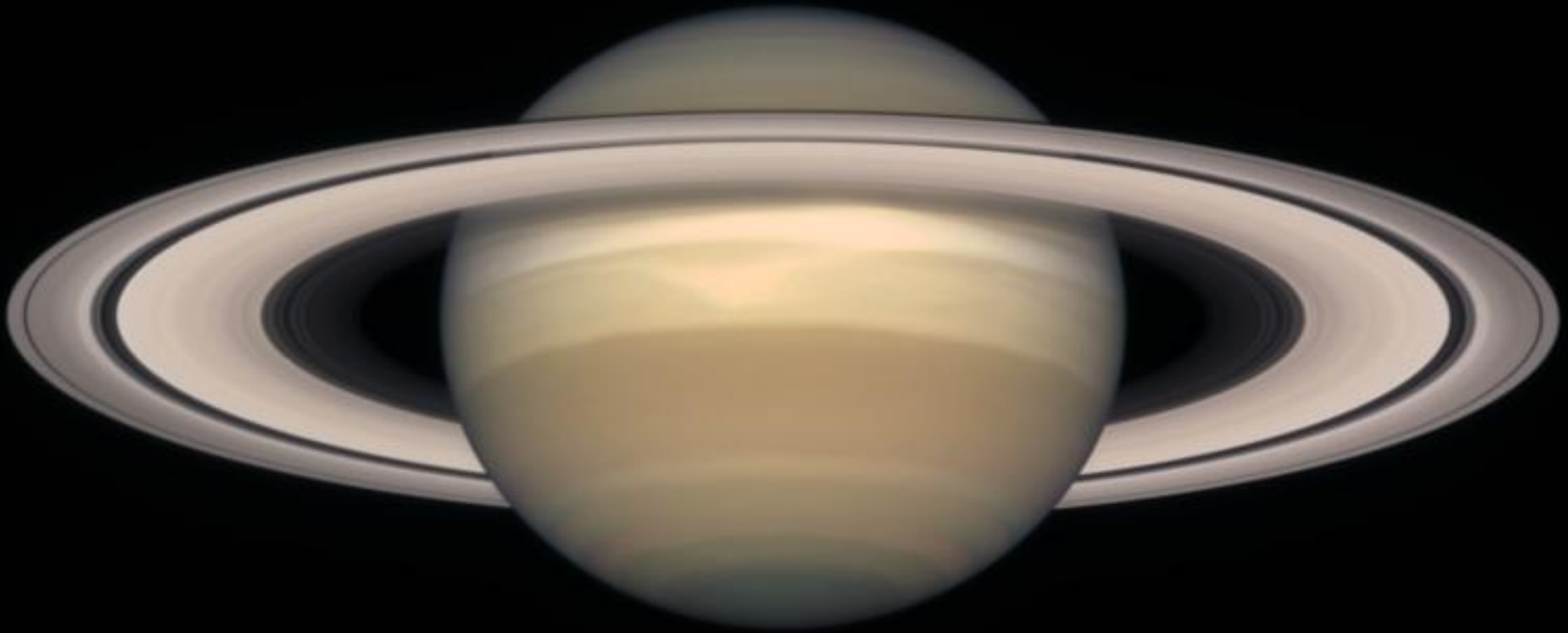




2004 –2008 : les années
« saturniennes » avec la sonde
Cassini-Huygens

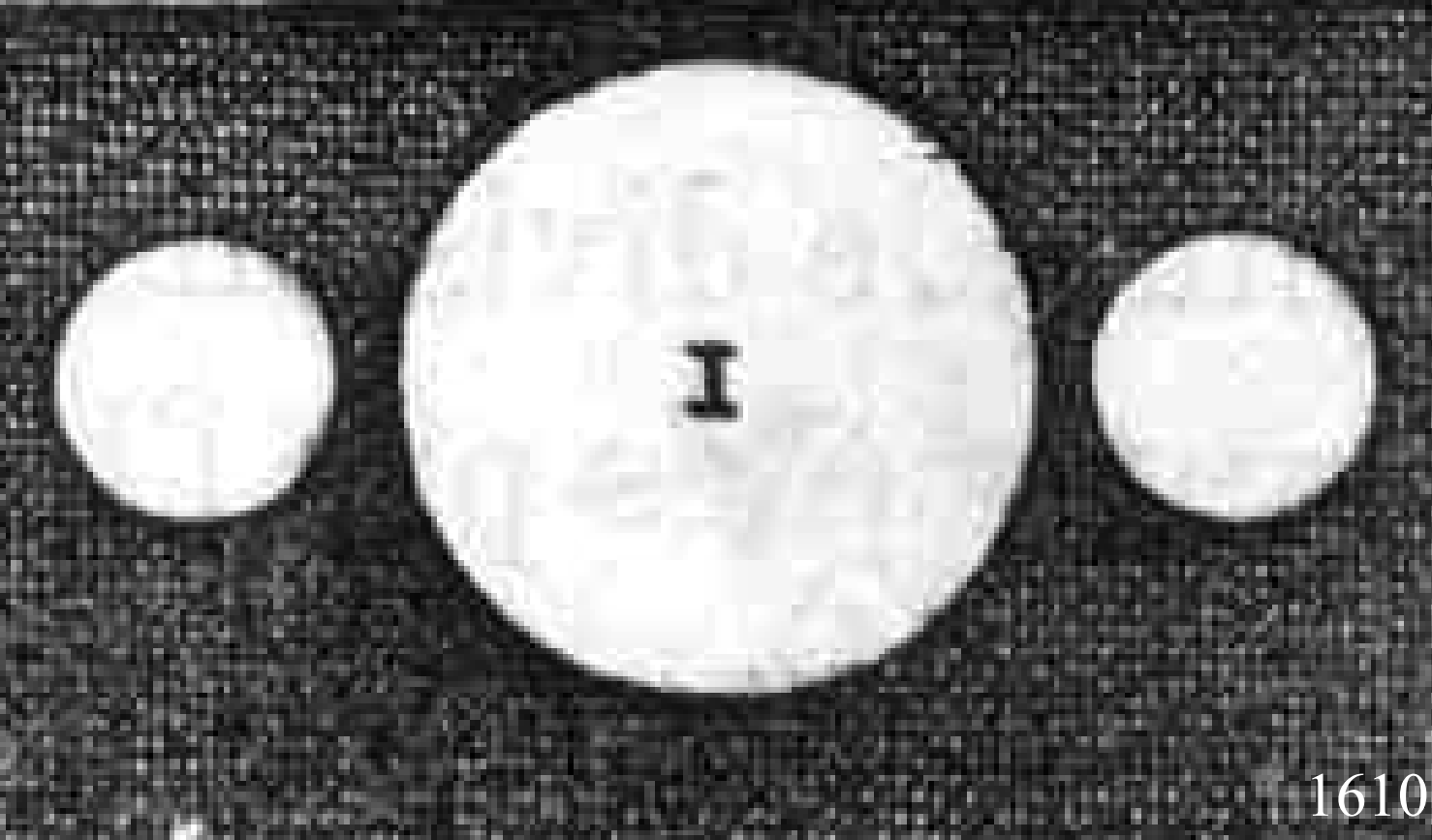
Que savait-on sur Saturne avant les missions spatiales ?



Je rappelle que Saturne est visible à l'œil nu ,et qu'il est donc connu depuis « toujours »



**C'est un des cinq astres ressemblant à des étoiles qui se déplacent apparemment par rapport aux constellations et au fond du ciel, et que les Grecs avaient appelés « planète »,
ce qui signifie « astre errant »**



**En 1610,
Galilée
découvre
« quelque
chose » à
coté de
Saturne**

Comme ça se faisait à l'époque, pour avoir la paternité de la découverte mais sans la dévoiler, il publie un anagramme : « *smais nermicl mbpobtalev mibvneuv gtaviras* », ce qui mis dans l'ordre signifie : « *Altissimus planetam tergeminum observavi* », c'est à dire « *j'ai observé que la planète la plus élevée est tri-jumelle* »

**Entre 1656 et 1659;
Huygens* voit « ça » !**

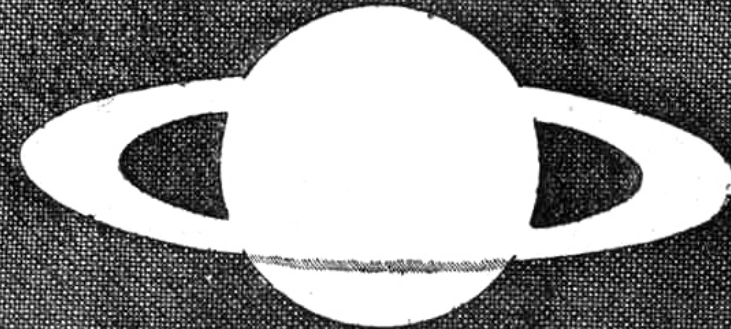


1656



1657

**Il comprend qu'un anneau,
à inclinaison apparente
variable, entoure Saturne**



1659

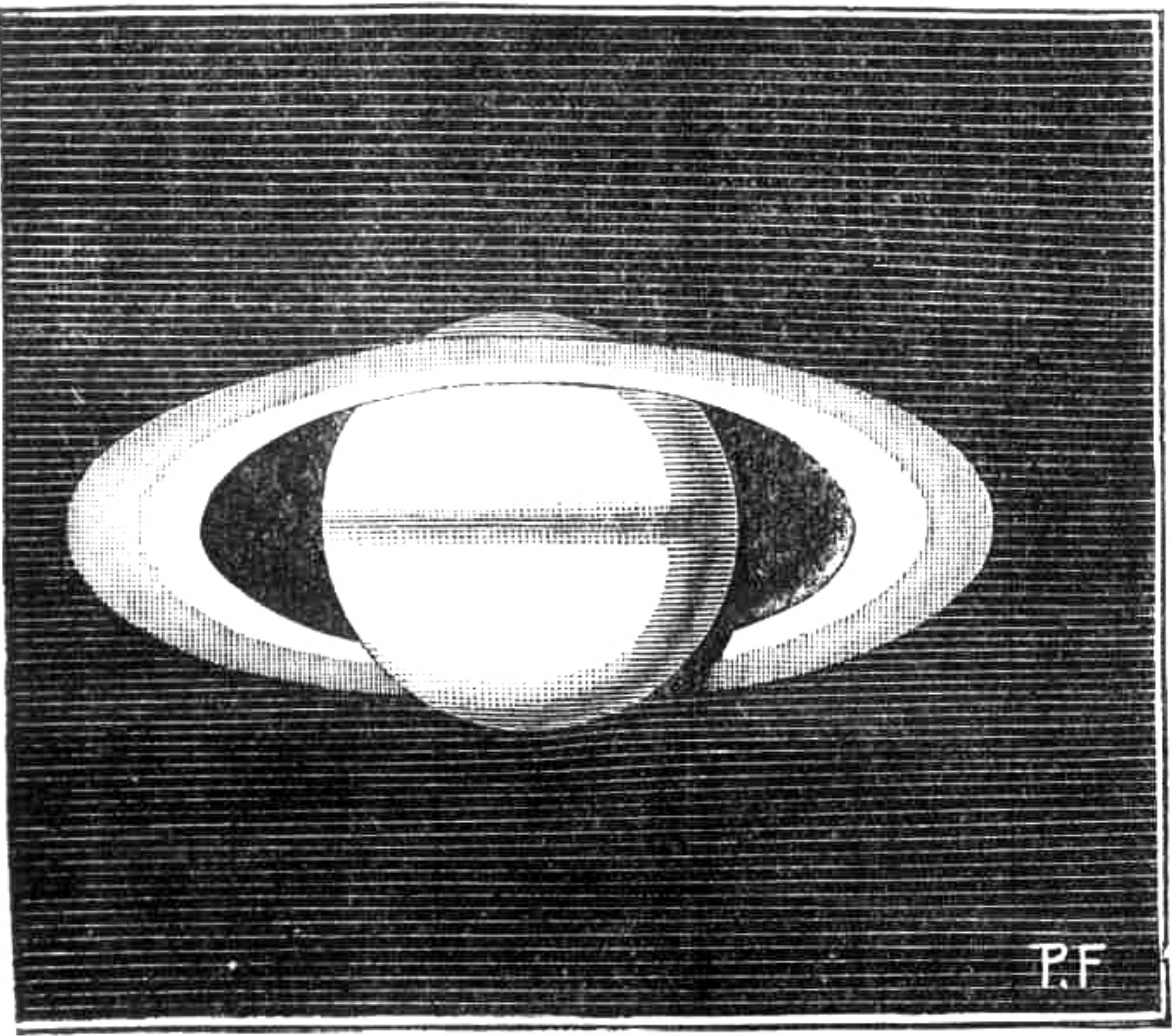
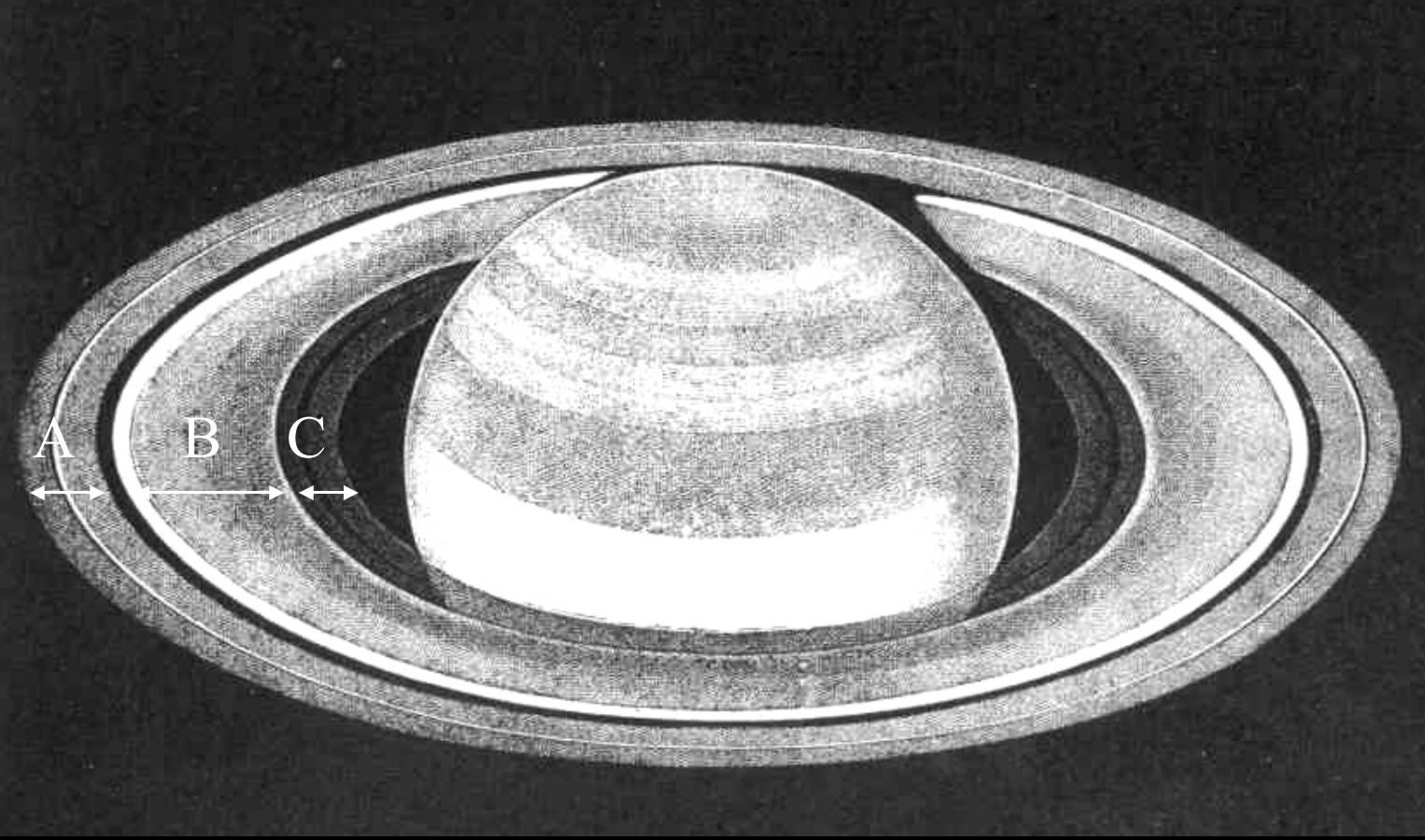


Fig. 290.

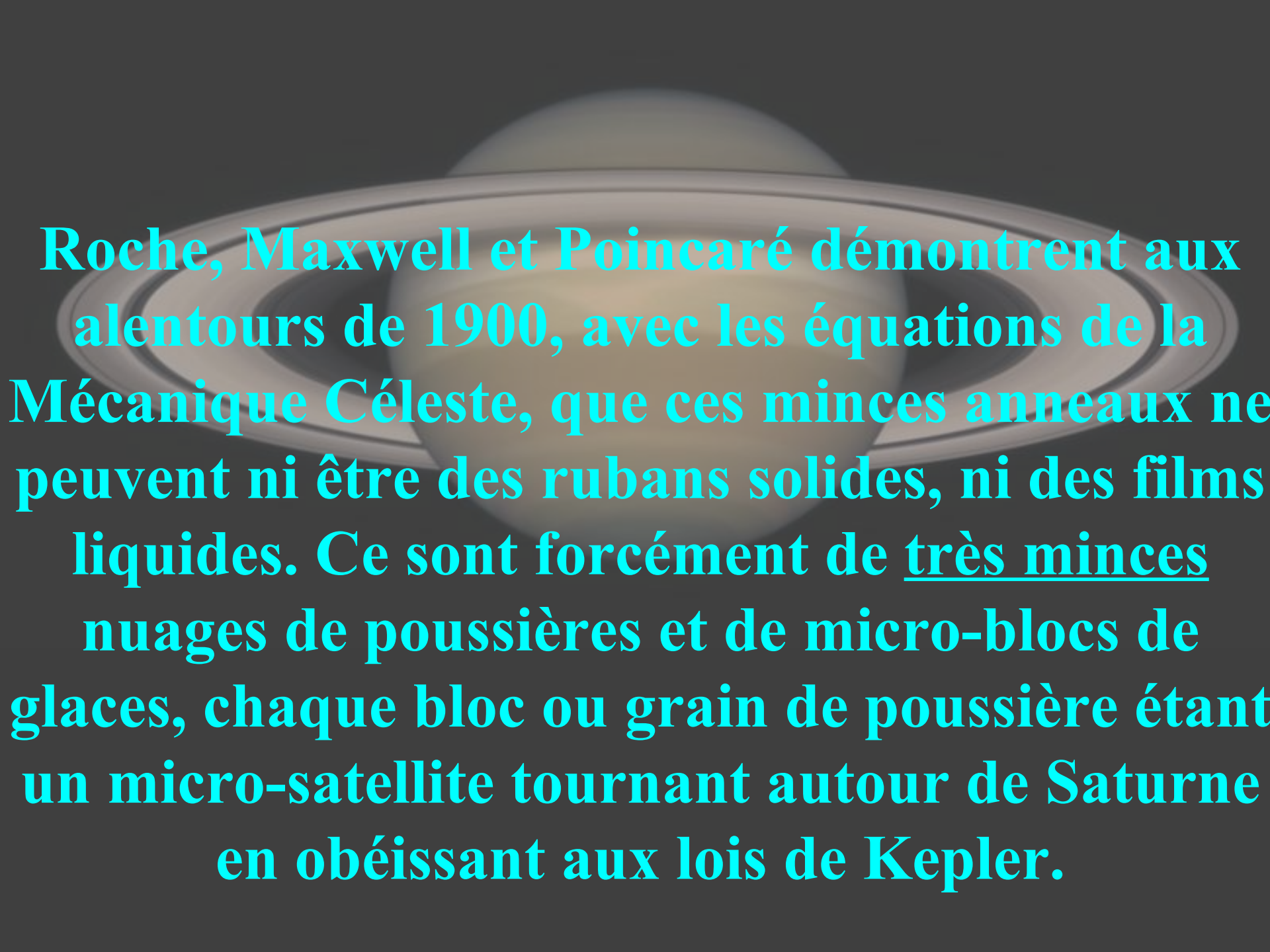
Premier dessin d'une ligne de séparation
entre les anneaux. Cassini 1675.

