

Observatoire
de Paris



PSL



DIPLOME D'UNIVERSITÉ

EXPLORER ET COMPRENDRE L'UNIVERS

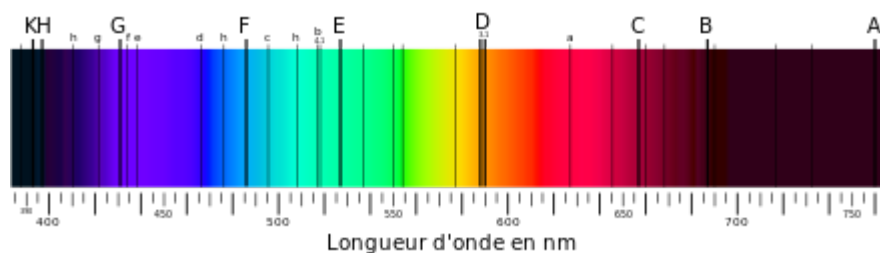
ANNALES 2022-2024

**Vous trouverez dans ce document les sujets d'examen
des trois dernières années du DU ECU.**

QUESTIONS D'EXAMEN 2022

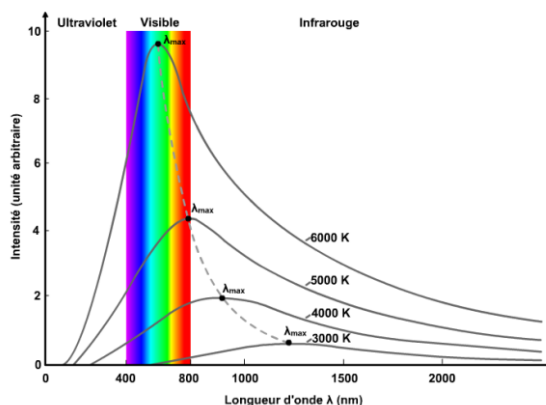
Ondes et Instruments – Mathieu Puech (3 points)

La figure A ci-dessous représente la partie visible du spectre du Soleil. Les lettres indiquées dans la partie supérieure de la figure correspondent à la labélisation établie par Fraunhofer peu après leur découverte au début du XIX^{ème} siècle.



- 1.1 D'où proviennent les photons qui constituent le fond coloré dans la figure A ? [0.3 point]
 - A. De la photosphère du Soleil
 - B. De la couronne du Soleil
 - C. De la lune qui éclaire le Soleil
 - D. De la lampe-torche de Jérémie Vaubailon
- 1.2 Quelle loi physique permet de décrire l'intensité de ce rayonnement en fonction de la longueur d'onde ? [0.3 point]
 - A. La loi du plus fort
 - B. La loi de Wien
 - C. La loi de Planck
 - D. La loi de Boltzman

La figure B ci-dessous représente cette loi physique en fonction de la longueur d'onde et pour différentes températures.



- 1.3 Quelle autre loi physique est représentée par les traits pointillés sur la figure B ? [0.3 point]
 - A. La loi du plus fort
 - B. La loi de Wien
 - C. La loi de Planck
 - D. La loi de Boltzman
- 1.4 A partir de la figure A, déterminer à quelle longueur d'onde se situe approximativement le maximum d'émission du spectre du Soleil. [0.3 point]
 - A. 500 nm
 - B. 600 nm
 - C. 650 nm
 - D. 550 Å
- 1.5 A partir de la figure B et de la réponse à la question 1.4, donner une estimation approximative de la température de surface du Soleil. [0.3 point]

- A. 5000 K
- B. 6000°C

- C. 6000 K
- D. 5500 nm

1.6 A quel type de raies correspondent les traits noirs verticaux sur la figure A ? [0.4 point]

- A. raies en absorption
- B. raies en émission
- C. raies en absorption et en émission
- D. raies hyperfines

Les raies labellisées C et F sur le spectre du Soleil correspondent aux raies Ha (656.3 nm) et Hb (486.1 nm) de la série de Balmer de l'hydrogène. On se place dans le modèle « planétaire » de Bohr. Dans ce modèle, les longueurs d'onde λ_{vac} correspondants aux différentes transitions électroniques possibles sont décrites par la relation de Rydberg suivante :

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

On rappelle que dans cette relation, n_1 et n_2 sont deux entiers tels que $n_1 < n_2$. On rappelle que $R_H = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$.

