

Missions en cours ou à venir
JUICE

ESA

Juice de l'ESA (european space agency) JUpiter Icy moons Explorer
Lancement le 13 avril 2023
Arrivée en juillet 2031
Fin de mission septembre 2035

L'objectif est d'explorer Jupiter, Europe Ganymède et Callisto.
Fournir des informations sur leur habitabilité
Il ne fait pas partie des cibles principales, car sa proximité avec la planète l'expose davantage à son puissant champ magnétique, augmentant les risques d'endommager les instruments embarqués.

NASA
EUROPA CLIPPER

Lancement en octobre 2024 ?
Arrivée en 2030

Objectif : déterminer s'il existe des endroits sous la surface de la lune glacée Europe qui pourraient abriter la vie.

NASA
EUROPA LANDER

Lancement en novembre 2026 ?

Objectif : poser un engin à la surface d'Europe pour étudier le sol, sa surface et déterminer si son océan d'eau liquide peut abriter des formes de vie.

NASA
DRAGONFLY

envoyer un robot ressemblant à un quadricoptère sur la plus grande lune de Saturne, Titan.
La mission Dragonfly (libellule) décollera en 2026, pour un atterrissage en 2034 sur Titan.
Objectif : étudier Titan *2800kg - Drone autonome*

NASA
ARTEMIS III

Dans un rapport, la GAO s'inquiète des retards pris par SpaceX et Axiom. Selon cette administration, qui est l'équivalent de la Cour des Comptes aux Etats-Unis, il est "peu probable" que la mission Artemis III puisse avoir lieu en 2025. Ils s'attendent à un report en 2027.

Objectif : emmener un équipage sur la Lune

JAXA
MMX JAPAN Martian Moons Exploration

Lancement en 2024 ?

Objectif : étude des lunes de Mars, Phobos et Deimos
Le rover franco-allemand IDEFIX ira explorer la surface de Phobos et prélever des échantillons
Retour sur Terre vers 2029

NASA
TRIDENT

Mission spatiale en 2026 pour l'exploration de Triton potentiellement habitable et un unique survol en 2038

Les lunes du système solaire

Pour se resituer :

Le système solaire interne avec les planètes et les lunes telluriques (roches) Mercure, Vénus, la Terre, Mars.

La ceinture d'astéroïdes et ligne des glaces. Dans le système solaire externe vont se former les lunes glacées autour des géantes gazeuses Jupiter et Saturne. Autour des géantes de glace Uranus et Neptune. Dans la ceinture de Kuiper les planètes naines avec Pluton

Une lune (latin briller, éclairer) est un satellite (latin compagnon) naturel qui tourne autour des planètes, planètes naines et petits corps. Par analogie avec la ^(astéroïdes) Lune. Naturel car pas d'origine humaine.

L'usage est de parler d'un satellite lorsque le centre de gravité du système, le barycentre, est à l'intérieur de la planète et de parler d'objet double lorsqu'il est à l'extérieur.

Satellite régulier : Possède une orbite prograde relativement proche, une faible inclinaison orbitale, une faible excentricité orbitale, supposé s'être formé autour de l'objet primaire.

Satellite irrégulier : décrit une orbite distante, inclinée, souvent rétrograde, provenant de la périphérie. Phoebe (Saturne)

DESIGNATION PROVISOIRE : (slide)

S/2004 N 1 S = satellite. 2004 = année de la découverte. N = Neptune. 1 = premier satellite de Neptune découvert en 2004. Baptisé Hippocampe le 20 février 2019. (découverte en 2013 sur des photos)

S/2000 J 11 = 11^è satellite de Jupiter découvert en 2000. Nommé Dia le 7 mars 2015

S/1986 U 10 10^è satellite d'Uranus découvert en 1986. Baptisé Perdita en 2005

Lunes des planètes naines :

S/2015 (136472) 1 = Premier satellite de Makémaké découvert en 2015. Surnommé MK 2

Les lunes des astéroïdes :

S/1998 (45) 1 = le premier satellite de l'astéroïde (45) Eugénie a avoir été découvert en 1998. Baptisé « Petit Prince » en l'honneur du fils de l'impératrice Eugénie.

Combien de lunes dans le système solaire : Beaucoup ! (slide)

Dans le système interne du système solaire : 3 satellites telluriques

TERRRE : 1

MARS : 2

Pas de satellite autour de MERCURE et MARS

Mercury est si proche du Soleil qu'elle ne serait pas capable de retenir sa propre lune. Si elle en possédait une cet astre risquerait de heurter la planète ou de se mettre en orbite autour du Soleil vers lequel il serait attiré

Vénus l'absence de lune intrigue la communauté scientifique. Vénus aurait possédé une lune qui se serait écrasée sur la planète

Après Mars on arrive au niveau de la ligne des glaces, de la ceinture d'astéroïdes et du système externe du système solaire où se forment les lunes glacées. Dans le système interne il fait trop chaud pour que les lunes restent glacées.

JUPITER : le 22 février 2023 95 satellites dont 92 confirmés (avec les 4 galiléens : Io, Europe, Ganymède, Callisto)

SATURNE le 8 août 2023 on a 146 dont 144 confirmés (+ env. 150 lunes mineures à hélice) ;

Une lune mineure désigne un petit satellite : 2 types : des objets enchâssés dans un anneau planétaire comme les satellites à hélices des anneaux A,B,F de Saturne

l'astéroïde (87) Sylvia : Romulus et Rémus
des lunes astéroïdales comme celles de

On appelle « satellites à hélices » (on trouve aussi « anneaux à hélices ») des satellites dont l'influence gravitationnelle perturbe l'anneau environnant et y crée des zones vides en forme d'hélice à 2 pales ou en spirale.

URANUS 27

NEPTUNE 14

9 lunes orbitent autour de planètes naines

PLUTON (134340) 5

HAUMEA (136108) 2

MAKEMAKE (136472) 1

ERIS (136199) 1

Plus de 400 autour d'astéroïdes et autres petits corps du système solaire.

