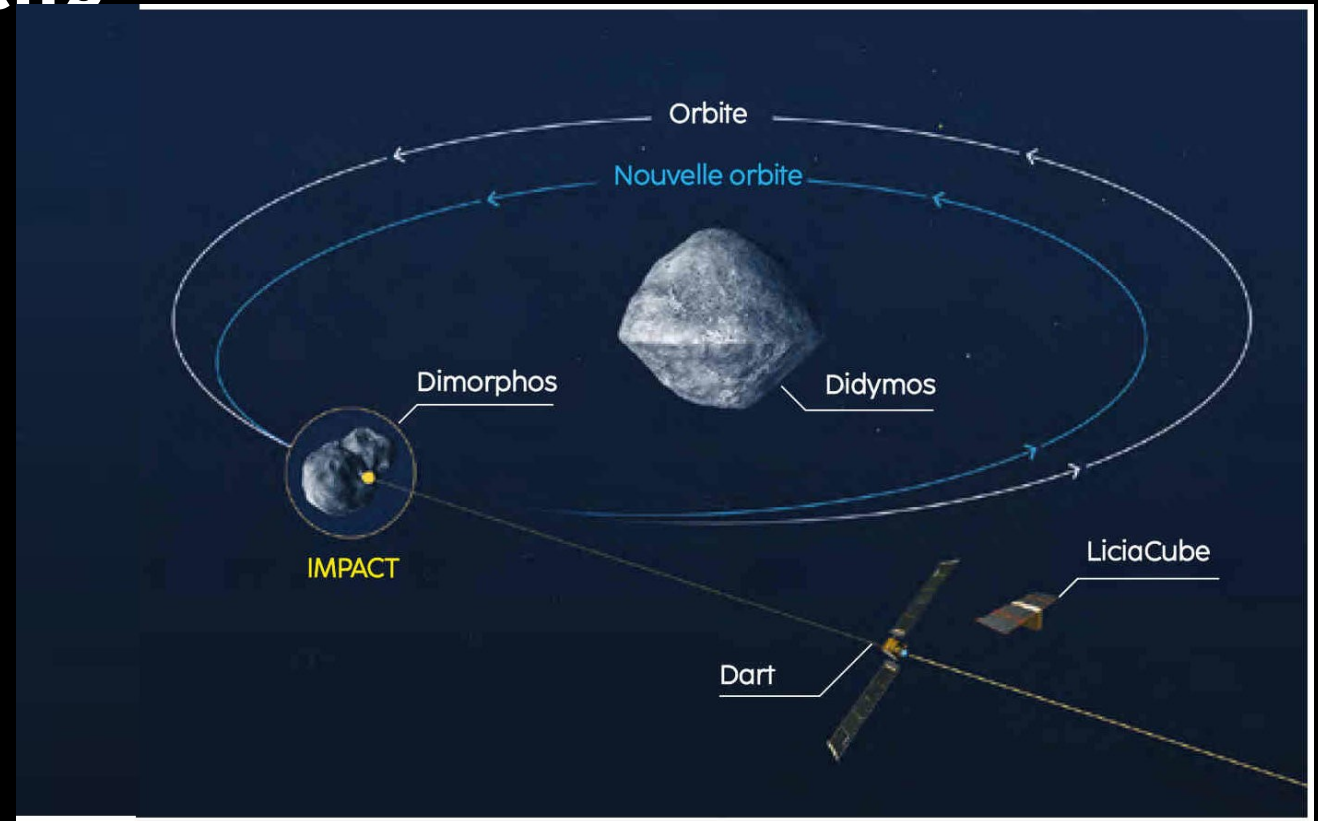
Impact vu par différents instruments

Le télescope spatial James
Webb, 4 heures après
l'impact



Les résultats de l'impact: contre intuitifs

- Réduction de la période de révolution :
 - 73 secondes estimée par les modèles;
 - 33 mn mesurées après l'impact (marge d'erreur de 18s)
 - 34,2 mn mesurée après 1 mois (marge d'erreur de 6s)
- Panache de poussière :
 - Éjectat très important long de dizaine de millier de km



Les résultats de l'impact: troublants

- Impression de blocs solides, mais:
 - Roches sans cohésion ne présentant aucune résistance ;
 - Comportement analogue à celui d'un fluide
 - Masse d'éjectat arraché: estimée entre 1 et 10 T puis réévaluée à 1 000 T
 - Composition: chondrite ordinaire riche en silicate
- Une meilleure compréhension s'impose!!!