1.7 Quelles sont les transitions qui correspondent à la raie C ? [0.4 point]

- A. $n_2=4$ vers $n_1=3$
- B. $n_1=3$ vers $n_2=4$
- C. $n_2=3$ vers $n_1=2$
- D. $n_1=2$ vers $n_2=3$

1.8 La raie labellisée A dans le spectre du Soleil correspond à la molécule de dioxygène O_2 . Où cette raie s'est-elle formée ? [0.4 point]

- A. atmosphère du Soleil
- B. atmosphère terrestre
- C. milieu interplanétaire du système solaire
- D. « Atmosphère ! Atmosphère ! Est-ce que j'ai une gueule d'atmosphère ? »

1.9 Pour mesurer le spectre illustré par la figure A, de quel type d'instrumentation faudrait-il disposer ? [0.3 point]

- A. Un télescope et un spectrographe
- B. Un télescope et un coronographe
- C. Un radiotélescope
- D. Un interféromètre infrarouge

Astrométrie et mécanique céleste – Jérémie Vaubillon (3 points)

1- Astronomie fondamentale :

Sélectionner la/les proposition(s) correcte(s).

Le temps sidéral :

- a- représente un angle
- b- ne dépasse jamais 23 h 56 min 4 sec
- c- sert à déterminer l'heure de passage des astres au méridien
- d- croît avec le temps
- e- dépend de la position de l'observateur

2- Mécanique Céleste :

Dans les films « Deep Impact » et « Don't look up », des astronomes découvrent une comète, calculent son orbite et découvrent qu'elle va percuter la Terre quelques mois plus tard. Suivant le film, le nombre d'images acquise montrant la comète est de 1 pour « Deep Impact » et 4 pour « Don't look up ». Entre ces 2 films, lequel est le plus réaliste pour calculer une orbite de comète ?

- a- Deep Impact

- b- Don't look up
- c- aucun n'est réaliste
- d- les 2 sont réalistes

3- Astronautique :

Thomas Pesquet s'est envolé le 23 avril 2021 vers l'ISS. La fusée a atteint l'espace (plus de 100 km d'altitude) au bout de quelques minutes. Bien qu'elle soit déjà dans l'espace, le moteur a continué à être allumé pendant plusieurs minutes : pourquoi ?

- a- parce que l'altitude de l'ISS est d'environ 400 km
- b- parce qu'il ne suffit pas d'atteindre une altitude pour se satelliser : il faut également atteindre la vitesse de satellisation
- c- parce que l'atmosphère freine les fusées même à 100 km d'altitude
- d- parce que Thomas Pesquet a décidé d'aller au-delà de ce qu'on lui demandait
- e- pour éviter une collision avec un débris spatial.

4- Phénomènes :

Le 2 avril 2022 le rover Martien Perseverance a enregistré une vidéo montrant le satellite de Mars Phobos passant devant le Soleil. Ce phénomène est :

- a- une éclipse
- b- une occultation
- c- un phénomène mutuel (car il s'agit d'un satellite naturel d'une planète)
- d- le temps sidéral Martien

5- Temps :

Suite à une affaire louche à Rome en 1582, un enquêteur (E) interroge un suspect (S). Parmi les conversations suivantes une seule est plausible : laquelle ?

- a- E : « Qu'avez-vous fait dans la nuit du 4 au 5 octobre ? » S : « J'observais l'éclipse de Lune avec plus de 20 témoins. »
- b- E : « Qu'avez-vous fait dans la nuit du 4 au 5 octobre ? » S : « J'observais l'éclipse de Soleil avec plus de 20 témoins. »
- c- E : « Qu'avez-vous fait dans la nuit du 4 au 5 octobre ? » S : « J'étais en train de suivre le cours de M. Puech avec plus de 20 témoins. »
- d- E : « Qu'avez-vous fait dans la nuit du 4 au 15 octobre ? » S : j'observais le ciel avec plus de 20 témoins. »

6- Météores :

Le maximum des Perséides est prévu le 13 août 2022, avec un ZHR prévu de 110/h. À cette date, la Lune sera pratiquement pleine. Sélectionner la/les proposition(s) correcte(s) :