Formation des lunes

Par capture : Après la formation de système solaire, le champ gravitationnel de la planète va capturer des astéroïdes ou des comètes. On suppose que les lunes rétrogrades ont été formées par capture (sens inverse de la planète ; Phobé (Saturne,) Triton (Neptune))

Par accrétion : Lors de la formation d'une planète dans un disque protoplanétaire on retrouve des morceaux de roches, des poussières de glace et des gaz tourbillonnants en forme de disque autour de la planète. Les débris de roches s'agglutinent jusqu'à devenir une sphère et reste en orbite. On suppose que les satellites naturels relativement proches d'une planète sur une orbite prograde (dans le même sens que la planète) se sont formés dans la même région du disque protoplanétaire à l'origine de la planète

Par collision : Impact avec des astéroïdes de grandes tailles ou de protoplanète

LA LIMITE DE ROCHE c'est la distance théorique en dessous de laquelle un satellite commencerait à se disloquer sous l'action des forces de marée causée par le corps céleste autour duquel il orbite, ces forces dépassant la cohésion interne du satellite. ($2,42 \times$ le rayon de la planète)

Rotation synchrone

La plupart des satellites naturels proches sont en rotation synchrone avec la corps autour duquel il tourne ce qui signifie qu'ils tournent sur eux-même en autant de temps qu'ils effectuent une révolution complète autour de la planète et présentent ainsi toujours la même face vers la planète. Sauf Phobé (S), Hypéion chaotique (S)

LA LUNE

I Satellite naturel tellurique

La Lune est notre satellite, le barycentre du système Terre-Lune se trouve à l'intérieur de la Terre à environ 1600km de profondeur.

Lune s'éloigne de la Terre de 3,8 cm /an. Un jour le barycentre se trouvera hors de la Terre et le système deviendra un système binaire.

La gravité sur la Lune correspond à 1/6^è de celle de la Terre. Un homme de 80kg sur Terre pèse 13kg sur la Lune.

II Formation

La publication américaine du 23 octobre 2023 donne l'âge de la Lune : 4,46 milliards d'années c'est à dire 35 millions d'années plus vieux par rapport à la précédente estimation.

Il y a plusieurs théories sur sa formation :

La plus connue est la collision d'une protoplanète appelée Théïa et la Terre. L'impact aurait envoyé des milliards de tonnes de débris dans l'espace qui produit un grand disque dans lequel se serait formée la Lune.

Mais cette théorie présente une faille. Car les prélèvements de roches lunaires montrent que sa composition est très analogue à celle de la Terre comme 2 mondes jumeaux.

La composition de chaque planète provient de différents types d'éléments chimiques selon l'endroit où elles se sont formées. Chacune possède des ingrédients bien à elle comme une sorte de signature.

Il semble logique que la planète Théïa en formation ait une composition différente de la Terre quand elle a percuté la Terre. C'est Théïa qui a subit les plus gros dégâts, c'est donc d'elle que devraient provenir les ingrédients dont la Lune est faite. Hors ce n'est pas le cas, les éléments qui composent la Lune sont très similaires à ceux de la Terre.

Selon de nouvelles recherches, l'énergie de la collision engendre une onde de choc qui se propage à travers les 2 objets. Cette onde de choc est suffisamment puissante pour faire fondre et vaporiser les 2 corps. On sait aujourd'hui que les

impacts géants créent des objets astronomiques appelés : **Synestia**

La Lune

Une synestia est un anneau de roches vaporisées fondues tourbillonnant sur lui-même pendant des centaines d'années avec à l'intérieur des restes de Théia et de la Terre, tout se mélange, est intimement lié, peu à peu la synestia se refroidit et rétrécit. La matière vaporisée se condense d'abord en un liquide puis en roches solides. La Terre commence à se reformer et il y avait à la périphérie de cet amas assez de matière pour donner naissance à la Lune.

III Taille

3476 km de diamètre

Elle est énorme en comparaison aux autres satellites par rapport à leur planète Ex Ganymède la plus grosse lune du système solaire est 26 fois plus petite que sa planète Jupiter. Notre Lune est 4 fois plus petite que la Terre

IV Distance

A 384 000 km de la Terre (30 Terres)

Fait le tour de la Terre en 27,3 jours à la vitesse de 3683 km/h (1km/s) et tourne sur elle-même à la vitesse de 16,65 km/h
1 jour lunaire = 27 jours sur Terre

Elle est en rotation synchrone, montre toujours la même face, due aux frottements créés par les forces de marée de la Terre sur la Lune qui a ralenti sa rotation jusqu'au verrouillage gravitationnel
c'est à dire que sa période de rotation coïncide avec sa période de révolution.

Composition et structure

La Lune est un corps différencié c'est à dire qui présente plusieurs couches : *densité*

- un noyau de fer, soufre, nickel ne fait que 240 km de rayon
- des roches partiellement fondues
- un manteau
- une croûte

A la surface on distingue des zones claires = les terrae (reliefs)

zones foncées = les mers constituées de lave figée

des cratères d'impact bien conservés car il n'y a pas

d'atmosphère donc pas de conditions météorologiques pour créer de l'érosion. Si vous criez sur la Lune personne ne vous entendra.

La principale cause d'érosion sur la Lune sont des micro impacteurs qui s'abattent à une vitesse de plusieurs milliers de km/h et broient les roches lunaires jusqu'à donner une fine poussière = le régolite. Texture ressemblant à de la neige et un parfum ressemblant à la poudre noire.

En août 2023 le robot indien Prayan a fait une analyse in situ de la composition chimique de la surface lunaire proche du pôle sud. Les mesures révèlent la présence de soufre, aluminium, calcium, fer, chrome, titane, manganèse, silicium, oxygène.

Température : moyenne de +127°C et - 173°C

On a trouvé de l'eau glacée au fond de certains cratères.

VI Champ magnétique

Quand la Lune s'est refroidie cela a donné un coup d'arrêt à son volcanisme et à la production de son champ magnétique. En 2017 en réexaminant des roches lunaires on a découvert la trace d'un champ magnétique vieux de 1 milliard d'années alors qu'il aurait dû avoir disparu il y a 3 milliards d'années. Au début de sa formation la Lune orbite à 19 000 km de la Terre (aujourd'hui 284000km). Elle est si proche de la Terre que la force d'attraction de la Terre peut l'étirer, la déformer, la distorsion interne des roches créée des frottements source de chaleur et aussi prolonger son champ magnétique. A mesure que le Lune s'éloigne, la chaleur dégagée par les frottements diminue et le noyau se refroidit, le champ magnétique semblable à celui de la Terre disparaît.