**En 1675, Cassini*
découvre que les
anneaux sont
doubles, séparés
par un « vide »,
appelé depuis
division de Cassini**

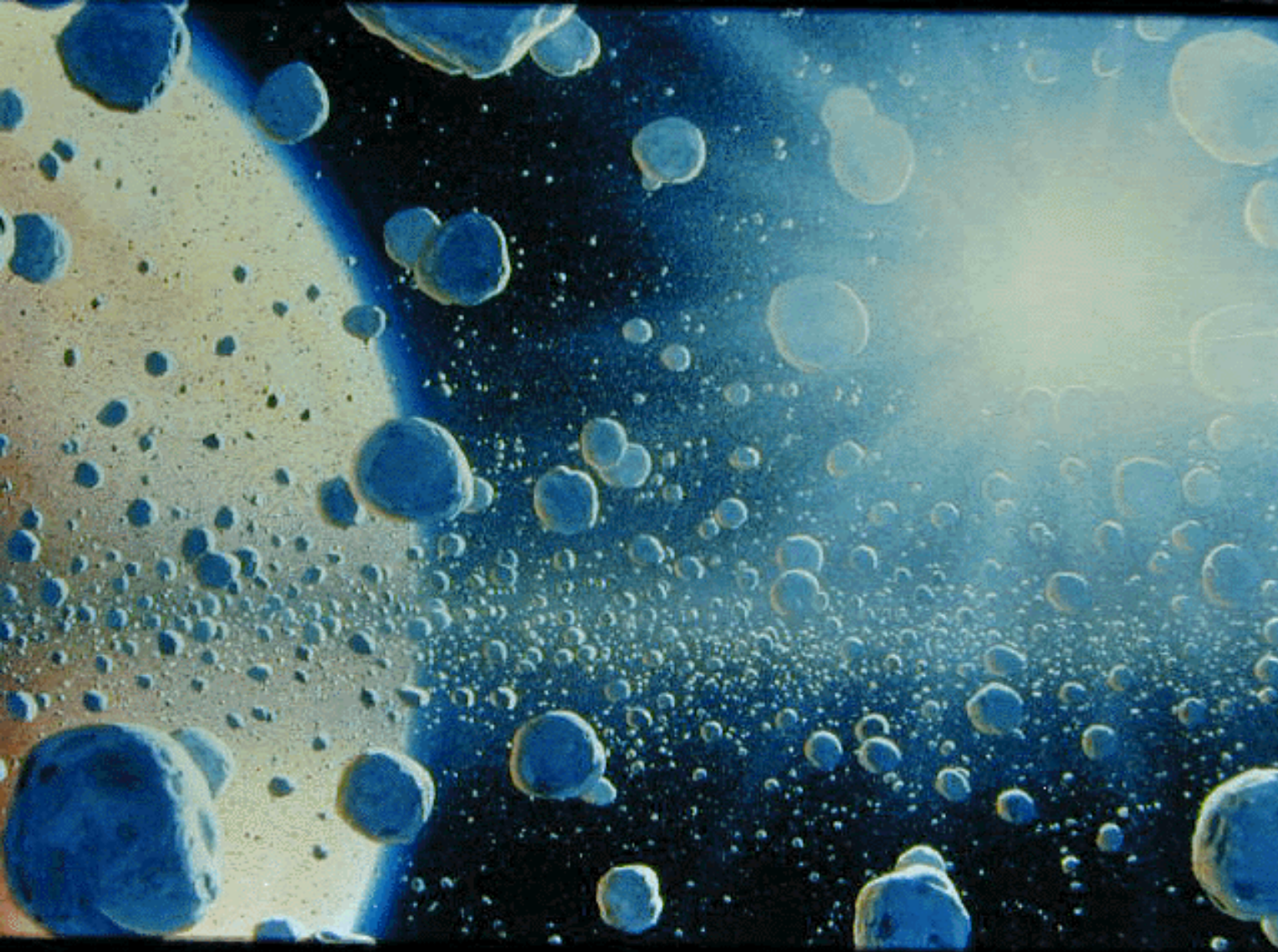
*** Vous comprenez
pourquoi l'actuelle
mission s'appelle
«Cassini-Huygens»**



En 1850, G. P. Bond découvre un nouvel anneau, très ténu et très difficile à voir. Les anneaux sont dorénavant appelés, de l'extérieur vers l'intérieur, les anneaux A, B et C. On découvrira ultérieurement l'anneau D, encore plus interne



Roche, Maxwell et Poincaré démontrent aux alentours de 1900, avec les équations de la Mécanique Céleste, que ces minces anneaux ne peuvent ni être des rubans solides, ni des films liquides. Ce sont forcément de très minces nuages de poussières et de micro-blocs de glaces, chaque bloc ou grain de poussière étant un micro-satellite tournant autour de Saturne en obéissant aux lois de Kepler.



Dessin d'artiste
représentant les
anneaux vus de
l'intérieur

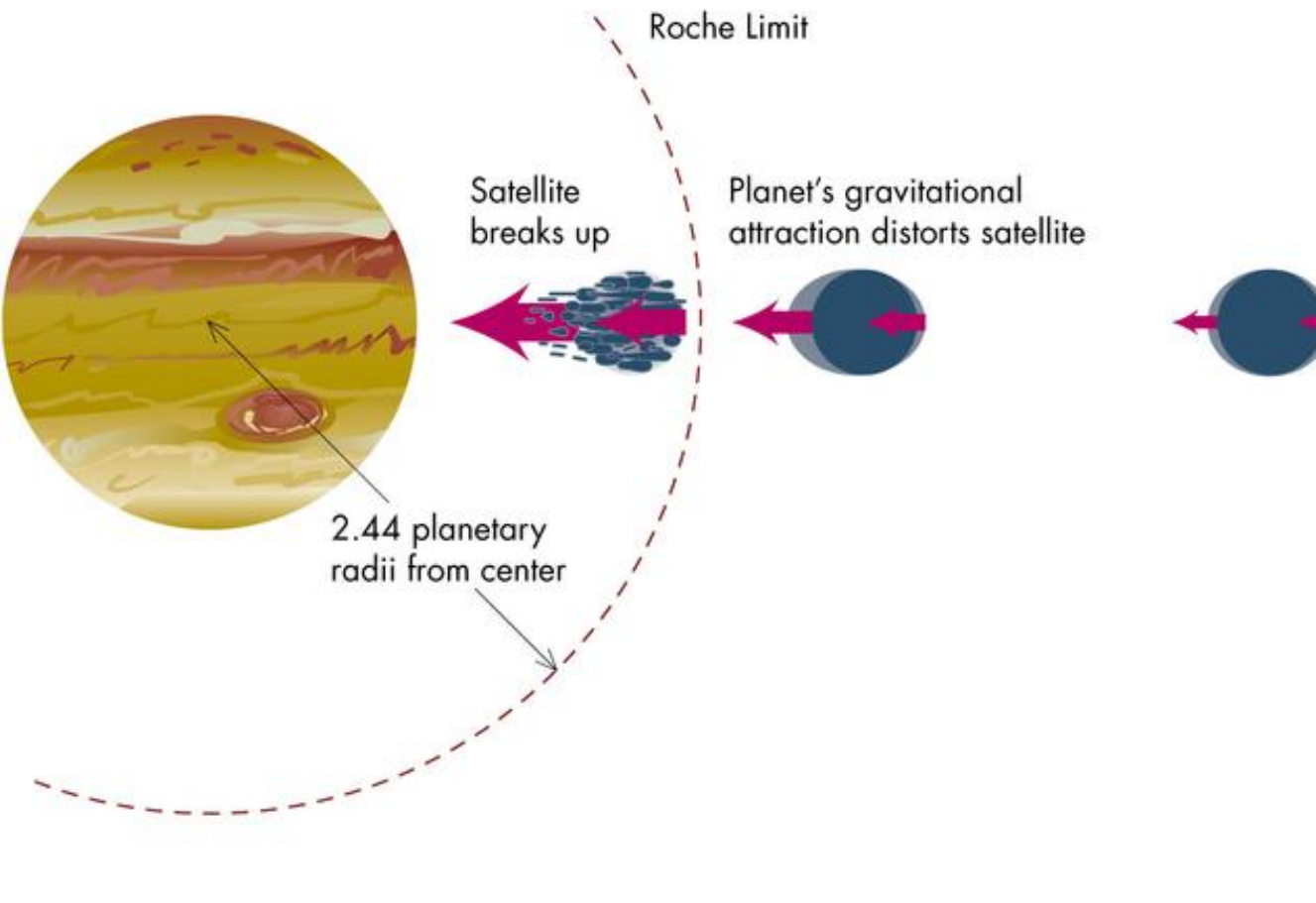
Mais quel peut être l'origine d'un tel dispositif ?
En fait, on propose 2 origines, non incompatibles

Un satellite autour d'une planète (ou une planète autour d'une étoile) est soumis à 2 forces antagonistes:

(1) les forces de marées qui tendent à l'étirer et à le fractionner

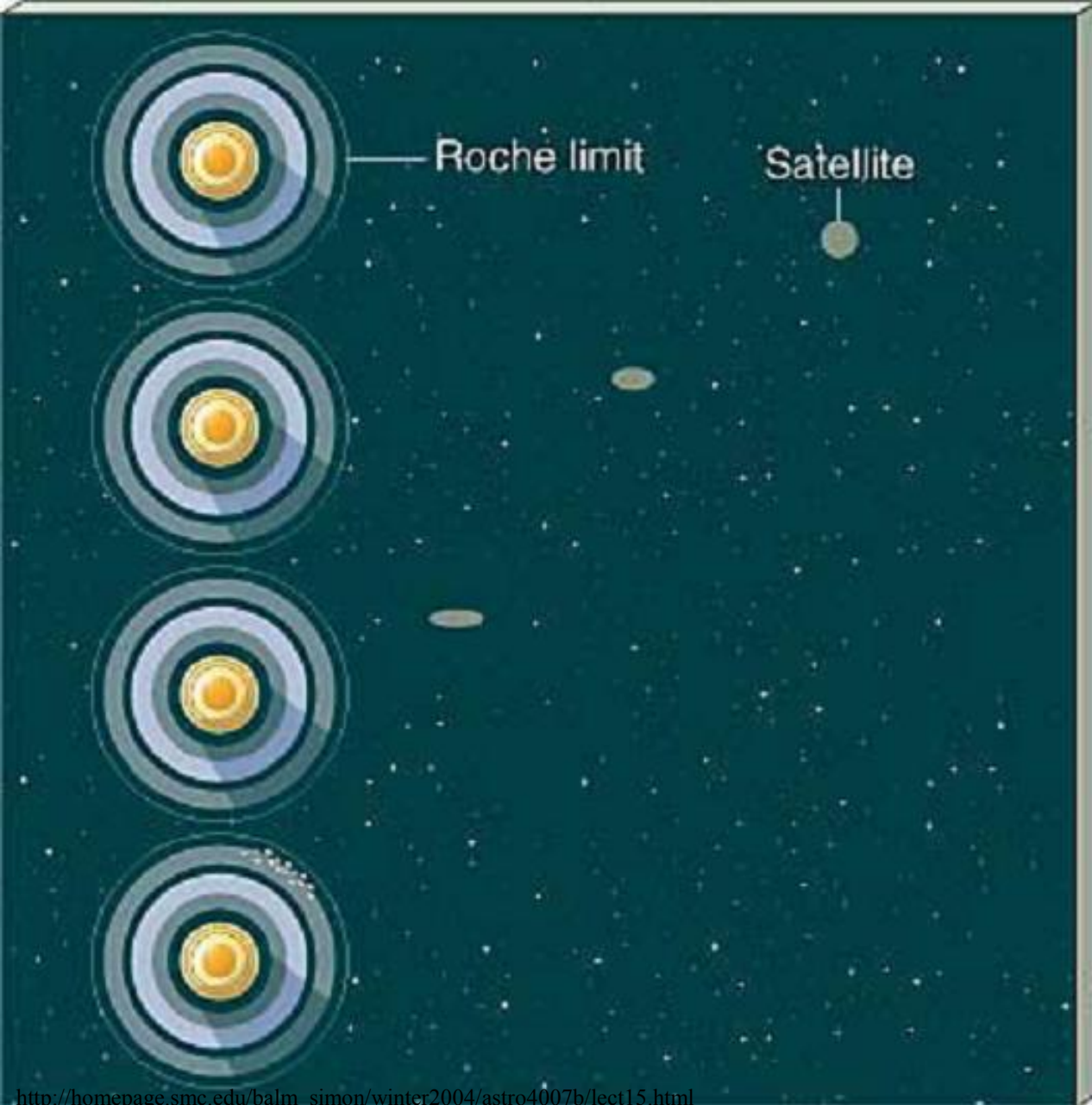
(2) sa propre gravité qui tend à le maintenir sphérique, auto-gravité "aidée" par la cohésion du matériel et par sa résistance à la déformation et à la fracturation.

Cet antagonisme a été étudié et formalisé au 19eme siècle par le physicien français Édouard ROCHE. En de-ça d'une certaine distance, nommée limite de Roche, les forces de marée deviennent supérieures à la cohésion, et le satellite se brise en « mille morceaux »



Un satellite s'approche dangereusement de sa planète. Passé la **Limite de Roche**, située entre 2 et 4 rayons du centre de la planète, il se brise.

C'est ce qui arriverait à la Lune si celle ci passait à moins de 18 000 km de la Terre



**Et si cela arrive,
les « milles
morceaux » du
satellite vont
constituer un
anneau, un
nouvel anneau
dans le cas de
ces dessins.**



William K. Hartmann

Deuxième
possibilité. Les
satellites se font
autour des planètes
comme les planètes
autour du soleil, par
accrétion /
agglomération de
poussières et de
blocs, poussières et

faits de glaces dans le cas de Saturne. En deçà de
la Limite de Roche, poussières et blocs ne peuvent
s'accréter, et restent sous forme d'un anneau



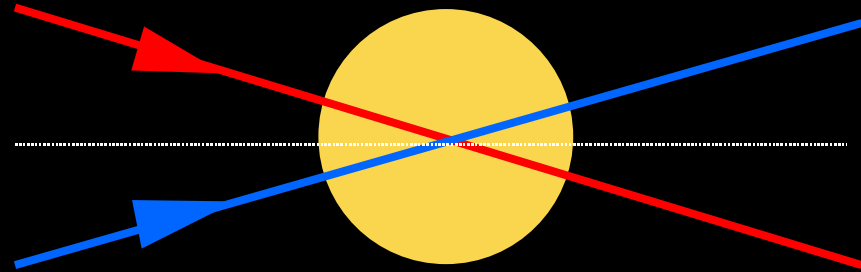
Quelle peut être l'origine de la Division de Cassini ?

Quand une particule qui se trouverait dans la division de Cassini fait 1 tour autour de Saturne, le plus proche des « gros » satellites (Mimas), en fait exactement $1/2$, le

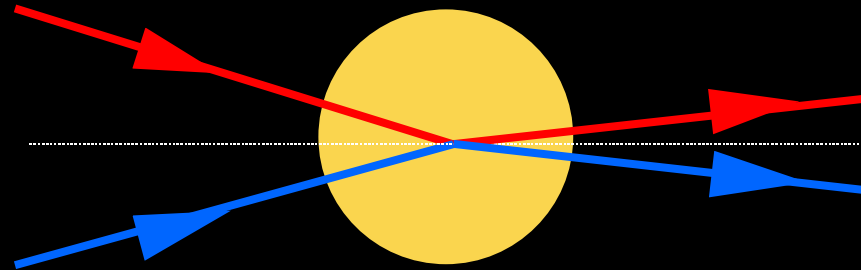
suivant (Encelade) en fait exactement $1/3$, et celui d'après en fait exactement $1/4$. Dans ce cas, que l'on nomme « résonance », on peut montrer qu'une telle particule est expulsée de cette place par les forces de gravité

La théorie des chocs explique l'aplatissement des anneaux (formalisation par Poincaré)

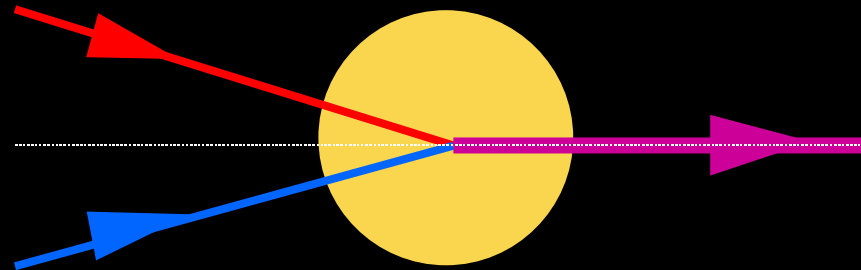
1 - pas de choc

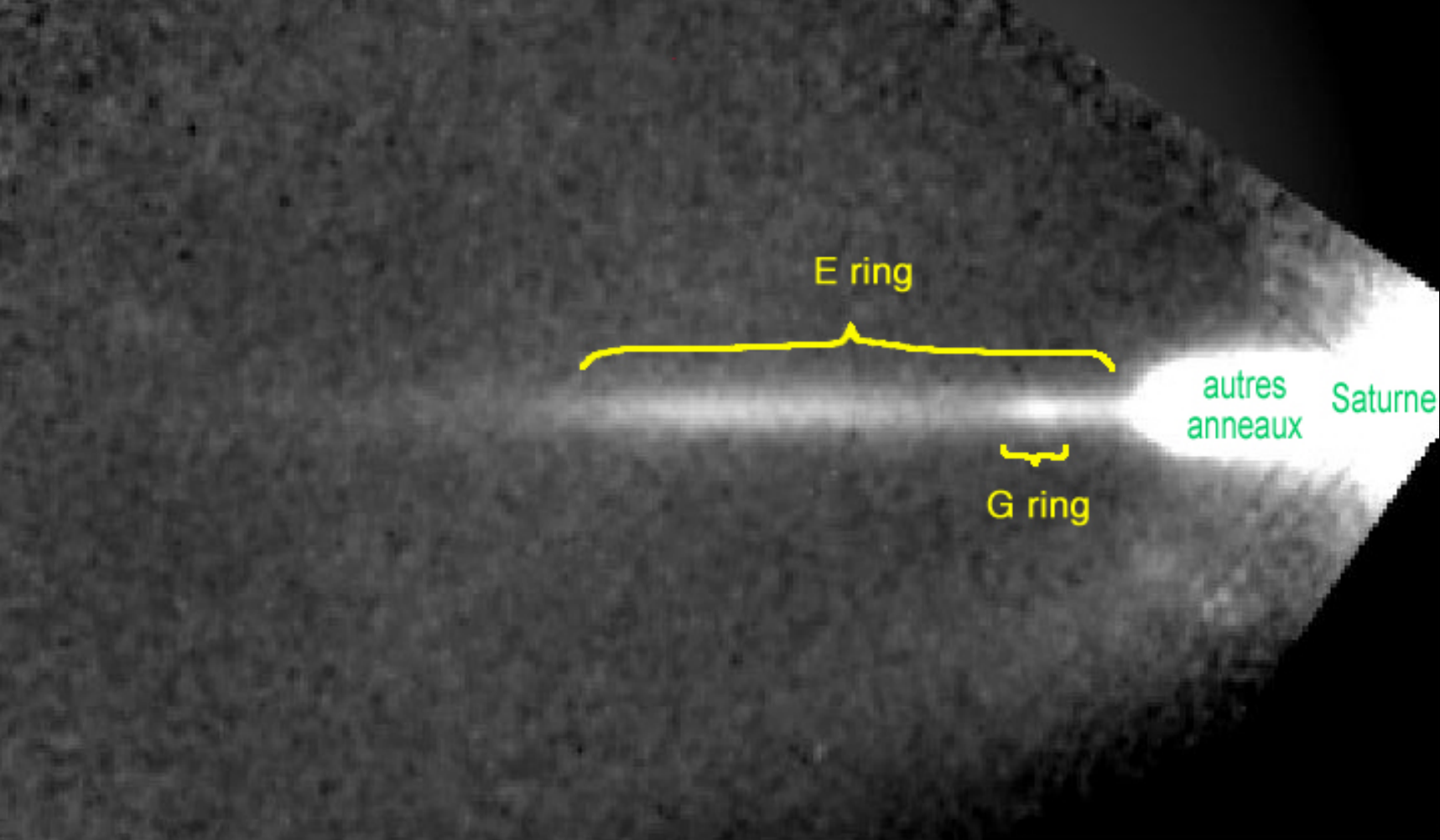


2 – choc inélastique



3 – choc avec fusion





Au début du 20eme, Encke a découvert une fine division dans l'anneau A.

Et Durant les années 1950-1980, on a découvert (au télescope) 2 nouveaux anneaux, les anneaux E et G.

