

Buffon et la première expérience d'astrophysique de laboratoire

É. Falize



Festival d'astronomie de Fleurance
Ferme des étoiles

**Quelle est la première expérience
d'astrophysique de laboratoire ?**

L'origine des aurores boréales

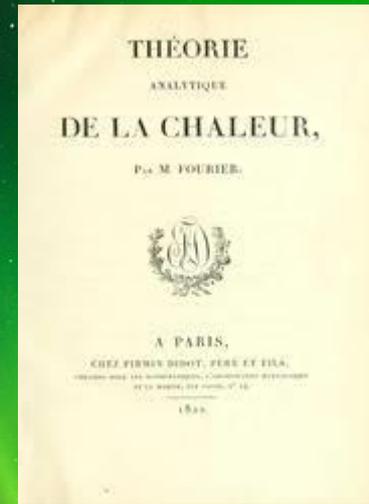
K. Birkeland
La Terrella (1901)



A. De La Rive (1864)



Musée des arts et métiers



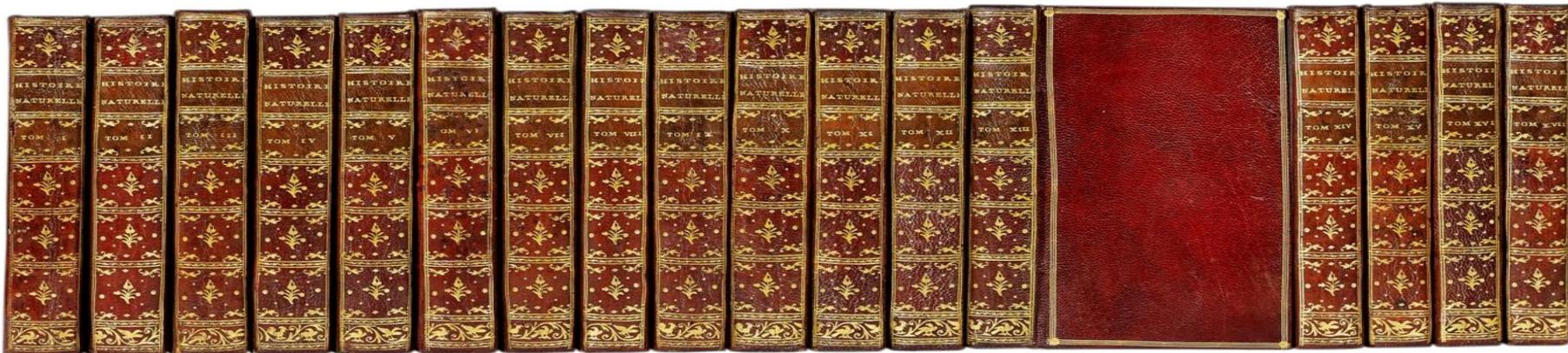
D'après Birkhoff (1960)
J. Fourier,
Théorie analytique de la chaleur (1822)
Refroidissement de la Terre par des expériences sur des boulets de fer

Georges Louis-Leclerc [1707-1788]



Comte de Buffon (1773), Seigneur de Montbard, marquis de Rougemont, vicomte de Quincy, intendant du jardin et des cabinets d'histoire naturelle du Roi, membre de l'académie française, de l'académie royale des sciences, de celles de Londres, Berlin, ...

**Histoire naturelle, générale et particulière
36 volumes (1749-1789) + 8 volumes (1804)**



Suppléments tome I (1774) et tome II (1775)

Gallica-bnf – [Commentaire du premier texte par Pierre Thomas]

É. Falize

28^{ème} Festival de Fleurance – aout 2018

Les forges de Buffon : de la recherche à l'industrie



LETTRE CXXIII

AU PRÉSIDENT DE BROSSES.

Janvier 1768.

... sement d'une forge et d'autres usines de fer que j'ai commencé d'établir à Buffon et à Montbard (1). Je ne pensais pas à cela l'année passée, lorsque vous me fîtes l'honneur d'y venir ; mais m'étant occupé pendant l'été et l'automne d'expériences sur la chaleur (2), et particulièrement sur l'action du feu par rapport au fer (3), je suis venu à bout de faire avec nos plus mauvaises mines de Bourgogne du fer d'aussi bonne et meilleure qualité que celui de Suède et d'Espagne. Cette découverte sera certainement utile à l'État (4), et pour en tirer quelque produit pour moi-même, je me suis déterminé à établir une forge, d'autant que j'ai suffisamment de bois...

BUFFON.

(Collection du comte de Brosses.)



L'accès au haut-fourneau

La fracturation des canons de la Marine

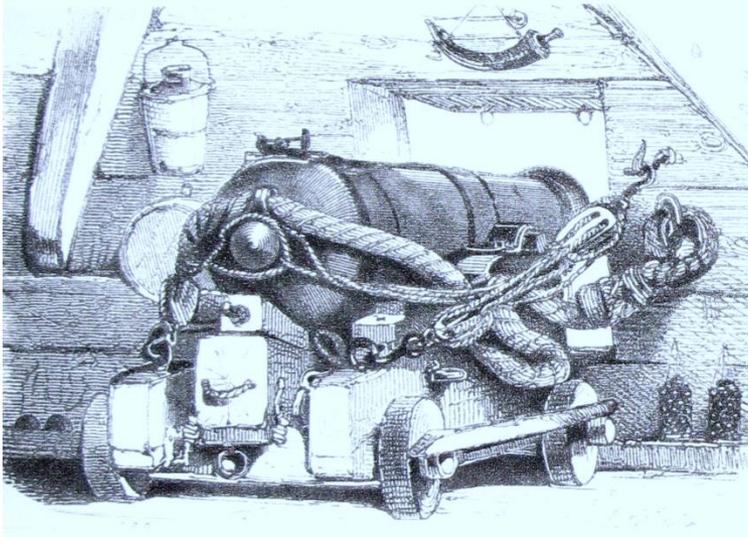
10^{ème} mémoire supplément du tome 2



Problématique physique
après la détonation, les canons
en fer coulé se fracturent !
-> pertes d'hommes+ endommagement du
vaisseau

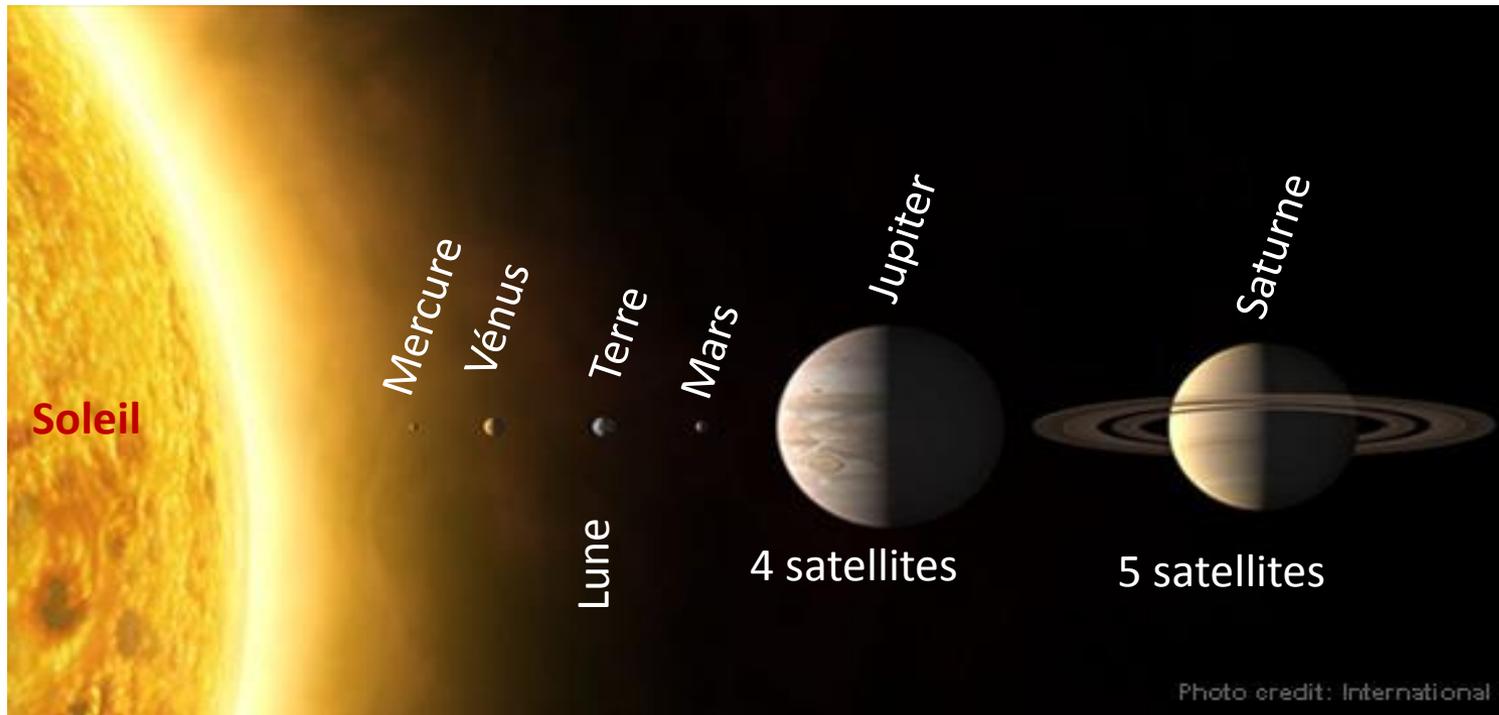
Dès 1768 : le ministère commande une
étude à GL Leclerc