VII Les phases de la Lune

La régularité de son cycle a servi de référence et d'influence culturelle aux sociétés humaines depuis la nuit des temps. Paysans, religieux, voyageurs mesuraient le temps en observant les phases de la Lune. Il a été abandonné car trop compliqué. De nos jours le calendrier lunaire est toujours en usage dans les religions juive, copte et musulmane. + *chrétienne ; Pâques*

Une nouvelle lune tous les 29,5 jours

- 8 phases
- nouvelle Lune
 - 1er croissant
 - 1er quartier
 - gibbeuse croissante (bossue)
 - pleine Lune
 - gibbeuse décroissante
 - dernier quartier
 - dernier croissant

Gibbeuse quand la Lune a plus de la moitié mais pas la totalité du disque apparent éclairé.
Pour connaître les phases se référer au calendrier solaire

Ne pas confondre les phases avec Lune montante ou croissante et Lune descendante, qui correspondent à la position de la Lune par rapport à l'horizon. Consultez votre jardinier.

VIII La Lune tremble et rétrécit

Les astronautes ont laissé des sismomètres qui ont montré que la Lune tremble. Des tremblements qui peuvent durer 10mn mesurant jusqu'à 5 (/9) sur l'échelle de Richter.

Le moindre petit bout de roche qui tombe à la surface crée une onde de choc détectée par les sismomètres car il n'y a pas d'atmosphère pour le ralentir. Mais ils ont détecté des vibrations qui ne venaient pas d'astéroïdes.

On a remarqué que ces séismes donnaient naissance à des escarpements lobés qui sont des failles dans la croûte qui se forment quand 2 parties se rejoignent et que l'une passe par dessus l'autre. Ces escarpements peuvent être longs de dizaines de kilomètres et hauts de plusieurs centaines de mètres. La Lune ne possède pas de plaques tectoniques comme sur Terre pour créer des tremblements de Lune. Et bien il se trouve que la Lune rétrécit à mesure qu'elle se refroidit. Un corps qui se refroidit se contracte. La Lune s'est rétrécie d'environ 100m au cours des derniers milliards d'années. En 2019 on voit que la mer Frigoris se craquelle se déplace.

La Lune se refroidit par l'intérieur qui diminue de volume et l'extérieur se craquelle (comme une pomme).

IX Influences lunaires

A l'origine des marées Son influence gravitationnelle sur la Terre produit les marées océaniques, les marées terrestres qui étirent la Terre vers la Lune d'une trentaine de centimètres. à 50cm

Stabilise l'axe de la Terre qui nous permet d'avoir des saisons

Sélénotropisme ; l'influence sur un végétal ou un animal sous l'action de la

lumière de la Lune par exemple vis à vis des vers palolo dans le Pacifique ou le zooplancton en Arctique. *2 types d'huîtres dans le bassin d'Arcachon*

agissent différemment selon les phases de la Lune

X Lune habitée ?

La cryptobiose



Les tardigrades ont la capacité de rentrer en cryptobiose, qui est un état d'anabiose, lorsqu'ils sont soumis à des conditions de vie extrêmes, afin de se protéger. Ils déshydratent presque totalement leur organisme (perte de plus de 99 % de leur eau), remplaçant l'eau à l'intérieur de leurs cellules par un sucre non réducteur qu'ils synthétisent, le tréhalose. Il a un rôle d'antigel, en congelant les tissus, qui sauvegarde les structures cellulaires. Pour compléter la protection, ils rétractent leurs huit pattes et s'entourent d'une petite boule de cire microscopique. Ils se transforment entre autre en *Belle aux bois dormant* et s'endorment pour un long sommeil.

Lors du retour à des conditions dites normales, l'animal redevient actif de quelques minutes à quelques heures.

En 2019 une sonde contenant des tardigrades en état de cryptobiose s'est écrasée sur la Lune en état . Certains pensent qu'il y a des survivants.

PHOBOS DEIMOS les 2 lunes de Mars

Ce sont les jumeaux qu'Arès (nom grec du dieu romain Mars, dieu de la guerre) eut avec Aphrodite.

On a longtemps pensé que les 2 satellites telluriques de Mars pouvaient venir de la ceinture d'astéroïdes et avoir été capturés par la planète. Dans ce scénario de capture il y a un problème. Si un astéroïde passe dans le voisinage de Mars il va se mettre sur une orbite à peu près quelconque (par le haut, le bas, polaire, équatoriale..). Et là quand on regarde les orbites de Deimos et Phobos, ils sont tous les 2 exactement sur le même plan équatorial de Mars, c'est difficile d'expliquer par quelle extraordinaire coïncidence 2 objets capturés au hasard se retrouvent exactement au même endroit sur le plan orbital. Et qui sont en rotation synchrone avec Mars.

L'hypothèse aujourd'hui privilégiée est que Mars a connu un sort semblable à la Terre avec un impacteur beaucoup plus petit que Théia et suivie de la formation d'un disque de débris qui donna naissance aux 2 satellites de forme patateïde.

En 2021 autre théorie : Au départ Deimos et Phobos auraient été une seule lune qui aurait été brisée en 2 ; phénomène de dédoublement.

On espère avoir des réponses sur la formation et la composition des 2 lunes de Mars en 2024 . Une mission japonaise MMX Japan va étudier les 2 satellites, se poser sur Phobos et rapporter des échantillons. *Astronomie franco-allemande :*

Index

Si ces 2 lunes sont nées d'un même événement, elles n'ont pas grand chose d'autre en commun, les chemins qu'elles empruntent sont bien différents.

Deimos s'éloigne de sa planète comme notre Lune alors que Phobos s'en rapproche et sera détruit.

PHOBOS ou Mars I

Corps irrégulier 27x21,6x18,8 km Diamètre moyen 22 km
27 km de large

Voyage à 6000km de la surface martienne

Phobos

Vitesse orbitale 7700km/h

Révolution autour de Mars 8hrs (slide)

Température à la surface entre -123°C et +27°C

C'est le satellite du système solaire le plus proche de sa planète.

En orbite sous synchrone : sa période de révolution de 8hrs est inférieure à la période de rotation de 24hrs de Mars

C'est le satellite qui fournit de l'énergie à la planète, perd de l'énergie et donc s'en approche lentement.