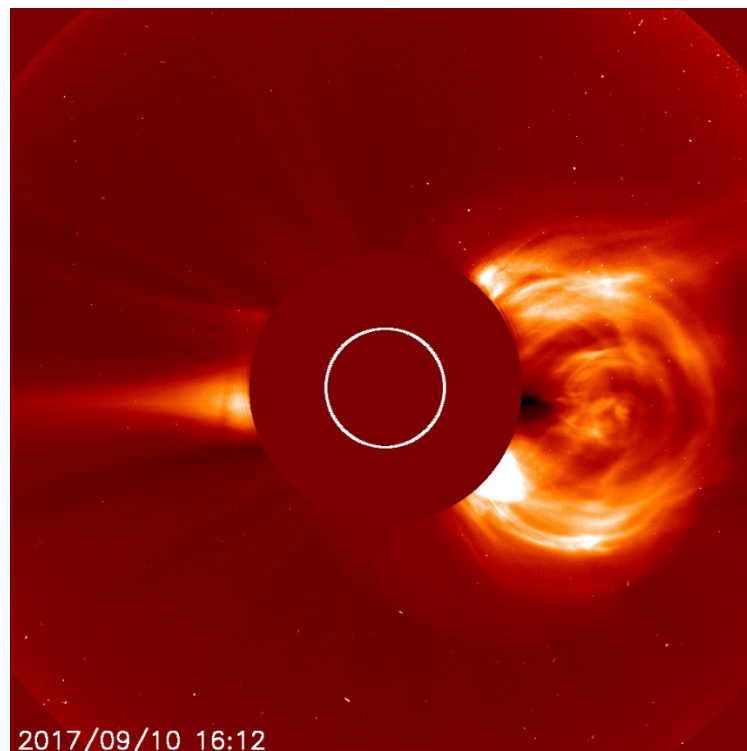
- a- le nombre de météores visible à l'œil nu sera de 110/h
- b- le nombre de météores visible à l'œil nu sera supérieur à 110/h
- c- le nombre de météores visible à l'œil nu sera inférieur à 110/h
- d- les Perséides peuvent être observées à n'importe quel endroit de la surface Terrestre
- e- la présence de la Lune aide à détecter les météores, car le cerveau humain est sensible aux mouvements.
- f- si la météo ne permet pas d'observer la nuit du maximum, on peut tout de même observer des Perséides les nuits avant / après, mais en moindre nombre.

Soleil - Ludwig Klein (1 point)

- a) La photo d'une éclipse totale du Soleil nous montre une structure assez irrégulière, tandis que la photosphère nous apparaît ronde. Quelle est la raison de cette différence ?
- b) La spectroscopie de la couronne solaire révèle des raies d'émission typiques d'un gaz à une température de l'ordre du million de K. Pourquoi est-ce que c'est surprenant ?
- c) Qu'implique la haute température de la couronne pour la dynamique de ce gaz ?
- d) Comment les aurores boréales et australes dépendent-elles du Soleil ?
- e) Par quel mécanisme les rayonnements EUV/X du Soleil conduisent-ils au freinage de satellites en orbites basses autour de la Terre ?

Soleil - Jean-Marie Malherbe (1 point)

L'observatoire spatial SOHO (ESA/NASA) situé au point de Lagrange L1 et le satellite Solar Dynamics Observatory (NASA) surveillent en permanence les éruptions solaires et éjections de masse coronale, à la fois dans un but scientifique et de prévision des phénomènes pouvant perturber l'environnement terrestre.



Cocher une réponse exacte par question:

Question 1: les plus grosses éruptions dégagent une énergie $E = 0.5 \cdot 10^{25}$ Joule. Elles éjectent vers le milieu interplanétaire des protons à la vitesse $v = 1000 \text{ km/s} = 10^6 \text{ m/s}$, qui échappent à l'attraction du Soleil. En supposant que l'énergie libérée est purement cinétique ($E = \frac{1}{2} m v^2$), la masse éjectée est $m = 2 E/v^2$. Donner la valeur de m en kg (*pas besoin de calculatrice*).

- A. $m = 10^{13} \text{ kg}$
- B. $m = 10^{15} \text{ kg}$
- C. $m = 10^{17} \text{ kg}$

Question 2: une éruption émet des rayons X, qui voyagent à la vitesse de la lumière ($C = 300000$ km/s). Sachant que la Terre est à 150 millions de km du Soleil combien de temps t (en secondes) mettent-ils pour parvenir à la Terre (*pas besoin de calculatrice*) ?

- A. $t = 100$ s
- B. $t = 300$ s
- C. $t = 500$ s

Question 3: les protons se dirigent vers la Terre à la vitesse de 1000 km/s. Combien de temps t (en jours) mettent-ils pour nous parvenir (*pas besoin de calculatrice, 1 jour = 86400 s*) ?