Etude publiée dans un mémoire
Liste de préconisations de Buffon



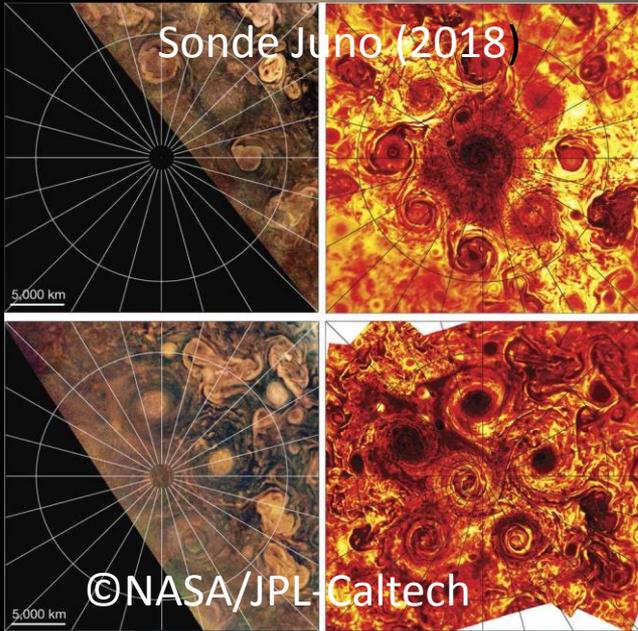
La première de ces causes, est le mauvais usage qui s'est établi depuis plus de vingt ans, de faire tourner la surface extérieure des canons, ce qui les rend plus agréables à la vue ; il en est cependant du canon comme du soldat, il vaut mieux qu'il soit robuste qu'élégant ; & ces canons

Le système Solaire du XVIIIème siècle



Uranus
[Herschel (1781)]

Cassini (2000)



Io



Europe



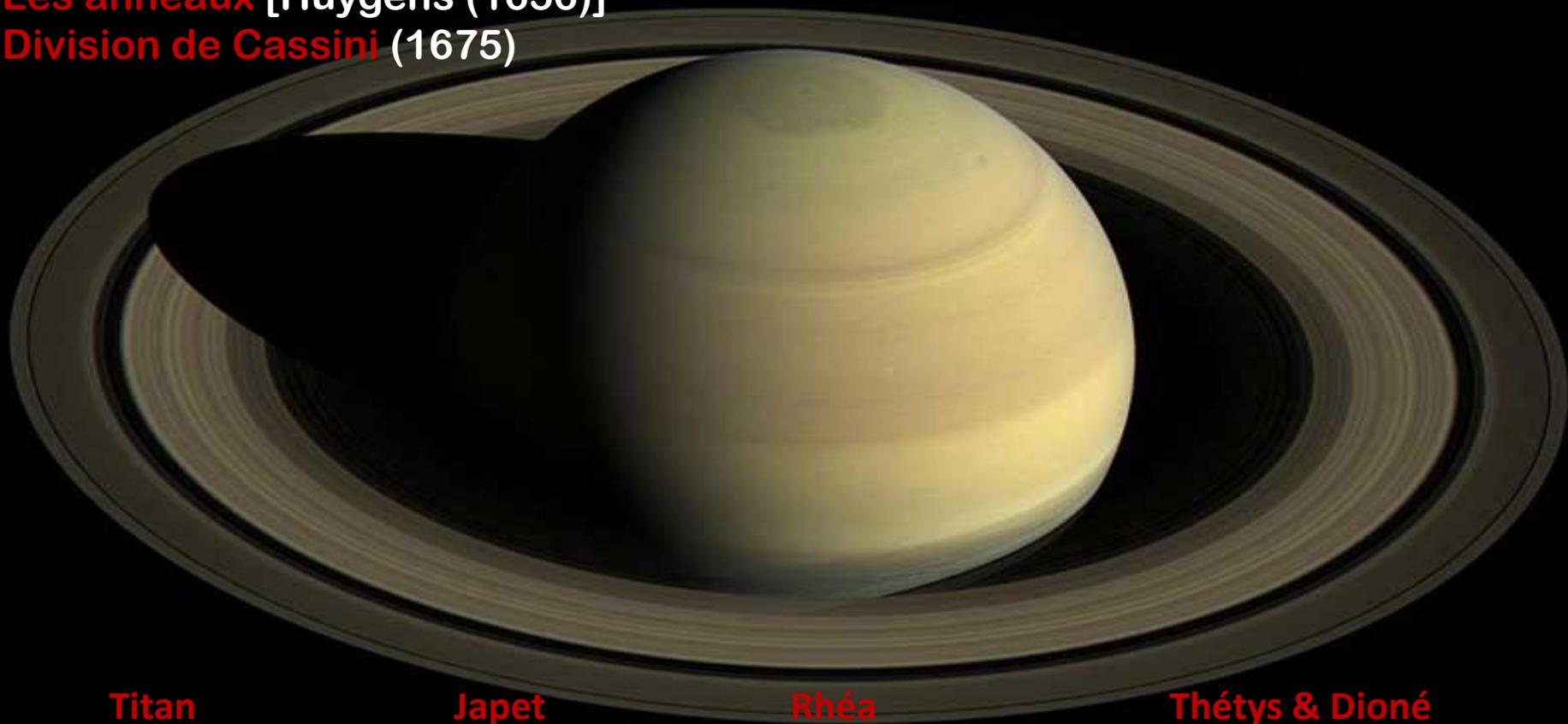
Ganymède



Callisto



Les anneaux [Huygens (1656)]
Division de Cassini (1675)



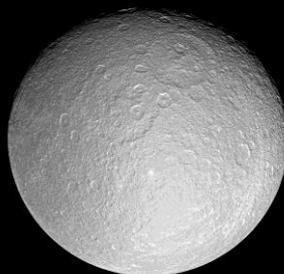
Titan
[Huygens (1655)]



Japet
[Cassini (1671)]



Rhéa
[Cassini (1672)]

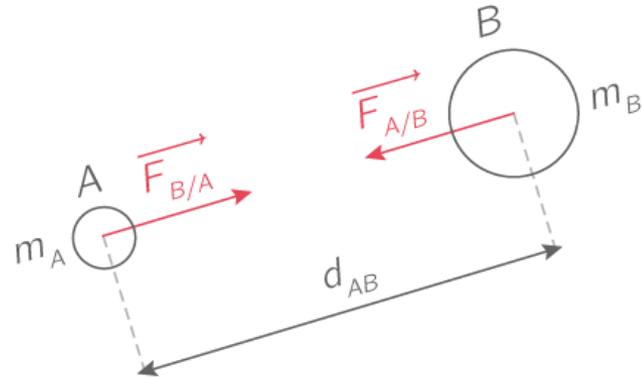


Th tys & Dion 
[Cassini (1684)]



La Physique du XVIIIème siècle

Force de gravitation dans Les principia (1687)



La comète C/1680V1 ou la comète de Kirch

Interrogations de Newton :

Densité de la comète ?

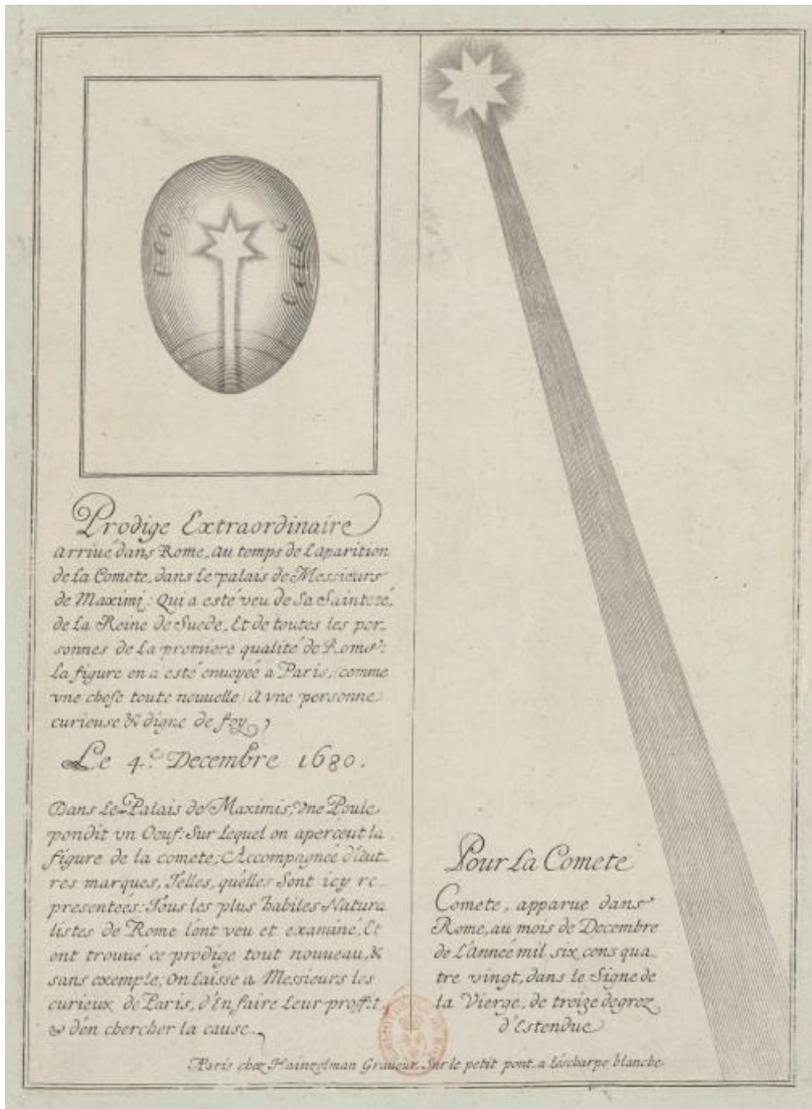
La chaleur emmagasinée au périhélie

Un globe de fer rouge égal à la Terre se refroidit
en 50 000 ans

Newton refuse ces résultats !