Première hypothèse du destin de Phobos :

Les forces de marée exercées par la planète ralentissent lentement le satellite qui peu à peu perd de l'altitude et finira par s'écraser. Il s'en approche de 1,8 mètre tous les 100 ans

Autre hypothèse : en s'approchant de Mars il va rencontrer la limite de Roche et les forces de marée vont rompre le satellite en 100 à 1000hrs. Lorsque la rupture se produira les fragments continueront à tourner autour de Mars en formant un anneau.

RESUME : Phobos s'éloigne de Mars d'environ 1,8 cm tous les 100 ans. A ce rythme, dans 50 millions d'années il s'écrasera sur la surface de Mars ou explosera en anneau quand il rencontrera la limite de Roche.

Phobos est recouvert de régolite d'1 mètre d'épaisseur et parsemé de balafres et de cratères dont le plus connu est le cratère Stickney du nom de jeune fille de l'épouse du découvreur américain Asaph Hall le 18 août 1877. Le cratère de 9,5 km de diamètre (slide).

On pense que le régolite provient d'impacts avec d'autres corps mais on ne sait pas comment il peut adhérer à un objet ne possédant quasiment pas de gravité. Peut-être l'adhérence est elle électrostatique.

DEIMOS ou MARS II

Corps irrégulier 15x12x10 km
Diamètre moyen 12km
15 km de large

Révolution autour de Mars 30hrs (comme la Lune **orbite super synchrone** c'est à dire que le satellite met plus de temps à faire une révolution que ne met la planète à faire une rotation. Mars 24hrs).

Température de surface env 233K = -40°C
Convertir K en °C = $K - 273$ ($233K - 273 = -40^\circ \text{ celsius}$)
Convertir °C en Kelvin = $^\circ\text{C} + 273$ ($100^\circ\text{C} + 273 = 373K$)

Deux fois plus petite que Phobos
Deimos s'éloigne et finira par quitter l'orbite de Mars

En rotation synchrone

Asaph Hall a découvert cette lune 6 jours avant Phobos.

La surface de Deimos est sombre, d'une couleur noire rougeâtre, recouverte d'une couche de régolite d'environ 100m.

Seuls 2 de ses cratères ont été nommés Swift et Voltaire

Cratère Voltaire 2 à 3km de diamètre
Cratère Swift 1 à 3 km de diamètre

Le cratère Swift a été nommé d'après Jonathan Swift auteur du roman « Les voyages de Gulliver » publié en 1726 dans lequel il imaginait que Mars pouvait avoir 2 lunes.

Le cratère Voltaire en hommage à Voltaire qui lui aussi a imaginé 2 lunes autour de Mars dans son roman « Micromégas » publié en 1752 et raconte l'histoire de 2 voyageurs cosmiques, Micromégas un géant de Sirius et son compagnon de voyage, un habitant de Saturne.

« Légende ? » : Galilée (1564-1642) correspondait en message codé avec Kepler (astronome allemand 1571-1630) . (Inquisition... Giordano Bruno, bûcher en 1600...Et il voulait garder ses découvertes...) En 1610 Galilée a Deimos

Deimos

déjà découvert les lunes de Jupiter quand il envoio un message codé à Kepler qui l'interprète mal et en déduit que Mars à 2 satellites. Pour Kepler c'est cohérent : la Terre 1 – Mars 2 – Jupiter 4 – Saturne 8.

Swift aurait eu connaissance des conclusions de Kepler. Il a même essayé de donner la période de rotation et la distance des 2 satellites par rapport à la planète. Mais ses calculs sont inexactes.

Les 4 lunes galiléennes

IO

Maintenant nous allons traverser le ligne des glaces, la ceinture d'astéroïdes pour arriver dans le voisinage de Jupiter là où commencent les lunes de glace.

Sur les 95 satellites de Jupiter recensés je ne parlerai que des 4 les plus connus Io, Europe, Ganymède, Callisto découverts par Galilée en 1610.

Ces 4 lunes se seraient formées à partir de matériaux laissés en orbite autour de Jupiter après la création de cette planète avec laquelle elles sont en rotation synchrone.

Europe, Ganymède et Callisto possèdent un disque de débris sous forme d'anneau de grains de poussières, découvert en 1999. (Wikipedia « anneau planétaire »)

Elles interagissent avec le champ magnétique de Jupiter, ce qui accentue les aurores polaires de la planète.

On a mis en évidence des aurores alors que Io n'a pas de champ magnétique propre, par conséquent les électrons voyageant dans le champ magnétique de Jupiter proche d'Io atteignent directement l'atmosphère du satellite. Ainsi plus d'électrons entrent en contact avec l'atmosphère, produisant des aurores.

Io est la lune la plus proche de Jupiter, un peu plus grosse que notre Lune. Sa température de surface peut aller de 1650°C (Jove) et -183°C

On ne voit pas de cratères d'impact ce qui suggère que sa surface se modifie en permanence.

Alors que Io devrait être une lune gelée on découvre plus de 400 volcans actifs dont les éruptions sont phénoménales. Les panaches de soufre du Mont Pelé qui peuvent atteindre 300 km de haut à 360km/h retombent en pluie recouvrant ainsi le paysage de composés chimiques qui colorent la surface de jaune, rouge, blanc, noir et vert. C'est la plus volcanique du système solaire.

Cette activité volcanique est due principalement aux effets de marées de Jupiter qui peuvent déformer la planète de 100m, Europe et Ganymède. Io est tiraillée, repoussée, malaxée, ce qui engendre de la chaleur à l'intérieur du satellite riche en soufre d'où la formation d'un magma en fusion et

entrent en éruption à sa surface.

IO

>L'atmosphère de Io est extrêmement mince, le gaz de l'atmosphère est emporté par la magnétosphère de Jupiter. Environ 1 tonne de gaz est retirée de l'atmosphère chaque seconde. Les panaches volcaniques envoient 104 kg de dioxyde de soufre dans l'atmosphère de Io environ toutes les secondes.

Sa surface est également parsemée de plus de 100 montagnes d'une hauteur moyenne allant de 6km à 18km (le mont Everest 8,8km, Himalaya) avec une étendue moyenne de 157km de long. Presque toutes ces montagnes sont des structures tectoniques et ne sont pas produites par les volcans.