527 000 km

238 000 km

136 000 km

92 000 km

60 268 km



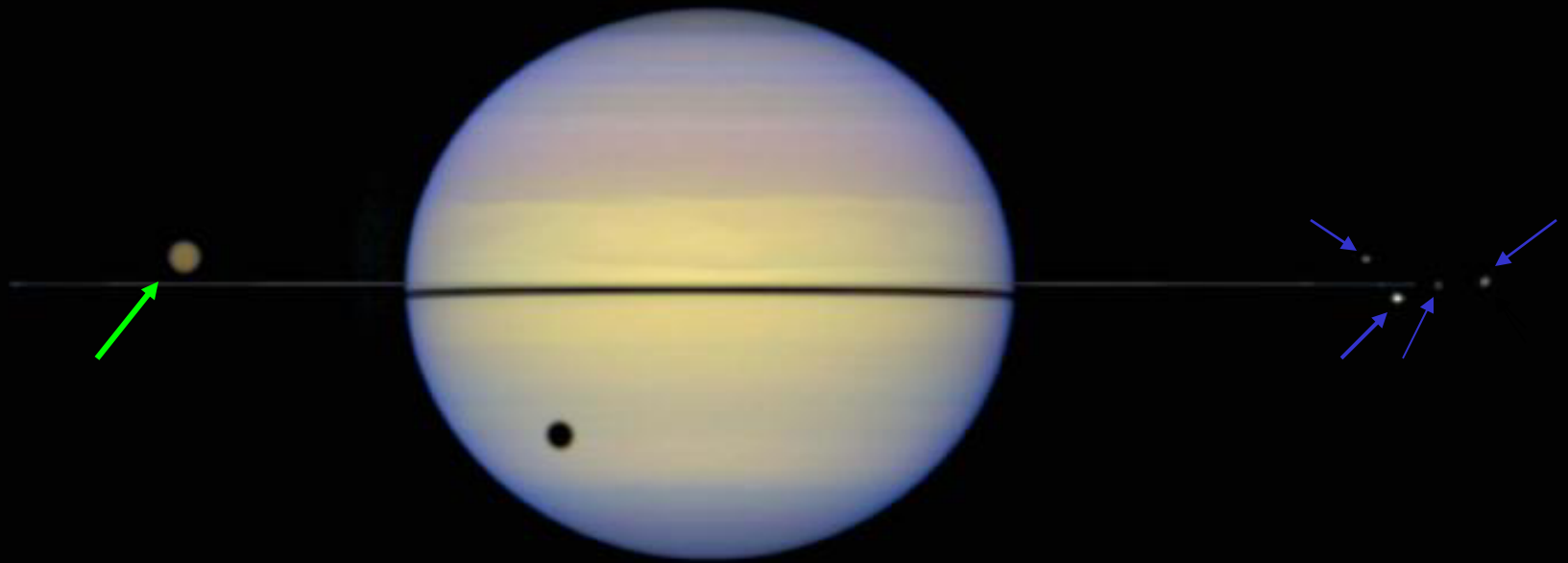
Voici le système saturnien et ses dimensions tel qu'on le connaissait en 1970



Donc, en 1970, on comprenait l'origine des anneaux ; on savait pourquoi ils étaient minces, avec une division (Cassini), pourquoi ils étaient relativement homogènes et pourquoi ils avaient des limites floues.



En 1970, on avait compris que saturne n'était qu'une boule de gaz froids (hydrogène et hélium à $-180/-200^{\circ}\text{C}$ en surface), de masse volumique très faible ($0,7 \text{ g/cm}^3$; Saturne flotterait sur l'eau), avec une dynamique des nuages fort complexe.



En 1970, on connaissait 10 satellites de Saturne, dont un très gros, Titan (flèche verte), de 5150 km de diamètre (plus gros que la Lune), 6 « moyens » (on en voit 4 sur cette photo HTS ,flèches bleues) et 3 « petits ». Sur cette photo (anneaux vus par la tranche), on voit aussi très bien l'ombre de Titan sur la surface nuageuse de Saturne



Les missions spatiales vont révolutionner notre connaissance de Saturne et de ses satellites

**Les résultats
des missions
Voyager, le
début des
réponses
Cassini-
Huygens et
les questions
qui restent
suspens en
novembre
2005**

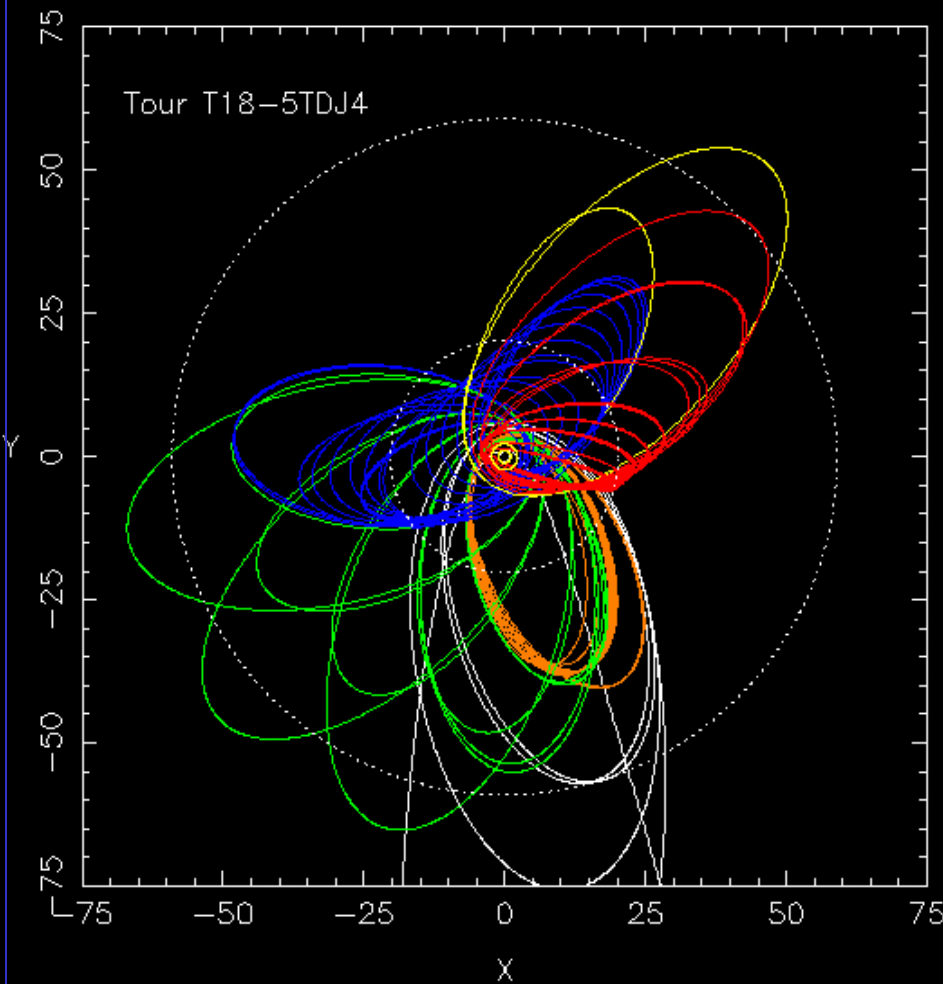


La sonde Cassini-
Huygens en
attente de
lancement

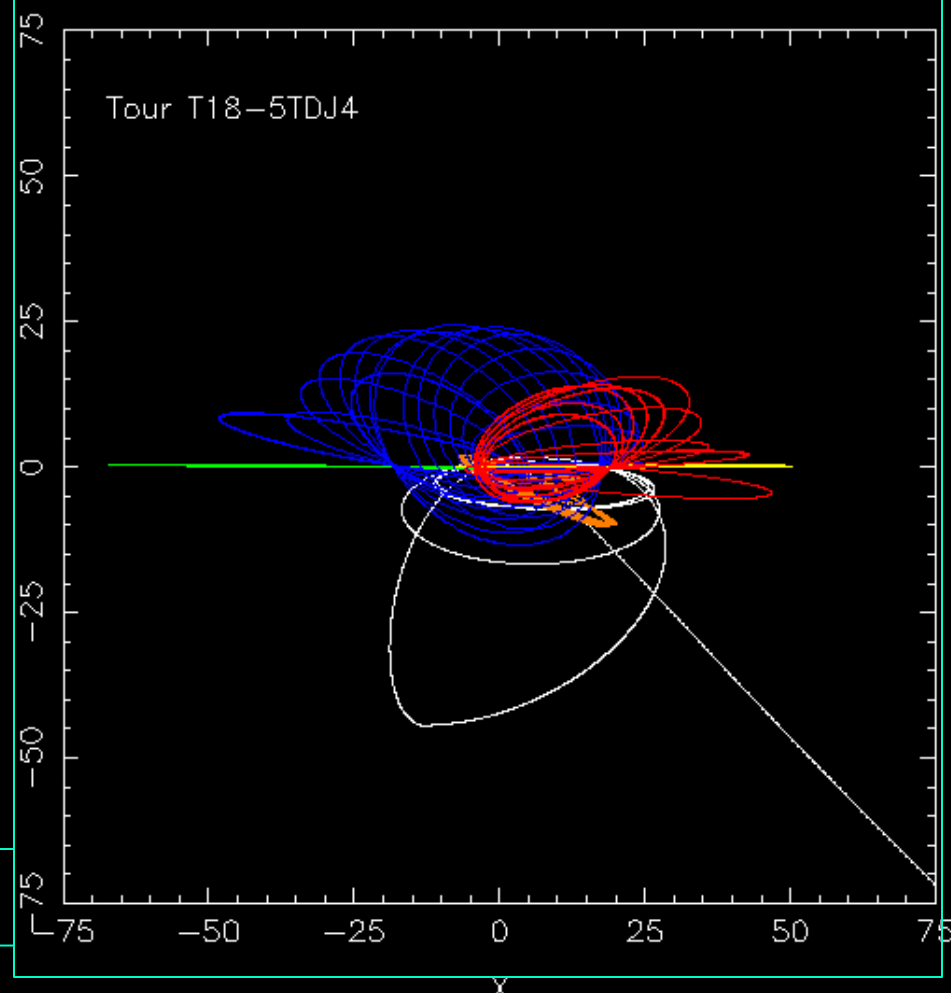
La ronde de Cassini de 2004 à 2008

Vue perpendiculairement au
plan équatorial

Tour T18-5TDJ4



Tour T18-5TDJ4

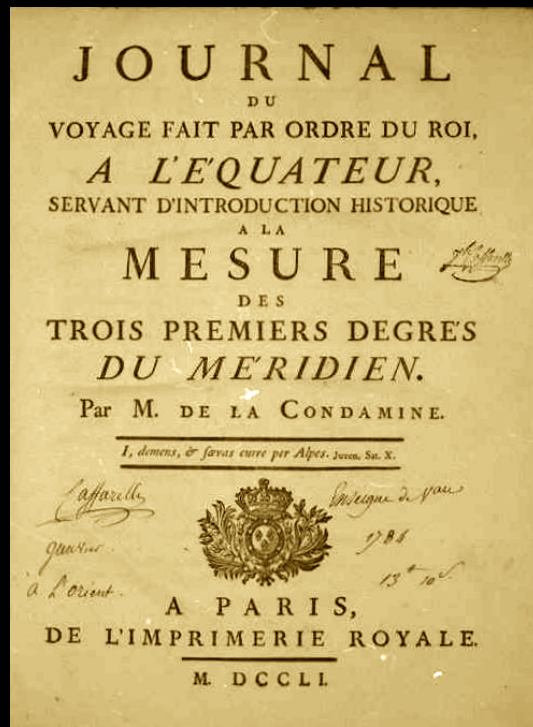


Vue dans le plan équatorial

Aux 18 et 19ème siècles, des expéditions scientifiques et des explorateurs partaient à la découverte du monde.

Grâce au web et à la politique de communication de la NASA, nous sommes dans la position ...

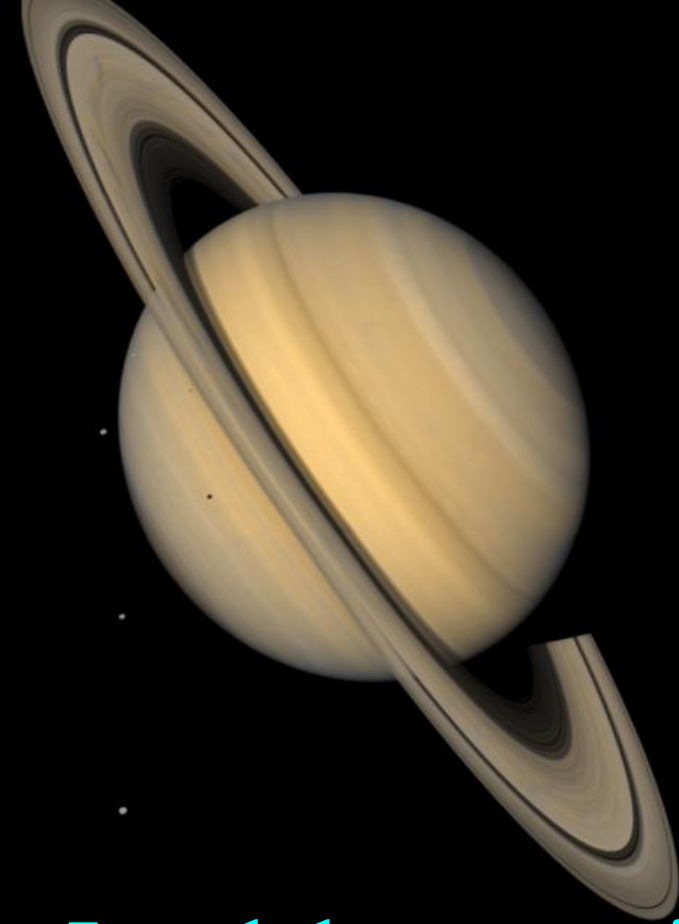
... d'une petite souris qui suit discrètement l'expédition



La planète elle-même :



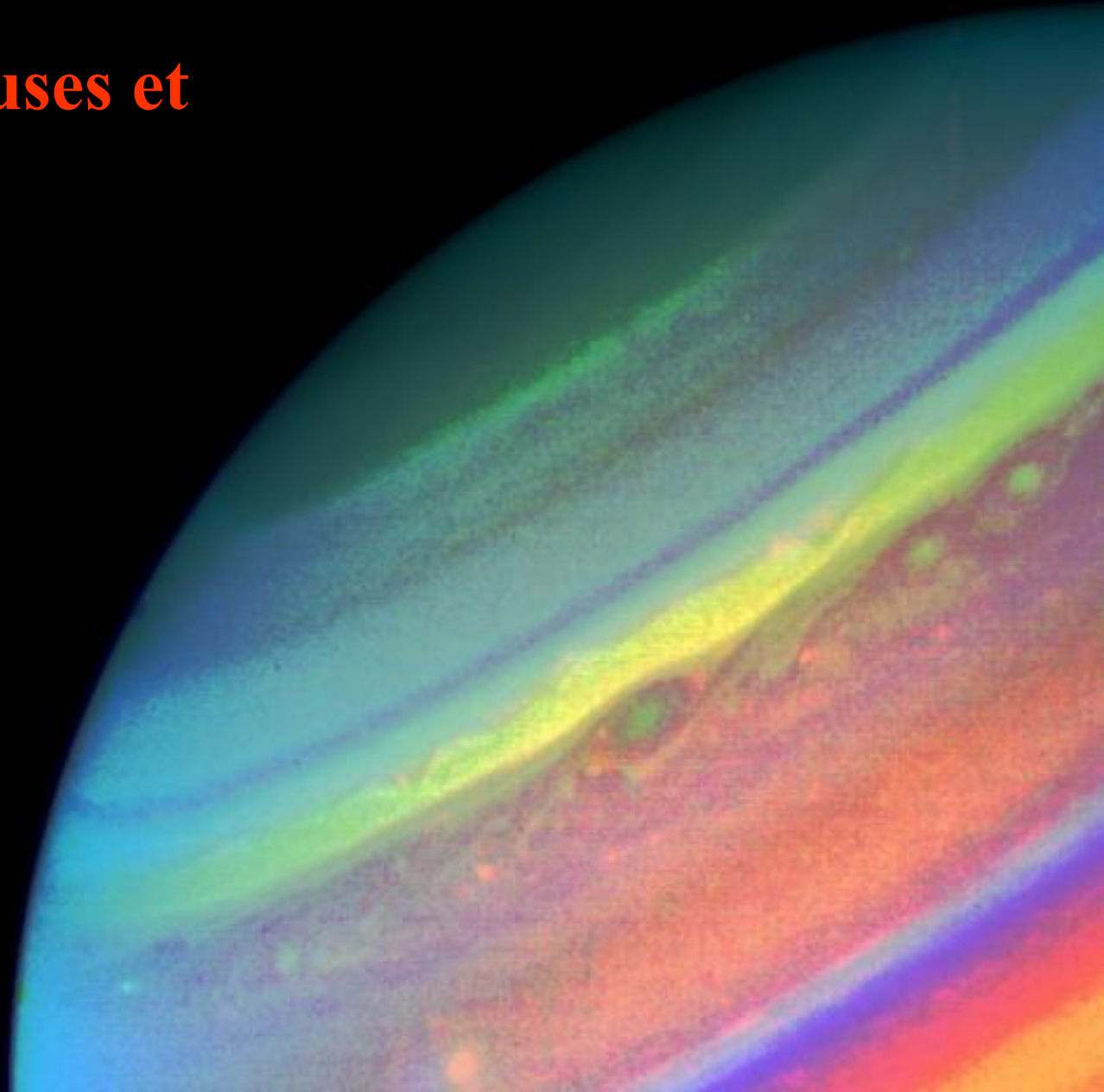
**des bandes nuageuses,
des vents violents (1500 km / h),
des tourbillons et des
cyclones, un champ magnétique**

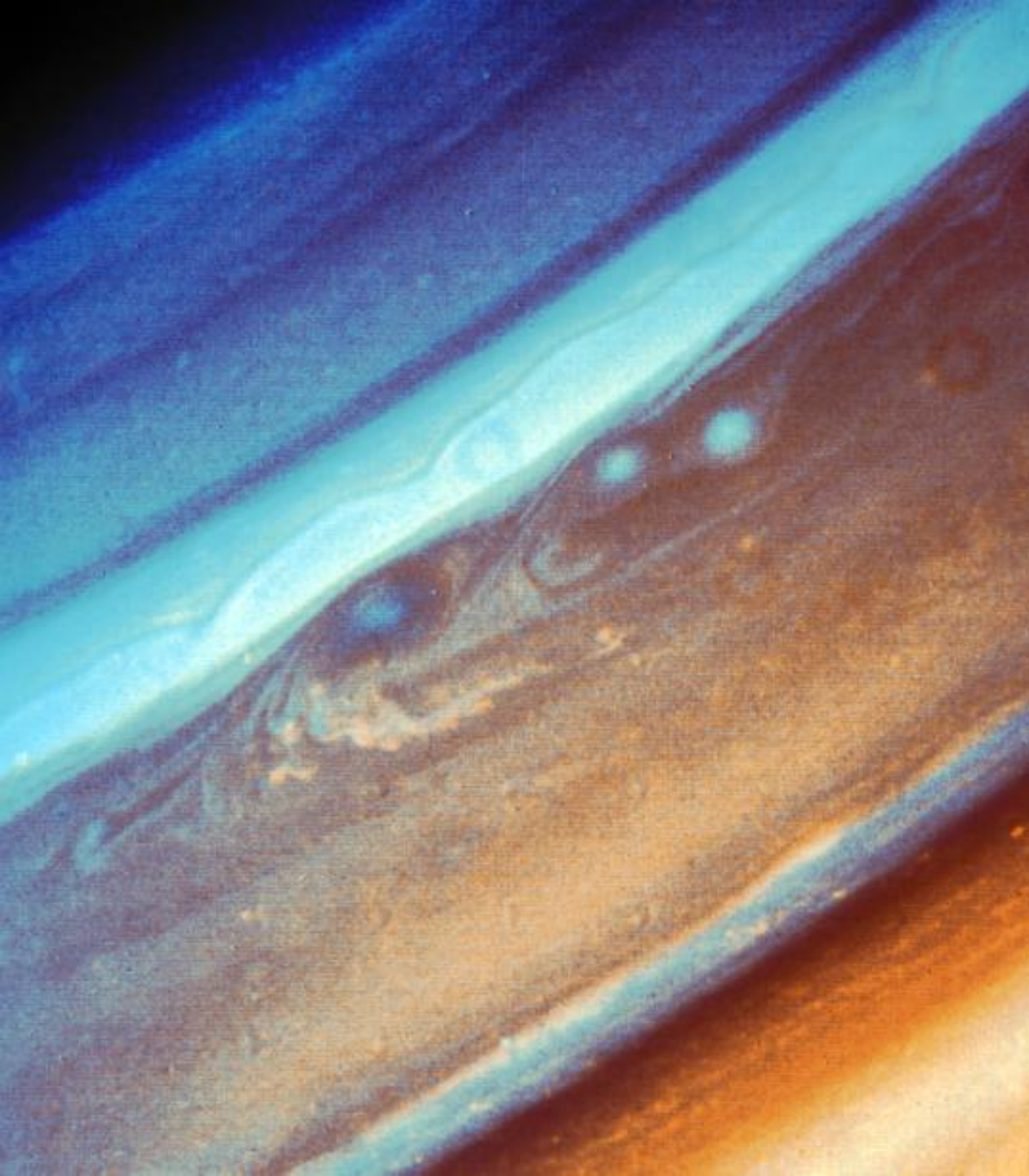


Le globe saturnien en :