Trouver la véritable raison par l'expérience

La Physique du XVIIIème siècle



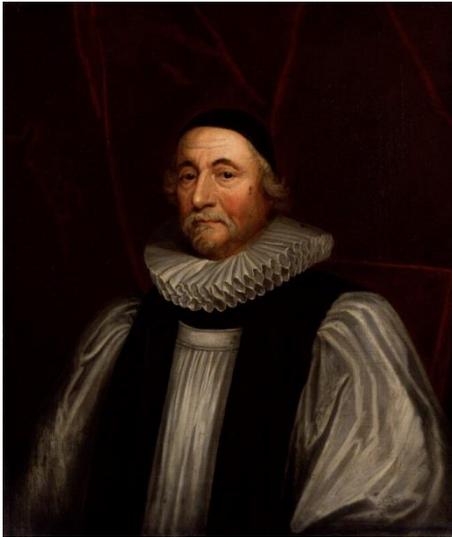
Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

William Whiston (1696) et la comète de 1680



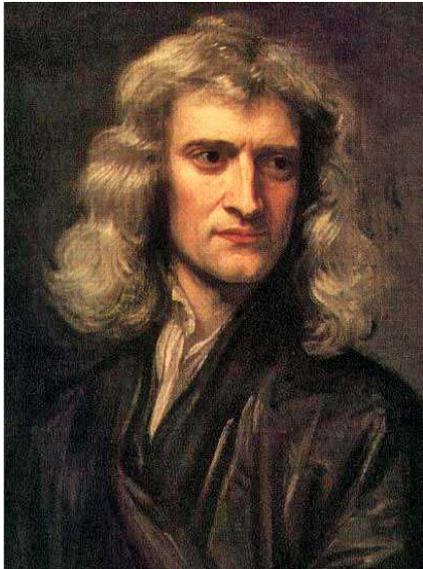
La comète de 1680 envoyée est
responsable du Déluge : le 28
novembre 2349 avant JC

L'âge de la Terre et pourquoi Newton refuse ces résultats



1656 : la naissance de la Terre est datée au **23 octobre 4004 av. J.-C., à neuf heures du soir**
travaux de l'archevêque James Ussher

Accumulation de toutes les chronologies des civilisations (égyptiennes, latines ...) et des récits de la Bible



Actualisation de l'âge d'Ussher par des phénomènes astronomiques

1728 : publication de *La chronologie des anciens royaumes*

Prise en compte de la théorie de la gravitation et de la précession des équinoxes.

→ Correction entre différentes chronologies

3990 ans avant JC

Georges Louis Leclerc et Isaac Newton

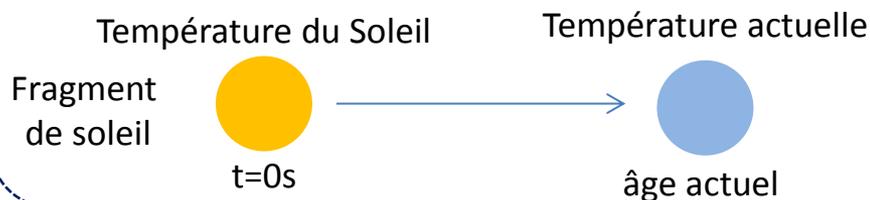
Quelle est l'origine de l'impulsion primitive des planètes qui tournent autour du Soleil ?

- Les planètes tournent dans le même plan (contrairement aux comètes)
- Les planètes tournent dans le même sens

Probabilité : $1/7\ 962\ 624$

Conclusion: il doit y avoir une cause commune

Modèle de Buffon : Collision oblique d'une comète avec le Soleil



Vérification des propos de Newton par une vraie expérience



Comment mesurer la température des boulets de fer ?

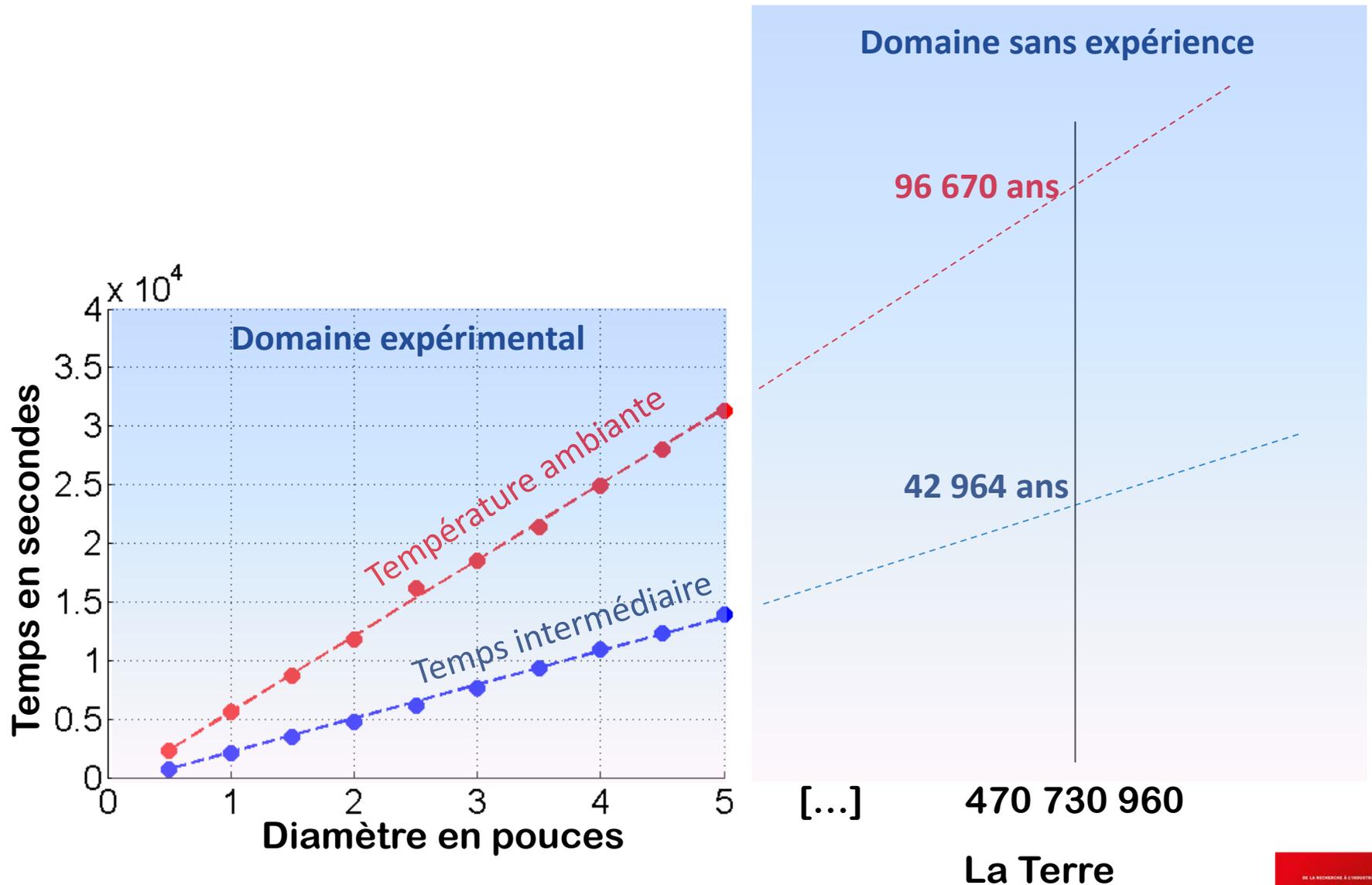
Version de Buffon Supplément Tome I

cafés préparées pour les recevoir ; je les y laissois refroidir sans les bouger, en essayant assez souvent de les toucher, & au moment qu'ils commençoient à ne plus brûler les doigts, & que je pouvois les tenir dans ma main pendant une demi-seconde, je marquois le nombre des minutes qui s'étoient écoulées depuis qu'ils étoient retirés du feu;

Vie privée du comte de Buffon Par M. Le Chevalier Joseph AUDE

Pour deviner l'époque de la formation des planetes & calculer le refroidissement du globe terrestre, il employoit le ministère de quatre ou cinq jolies femmes à la peau douce ; il faisoit rougir plusieurs globes de toutes sortes de matieres & de toutes sortes de densités, qu'elles tenoient tour-à-tour dans leurs mains délicates, en lui rendant compte des degrés de chaleur & des périodes du refroidissement ; & sur cette base fragile il élevoit le plus hardi des édifices.