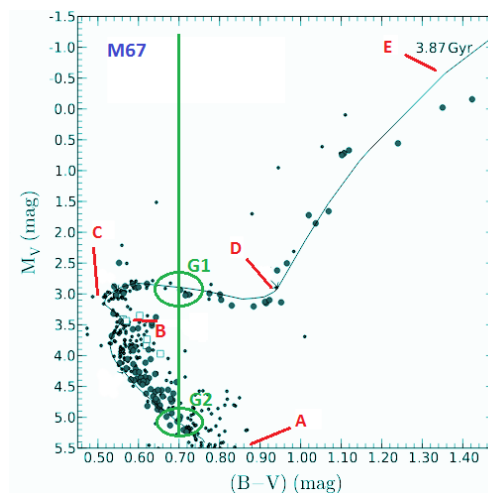
- A. $t = 0.5$ jour
- B. $t = 2$ jours
- C. $t = 5$ jours

Etoiles et milieu interstellaire - Éric Michel (3 points)

Exercice 1 : loi de Stefan et évolution stellaire :

La loi de Stefan s'écrit $L = 4 \pi R^2 \sigma T^4$.

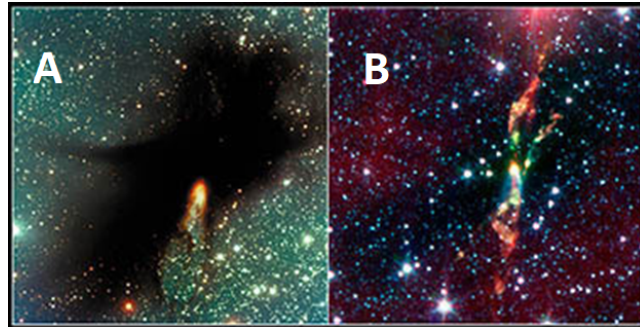
- a) Expliquez brièvement ce que représentent L , R et T dans cette relation et ce qu'exprime la loi de Stefan.
- b) Le diagramme suivant présente les étoiles de l'amas M67.
A quel stade évolutif correspondent les étoiles situées entre A et B ?
Entre C et D ?
Entre D et E ?



- c) Les étoiles des groupes G1 et G2, indiqués (en vert) sur le diagramme, ont même température effective. A partir du diagramme, estimez approximativement leur différence de magnitude $M_1 - M_2$ et en déduire leur rapport de luminosité L_1/L_2 .
- d) A l'aide de la loi de Stefan, déduire le rapport des rayons R_1/R_2
- e) les étoiles du groupe G1 sont-elles :
 - a. Plus massives ou moins massives que celles du groupe G2 ?
 - b. Plus vieilles ou moins vieilles que celles du groupe G2 ?

Exercice.2 : Le JWST va observer dans l'IR proche, ce qui présente certains avantages... :

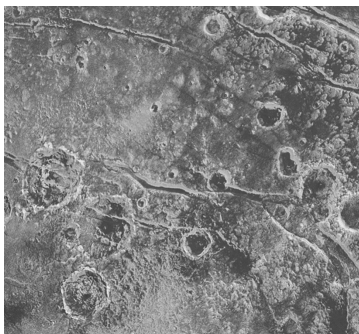
Ces deux images (A et B) d'une même région du ciel sont prise l'une dans le visible et l'autre dans l'Infrarouge proche.



- 1) Pouvez-vous dire quelle image est prise dans l'infrarouge et laquelle dans le visible ? (argumentez)
- 2) Sur la figure A apparaît une zone sombre associée à un 'nuage'. Pouvez-vous dire à quelle composante du milieu interstellaire présente dans ce nuage est due cette zone sombre ?
- 3) A la longueur d'onde visible considérée, la section efficace d'extinction d'un photon (par particule) σ vaut $5 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^2$. En supposant une densité particulaire $n \sim 10^4$ particules par centimètre cube, donnez une estimation du libre parcours moyen d'un photon à cette longueur d'onde, dans ce nuage.
- 4) Pouvez-vous donner une indication concernant l'épaisseur du nuage responsable de cette tache sombre ?