- couleurs naturelles,
- un peu renforcées,
- très renforcées

Bandes nuageuses et tourbillons

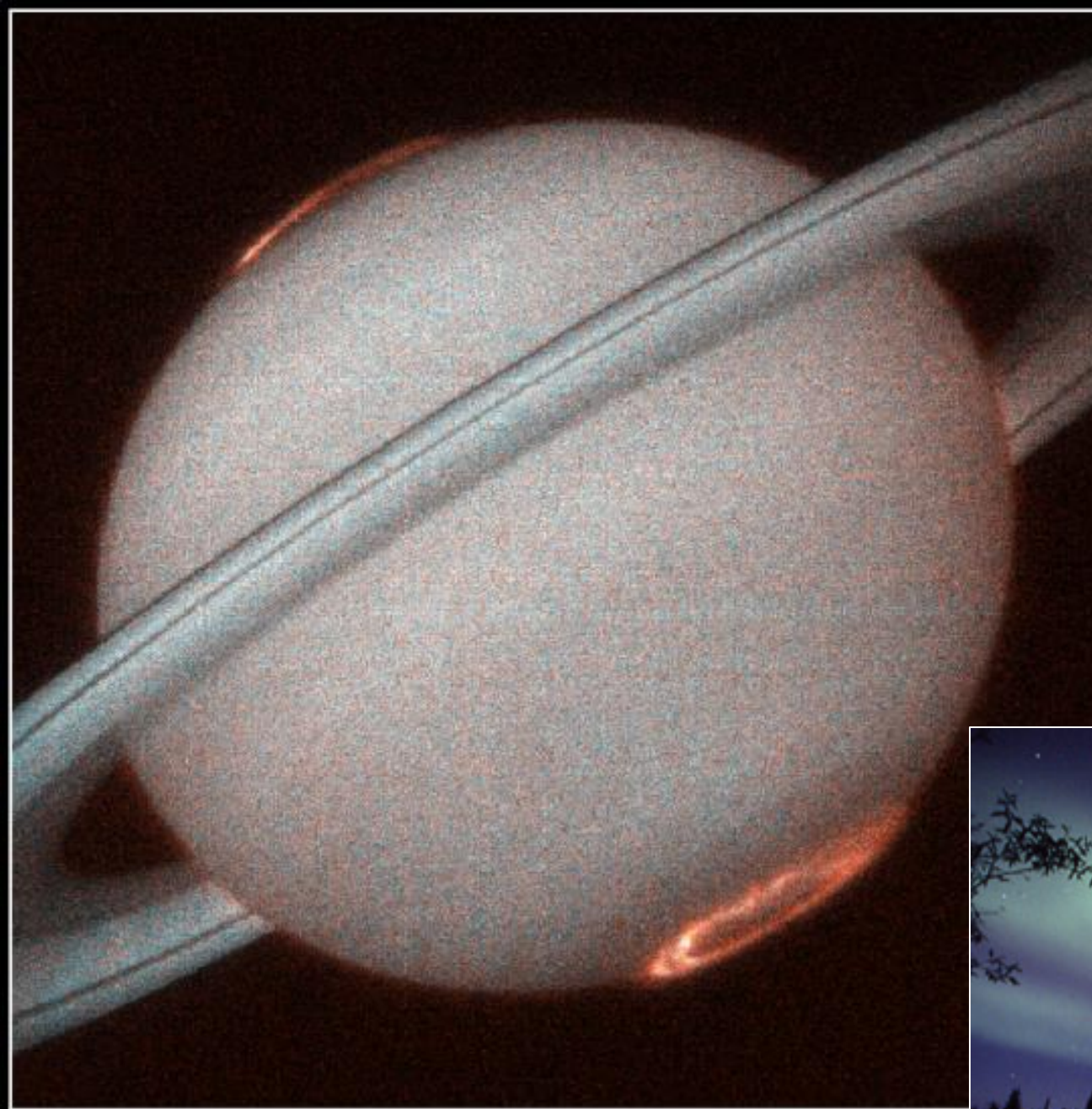




**Que de
tourbillons !**

**C'est là que les
vents vont à
1500 km/h**

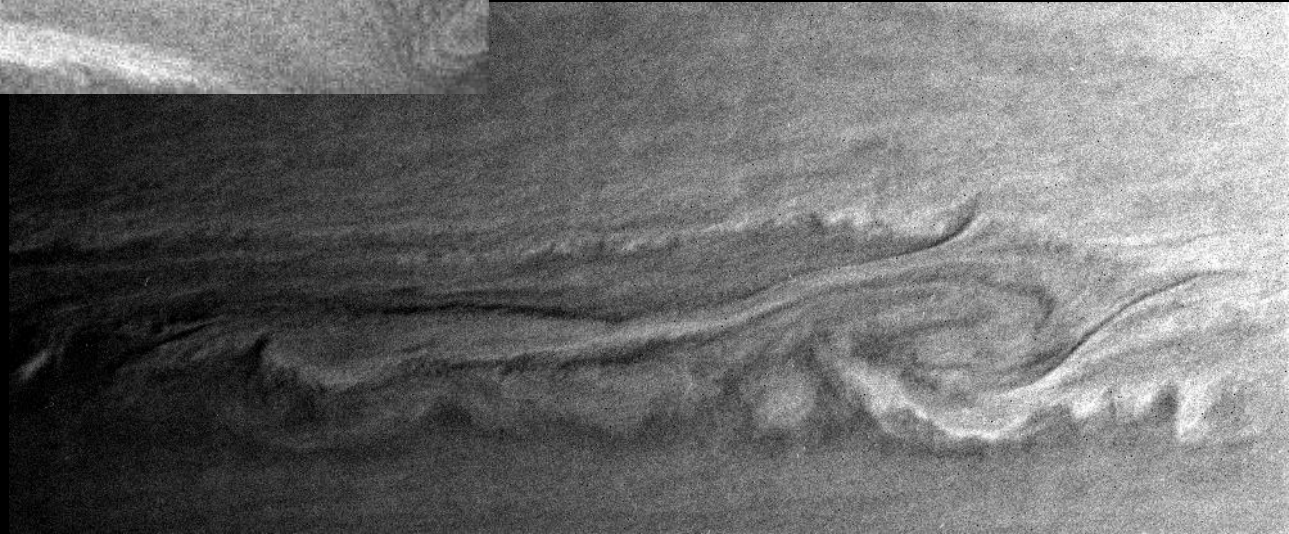
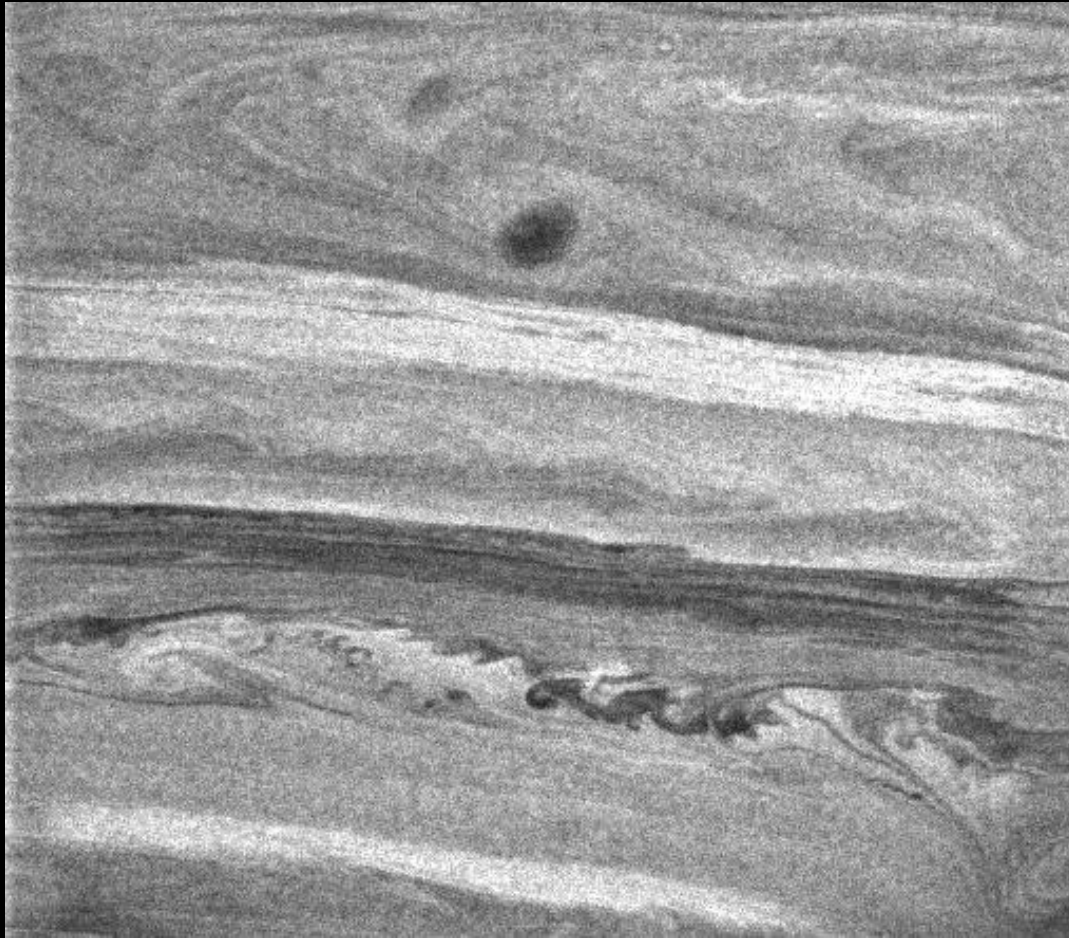
**Saturne possède
un champ
magnétique, ce
qui se manifeste,
entre autres, par
de splendides
aurores
« boréales »**

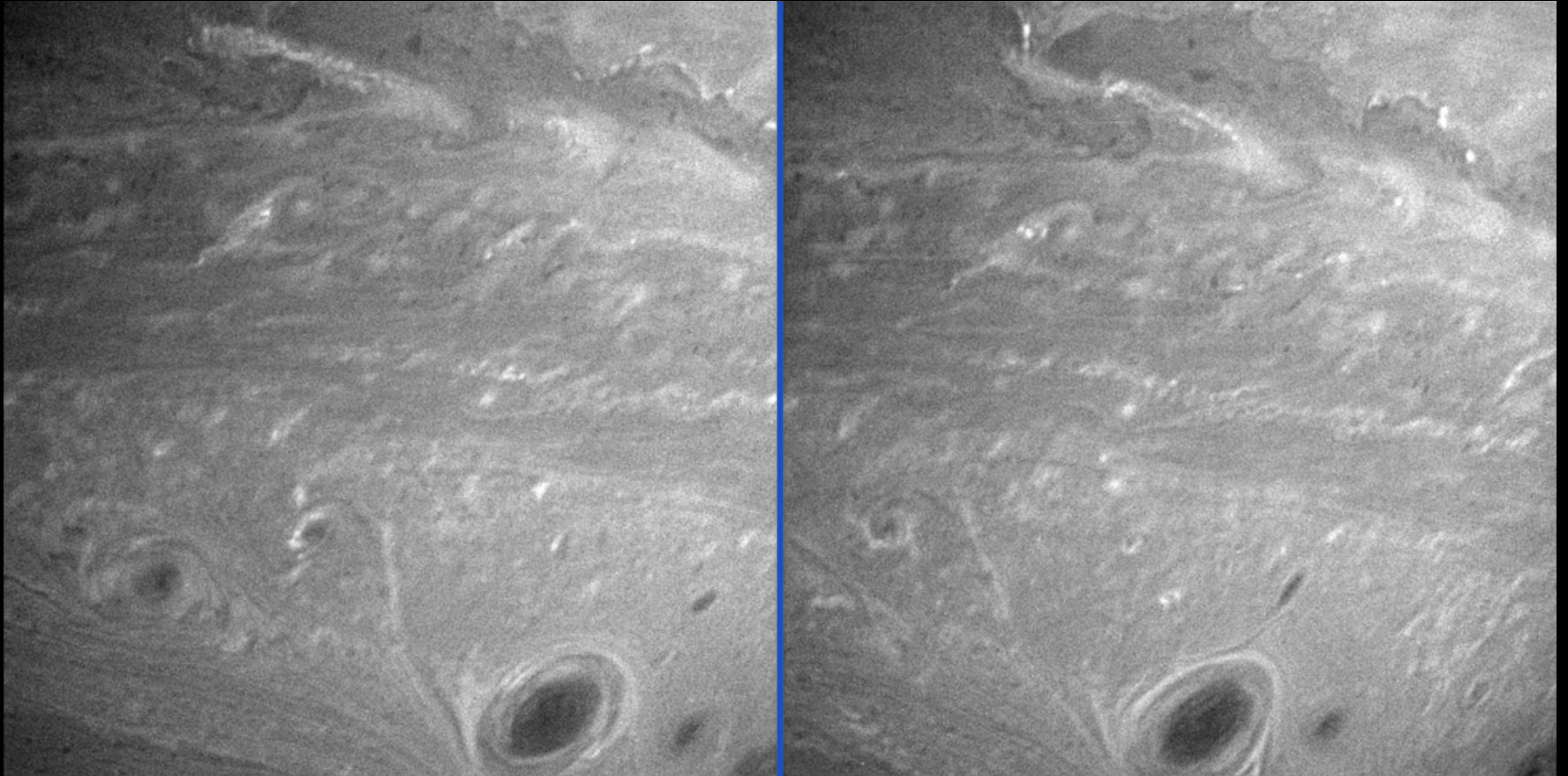


**Pour l'instant, la mission
Cassini n'a pas apporté de
nouveaux résultats
« spectaculaires » sur le
globe saturnien.**

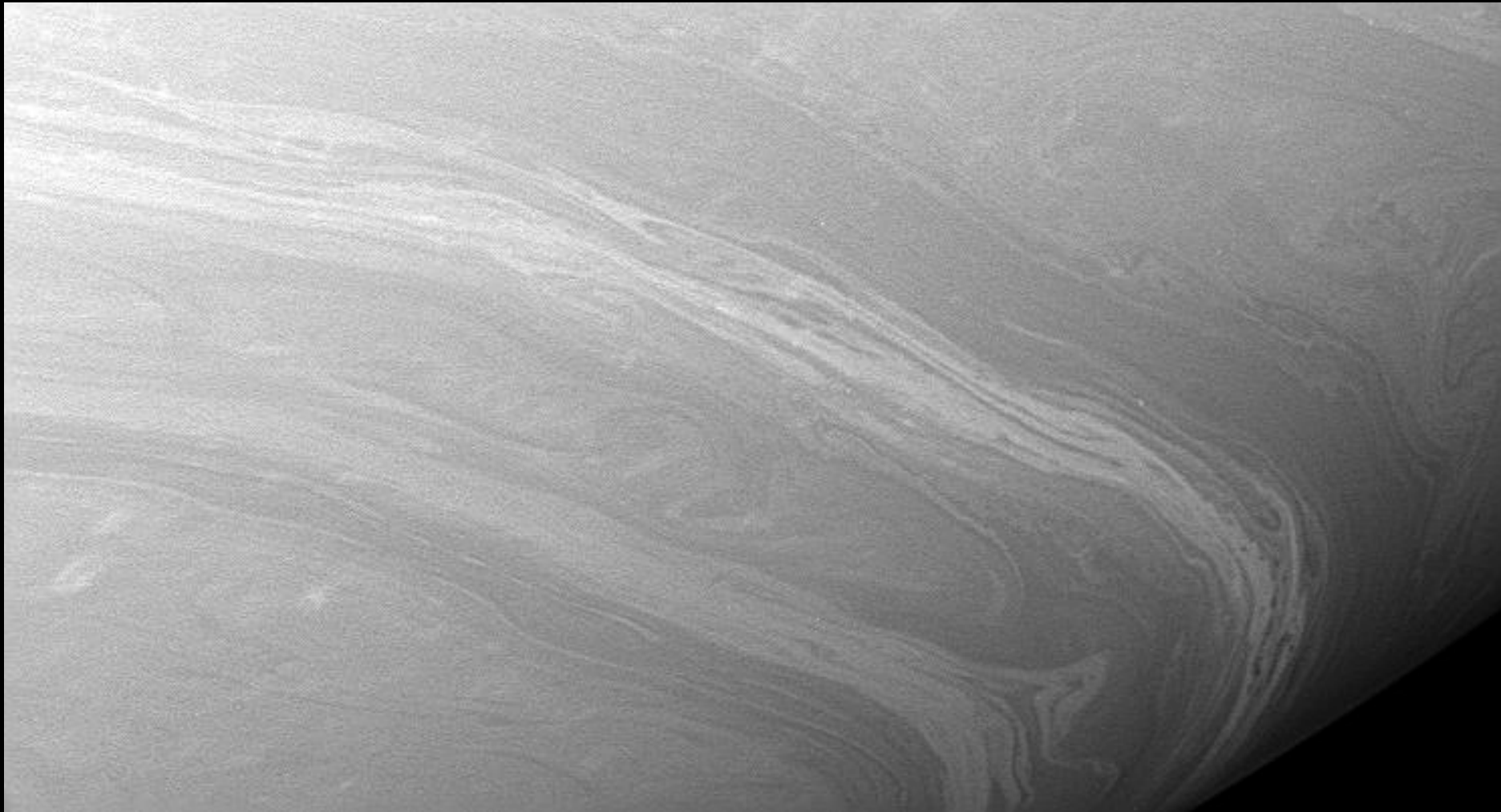
**Quelques belles images
cependant :**

Des tourbillons





**Deux images de la même région prises à 2
jours saturniens (=20h) d'intervalle**



Un autre type d'écoulement, plus « laminaire »



Vue rasante sur le Pôle Sud.