Le refroidissement des boulets de fer

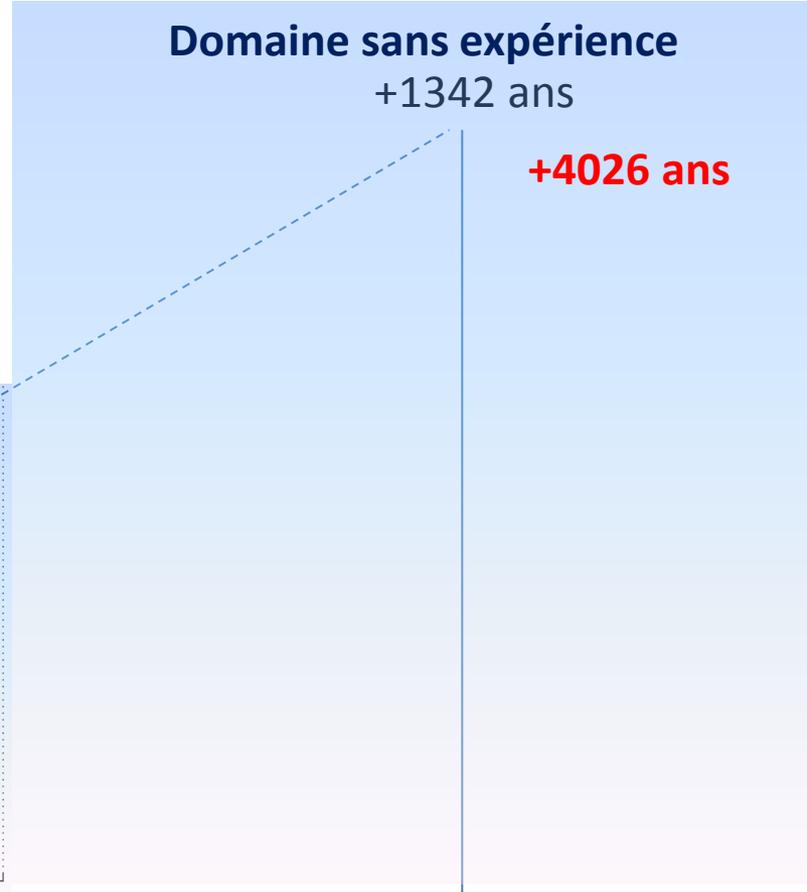
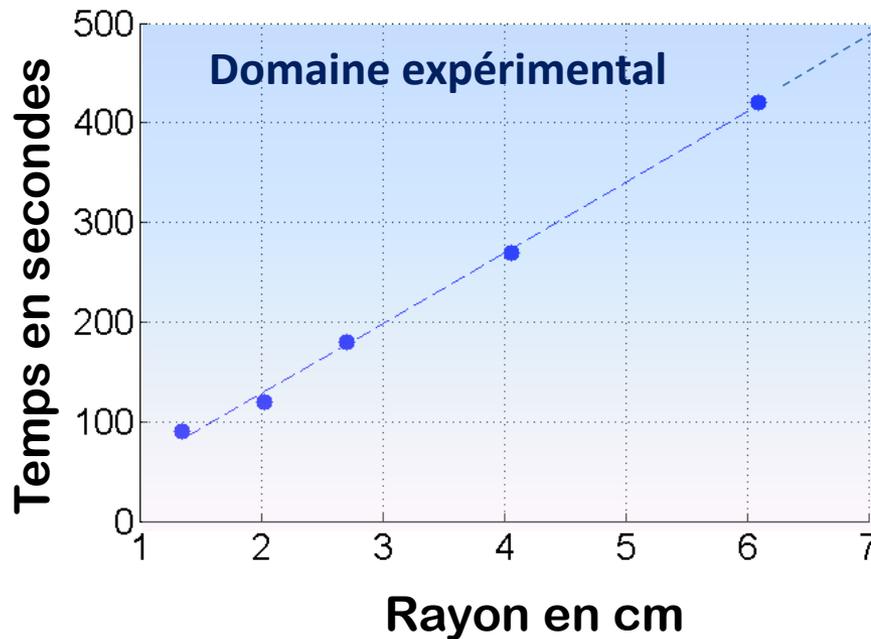


L'expérience de consolidation du globe (8^{ème} mémoire)

Quel temps pour passer d'un état de fer liquide à un solide ?



Refroidissement d'une gueuse de fonte



La Terre

Si la Terre n'est constituée que de fer, alors son âge est de **100 696 ans** !

É. Falize

28^{ème} Festival de Fleurance – aout 2018

Mais la Terre n'est pas constituée que de fer!

Objet du second mémoire : étude du refroidissement de globes de différentes compositions mais tous d'un pouce de diamètre

| | livr. | sol. | grain. |
|---|-------|------|--------------------|
| Or le plus pur, affiné par les soins de M. Tillet de l'Académie des Sciences, qui a fait travailler ce globe à ma prière, pèse..... | 6. | 2. | 17. |
| Plomb, pèse..... | 3. | 6. | 28. |
| Argent le plus pur, travaillé de même, pèse..... | 3. | 3. | 22. |
| Bismuth, pèse..... | 3. | 0. | 3. |
| Cuivre rouge, pèse..... | 2. | 7. | 56. |
| Fer, pèse..... | 2. | 5. | 10. |
| Étain, pèse..... | 2. | 3. | 48. |
| Antimoine fondu, & qui avoit des petites cavités à sa surface, pèse..... | 2. | 1. | 34. |
| Zinc, pèse..... | 2. | 1. | 2. |
| Émeril, pèse..... | 1. | 2. | 24 $\frac{1}{2}$. |
| Marbre blanc, pèse..... | 1. | 0. | 25. |
| Grès pur, pèse..... | 0. | 7. | 24. |

| | livr. | sol. | grain. |
|---|-------|------|-------------------|
| Marbre commun de Montbard, pèse..... | 0. | 7. | 20. |
| Pierre calcaire dure & grise de Montbard, pèse.... | 0. | 7. | 20. |
| Gyps blanc, improprement appelé <i>Albâtre</i> , pèse.. | 0. | 6. | 36. |
| Pierre calcaire blanche, statuaire, de la carrière d'Anières près de Dijon, pèse..... | 0. | 6. | 36. |
| Cristal-de-roche, il étoit un peu trop petit, & il y avoit plusieurs défauts & quelques petites fêlures à sa surface; je présume que sans cela, il auroit pesé plus d'un gros de plus, il pèse..... | 0. | 6. | 22. |
| Verre commun, pèse..... | 0. | 6. | 21. |
| Terre glaise pure non cuite, mais très-sèche, pèse.. | 0. | 6. | 16. |
| Ocre, pèse..... | 0. | 5. | 9. |
| Porcelaine de M. le comte de Lauragnais, pèse... | 0. | 5. | 2 $\frac{1}{2}$. |
| Craie blanche, pèse..... | 0. | 4. | 49. |
| Pierre-ponce avec plusieurs petites cavités à sa surface, pèse..... | 0. | 1. | 69. |
| Bois de cerisier, qui quoique plus léger que le chêne & la plupart des autres bois, est celui de tous qui s'altère le moins au feu, pèse..... | 0. | 1. | 55. |

67 expériences (répétées trois fois!)

6 ans d'expériences et 120 pages de calculs

É. Falize

28^{ème} Festival de Fleurance – aout 2018



Mais la Terre n'est pas constituée que de fer!

Objet du second mémoire : étude du refroidissement de globes de différentes compositions mais tous d'un pouce de diamètre

| | | F E R. | | | | |
|-------------------|-------------------------|--------------------------|--------|------------------|-------|--|
| | | Premier refroidissement. | | Entier | | |
| | | | | refroidissement. | | |
| FER & | Émeril..... | 10000 | à 9117 | — | 9020. | |
| | Cuivre..... | 10000 | à 8512 | — | 8702. | |
| | Or..... | 10000 | à 8160 | — | 8148. | |
| | Zinc..... | 10000 | à 7654 | — | 6020. | |
| | | | | à 6804 | | |
| | Argent..... | 10000 | à 7619 | — | 7423. | |
| | Marbre blanc..... | 10000 | à 6774 | — | 6704. | |
| | Marbre commun.... | 10000 | à 6636 | — | 6746. | |
| | Pierre calcaire dure.. | 10000 | à 6617 | — | 6274. | |
| | Grès..... | 10000 | à 5796 | — | 6926. | |
| | Verre..... | 10000 | à 5576 | — | 5805. | |
| | Plomb..... | 10000 | à 5143 | — | 6482. | |
| | Étain..... | 10000 | à 4898 | — | 4921. | |
| | Pierre calcaire tendre. | 10000 | à 4194 | — | 4659. | |
| | Glaife..... | 10000 | à 4198 | — | 4490. | |
| | Bismuth..... | 10000 | à 3580 | — | 4081. | |
| | Craie..... | 10000 | à 3086 | — | 3878. | |
| Gyps..... | 10000 | à 2325 | — | 2817. | | |
| Bois..... | 10000 | à 1860 | — | 1549. | | |
| Pierre ponce..... | 10000 | à 1627 | — | 1268. | | |

L'âge de la Terre sur la base des expériences: 74047 ans

| F E R. | | Premier refroidissement. | Entier refroidissement. |
|-------------------------|---------|--------------------------|-------------------------|
| Émeril..... | 10000 à | 9117 | — 9020. |
| Cuivre..... | 10000 à | 8512 | — 8702. |
| Or..... | 10000 à | 8160 | — 8148. |
| Zinc..... | 10000 à | 7654 6804 | — 6020. |
| Argent..... | 10000 à | 7619 | — 7423. |
| Marbre blanc..... | 10000 à | 6774 | — 6704. |
| Marbre commun.... | 10000 à | 6636 | — 6746. |
| Pierre calcaire dure.. | 10000 à | 6617 | — 6274. |
| Grès..... | 10000 à | 5796 | — 6926. |
| Verre..... | 10000 à | 5576 | — 5805. |
| Plomb..... | 10000 à | 5143 | — 6482. |
| Étain..... | 10000 à | 4898 | — 4921. |
| Pierre calcaire tendre. | 10000 à | 4194 | — 4659. |
| Glaife..... | 10000 à | 4198 | — 4490. |
| Bismuth..... | 10000 à | 3580 | — 4081. |
| Grâie..... | 10000 à | 3086 | — 3878. |
| Gyps..... | 10000 à | 2325 | — 2817. |
| Bois..... | 10000 à | 1860 | — 1549. |
| Pierre ponce..... | 10000 à | 1627 | — 1268. |

Temps pour pouvoir les toucher :

$$\frac{50516}{70000}$$

$$46991 \times \frac{50516}{70000} \approx 33911 \text{ ans}$$

Temps pour atteindre la température ambiante :

$$\frac{51475}{70000}$$

$$100696 \times \frac{51475}{70000} \approx 74047 \text{ ans}$$

rapport avec celui du refroidissement du fer. En n'employant dans cette somme que le verre, le grès, la pierre calcaire dure, les marbres & les matières ferrugineuses, on trouvera que le globe terrestre s'est consolidé jusqu'au centre en 2905 ans environ, qu'il s'est refroidi au point de pouvoir le toucher en 33911 ans environ, & à la température actuelle en 74047 ans environ.