Planétologie comparée - Alain Doressoundiram (3 points)

DOCUMENT 1



A. Image de 200 km de largeur sur Pluton B. Image de 200 km de largeur sur Pluton C. Image de 200 km de largeur sur Charon

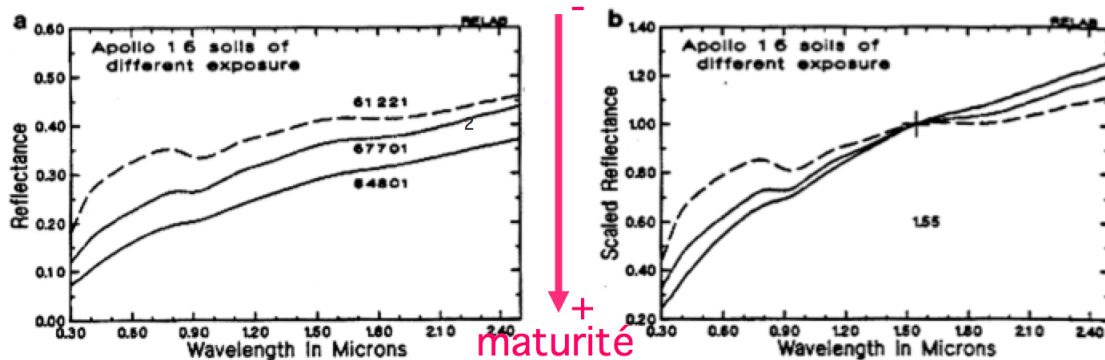
En planétologie, on parle de « l'âge de la surface » pour qualifier l'âge des processus ayant affecté la surface (et non pour qualifier l'âge des roches qui composent la surface).

Question 1/4 : À l'aide du document 1, indiquez laquelle/lesquelles de ces affirmations vous semble(nt) juste(s).

- A. La surface la plus ancienne correspond au cas A, la plus récente au cas B.
- B. La surface la plus ancienne correspond au cas B, la plus récente au cas A.
- C. Les surfaces des cas A et B ont le même âge, car elles sont localisées sur le même objet du Système solaire.
- D. Le cas B semble démontrer que certaines régions de Pluton ont subi des processus géologiques actifs ayant affecté la surface.

- E. Le cas B nous montre que certaines régions de Pluton n'ont jamais subi de processus géologiques actifs ayant affecté la surface.

L'érosion spatiale



DOCUMENT 2 : Observation des effets de l'érosion spatiale sur le régolithe lunaire.

Question 2/4 : En utilisant vos connaissances ainsi que les informations extraites du document 2, quelles sont les effets de l'érosion spatiale sur le régolithe lunaire ?

- A. La réflectance diminue avec le temps
- B. La réflectance augmente avec le temps
- C. Les bandes spectrales s'estompent avec le temps
- D. Les bandes spectrales se creusent avec le temps
- E. La pente spectrale diminue avec le temps (la surface devient « plus bleue »)
- F. La pente spectrale augmente avec le temps (la surface devient « plus rouge »)
- G. L'érosion spatiale affecte plus fortement les corps sans atmosphères

Méli-Mélo planétologique

Question 3/4 : Parmi les propositions suivantes dites lesquelles sont exactes. (Plusieurs réponses possibles)

- A. Les astéroïdes et les comètes sont les corps les plus primitifs du Système solaire
- B. Les planètes telluriques sont plus vieilles que les astéroïdes et les comètes
- C. les météorites sont des fragments de comètes tombés sur Terre
- D. On connaît l'âge de la formation du Système solaire en datant les météorites
- E. Il y a deux types de planètes dans le Système solaire : les planètes telluriques et les planètes géantes
- F. Le Soleil est la plus proche étoile de la Terre
- G. Les planètes telluriques ont toutes un champ magnétique

Et un petit calcul pour finir en beauté !

Question 4/4 : L'astéroïde (7456) *Myself* orbite autour du Soleil avec une période de 1549 jours terrestres environ. Calculez son demi grand axe a.

- A : a = 1,421 UA B : a = 2,620 UA C : a = 3,450 UA
- D : a = 8,734 UA E : aucune réponse

Galaxies – Wim van Driel (3 points)