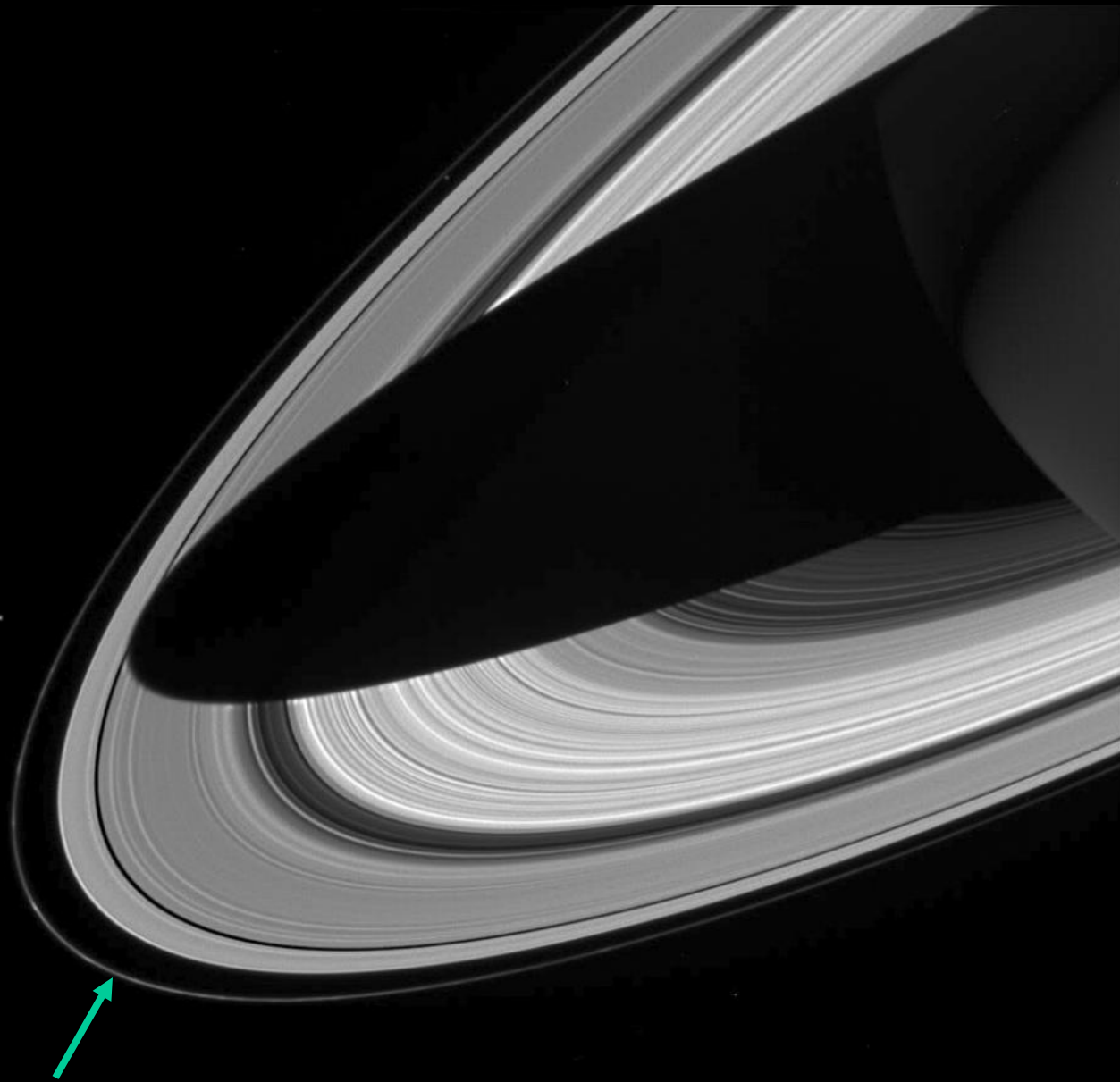


Les anneaux



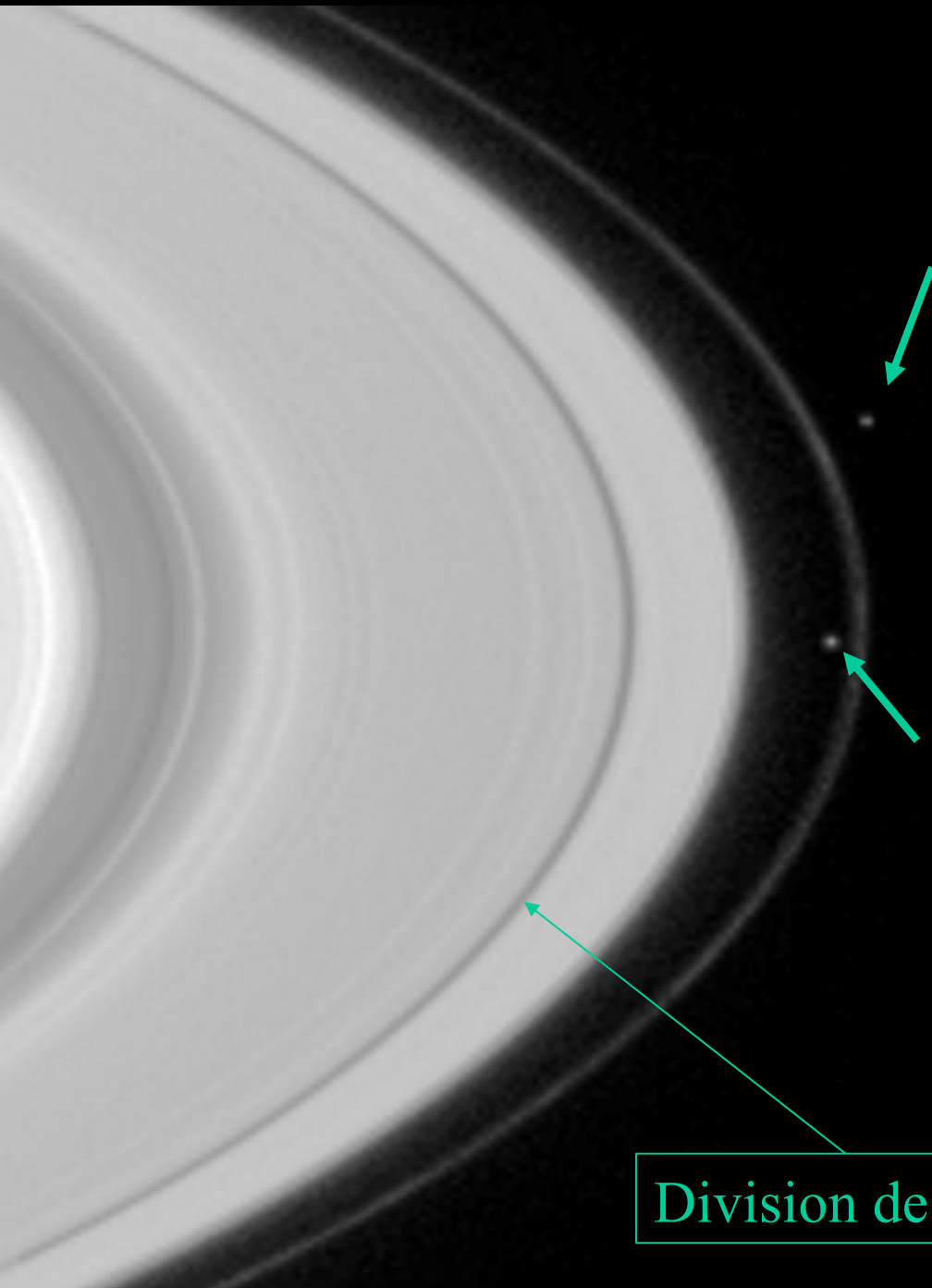
**Les
anneaux
vus par
Voyager :
une
multitude
d'anneaux
individuels
très nets**

**Quels phénomènes physiques
sont à l'origine d'un tel
agencement ?**



**Découverte
par
Voyager
d'un nouvel
anneau, très
fin :
l'anneau F.**

**Comment
un anneau
isolé peut-il
être aussi
fin ?**

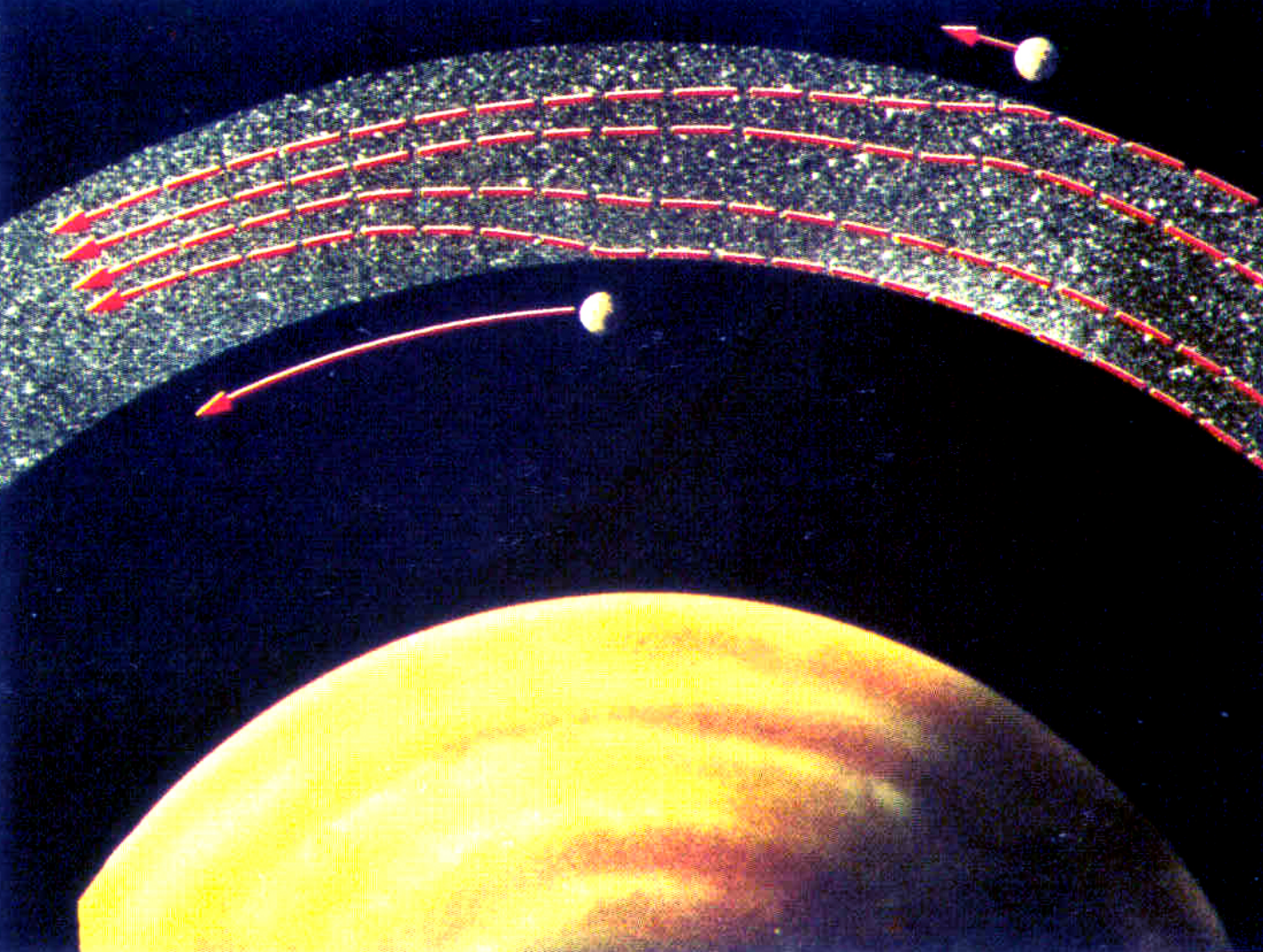


Voyager découvre que cet anneau F est « encadré » par 2 petits satellites (2 des 8 nouveaux satellites découverts). Ces satellites qui encadrent l'anneau sont appelés satellites « berger », ou « gardien »

Division de Encke

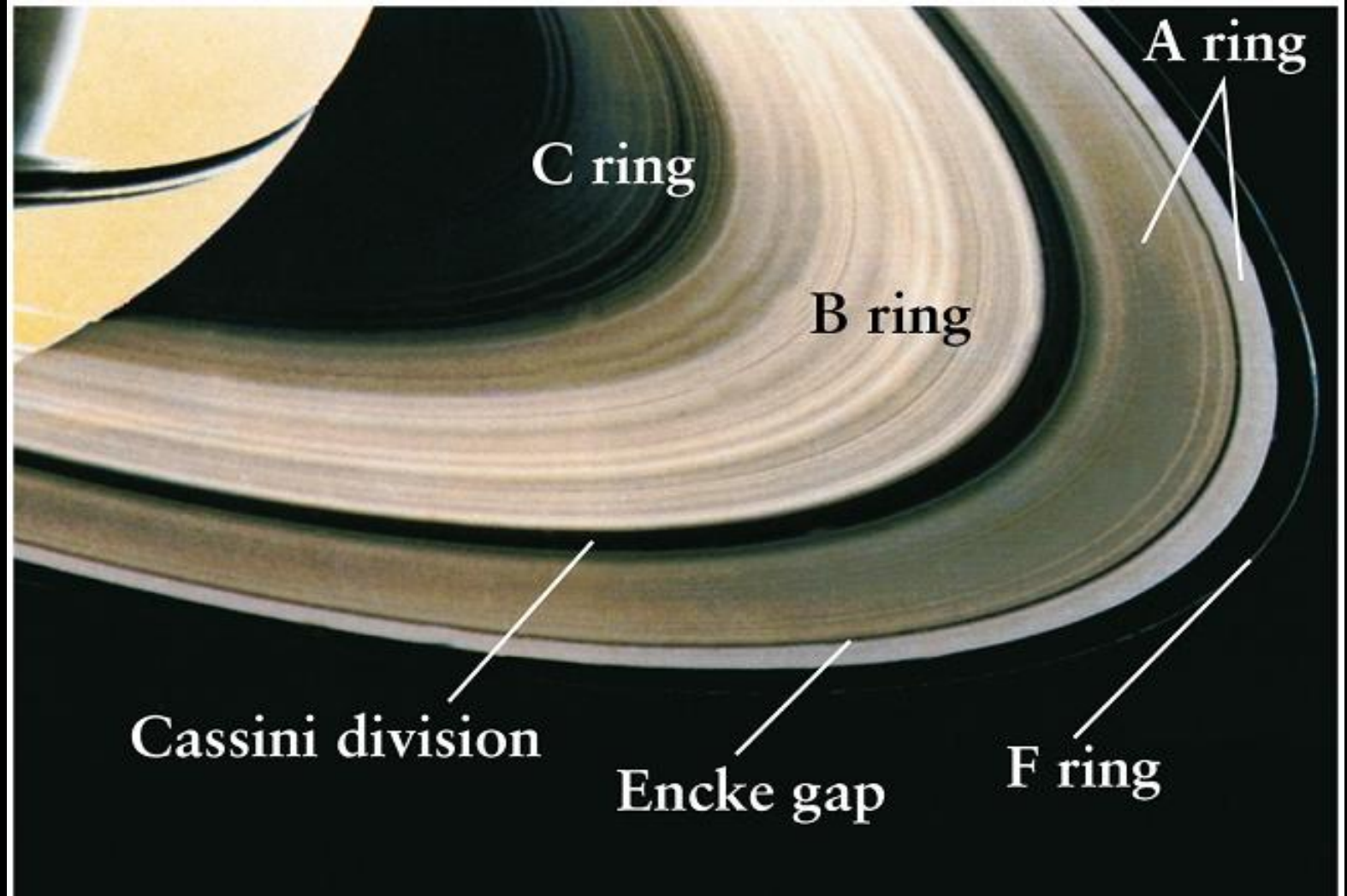
**Et Voyager
découvre un petit
satellite au milieu
de la division de
Encke**

< *Pan*



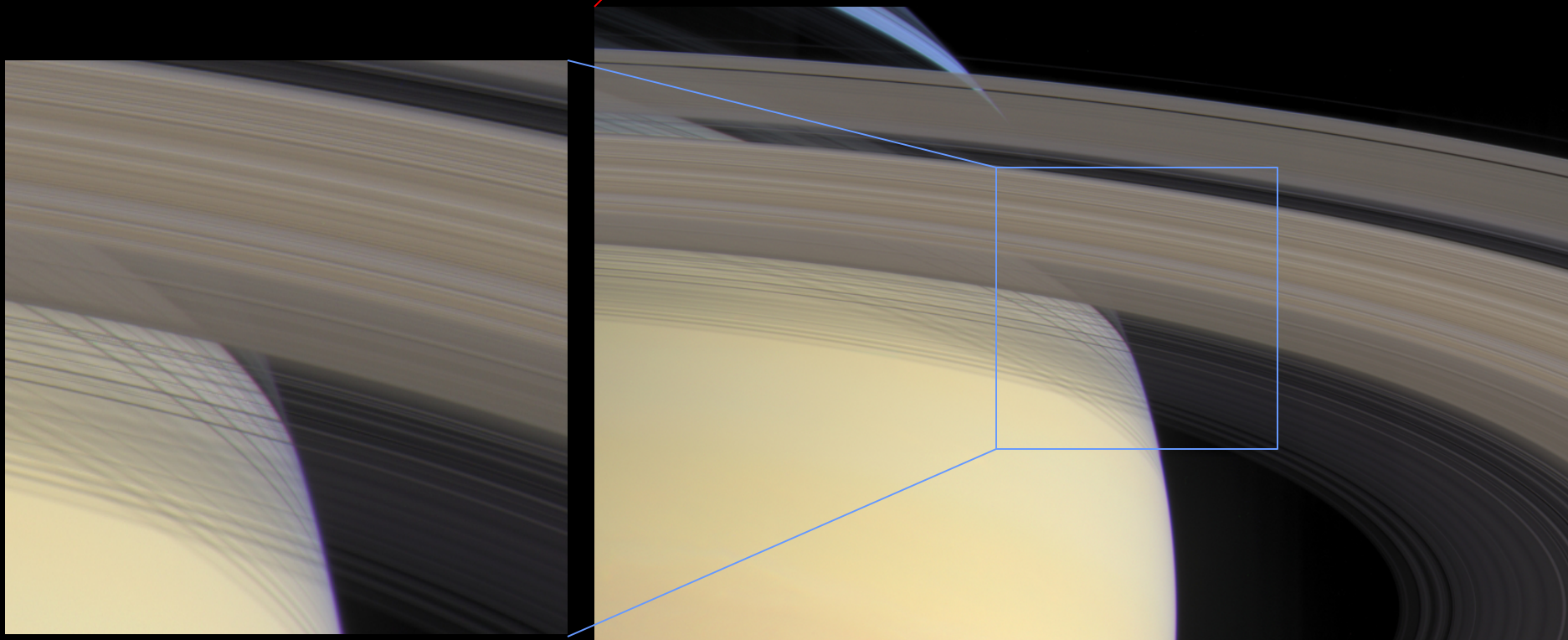
**La
mécanique
« classique »
permet
d'expliquer
comment un
satellite
peut
«repousser»
des grains**

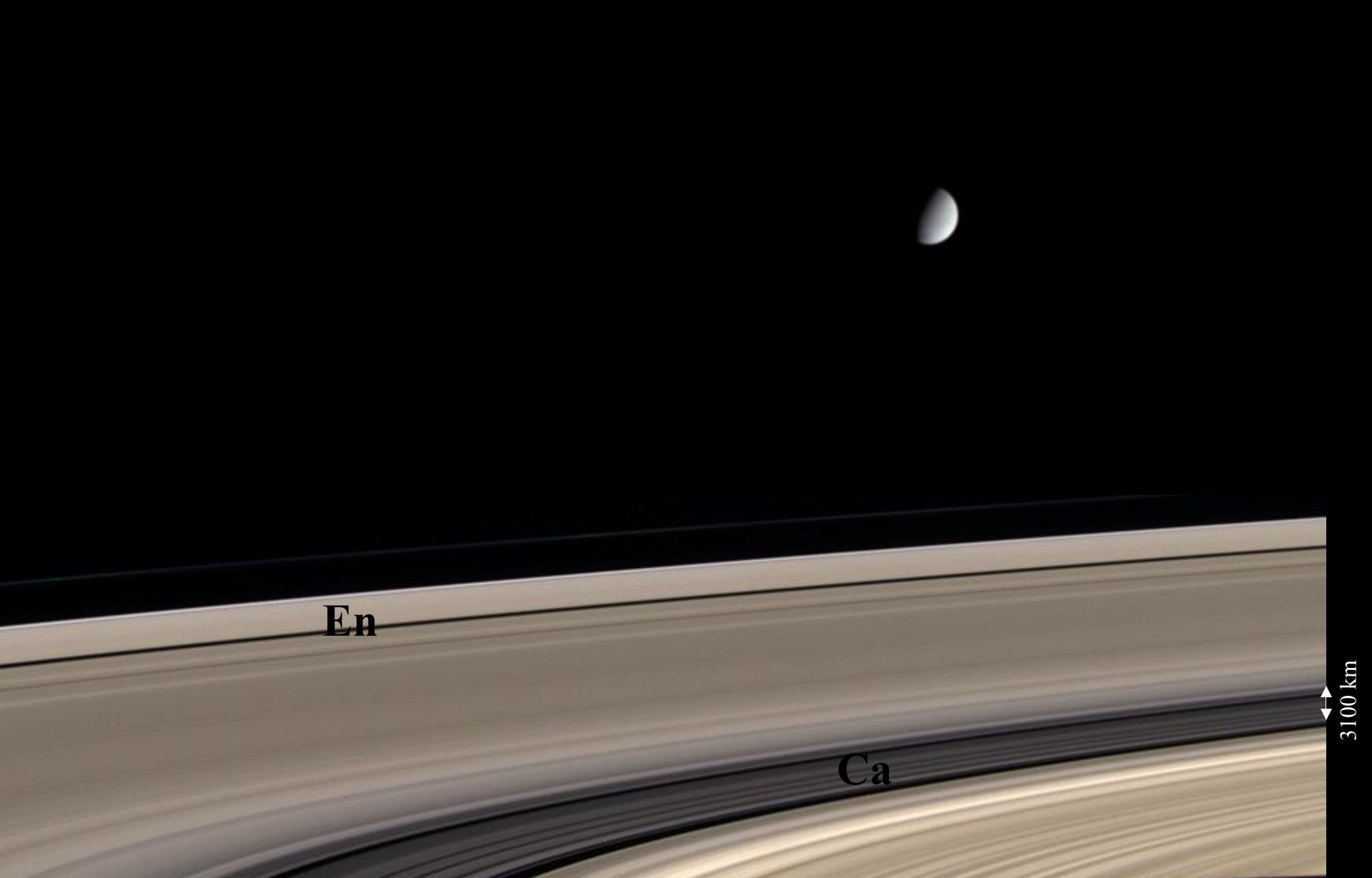
**de poussière, et ainsi d'expliquer comment 2
satellites peuvent confiner un anneau, ou comment
un satellite unique peut faire le vide (une division)**