Le temps de refroidissement des autres planètes

$$t_{\text{Planète}} = A \times B \times t_{\text{Terre}}$$

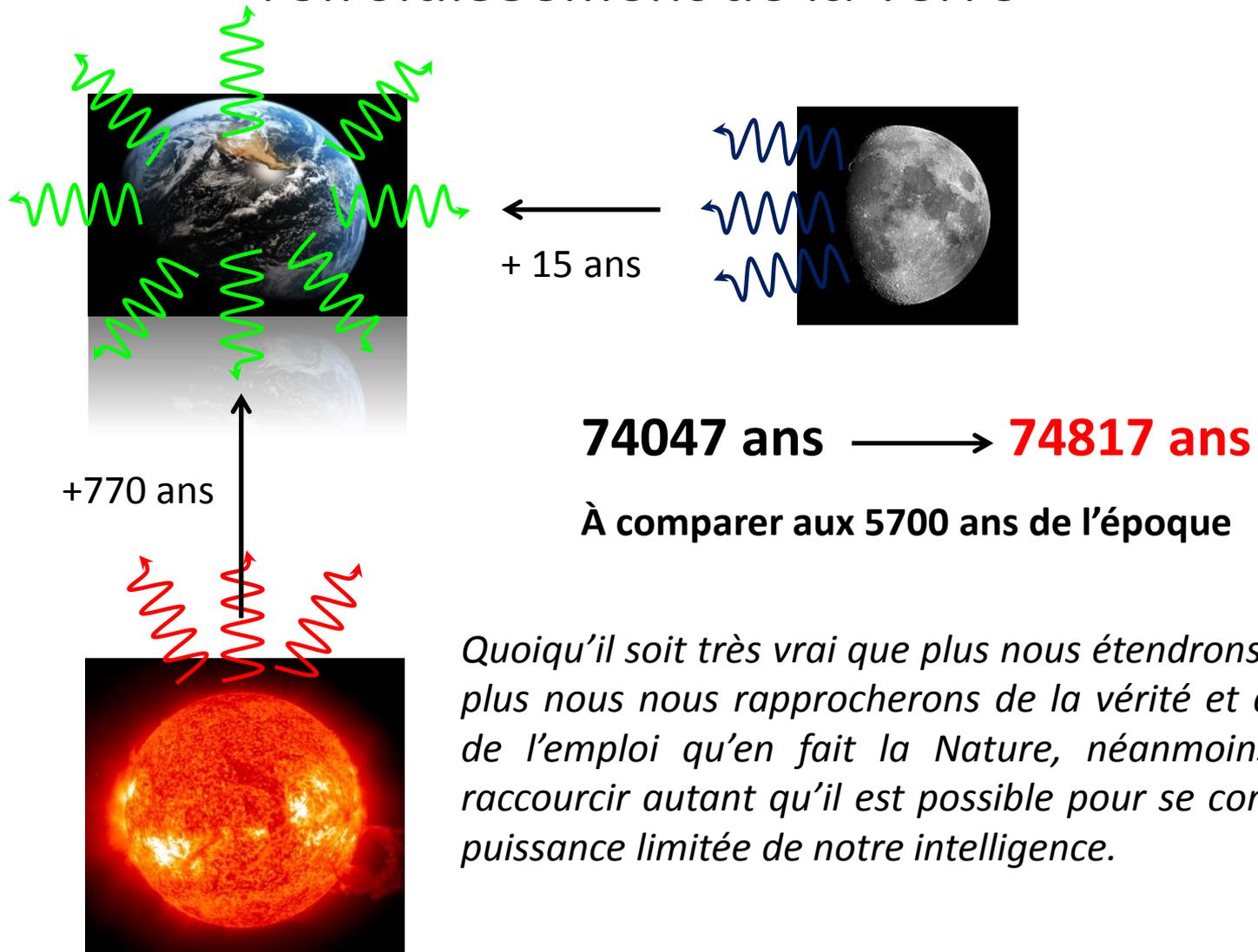
A = rapport des diamètres
 B = rapport des densités

| | Rapport diamètre | Rapport densité | Temps Temp. Terre |
|------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| Mercure | 1/3 | 2040/1000 | 50351 |
| Vénus | 17/18 | 1270/1000 | 88815 |
| Lune | 3/11 | 702/1000 | 14176 |
| Mars | 13/25 | 730/1000 | 28108 |
| Jupiter | 11/1 | 292/1000 | 237838 |
| Saturne | 95/10 | 184/1000 | 129434 |

| À POUVOIR EN TOUCHER LA SURFACE sans se brûler. | | À LA TEMPÉRATURE actuelle de la Terre. | |
|--|----------------|---|-------------|
| LE GLOBE TERRESTRE | en 33911 ans. | En | 74047 ans. |
| LA LUNE..... | en 6492 ans. | En | 14176 ans. |
| MERCURE..... | en 23054 ans. | En | 50351 ans. |
| VÉNUS..... | en 40674 ans. | En | 88815 ans. |
| MARS..... | en 12873 ans. | En | 28108 ans. |
| JUPITER..... | en 108922 ans. | En | 237838 ans. |
| SATURNE..... | en 59276 ans. | En | 129434 ans. |

Mais on verra que ces rapports varieront par la compensation que la chaleur du Soleil a faite à la perte de la chaleur propre de toutes les planètes.

Effet de la chaleur du Soleil et de la Lune sur le refroidissement de la Terre



Quoiqu'il soit très vrai que plus nous étendrons le temps et plus nous nous rapprocherons de la vérité et de la réalité de l'emploi qu'en fait la Nature, néanmoins il faut le raccourcir autant qu'il est possible pour se conformer à la puissance limitée de notre intelligence.



L'âge de la Terre
4,543 milliards d'années

L'évolution du refroidissement des autres planètes

TABLE plus exacte des temps du refroidissement des Planètes & de leurs Satellites.

| CONSOLIDÉES jusqu'au centre. | REFROIDIES à pouvoir les toucher. | REFROIDIES à la température actuelle. | REFROIDIES à $\frac{1}{24}$ de la température actuelle. |
|---------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| LA TERRE. | | | |
| En 2936 ans. | En 34270 $\frac{1}{2}$ ans. | En 74832 ans. | En 168123 ans. |
| LA LUNE. | | | |
| En 644 ans. | En 7515 ans. | En 16409 ans. | En 72514 ans. |
| MERCURE. | | | |
| En 2127 ans. | En 24813 ans. | En 54192 ans. | En 187765 ans. |
| VÉNUS. | | | |
| En 3596 ans. | En 41969 ans. | En 91643 ans. | En 228540 ans. |
| MARS. | | | |
| En 1130 ans. | En 13034 ans. | En 28538 ans. | En 60326 ans. |
| JUPITER. | | | |
| En 9433 ans. | En 110118 ans. | En 240451 ans. | En 483121 ans. |
| SATELLITES DE JUPITER. | | | |
| 1. ^{er} en 6238 ans. | En 71166 ans. | En 155986 ans. | En 311973 ans. |
| 2. ^d en 5262 ans. | En 61425 ans. | En 135549 ans. | En 271098 ans. |
| 3. ^e en 4788 ans. | En 56651 $\frac{1}{2}$ ans. | En 123700 $\frac{1}{6}$ ans. | En 247401 $\frac{1}{6}$ ans. |
| 4. ^e en 1936 ans. | En 22600 $\frac{1}{2}$ ans. | En 49348 ans. | En 98696 ans. |

| CONSOLIDÉES jusqu'au centre. | REFROIDIES à pouvoir les toucher. | REFROIDIES à la température actuelle. | REFROIDIES à $\frac{1}{24}$ de la température actuelle. |
|---|--------------------------------------|---|---|
| SATURNE. | | | |
| En 5140 ans. | En 59911 ans. | En 130821 ans. | En 262020 ans. |
| ANNEAU DE SATURNE. | | | |
| En 4604 ans. | En 53711 ans. | En 88784 ans. | En 177568 ans. |
| SATELLITES DE SATURNE. | | | |
| 1. ^{er} en 3433 ans. | En 40021 $\frac{2}{27}$ ans. | En 87392 ans. | En 174784 ans. |
| 2. ^d en 3291 ans. | En 38451 $\frac{1}{3}$ ans. | En 83964 ans. | En 167928 ans. |
| 3. ^e en 3182 ans. | En 35878 ans. | En 78329 ans. | En 156658 ans. |
| 4. ^e en 1502 ans. | En 17523 $\frac{1}{3}$ ans. | En 38262 $\frac{1}{2}$ ans. | En 76525 ans. |
| 5. ^e en 421 $\frac{1}{3}$ ans. | En 4916 ans. | En 10739 ans. | En 47558 ans. |

Il y a de la vie sur Mercure, Venus et Saturne et quelques satellites

Il n'y a plus de vie sur la Lune

Il faut attendre 41 000 ans pour voir la vie sur Jupiter

Les époques de la nature (1778)

chronologie

1^{ère} époque : *Lorsque la Terre et les planètes ont pris leur forme*

2^{ème} époque : *Lorsque la matière s'étant consolidée a formé la roche intérieure du globe, ainsi que les grandes masses « vitrescibles » qui sont à sa surface*

3^{ème} époque : *Lorsque les eaux ont couvert nos « Continens »*

4^{ème} époque : *Lorsque les eaux se sont retirées et que les volcans ont commencé d'agir*

5^{ème} époque : *Lorsque les « éléphants » et les autres animaux du midi ont habité les terres du nord*