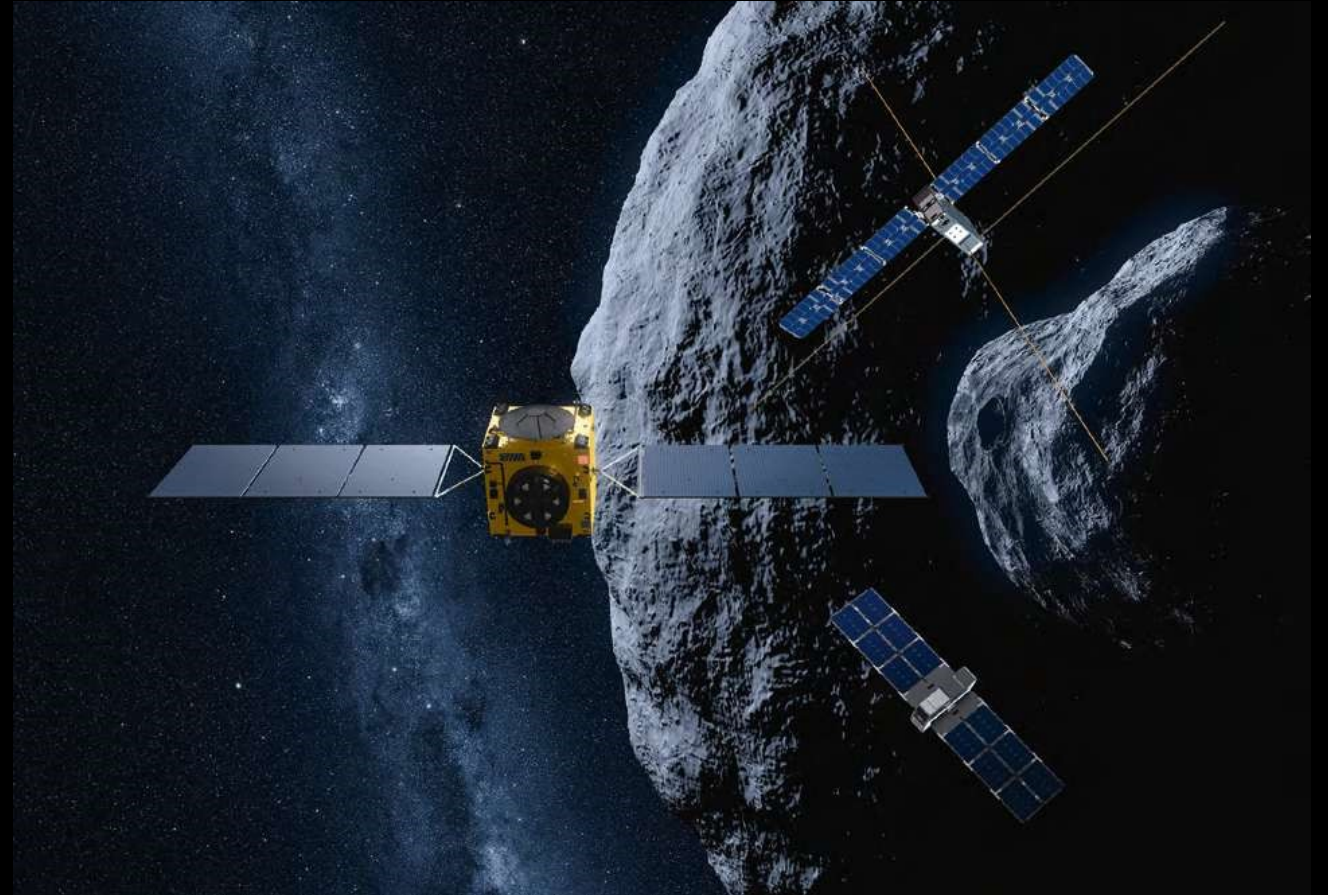


Images de la
camera DARCO
prises:

- 11 s avant
l'impact à 68
km
- 2 s avant
l'impact à 12
km
- Largeur de
l'image:31 m