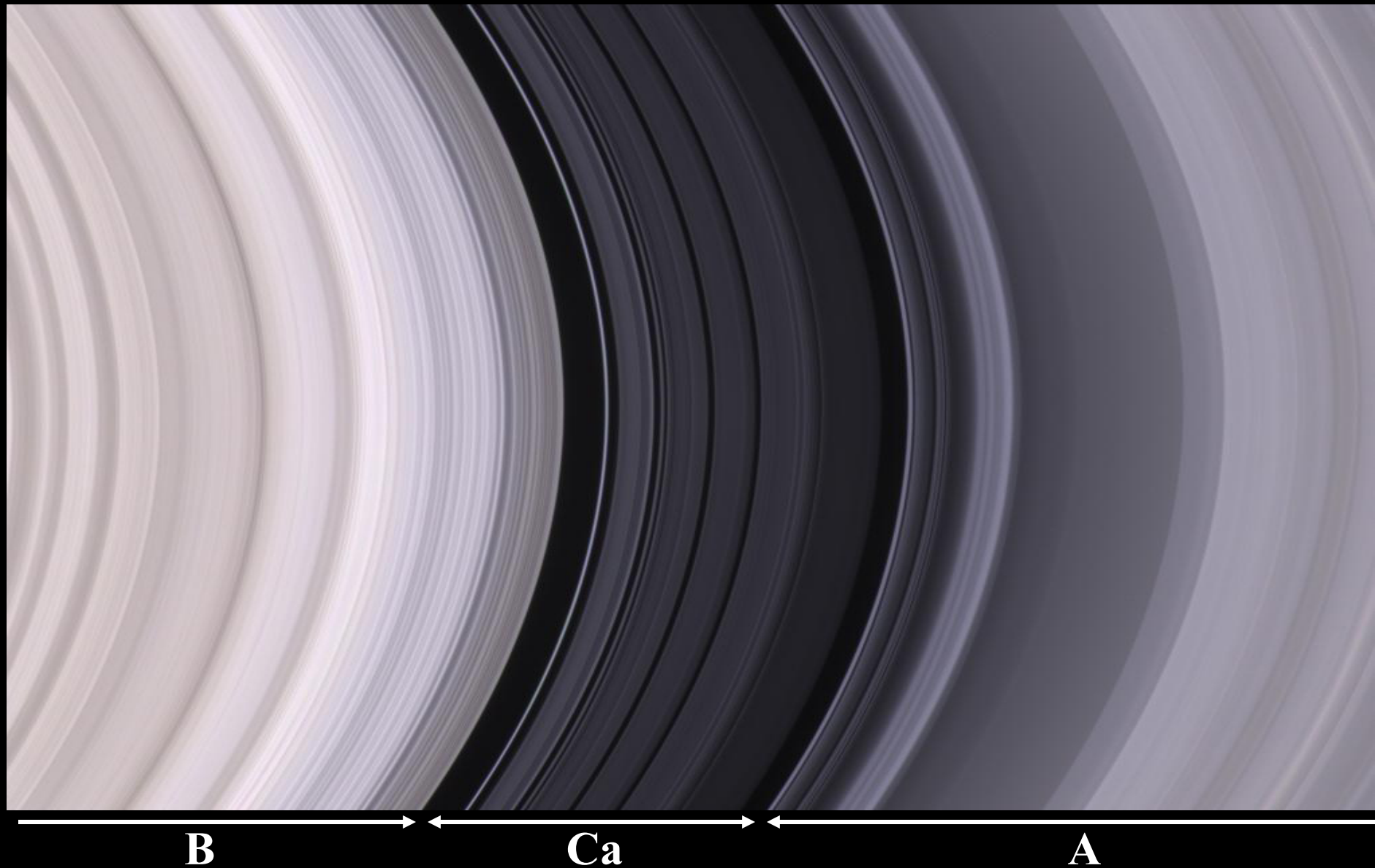
**Voici ce qu'on connaissait après Voyager.
Cassini commence à apporter des informations
nouvelles sur les anneaux.**

**Cassini étudie
les anneaux
avec un luxe
de détail
et ça ne
fait que
commencer !**

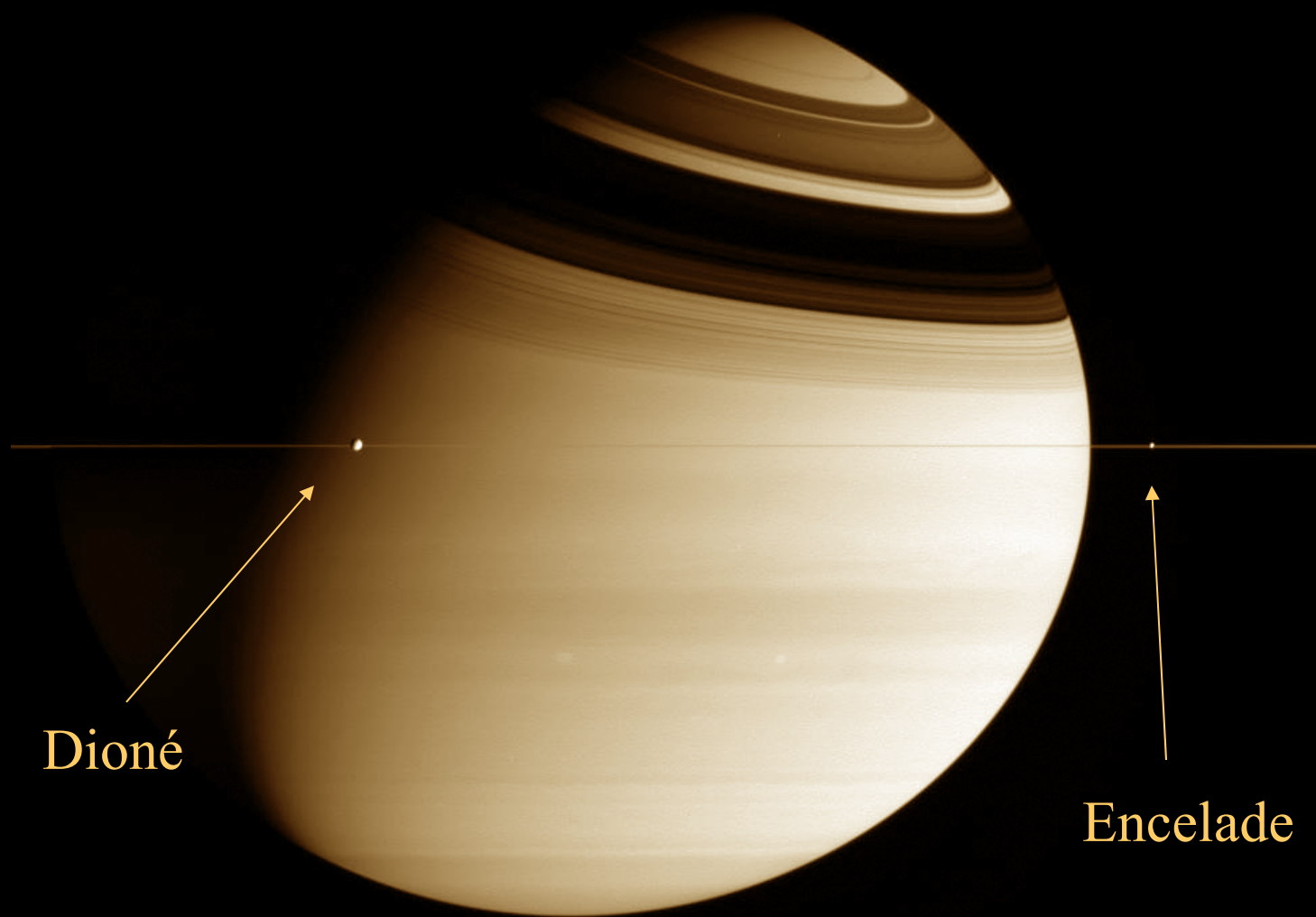




Gros plan sur les anneaux ; au fond, un satellite, Encelade



Gros plan sur la division de Cassini, qui n'est pas si vide que cela !

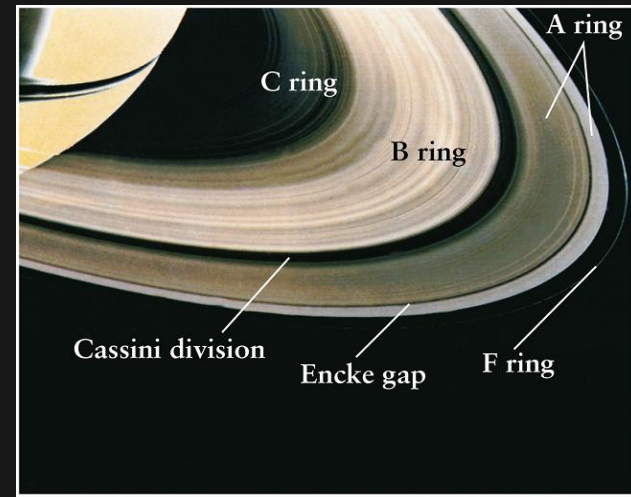


Dioné

Encelade

**Ici, vus le 28
février 2005,
les anneaux
vus par la
tranche
(quelle
finesse!), leurs
ombres
projetées sur
l'hémisphère
nord, et deux
satellites
parfaitement
dans le plan
des anneaux**

**Avec Cassini,
étudions ces
anneaux de
près !
Zoomons sur
l'anneau F
(juillet 2004)**



Zoomons encore sur l'anneau F

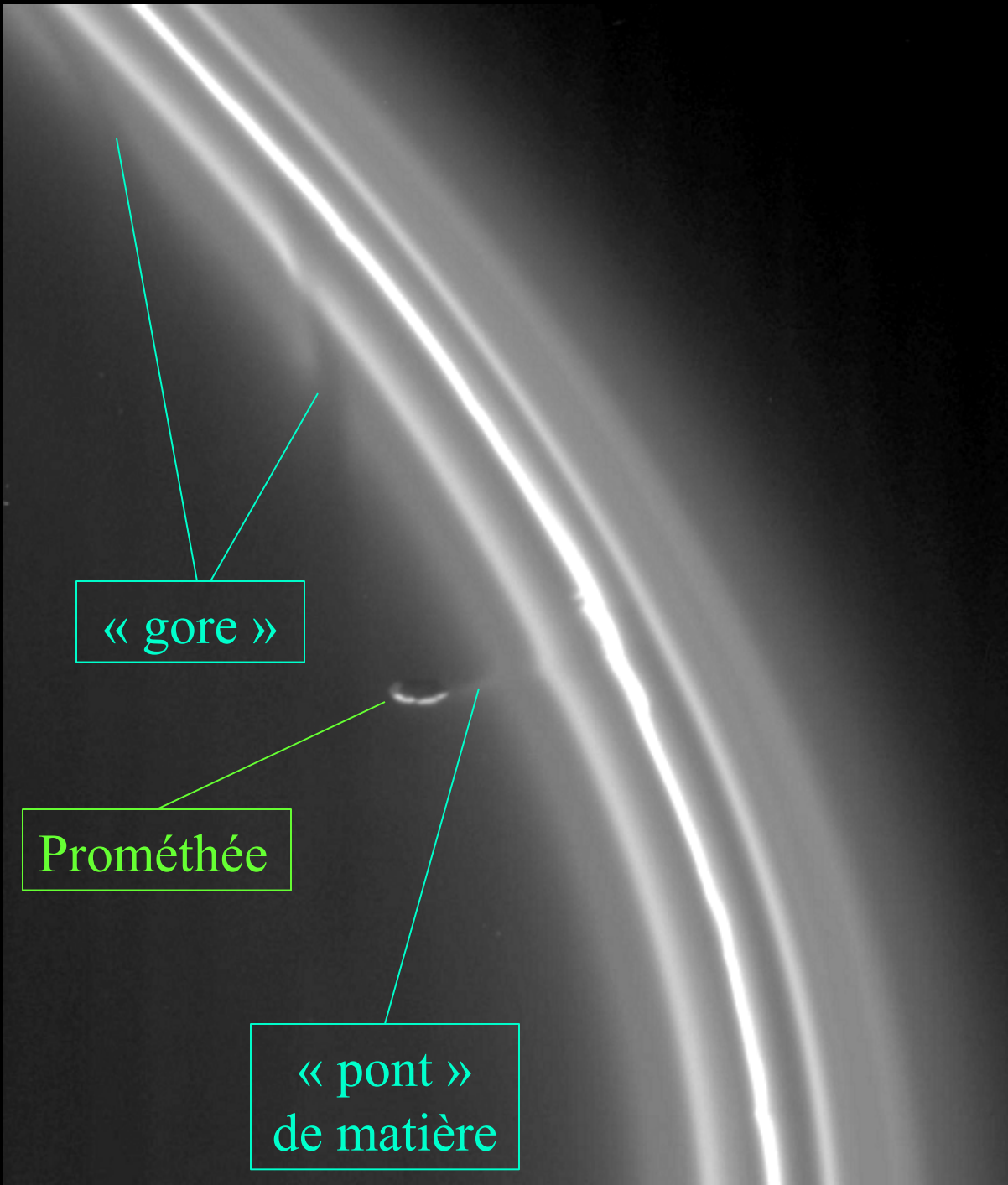
(juillet 2004) !



« gore »

Et l'anneau F
« interagit »
avec **Prométhée**,
petit satellite
($d = 102$ km),
petit satellite
situé entre les
anneaux A et F

(image du 29 octobre
2004)



« gore »

Prométhée

« pont »
de matière

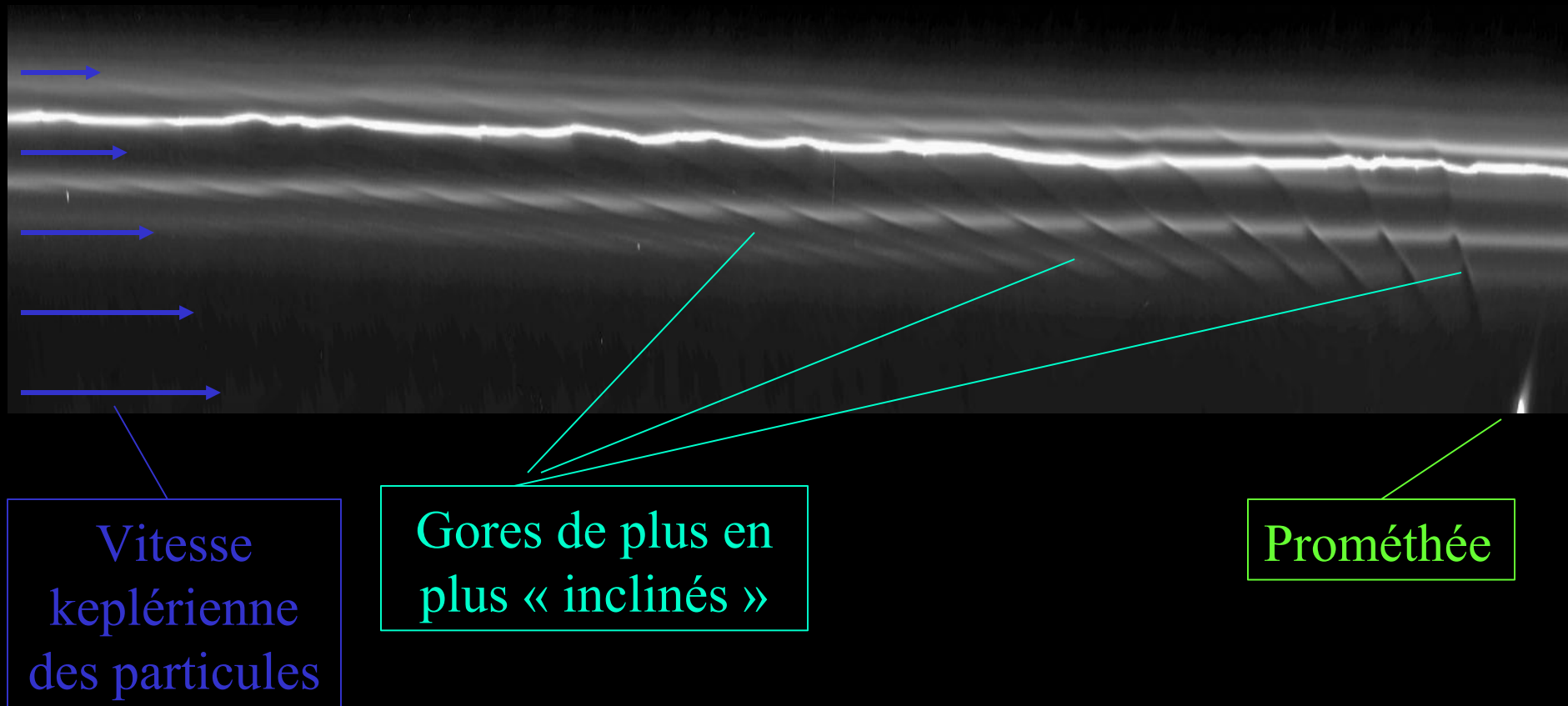
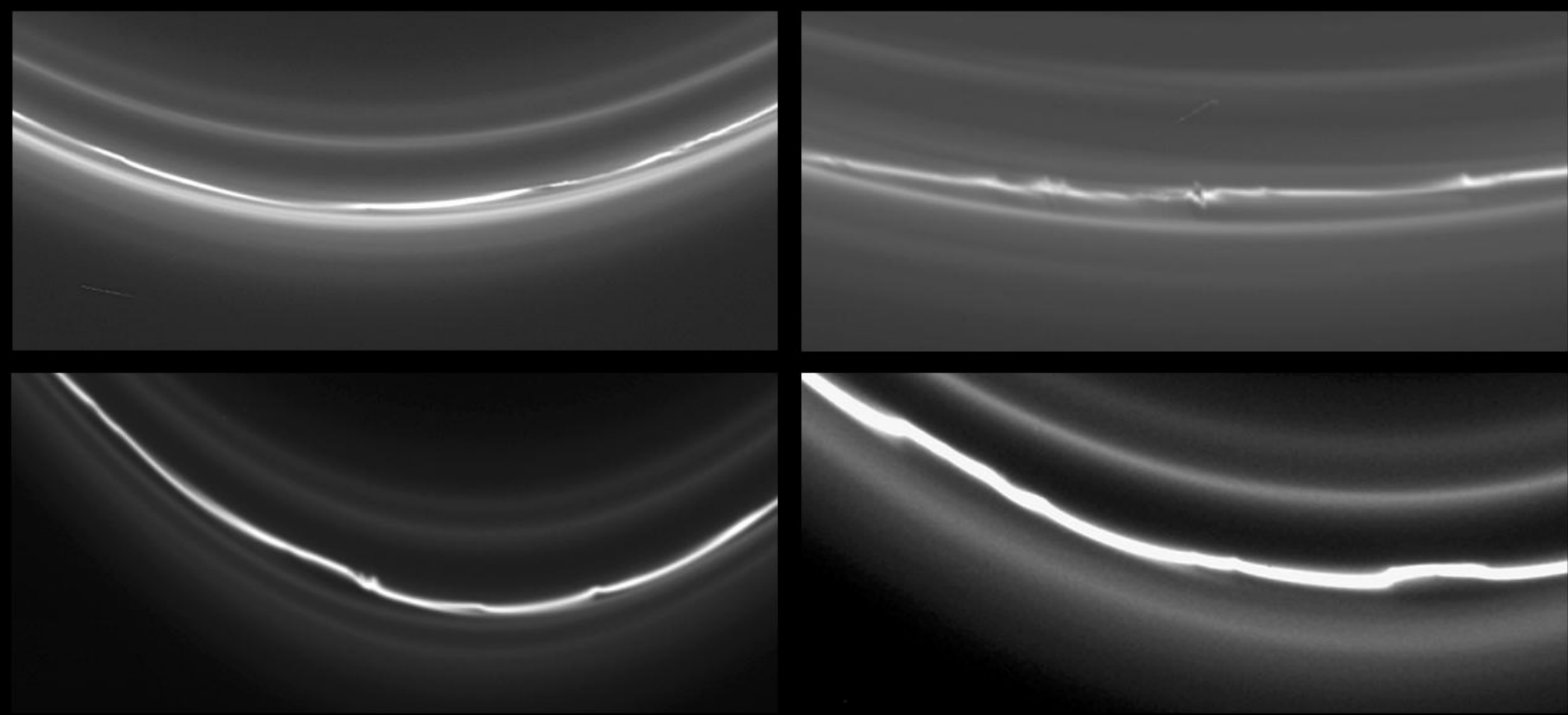
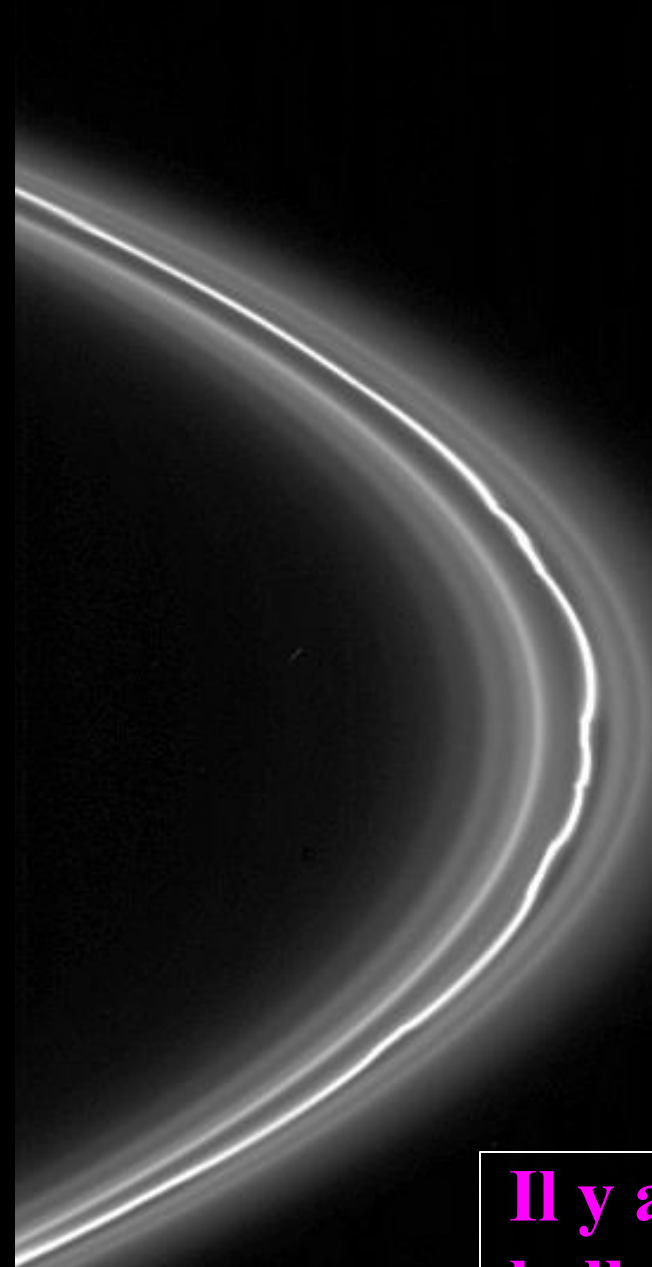