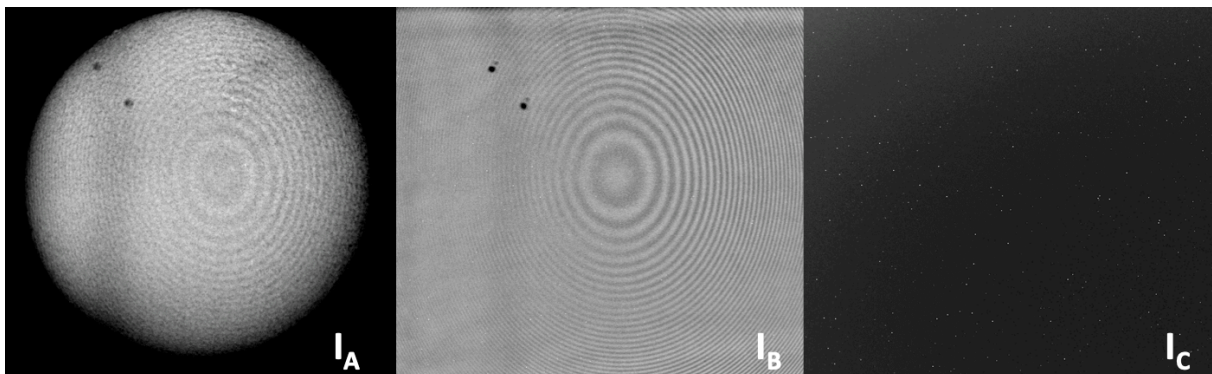
- 1) Vu à l'œil dans l'oculaire d'un télescope de taille modeste (<20 cm de diamètre) les images de galaxies spirales proches sont très différentes des images avec des beaux bras spiraux qu'on trouve dans des livres – et pas très spectaculaires. Pourquoi ?
- 2) Dans le spectre d'une galaxie proche de la Voie Lactée, la longueur d'onde mesurée λ de la raie $H\alpha$, dont la longueur d'onde mesurée en laboratoire λ_0 est de 656,28 nm, est de 655,84 nm. Quel est le décalage spectral de la galaxie ? Quelle est sa vitesse radiale observée ? En appliquant la loi de Hubble, à quelle distance se trouve cette galaxie - on prendra la constante de Hubble égale à $75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.
- 3) Dans les spectres optiques de certains types de galaxies AGN à noyau actif on observe des raies d'émission très larges, mais dans d'autres types on n'observe que des raies étroites. Quel(s) phénomène(s) peuvent expliquer cette différence ?

Cosmologie – Andrea Cattaneo (3 points)

- 1) L'observation que le fond du ciel est noir implique que :
 - a) L'Univers n'est pas infini.
 - b) L'Univers n'a pas toujours existé.
 - c) L'Univers ne peut pas être infini et avoir toujours existé en même temps.
- 2) Dans l'Univers primordial, pourquoi l'ère des leptons vient après l'ère des hadrons ?
 - a) Parce que les hadrons ont un temps de désintégration radioactive plus court.
 - b) Parce qu'à un certain moment, les photons n'ont plus assez d'énergie pour former des couples hadron/anti-hadron.
 - c) Parce qu'au-dessous d'une certaine température, les quarks sont confinés dans les baryons.
- 3) Les galaxies elliptiques:
 - a) sont rouges et ont, normalement, des taux de formation stellaire très bas.
 - b) contiennent, dans la plupart des cas, des trous noirs supermassifs avec des taux de croissance très élevés.
 - c) se sont formées assez tard dans l'histoire de formation des structures cosmiques.

Traitements de données – Pierre Baudoz (2 points)

Un ami a observé le soleil et vous envoie les 3 images ci-dessous qu'il a enregistrées suivant vos conseils.



Q1 : Les images de votre ami correspondent à quelle série ci-dessous :

- 1) Deux images du soleil, une image de dark

- 2) Une image du soleil, deux images de dark à des temps de pose différents
- 3) Une image du soleil, une image de flat, une image de dark

Q2 : Les 2 taches sombres visibles sur le disque solaire sont-elles des taches solaires ?

- 1) Oui
- 2) Non

Q3 : Justifiez votre réponse précédente en quelques lignes

Q4 : Quelle équation peut-on utiliser pour obtenir une image du soleil corrigée des effets du détecteur et de la transmission de l'instrument :

- 1) $I_{\text{Soleil}} = (I_B - I_C) / (I_A - I_C)$
- 2) $I_{\text{Soleil}} = (I_C - I_B) \times (I_A - I_B)$
- 3) $I_{\text{Soleil}} = (I_A - I_B) / I_C$
- 4) $I_{\text{Soleil}} = (I_A - I_C) / (I_B - I_C)$
- 5) $I_{\text{Soleil}} = (I_B - I_A - I_C)$

Q5 : Vous aimeriez augmenter le rapport signal à bruit de votre image d'un facteur 5. De combien d'images avez-vous besoin au minimum :

- 1) 100
- 2) 50
- 3) 25
- 4) 10
- 5) 5
- 6) Non, on diminue le rapport signal à bruit

Q6 : Une image qui correspond à la moyenne de 100 images enregistrées avec un temps de pose très court et avec l'obturateur de l'instrument fermé s'appelle :

- 1) Un master-biais
- 2) Un master-dark
- 3) Un master-flat

Histoire - Jérôme LAMY (2 points)

1- Quels sont les principes énoncés par Platon qui ont guidé toutes les spéculations astronomiques de l'Antiquité jusqu'à Copernic ?