EUROPE

La seconde lune en partant de Jupiter est Europe. Europe est la plus petite des lunes galiléennes, plus petite que notre Lune.

Elle apparaît comme une boule blanche et lisse (la plus lisse du système solaire) avec un **albedo** de 0,67 (pouvoir réfléchissant d'une surface ; Valeur comprise entre 0 et 1. Corps noir qui absorbe toutes les longueurs d'onde = 0

Miroir qui réfléchit toutes les longueurs d'onde = 1) .

Sa surface est striée de craquelures, de rayures et comporte peu de cratères d'impact.

Elle possède une très mince atmosphère composée principalement de dioxyde d'oxygène.

C'est un corps différencié c'est à dire organisé en couches de différentes densités : un noyau de fer et nickel, un manteau rocheux, un océan liquide d'eau salée et une croûte de glace dure comme du granite. A sa surface on voit des stries sombres appelées lineae qui prennent l'allure d'un vaste réseau de fractures, fossés ou sillons entremêlés autour desquels s'accumulent parfois des sulfates de magnésium, sodium et/ou de l'acide sulfurique.

2 chercheurs français Ludovic Petitdemange et Christophe Gissinger ont montré que le champ magnétique de Jupiter provoque des flux d'eau salée sous la coquille de glace d'Europe, qui vont dans le sens contraire de la rotation du satellite (rétrograde) toujours dirigés vers l'ouest et ces mouvements antagonistes produiraient un effet de torsion sur la croûte de glace qui pourrait contribuer à la formation des mystérieuses fissures et crêtes observées à la surface de la lune près de l'équateur.

L'océan liquide salé d'un profondeur d'environ 100km serait maintenu liquide grâce à la chaleur produite par le réchauffement des effets de marée créée par l'orbite légèrement excentrique d'Europe et le résonance orbitale de Io et Ganymède.

En plus du réchauffement par effet de marée, l'intérieur d'Europe pourrait être également chauffé par la désintégration de substances radioactives à l'intérieur du manteau rocheux.

Europe

On a pu voir à la surface d'Europe des panaches de vapeur s'élevant à 200km produit par un geyser en éruption près de son pôle sud.

Outre la chaleur émise par les effets de marée on suppose qu'il y aurait au niveau du plancher océanique une production hydrothermale semblable aux cheminées dans l'Atlantique ou le pacifique entre 1700 et 2500 m de profondeur qui crachent des fluides riches en minéraux, en gaz à 300°C et plus. Bien que les rayons du soleil n'atteignent pas ces profondeurs et que la pression y soit importante, on y a découvert d'importantes colonies d'animaux, de bactéries vivant dans cet environnement extrêmement hostile.

Aujourd'hui il n'y a aucune preuve que la vie existe sur Europe, elle reste l'un des emplacements les plus probables du système solaire pour l'existence d'une vie extraterrestre.

Des astronomes utilisant le télescope spatial James Webb pour étudier Europe ont fait une **découverte étonnante : des traces de dioxyde de carbone à la surface de la lune !** Cette découverte est passionnante, car on pense que le carbone est essentiel à la vie. Le fait de trouver du dioxyde de carbone ne signifie pas que la vie a été découverte, mais c'est un signe qu'il pourrait y avoir de la vie.

Le dioxyde de carbone ne reste pas très longtemps à la surface de la lune, il a donc dû y être acheminé très récemment - mais comment ? Le carbone a été détecté dans une zone appelée Taro Regio, où la glace de surface semble relativement fraîche. C'est un indice que l'eau de l'océan secret a réussi à percer la croûte lunaire, peut-être par des fissures, et à se frayer un chemin jusqu'à la surface. Le carbone provient donc probablement de l'océan. Cette hypothèse est corroborée par les observations de Taro Regio effectuées par le télescope spatial Hubble, qui montrent la présence de sel océanique à la surface.

Cette découverte est particulièrement intéressante, car il serait extrêmement difficile de forer la croûte glacée pour explorer l'océan. Si des échantillons de l'océan sont projetés hors de la glace et sur Taro Regio, comme cela semble être le cas, il nous sera alors plus facile de les étudier.

GANYMEDE

Plus grosse lune galiléenne et du système solaire avec 5268 km de diamètre
Plus grosse que Mercure mais avec la moitié de sa masse.

Albédo : 0,43

Température -123°C à -193°C (moyenne -158°C ou +273,15= 431,15K)

Ganymède est le graal pour JUICE (JUperiter ICy moons Explorer) car Ganymède a tous les ingrédients pour être « habitable », elle a une orbite stable, son propre champ magnétique qui la protège un peu de la magnétosphère de Jupiter, des CHNOPS (carbone, hydrogène, azote, oxygène, phosphore, soufre) principaux éléments constitutifs de la vie, des composés organiques

La surface de Ganymède est majoritairement composée d'eau glacée qui contient des sels minéraux comme le chlorure d'ammonium, le bicarbonate de sodium ou le chlorure de sodium (ex sel de table). La distribution de ces composés sont principalement détectés dans la région équatoriale, dans une zone protégée du champ magnétique de Jupiter, leurs origines est donc endogènes. Les sels à la surface proviendraient de son océan liquide et pourrait indiquer la présence d'une activité hydrothermale dans les profondeurs.

De l'eau liquide, une fine atmosphère composée en majeure partie d'oxygène, de dioxygène d'ozone O₃, d'hydrogène atomique.
Atmosphère et champ magnétique donnent des aurores

Une couche d'ozone, résultat des ions du champ magnétique de Jupiter avec la surface gelée. Les molécules d'eau gelée se dissocient en hydrogène et en oxygène. Les molécules se couplent 3x3 pour former de l'ozone O₃. Cette atmosphère de gaz d'hydrogène et d'ozone est très ténue. (l'électrolyse de l'eau est le procédé qui à l'aide d'un courant électrique permet la séparation de la molécule en 2 éléments).

Rotation 7 jours et 3hrs terrestres

Surface 1/3 région sombre criblée de cratères d'impacts et âgée de 4 milliards d'années (système solaire 4,6 milliards d'années/Terre 4,5 milliards d'années). Avec 6 régions (Marius regio 4940 km de diamètre, Galileo regio 4439 km Ø, Melotte regio 4100 km Ø, Nicholson regio 3900

Ganymède

km Ø, Perrine regio 3800 km Ø, Barnard regio 3200 km Ø)

Ganimède

2/3 de régions plus claires recoupées par de larges rainures à peine plus jeunes

Nicholson Regio (sombre) et Harpagia sulcus (claire) (slide!)