Image « rectilignisée » de l'anneau F sur 60° de longueur (1/6 du total des anneaux) montrant que les gores sont dus au passage de Prométhée (13 avril 2005).



Quatre images prises les 3 et 4 mai 2005, entre 352 000 et 735 000 km, montrant l'extraordinaire complexité et variabilité de l'anneau F.

Cette image prise le 4 mai 2005 de 967 000 km illustre le rôle de Pandore (84 km de long) sur la déformation de l'anneau F. Et n'oublions pas Prométhée qui « tourne » à l'intérieur



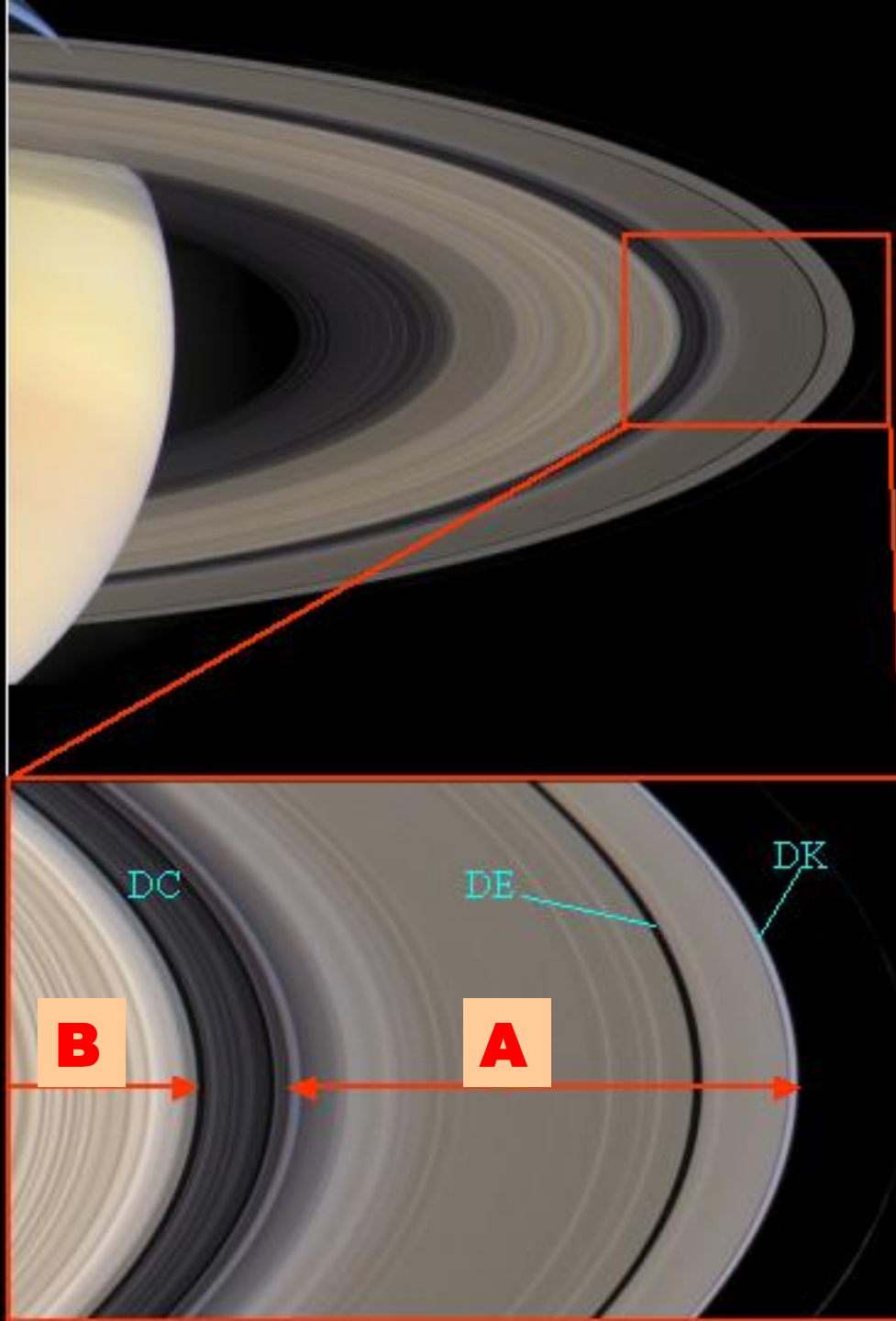
Pandore

Il y a vraiment de la belle physique à faire la dedans !

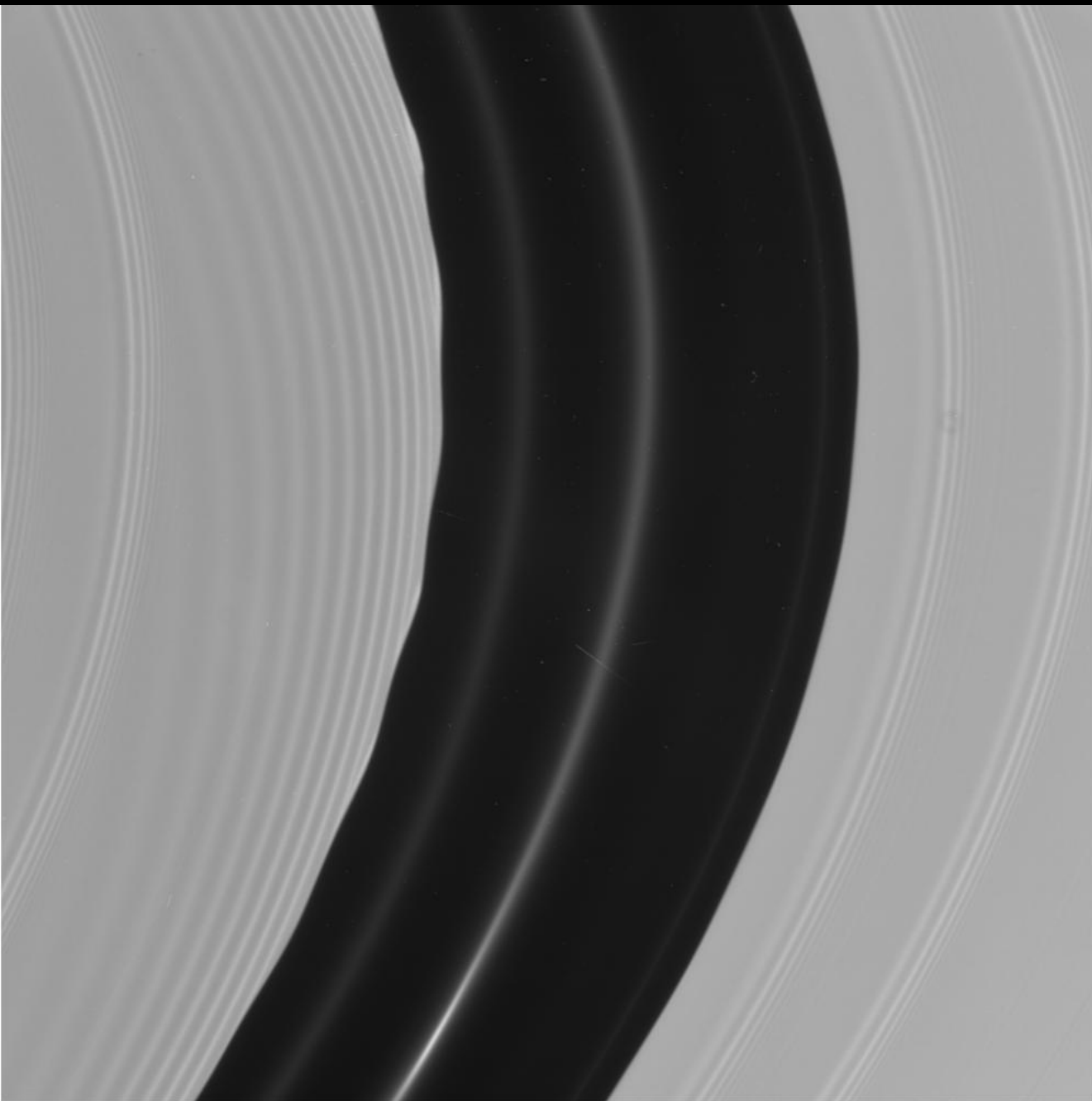
29 octobre 2004



Prométhée



**Examinons de
près les 2
divisions de
l'anneau A, les
divisions de
Encke et de
Keeler**

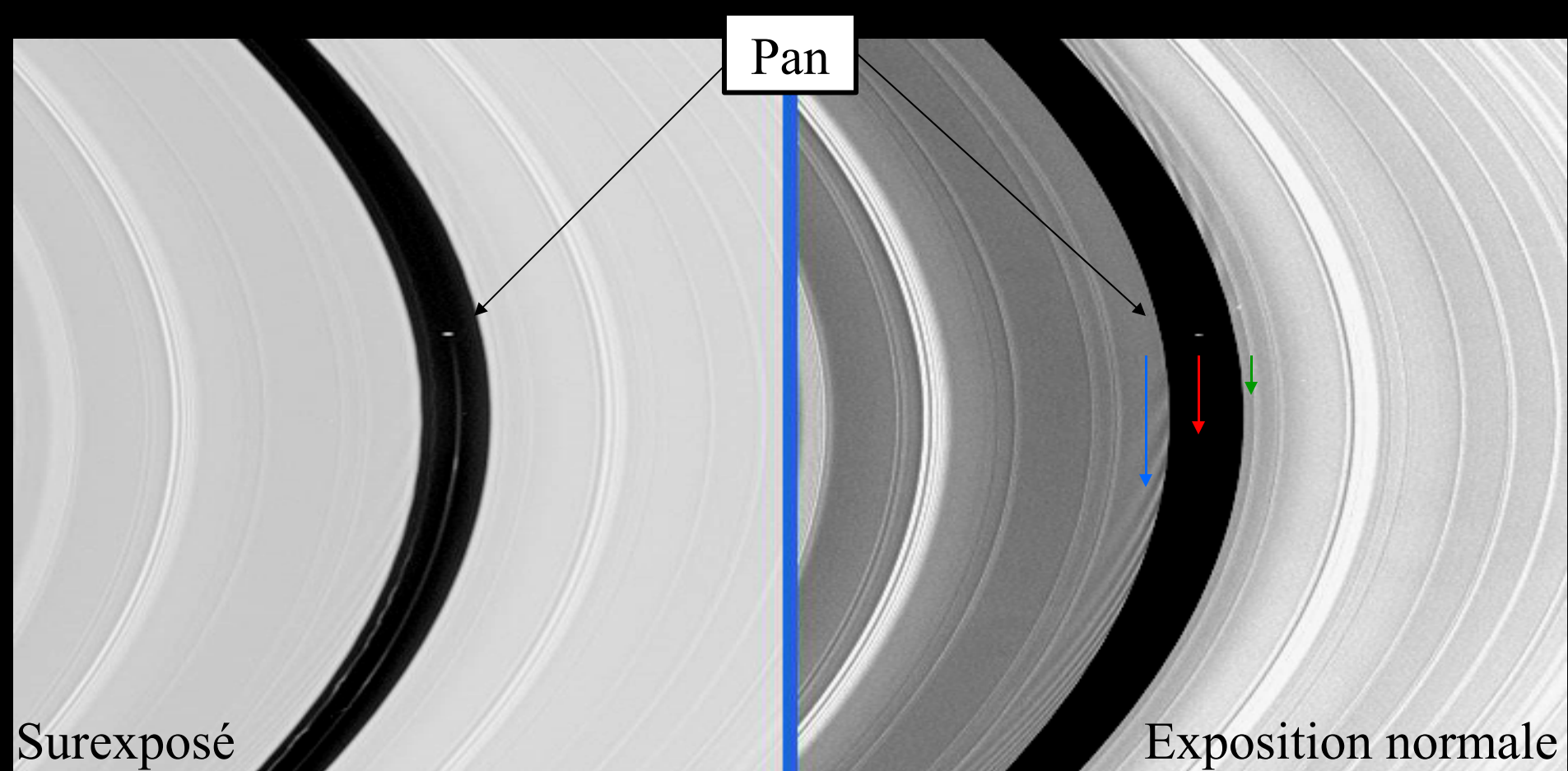


**La division de
Encke n'est
pas vide !**

**Et quelle
drôle de
structuration
à droite et à
gauche.**

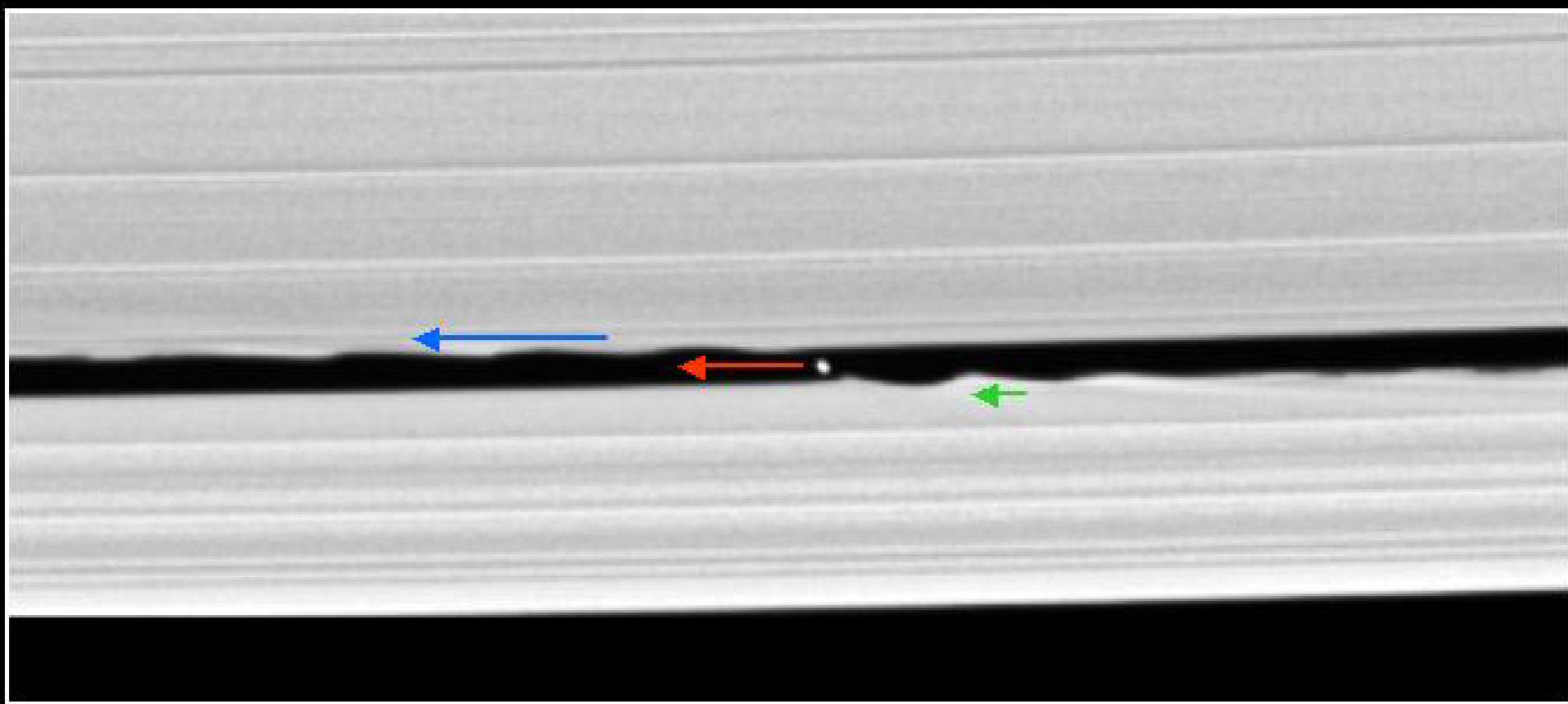
**Et n'oublions
pas que Pan y
tourne !**

(juillet 2004)