2- En quoi les observations de Galilée ont constitué des arguments coperniciens ? Et pourquoi ces arguments contrevenaient-ils aux dogmes catholiques ?

Hautes Énergies – Alexandre le Tiec, Andreas Zech, Susanna Vergani (2 points)

Réservé aux parcours vidéo à distance : sujet compté dans la moyenne

1) Le modèle d'unification des AGN ...

- a) ... implique que toutes les galaxies ont un noyau actif dans leur centre
- b) ... implique que des différentes classes d'AGN sont en réalité un seul objet, vu sous des angles différents.
- c) ... implique qu'un tore de poussière cache la région centrale de l'AGN pour certaines classes.
- d) ... explique la différence entre les AGN sans et avec une émission forte dans la bande radio.

- 2) Les jets émanant des trous noirs supermassifs consistent
- a) d'atomes d'hydrogène neutre
 - b) de plasma relativiste
 - c) de neutrinos relativistes
 - d) de gaz moléculaire
- 3) La fréquence caractéristique d'une source d'ondes gravitationnelles de masse M est
- a) inversement proportionnelle à M
 - b) indépendante de M
 - c) proportionnelle à M
 - d) proportionnelle à M^2
- 4) Pour déterminer le redshift d'un GRB, on utilise :
- A) La courbe de lumière de l'émission prompte du GRB
 - B) Le spectre de l'émission prompte du GRB
 - C) Le spectre de l'émission rémanente du GRB
 - D) Le spectre de la galaxie hôte du GRB

Introduction à la Philosophie des sciences – Gauvain Leconte (1 points)

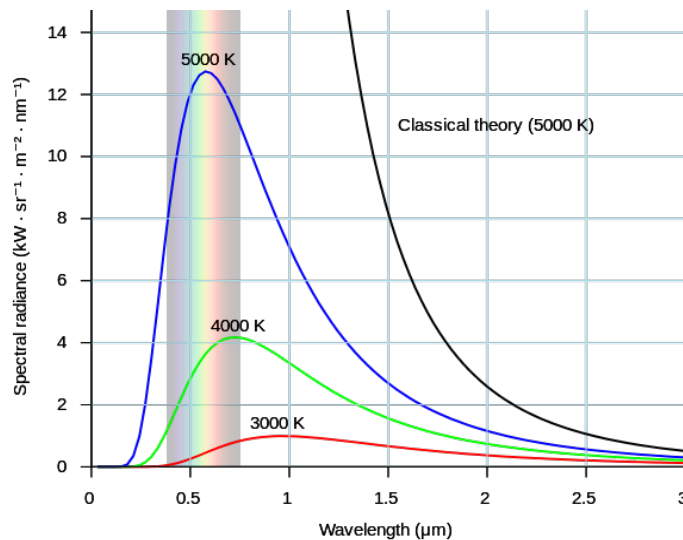
Supposons qu'une scientifique ait mis au point une nouvelle théorie T (par exemple, une nouvelle théorie de la gravitation). Elle déduit de sa théorie T la prédiction d'un phénomène O jusqu'ici inconnu (par exemple, que l'on devrait observer une nouvelle planète autour du Soleil). Symboliquement, on note cette prédiction : « $T \rightarrow O$ ». Que peut-on dire sur T et O ? (plusieurs réponses possibles)

- A. Que si le phénomène O est observé, cela prouvera par **induction** que la théorie T est vraie.
- B. Que si le phénomène O est observé, cela prouvera par **déduction** que la théorie T est vraie.
- C. Qu'il n'existe aucune **autre théorie** que T qui puisse prédire ou expliquer le phénomène O .
- D. Que si le phénomène O est observé, Karl Popper dirait que la théorie T est **corroborée**, c'est-à-dire qu'elle a passé avec succès un test qui aurait pu la réfuter.
- E. Que si le phénomène O est observé, Imre Lakatos dirait que la théorie T est un programme de recherche **progressif**.

QUESTIONS D'EXAMEN 2023

Ondes et Instruments – Mathieu Puech (3 points)

Le corps noir (1 point): la figure ci-dessous montre la variation de luminance énergétique spectrale en fonction de la longueur d'onde pour différents corps noirs de températures différentes. Répondre aux questions suivantes en cochant *la* ou *les* bonnes réponses.