Les cratères sont peu élevés et comme adoucis, à tels point qu'ils sont presque effacés et recouverts d'autres cratères, formant des palimpsestes (sur une lune glacée du système solaire un palimpseste est un cratère dont le relief a disparu en raison de la déformation de la surface ou des épanchements cryovolcaniques ultérieurs laissant une caractéristique d'albédo circulaire) *Grattage des pavements.*

Memphis facula sur Ganymède est un palimpseste de 361 km de diamètre (facula : point lumineux)

La glace fraîche éjectée du cratère d'impact relativement récent Osiris a créé des rayures brillantes au sud 107 km Ø
Cratères blancs rayés sont Tros (N.E) et Cisti (S.O)

Catena de Terah : chaîne de cratères d'impacts 283 km Ø

Bosse équatoriale d'environ 600 km de diamètre et 3 km de haut

Intérieur : corps différencié

Noyau de fer solide + noyau de fer liquide

Manteau rocheux

Glace

Océan d'eau salée à environ 160km de profondeur

Glace

COMPOSITION

ammoniac / dioxyde de carbone/ dioxyde de soufre/ cyanogène (gaz incolore toxique composé d'azote et de carbone) / acide sulfurique (soufre) / Sulfate de magnésium/sulfate de sodium.

CALLISTO

Dans la mythologie grecque Callisto est une nymphe d'une très grande beauté. Elle faisait partie de la suite de la déesse de la chasse Artémis qui avait imposé à ses compagnes une stricte chasteté. Séduite à l'insu de son plein gré par Zeus, Callisto tombe enceinte et cela met Artémis en colère qui la chasse de sa suite. Callisto donne naissance à un garçon Arcas. Héra la femme de Zeus (le père de l'enfant) est tellement jalouse qu'elle transforme Callisto en ourse. 15 ans plus tard Arcas qui était parti chasser aperçoit une ourse dans la forêt. Zeus qui veillait toujours sur son fils ne permit pas qu'il tua sa mère. Il les plaça tous les deux dans le ciel où ils forment les constellations de la Grande Ourse et de la Petite Ourse.

Callisto est la **3ème plus grosse lune du système solaire** après Titan (Saturne) et Ganymède. Presque la taille de Mercure.
Température moyenne de -22° C

L'intérieur n'est pas totalement différencié, elle serait composée de 60% de roches silicatées(les roches silicatées sont constituées d'oxygène et de silicium associés à divers oxydes métalliques : aluminium, magnésium, fer, calcium, potassium, sodium.....) et 40% d'eau.
Sa lithosphère glacée c'est à dire la couche extérieure est d'une épaisseur comprise entre 80 et 150 km.

Du fait de son éloignement les forces de marées de Jupiter qui réchauffent les 3 autres lunes sont beaucoup moindre pour Callisto.

Un océan d'eau salée pourrait être situé sous cette croûte à **condition que l'eau contienne de l'ammoniac ou un autre composé d'antigel et par la désintégration radioactive de la roche.**

Sa surface est certainement **la plus cratérisée du système solaire** (c'est curieux pour un nom qui signifie « la plus belle »).

Pas de montagne, ni de canyon, ni de manifestation volcanique ou tectonique. Les cratères sont si nombreux qu'ils se superposent formant ce que l'on nomme des palimpsestes (en référence au grattage des parchemins). Sa surface sombre est parsemée de tâches brillantes dû à la formation des cratères qui remonterait de la glace lors des impacts.

Callisto

La plus grande structure d'impact est le **Valhalla** (le palais des morts au combat). C'est un cratère dont le centre brillant fait 600 km de diamètre entouré de 10 anneaux, le tout faisant 2600 km de large.

La zone intérieure est un exemple de **palimpseste**: une caractéristique circulaire d'albédo élevée de l'origine d'impact. La surface dans la zone centrale est relativement lisse et présente un aspect tacheté. De nombreux cratères d'impact à l'intérieur ont des halos sombres.

À l'intérieur du Valhalla, un autre cratère ; **Asgard** (le palais des dieux scandinaves)

Une autre structure à la surface est **Gipul catena**, c'est une longue série de cratères disposés en ligne droite faite par une comète ou un astéroïde. Plus qu'une éraflure, il est probable qu'un astéroïde dévié par Jupiter se soit disloqué peu avant l'impact provoquant des impacts en chaîne. **Gipul Catena** mesure 620 km de long et le plus grand cratère 40 km de diamètre.

La sonde Galileo a **détecté un champ magnétique autour de Callisto**. Or cette lune n'est pas assez dense pour en posséder un. La lune, composée de roche, de fer et de glace serait une bonne candidate pour être conductrice d'électricité, notamment, celle produite par le champ magnétique de Jupiter dans lequel elle baigne.

Des quatre lunes galiléennes c'est à Callisto que revient l'honneur d'avoir **la surface la plus ancienne**. La surface de Callisto n'a subi presque aucun changement depuis sa formation si ce n'est des impacts météoritiques sporadiques.

La sonde Galileo a également mis en évidence **une très fine atmosphère de CO²** jusqu'à environ 100 km d'altitude. **Cette découverte pose problème**, car par - 120° Celsius et avec une pression atmosphérique de 100 milliards de fois inférieure à celle de la Terre, les gaz devraient s'évaporer en quelques jours. Or cette atmosphère est constante. Elle est probablement alimentée en permanence par la lente sublimation de glace de dioxyde de carbone de la croûte glacée de la lune, processus qui serait compatible avec l'hypothèse

Callisto

de formation des petites aspérités brillantes de la surface par sublimation.

Comme pour Europe et Ganymède certains scientifiques émettent l'hypothèse qu'une forme de vie extraterrestre puisse exister dans l'océan d'eau salé. Pour d'autres il y a peu de probabilité en raison de l'absence possible de contact entre l'océan et le noyau rocheux, qui empêcherait la présence de monts hydrothermaux et au faible flux de chaleur se dissipant des couches externes.