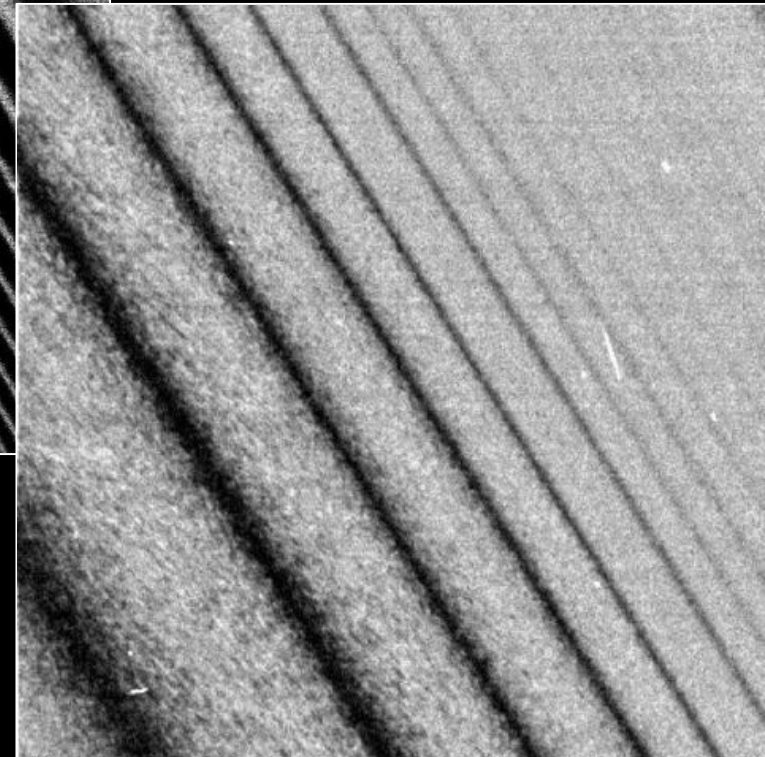
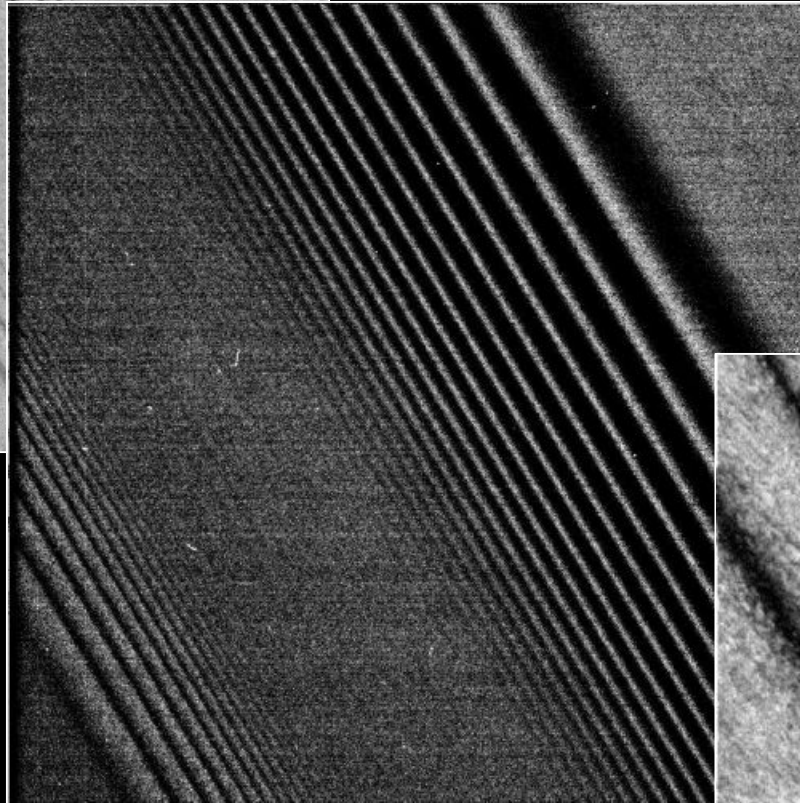
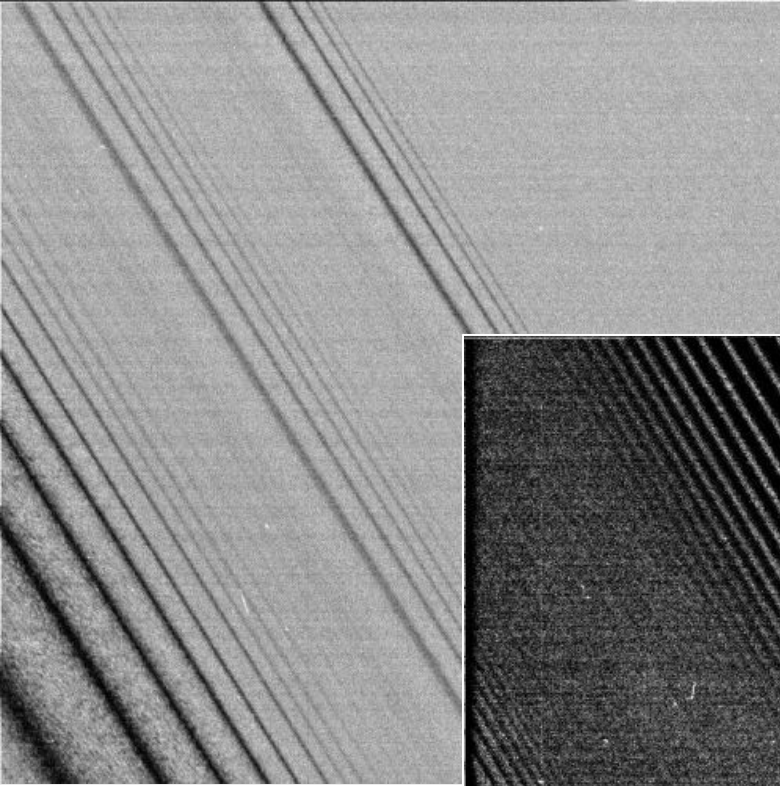
On voit les 2 annelets internes à Encke, dont l'un au niveau de l'orbite de Pan, et « d'intensité » variable.

On voit que les structures « en biais » sont déclenchées par le passage de Pan



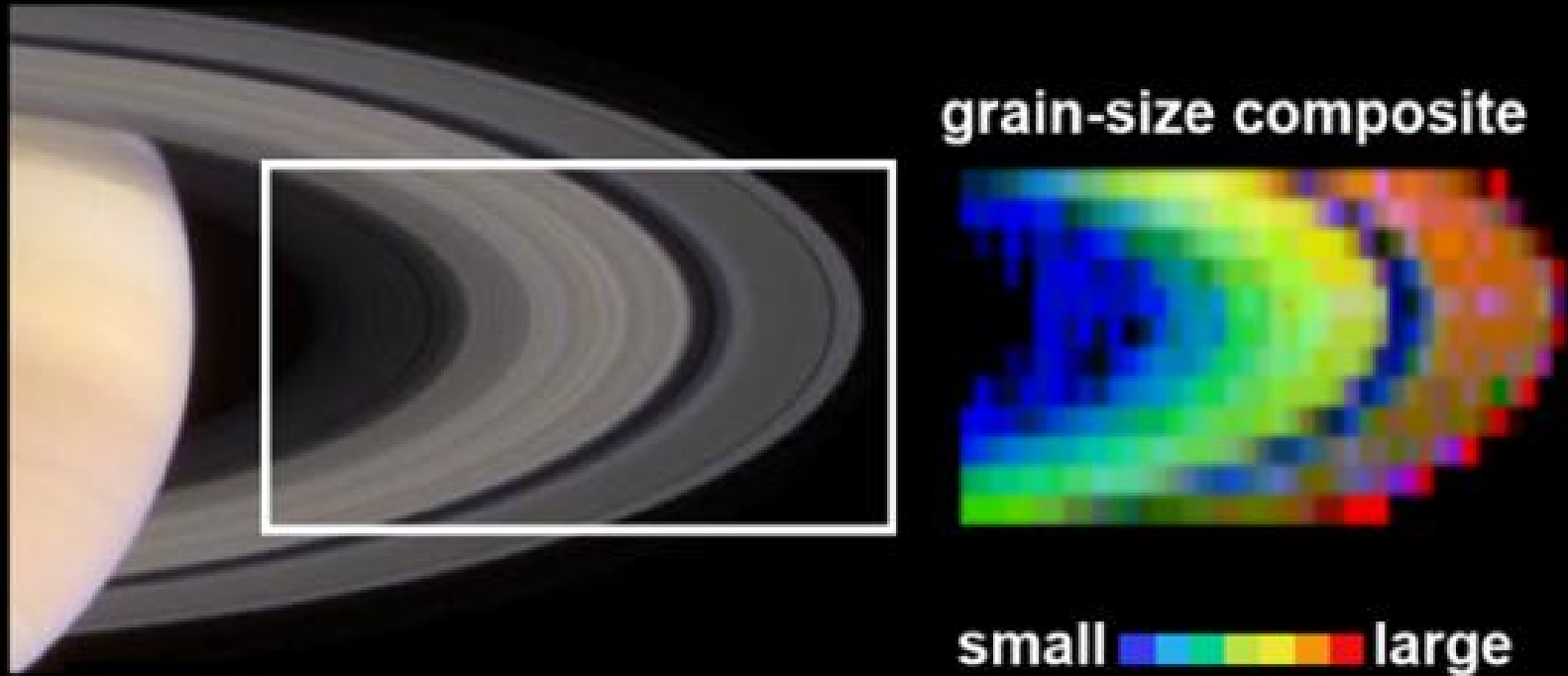
**Gros plan sur la division de Keeler (large de 250 km).
On vient d'y découvrir un nouveau satellite, qui n'a
pas encore de nom, et qui provoque des ondulations
(gravity waves) des limites anneau-division**

Trois zooms sur l'anneau A



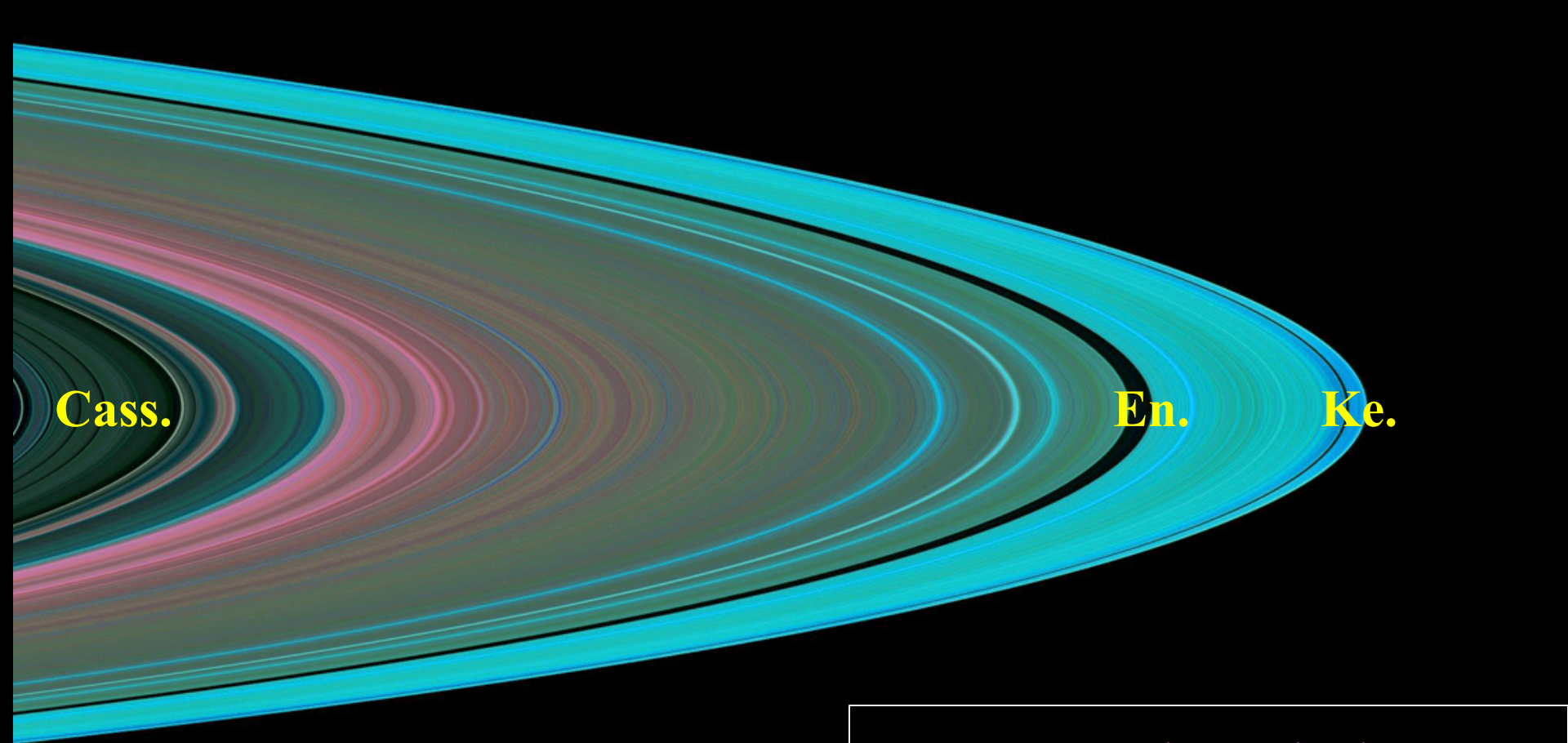
**Quel mathématicien fou a
calculé ces espacements
régulièrement variables ?**

Cassini Visual and Infrared Mapping Spectrometer

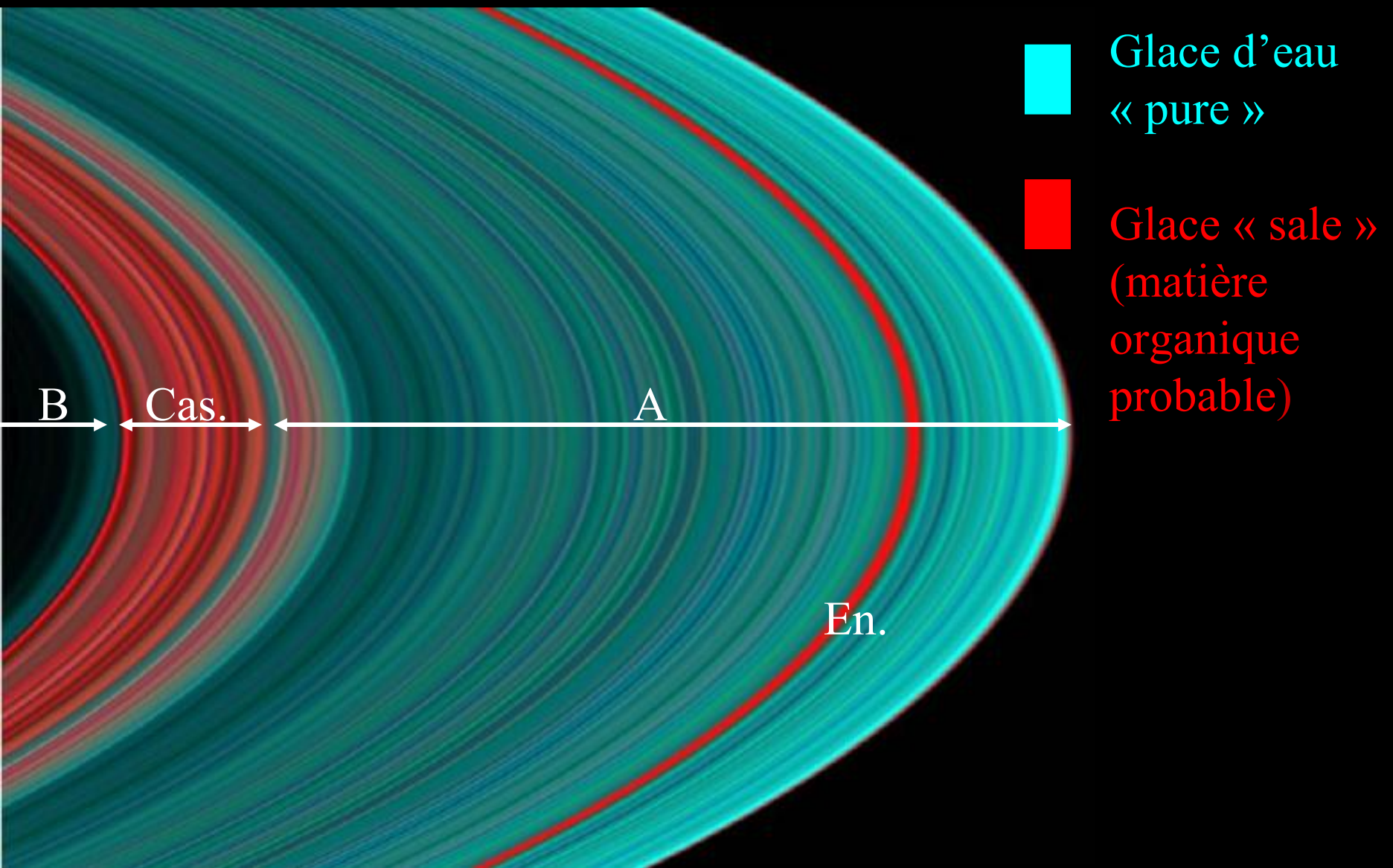


Cassini a pu mesurer la taille relative des grains « moyens » dans les anneaux.

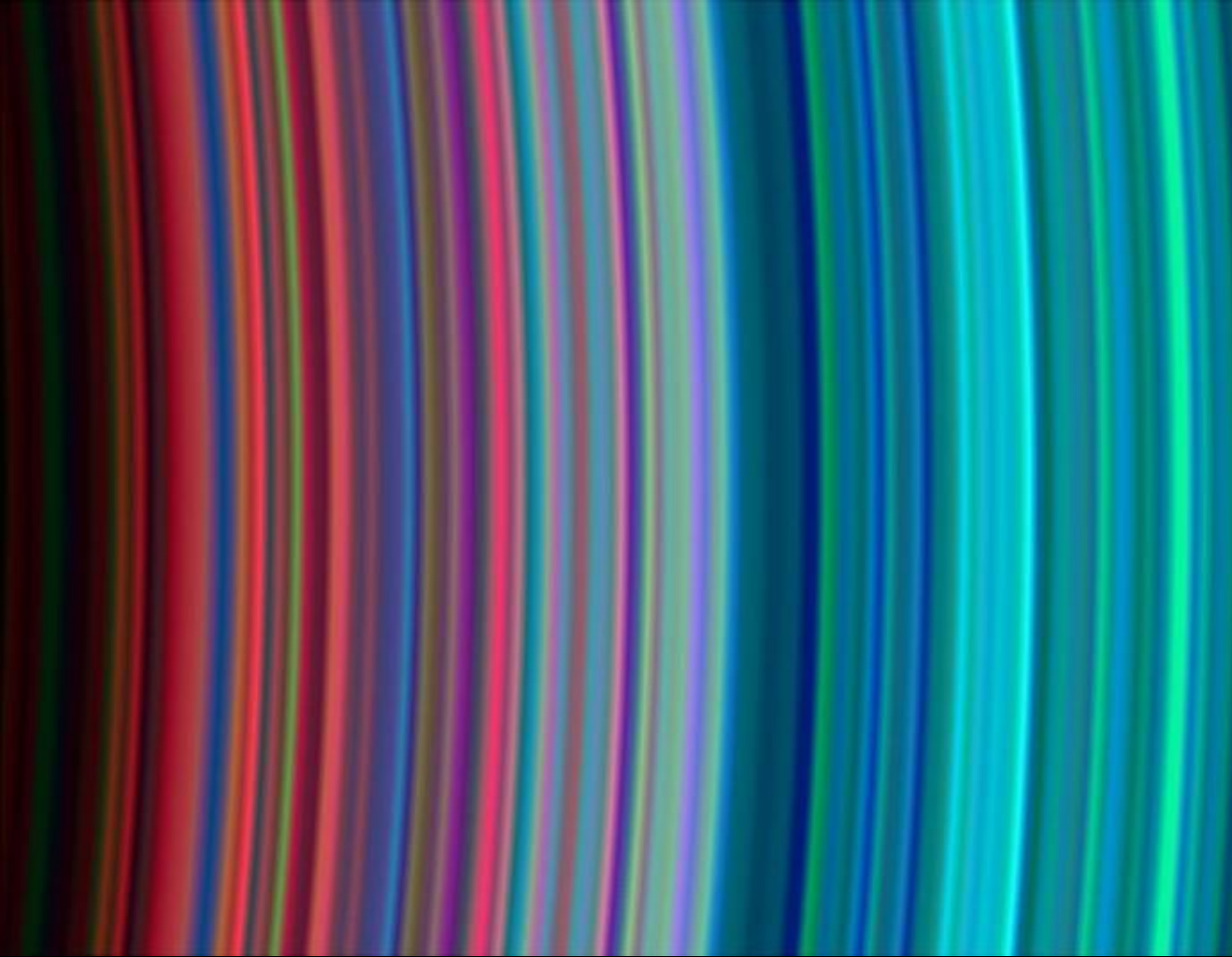
Il y a un « ordre » là dedans (cf limite de Roche) !



**Signal radio et
profondeur optique
→ taille des plus
petites particules**



Cassini a pu analyser spectralement la composition chimique des anneaux vis à vis de la glace d'H₂O



-  Glace d'eau pure
-  Glace sale (matière organique probable)

Composition chimique, quelque part dans l'anneau B.

Comment peuvent coexister, sans se mélanger, d'aussi fins anneaux chimiquement différents ?