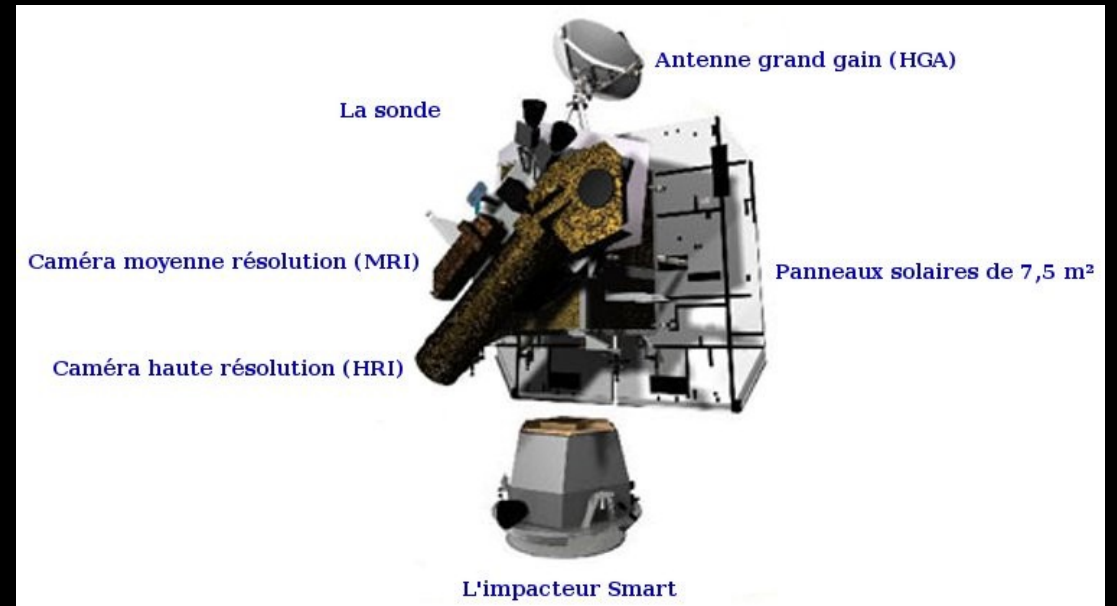
La mission HERA

- **Mission de l'ESA**
 - Initialement prévue avant DART
 - Lancement en 2024
 - Arrivée en 2026
- **Des objectifs de défense planétaire**
 - Mesurer la taille du cratère (initialement estimée à 17m)
 - Sonder la structure interne
 - Propriétés géologiques
 - Distribution de la porosité
 - Analyser le panache
- **Des objectifs de planétologie**
 - Compréhension de la formation des astéroïdes
 - Amélioration des modèles de formation et de collision
- Mais n'avait-on pas déjà quelques informations ???



Impacter un astéroïde : mission Deep Impact

- Sonde de 1 T qui a largué le 4 juillet 2005 un impacteur de 400 kg SMART sur la comète Temple 1
- Comète Temple1 :
 - 6,5 km de diamètre
 - Période de 5,5 ans
- Objectifs:
 - Recueil de données sur la comète;
 - Composition de la surface et composition du noyau
 - Mais pas de dévier l'astéroïde car beaucoup trop gros....
- Nouvelle mission EPOXI qui a survolé la comète HARTLEY 2 en 2007



Depp Impact: caractériser la composition des comètes

- Important jet de poussière;
- Lumière après l'impact;
- Surface couverte de poussière très fine « plus proche de la poudre de talc que du sable »
- Ejectat : observations de la sonde Rosetta
 - 5 000 T de poussière
 - 5 000 T de glace d'eau
 - 15 T de glace cyanhydrique
 - Cratère de 30 m
 - Beaucoup de matériaux organiques



DEEP IMPACT CAPTURE PAR HUBBLE



Impacter un astéroïde: mission Osiris Rex

- Objectifs: étudier l'astéroïde Bennu (formation et évolution du système solaire) et ramener des échantillons
- Sonde de 2 T lancer le 8 septembre 2016 par une fusée Atlas
- En orbite autour de Bennu en décembre 2018
 - Diamètre de 500 m
 - Masse de 78 Mkg
 - Période de 1,2 ans
- Prélèvement le 20 octobre 2020 (250g)
- Retour sur terre le 24 septembre 2023
- La sonde continue son voyage en direction de l'astéroïde géocroiseur Apophis en 2029



Mes questions....

- Des résultats intuitifs:
 - La loi de Kepler dit que plus un satellite est éloigné, plus sa période de révolution est longue;
 - Donc cohérent avec DART : période diminuée car plus proche
- Mais une dynamique troublante.....
 - La dynamique dit que si la vitesse diminue, le satellite s'éloigne!!
 - Si il n'est pas soumis à des forces extérieures.....
 - Newton: $V^2/R = GM_T/R^2$

▪ 3ème loi de KEPLER: $T^2/a^3 = \text{Cste}$

3ème loi de KEPLER: $T^2/R^3 = \text{Cste}$

$$\rightarrow T = \text{Cste} \sqrt{R^3}$$

▪ Circonférence d'un cercle: $VT = 2\pi R$

$$\rightarrow V = 2\pi R/T$$

▪ $\rightarrow V = 2\pi R / \text{Cste} \sqrt{R^3} = K R / \sqrt{R^3} = K / \sqrt{R}$

$V = K / \sqrt{R} \rightarrow \text{si } V \searrow \text{ alors } R \nearrow$

▪ la dynamique des solides : $E_m = E_c + E_p$

$$-GmM/2a = \frac{1}{2}mv^2 - GmM/a$$

$$\frac{1}{2}mV^2 = GmM/2a \text{ soit } V^2 = GM/R$$

mage

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Crédit:

- Revue Ciel & Espace
- Conférence de Patrick Michel , directeur de la mission HERA à ESA
- La NASA qui autorise l'utilisation de ses informations
- Michel et Blandine ...