La stabilité du sol, son relief neutre (pas de montagne ni canyon ni manifestation volcanique ou tectonique), sa position avancée et le peu de radiations reçues par rapport aux autres lunes, c'est un candidat sérieux pour établir un relais de passage pour les recherches spatiales.

LES LUNES DE SATURNE

PHOEBE

C'est le plus grand satellite irrégulier de Saturne et un des plus éloigné .

Son orbite autour de la planète est d'environ 18 mois terrestres, elle n'est pas en rotation synchrone
Mesure environ 220 km de diamètre

En raison de son orbite rétrograde on pense que Phoebe serait un objet échappé de la ceinture de Kuiper et capturé par Saturne. N'est pas classé dans les astéroïdes.

Fortement cratérisée avec des cratères jusqu'à 80 km. Un cratère possède des parois de 16 km.

Phoebe évolue au sein d'un anneau découvert en 2009 qui est 20 fois le diamètre de Saturne.

Pour visualiser son immensité « Si les anneaux de Saturne étaient des orteils alors celui de Phoebe serait un énorme pneu de camion ».

Phoebe serait à l'origine de cet anneau alimenté par la poussière arrachée au satellite lors d'impacts météoritiques.

L'anneau serait également la cause de l'aspect particulier du satellite Japet qui a une face sombre et une face blanche, les poussières de l'anneau percutant sa surface. Et responsable de la surface sombre d'un autre satellite de Saturne : HYPERION satellite à l'aspect spongieux.

JAPET

La caractéristique principale de Japet est la différence de couleur, une partie claire appelée Roncevaux Terra et une partie sombre appelée Cassini Regio. Au centre de cette région on trouve une crête équatoriale sur environ 1300 km de long, 20 km de large et 13 à 20 km de haut. A ce jour il y a plusieurs hypothèses sur l'origine de cette crête sans qu'aucune ne soit vraiment privilégiée.

TITAN

Le 2^e plus gros satellite du système solaire après Ganymède. Plus gros que Mercure.

- Il possède une atmosphère **surtout azotée** jusqu'à 700 km au dessus de sa surface qui ressemble à une épaisse couche de brume et cache en permanence sa surface. Heureusement cette atmosphère est transparente dans l'infrarouge et les ondes radar.
- La pression est celle qu'une personne ressentirait en nageant à environ 15 m sous la surface de l'océan sur Terre.

Comme sur Terre on peut voir à sa surface des mers, des rivières, des lacs. Sur Titan le méthane joue le même rôle que l'eau sur Terre. Les lacs de méthane s'évaporent, se condensent dans l'atmosphère pour retomber sous forme de pluie. + *Ethane*
 Sa surface est aussi recouverte de dunes sculptées par le vent composées de grains d'hydrocarbure foncés qui ressemble à du marc de café.
 La sonde Huygens qui s'est posée sur Titan en 2005 aurait détecté la présence d'un océan d'eau liquide à 55/80 km sous le sol glacé. Océan confirmé par la présence de cryovolcans qui crachent de l'eau et de l'ammoniac.

Aucun autre monde du système solaire, à part la Terre n'a ce genre d'activité liquide à sa surface.

Sa température de -180° c n'est pas incompatible avec une forme de vie. De plus la présence au sein de l'atmosphère de molécules organiques complexes qui pourraient être à l'origine de l'apparition de la vie sur Terre fait de Titan un objet d'étude très intéressant pour les exobiologistes .

Comme Saturne Titan met 29 ans pour faire sa révolution autour du Soeil et du fait de son inclinaison Titan à 4 saisons qui durent chacune environ 7 ans. En 2024 dans l'hémisphère nord c'est l'automne jusqu'en 2030

ENCELADE

Petit satellite de 500 km de diamètre (7 fois plus petit que notre Lune), blanc et brillant qui reflète presque toute la lumière qu'il reçoit avec un **albédo de 0,81**. (expliquer albédo 0-1) *Distance ≈ ST Etienne / Paris*

Certaines parties sont cratérisées d'autres dépourvues de cratères d'impact ce qui indique que le satellite est capable de refaire sa surface. Sous la croûte de glace un océan liquide recouvrirait l'ensemble de la lune.

Au pôle Sud des fissures nommées les **rayures de tigre** d'où jaillissent des geysers d'eau jusqu'à 500 km d'altitude qui retombent sous forme de neige et une partie alimente l'anneau E de Saturne dans lequel orbite Encelade.

Dans cet anneau on a découvert des nanograins de silice qui se forment dans des eaux qui dépassent 90°C. [*Bagdad, Le Caire, Alexandrie, Damas*]
rayures

Des traces d'hydrogène gazeux dans un panache de matériaux éjectés de la surface indiquent que l'hydrogène est issu des réactions chimiques qui ont lieu entre le noyau rocheux et l'eau chaude de l'océan souterrain selon un processus analogue à celui des événements hydrothermaux sur Terre. L'hydrogène est une source chimique d'énergie pour les microbes qui vivent dans les océans terrestres près des événements hydrothermaux.

Si des organismes similaires sont présents sur Encelade ils pourraient brûler l'hydrogène pour obtenir de l'énergie par chimiosynthèse qui pourrait servir à la fondation d'un vaste écosystème.

Sa température de surface est d'environ -200°C, au niveau des rayures du tigre la température est plus chaude -132°C à -182°C

Encelade (comme Europe et Titan) est un endroit favorable pour y découvrir de la vie.

MIMAS

Avec ses 400 km de diamètre c'est le plus petit corps du système solaire possédant une gravité suffisante pour avoir une forme sphérique. Il possède un océan liquide

La première chose que l'on remarque en regardant Mimas est son énorme cratère d'impact, Herschel, qui s'étend sur plus de 130 km de diamètre et qui couvre 1/3 de la surface du satellite. Les flancs du cratère ont environ 5 km de haut, on y rencontre des gouffres de 10 km de profondeur et piton central de 6 km au dessus de plancher du cratère.

Le choc qui a produit ce cratère a manqué de peu de détruire totalement Mimas : la lune en est fracturée jusqu'à la face opposée au point d'impact, probablement à cause de l'onde de choc qui a dû traverser complètement le corps.

La ressemblance entre Mimas et l'Etoile de la mort de Star Wars n'est que pure coïncidence. L'étoile noire est apparue sur les écrans en 1970 tandis que Mimas n'a pu être observée en détail qu'en 1980.