6^{ème} époque : *Lorsque s'est faite la séparation des continens*

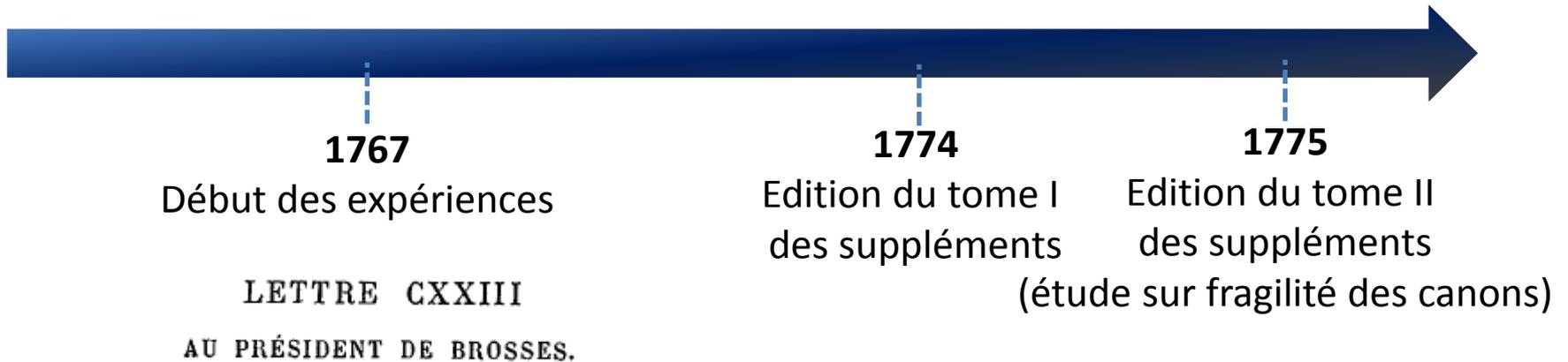
7^{ème} époque : *Lorsque la puissance de l'Homme a secondé celle de la nature*

Apparition de la vie sur Terre vers 35 983 ans après sa formation

8^{ème} époque de M. de Montbelliard :

**O jour heureux qui vis naître Buffon !
Tu feras à jamais chez la race future
Pour les amis du vrai, du beau, de la raison,
Une époque de la nature.**

Chronologie des expériences sur les boulets de fer



Janvier 1768.

... sement d'une forge et d'autres usines de fer que j'ai commencé d'établir à Buffon et à Montbard (1). Je ne pensais pas à cela l'année passée, lorsque vous me fîtes l'honneur d'y venir ; mais m'étant occupé pendant l'été et l'automne d'expériences sur la chaleur (2), et particulièrement sur l'action du feu par rapport au fer (3), je suis venu à bout de faire avec nos plus mauvaises mines de Bourgogne du fer d'aussi bonne et meilleure qualité que celui de Suède et d'Espagne. Cette découverte sera certainement utile à l'État (4), et pour en tirer quelque produit pour moi-même, je me suis déterminé à établir une forge, d'autant que j'ai suffisamment de bois...

(Collection du comte de Brosses.)

BUFFON.

Tome I écrit en 1773

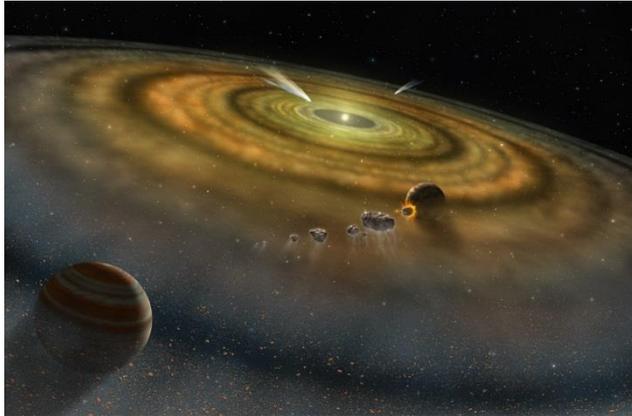
Je borne ici cette suite d'expériences assez longues à faire & fort ennuyeuses à lire ; j'ai cru devoir les donner telles que je les ai faites à plusieurs reprises dans l'espace de six ans : si je m'étois contenté d'en additionner les résultats, j'aurois à la vérité fort abrégé ce Mémoire ; mais on n'auroit pas été en état de les répéter, & c'est cette considération qui m'a fait préférer de donner l'énumération & le détail des expériences mêmes, au lieu d'une

67 expériences
6 ans d'expériences

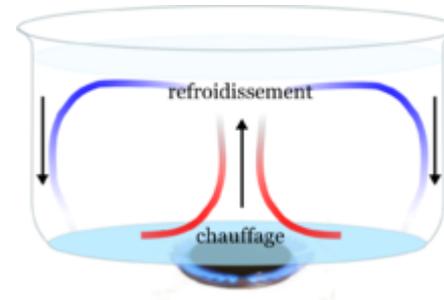
Où ont eu lieu les premières expériences sur les boulets de fer ? Forge de Chameçon ? Aisy sur l'Armençon (chez Rigoley), le bâtiment le Petit-Fontenet (Montbard) ?

Où sont les erreurs de Buffon ?

Modèle moderne de la formation
du système solaire



La méthode de refroidissement
de la Terre : la convection



Les règles de proportionnalité sont limités

$$\frac{A}{B} = \frac{C}{D}$$

Les outils à utiliser sont plutôt
des relations que l'on appelle
les lois d'échelle



Buffon précurseur de l'astrophysique de laboratoire

Lorsque les astrophysiciens se transforment en Buffon moderne

les forges deviennent des lasers de puissance

Concentre toute l'énergie dans un volume 1 mm^3
pendant quelques milliardièmes de seconde

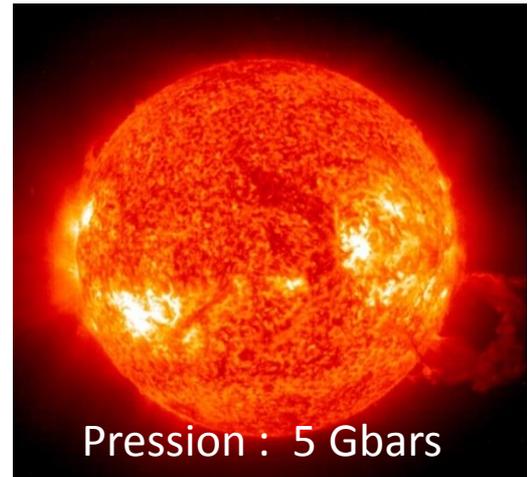


Le Laser Mégajoule (France)

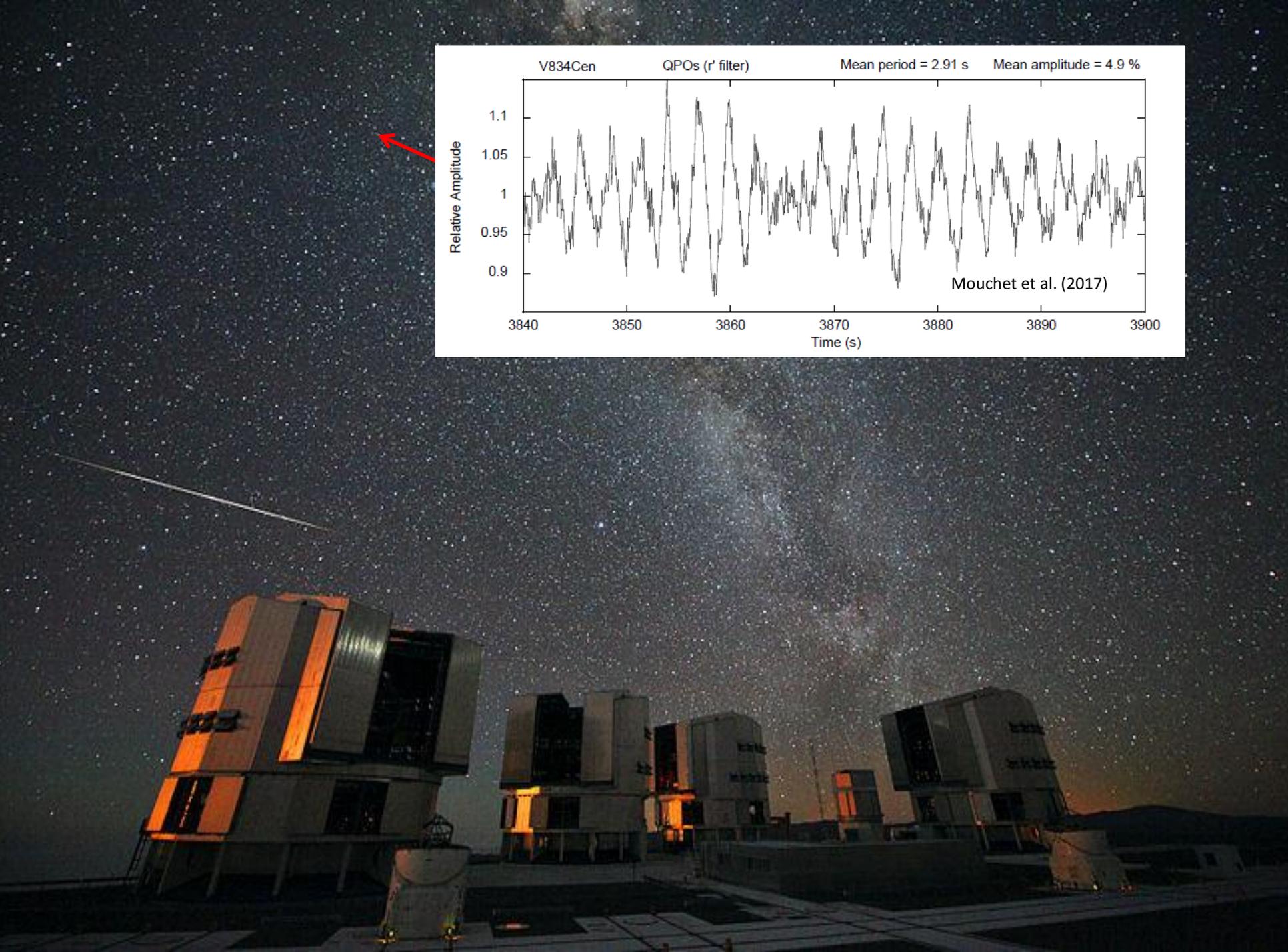
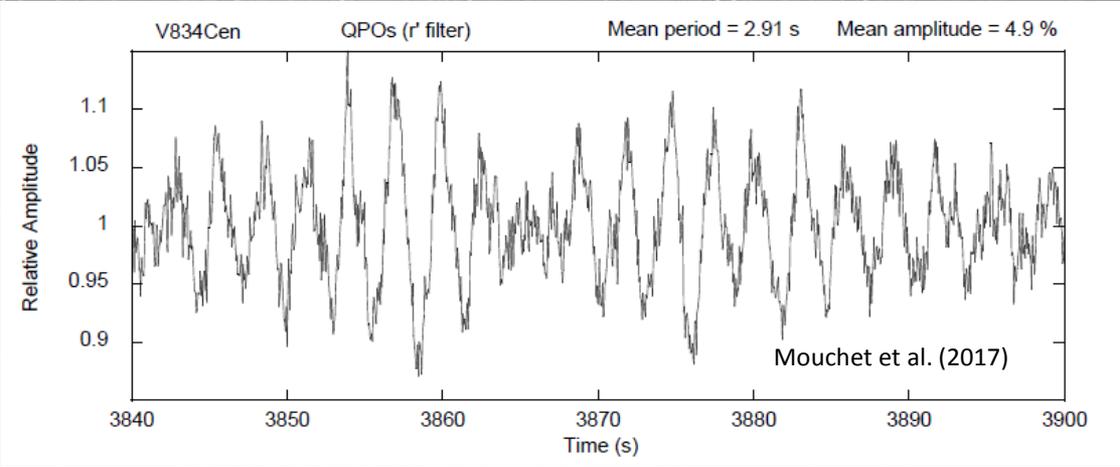
Constitution de l'intérieur
de Jupiter?



Pression : 30 Mbars



Pression : 5 Gbars



We visited the Helix Nebula!



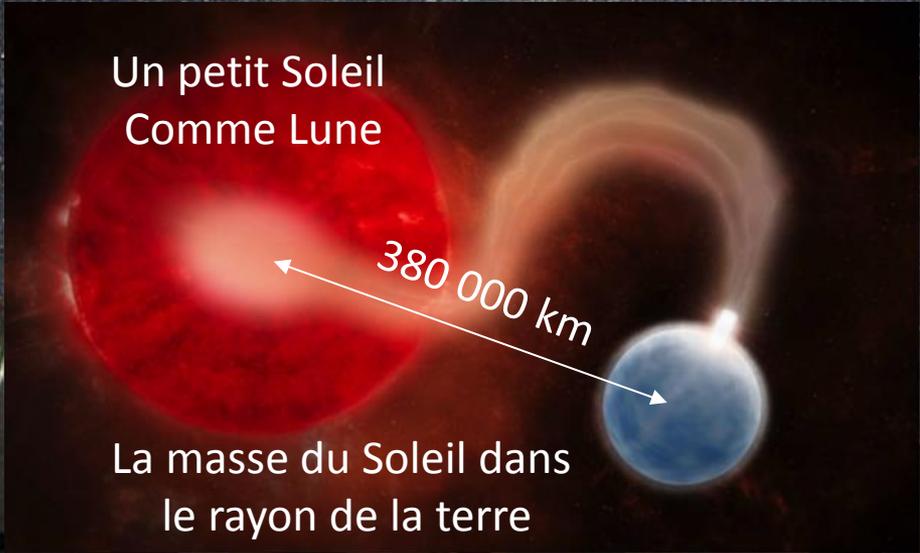
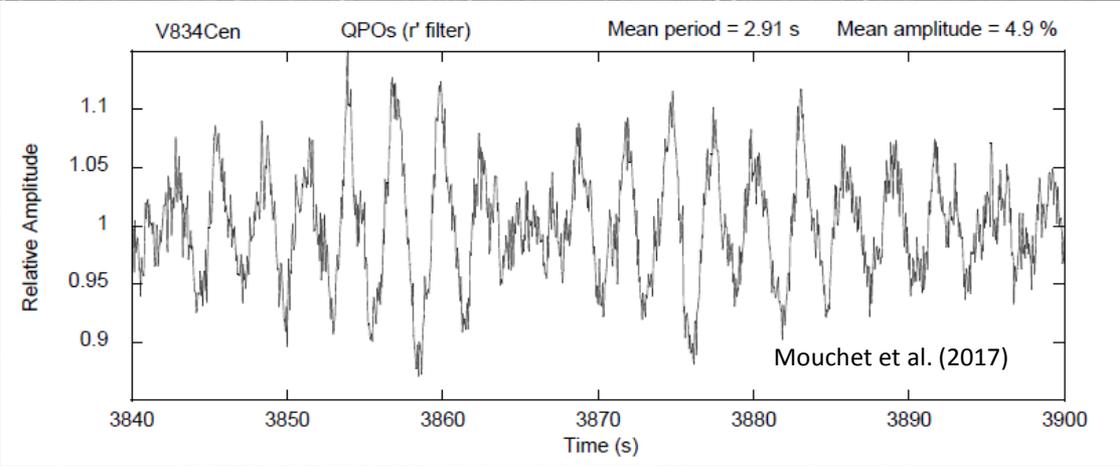
Le groupe STARAcc



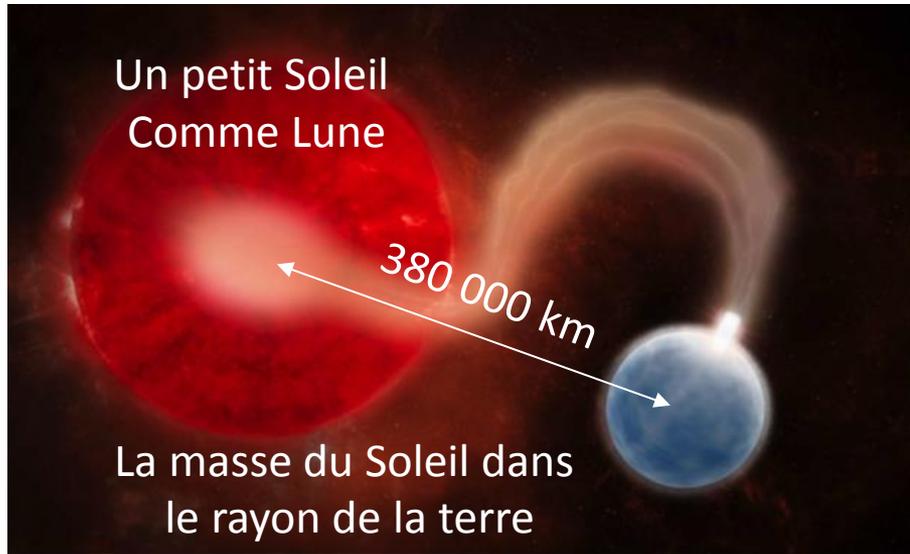
É. Falize

28^{ème} Festival de Fleurance – aout 2018





Des conditions extrêmes aux pôles magnétiques d'un cadavre d'étoiles



La vitesse de chute est 500 fois ($g = 250\,000 \times g_{\text{Terre}}$)
plus importante que sur Terre

Le champ magnétique est 20 millions
de fois celui de la Terre

La vitesse de chute de la matière : 6000 km/s
Paris – New York en 1s !