Il a beau être le plus petit satellite majeur de Saturne, Mimas aurait dégagé assez de matière pour créer un écart de 4800 km de large. Cet espace vide est appelé « la division de Cassini »

LES LUNES D'URANUS

L'axe de rotation d'Uranus est pratiquement dans son plan de révolution autour du Soleil donnant l'impression qu'elle roule. Autour de la planète aujourd'hui on dénombre 27 lunes et un système de 13 anneaux.

Les satellites d'Uranus sont divisés en 3 groupes :

13 satellites intérieurs. Les 2 lunes les plus internes sont des « bergers » c'est à dire qu'elles orbitent à proximité du bord de l'anneau epsilon, Cordelia à l'intérieur Ophélie à l'extérieur et limitent l'étendue de l'anneau.

Les lunes intérieures forment un système chaotique et instable, leurs orbites pourraient se croiser et conduire à des collisions.

5 satellites majeurs ; Miranda, Ariel, Umbriel, Tatiana, Obéron. Leur nom est tiré des œuvres de Shakespeare et Alexander Pope (poète anglais).

Composés de roches et de glace. Tous sauf Umbriel présentent un surfaçage endogène c'est à dire recouvert par un matériau fluide provenant de l'intérieur par cryovolcanisme. On peut-être des océans liquide sous la surface....

9 satellites irréguliers (au delà d'Obéron..) avec des orbites elliptiques et fortement inclinées. Ils ont probablement été capturés par Uranus.

8 ont une rotation rétrograde. 1 en rotation prograde.

LES LUNES DE NEPTUNE

Triton avec ses 2705 km de diamètre est la plus grande des 14 lunes confirmées de Neptune. Plus grande que Pluton . Elle représente 99 % de la masse totale orbitant autour de la planète. Son orbite rétrograde laisse penser que Titan a sûrement été une planète naine dans la ceinture de Kuiper avant d'avoir été capturée par l'orbite de Neptune .

C'est l'un des objets le plus froid du système solaire -235° C

Près de la moitié de sa surface est couverte de terrains « en peau de cantaloup (ressemblance avec le melon). Les forces de marée de Neptune créent une activité géologique importante en particulier des geysers de méthane, d'azote et de monoxyde de carbone qui se jettent dans sa fine atmosphère. Le peu de cratères d'impact suggère que la surface se renouvelle par cryovolcanisme.

Triton orbite loin à l'extérieur des 5 anneaux de Neptune .

Comme Phobos, Triton se rapproche de sa planète et finira par atteindre la limite de Roche et devrait se disloquer en produisant un système d'anneaux.

Trident est un projet d'exploration de Triton satellite potentiellement habitable. Serait lancée en 2026 avec un survol en 2038.

LUNE DE PLUTON

Charon est la plus grosse des 5 lunes de la planète naine Pluton qui se trouve dans la ceinture de Kuiper. Son origine n'est pas vraiment établie.

Le couple Pluton-Charon forme un **système binaire** c'est-à-dire que le centre de gravité (barycentre) se trouve à l'extérieur de Pluton. Elles sont en rotation synchrone inhabituelle car elles se montrent chacune la même face l'une vers l'autre.

La première chose qui frappe c'est cette énorme fracture juste au dessus de son équateur.

Long de 1800 km, certains endroits ont 9 km de profondeur.

Ensuite on voit au pôle nord une immense région rougeâtre surnommée Mordor (référence au film « Le Seigneur des anneaux »)

L'hypothèse de cette tâche rouge sombre :

Le pôle nord connaît de longs hivers très froids -258°C . Des températures si basses permettent de piéger le méthane qui s'échappent de la planète naine Pluton pendant plus de 100 ans, puisque la révolution de Pluton-Charon et ses autres lunes autour du Soleil durent environ 248 ans.

Quand le Soleil frappe à nouveau la calotte glacière et la réchauffe pendant plus de 100 ans aussi, la chaleur des rayons solaires déclenche la conversion de méthane en molécules appelées tholins qui donnent cette couleur rougeâtre.

« Qui aurait pensé que Pluton était un peintre graffeur qui colore son compagnon de rouge sombre à l'aérosol ? » Will Grundy astronome américain qui à travailler sur cette tâche de couleur.

Questions à prévoir

Pourquoi la Lune montre toujours la même face ? : Demander à la personne de venir faire la Terre et faire une démo.

Pourquoi certains satellites se rapprochent de la planète et d'autres s'éloignent ? :

Orbite synchrone (à ne pas confondre avec la rotation synchrone) : un satellite met autant de temps à accomplir une révolution autour de la planète que cet astre à effectuer un tour sur lui-même.

S'il se rapproche : c'est l'**orbite sous synchrone**, le satellite met moins de temps à accomplir une révolution autour de la planète que la planète en prend de temps pour faire un tour sur elle-même.

Ex : Phobos met 8 hrs pour faire le tour de Mars alors que Mars met 24 hrs à faire un tour sur elle-même. Il y a un transfert d'énergie de Phobos vers Mars + effets de marée...la lune se rapproche.....

Si le satellite s'éloigne : **Orbite super synchrone**

Ex : Deimos met 30 hrs à faire une révolution autour de Mars alors que Mars met 24 hrs à faire un tour sur elle-même. Le satellite s'éloigne.

La Lune : 27,32 jrs révolution. La Terre 24 hrs sur elle-même. Donc la Lune s'éloigne.

Pourquoi atmosphère sur Titan ?

Théorie : Tous les satellites de Saturne s'éloignent. On pourrait imaginer que Titan serait passé par une période particulièrement chaude récemment à cause des effets de marée et a sorti tous ses hydrocarbures et tout son azote sous forme de gaz. On sait qu'on peut chauffer un satellite et le faire dégazer si les effets de marée deviennent intenses et pour cela il faudrait une modification de l'orbite, ça peut arriver dans la vie d'un satellite.

On prend un satellite, on change son orbite, soudain il devient chaud et il va y avoir une atmosphère. C'est comme s'il y avait une sorte de couplage entre la trajectoire de l'objet autour de la planète et son évolution géophysique, alors peut-être que la présence de l'atmosphère de Titan traduit une histoire orbitale compliquée, mystère ???