La matière est chauffée à la
température de 500 000 000 de degrés

É. Falize

28^{ème} Festival de Fleurance – aout 2018

Utiliser les lasers comme des microscopes

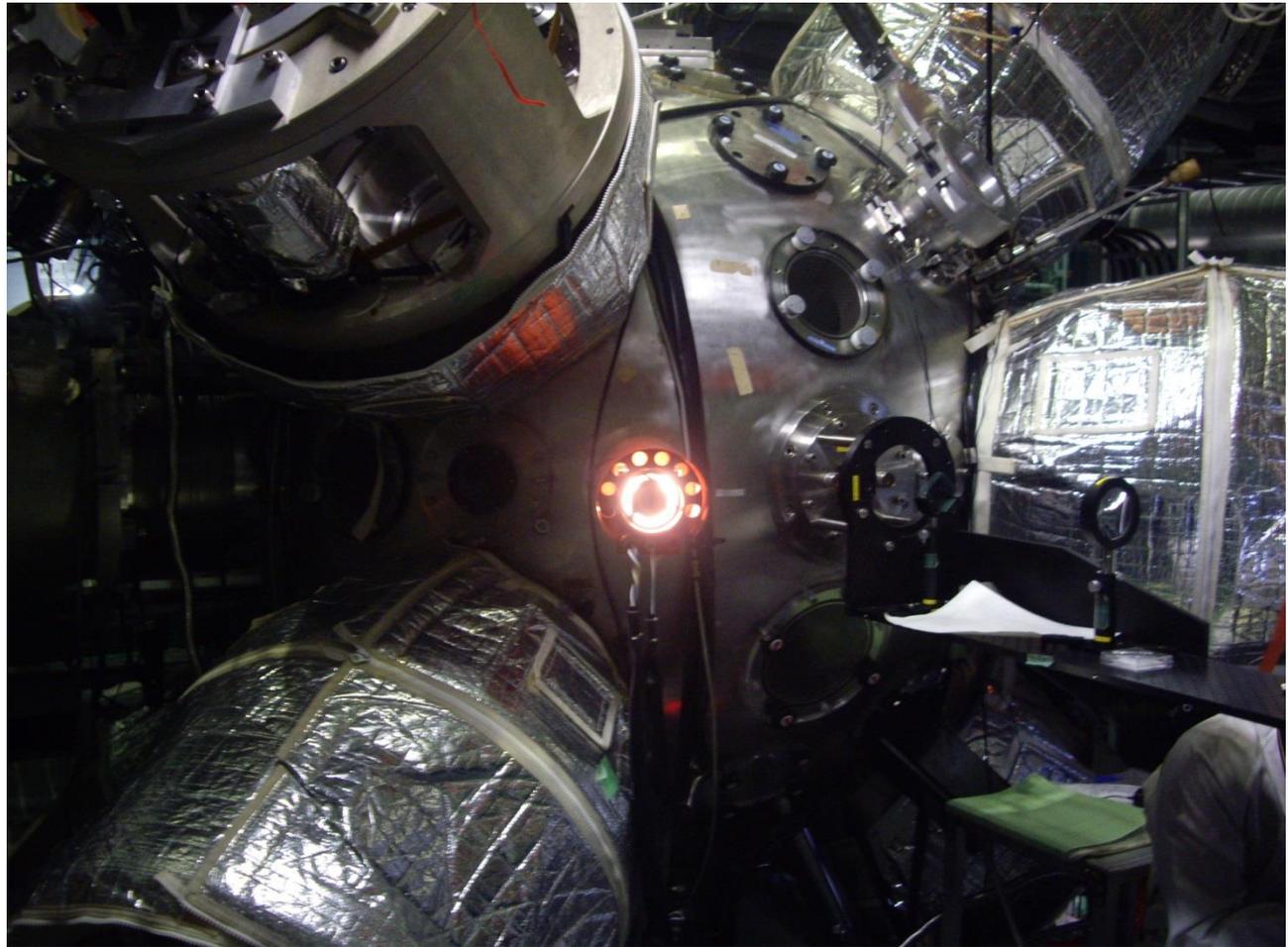
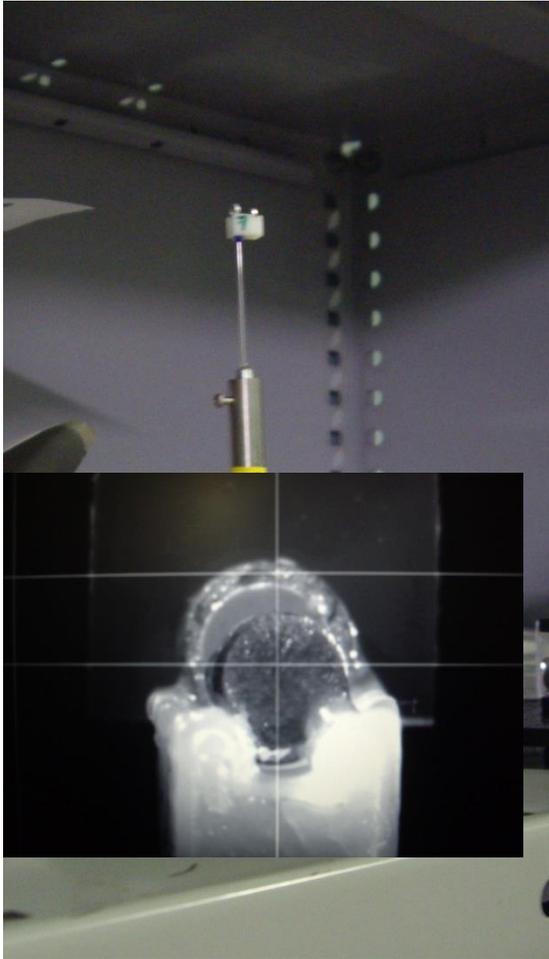
gravitation

laser





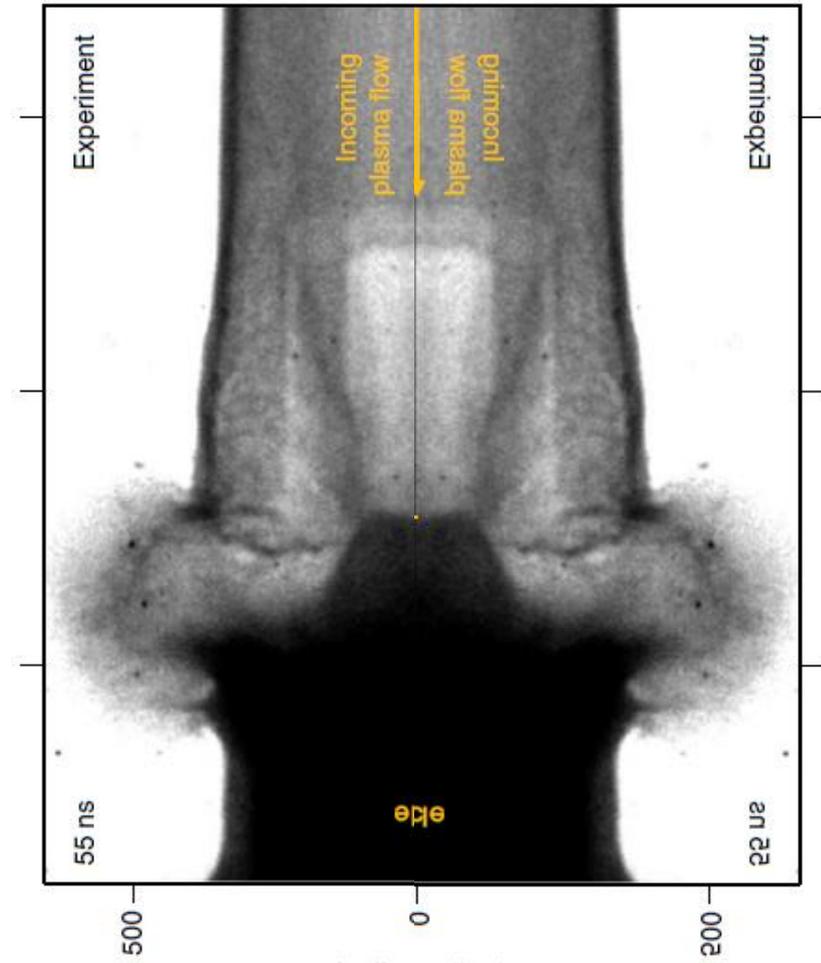
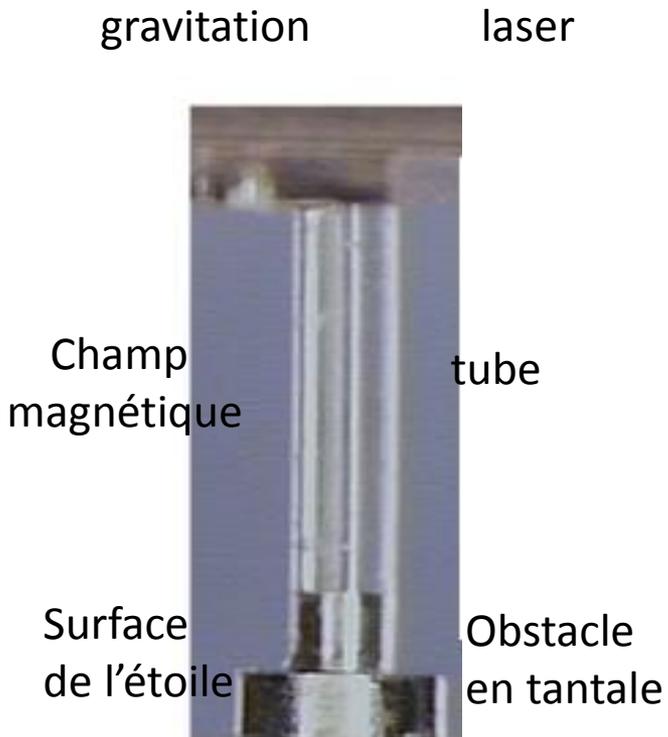
Des conditions extrêmes aux pôles magnétiques d'un cadavre d'étoiles



É. Falize

28^{ème} Festival de Fleurance – aout 2018

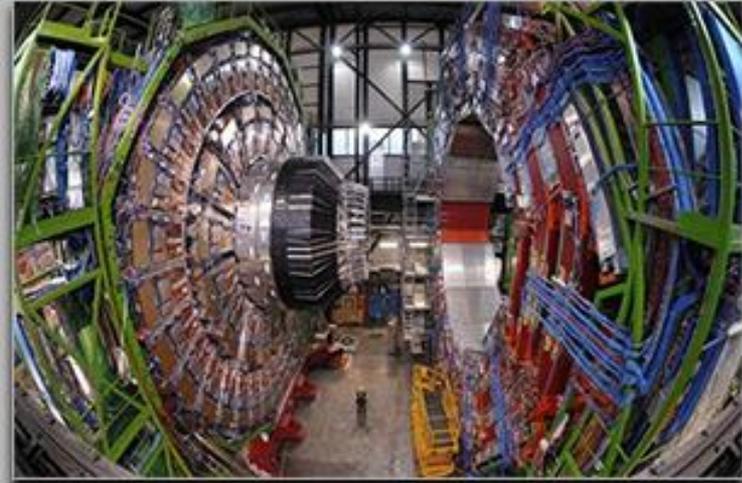
Utiliser les lasers comme des microscopes



MINIATURISER L'UNIVERS EN LABORATOIRE

Vendredi 10 de 9h30 à 11h00 ou 11h30 - Halle Eloi Castaing - Fleurance

L'Univers nous offre un spectacle d'objets fascinants, qui cachent en leur cœur des conditions extrêmes de la matière. Ces environnements restent, toutefois, difficilement observables. L'émergence d'une nouvelle classe d'installations technologiques qui concentrent l'énergie de lasers de puissance, dans des petits volumes et pendant de courts instants, permet de soumettre, au cœur de nos laboratoires, la matière à des conditions extrêmes. Il devient alors possible, pendant quelques milliardièmes de secondes, de créer la maquette du cœur des planètes géantes, de plonger à l'intérieur des étoiles les plus massives ou encore d'étudier les mécanismes d'explosion des étoiles.



Emeric FALIZE



Le seul moyen de connaître est d'expérimenter
G. L. Leclerc Comte de Buffon



É. Falize

28^{ème} Festival de Fleurance – aout 2018