Q1. Comment s'appelle la loi qui décrit l'ensemble de ce rayonnement ?

- a) La loi de Wien
- b) La loi de Rayleigh-Jeans
- c) La loi d'Einstein
- d) La loi de Planck
- e) La loi de Boltzman
- f) La loi de Vaubaillon-Puech

Q2. Quelle est la température approximative d'un objet rayonnant comme un corps noir et dont la courbe de luminance présente un maximum à 550 nm ?

- a) 12.5 kW.sr⁻¹.m⁻².nm⁻¹
- b) 12 500 W.sr⁻¹.m⁻².nm⁻¹
- c) 4 000 W.sr⁻¹.m⁻².nm⁻¹
- d) 3000 K
- e) 4000 K
- f) 5000 K

Q3. La loi du corps noir a été expliquée par Planck grâce à son hypothèse des "quanta". Quel étaient les problèmes des prédictions de la théorie "classique" ondulatoire ?

- a) La lumière est un corpuscule donc cette théorie était fausse
- b) Un corps noir émet une puissance totale infinie
- c) Le rayonnement du corps noir tend vers zéro aux grandes longueurs d'ondes
- d) On a compris par la suite qu'il n'y avait en fait aucun problème
- e) Le rayonnement du corps noir diverge (devient infini) aux petites longueurs d'ondes

Q4. Quel était au début du XXème siècle l'autre problème de la théorie ondulatoire classique ?

- a) L'effet photoélectrique
- b) L'expérience de Römer
- c) L'expérience des trous d'Young
- d) La matière noire

Instrumentation sol et espace (1 point)

Q5. Quels sont les avantages des observations *sol* par rapport aux observations faites depuis l'espace ?

- a) Meilleure résolution spatiale à diamètre constant
- b) On peut construire des télescopes de plus grands diamètres, donc plus sensibles
- c) Il y a des fenêtres de longueur d'onde qui ne sont accessibles que depuis le sol
- d) La durée de vie plus grande des observatoires au sol

Q6. Quelles sont parmi les affirmations suivantes celles qui sont exactes ?

- a) Le seeing est une mesure de la résolution spatiale des télescopes au sol
- b) Le seeing est une mesure du champ de vue maximal des images au foyer d'un télescope
- c) Le seeing peut se calculer par la formule l/D (= longueur d'onde / diamètre du télescope)
- d) Une valeur typique de seeing pour les observatoires au sol professionnels est de 0.6 arcsec
- e) Une valeur typique de seeing pour les observatoires au sol professionnels est de 0.06 arcsec

Q7. Qu'est-ce que l'optique adaptative ?

- a) Une technique servant à corriger en temps réel la déformation que subissent les miroirs des télescopes sous leur propre poids
- b) Une technique inventée par un astronome permettant de fabriquer des verres plus minces pour les lunettes de vue
- c) Une technique servant à corriger en temps réel la perte en résolution spatiale des données due à la turbulence atmosphérique
- d) Une technique permettant de faire interférer la lumière qui provient de plusieurs télescopes pointant la même source

Q8. A quoi servent les faisceaux lasers déployés sur de nombreux observatoires au sol ?

- a) A rien, ça n'a rien à voir, c'est juste Jean-Michel Jarre qui prépare ses concerts
- b) Créer des étoiles guides artificielles pour mesurer la turbulence atmosphérique
- c) A essayer d'aveugler les pilotes d'avion pour qu'ils ne repassent plus par là
- d) A pointer avec précision le télescope vers la cible que l'on veut observer

Instrumentation sol optique (1 point)

Q9. Qui a inventé le télescope optique ?

- | | |
|---------------|-----------------|
| a) Lippershey | d) Herschel |
| b) Galilée | e) J. Vaubailon |
| c) Newton | f) Hubble |

Q10. Quelles sont parmi les affirmations suivantes celles qui sont exactes ?

- a) Les télescopes de 2 à 4m se spécialisent de plus en plus dans un domaine de recherche particulier
- b) Les télescopes de 2 à 4m ne sont presque plus utilisés
- c) Les chercheurs français n'ont malheureusement pas accès à des télescopes de 8m
- d) Il est impossible de fabriquer des miroirs d'une seule pièce avec un diamètre de plus de 5m
- e) Il est impossible de fabriquer des miroirs d'une seule pièce avec un diamètre de plus de 10m

Q11. Le plus grand télescope sol optique existant à un diamètre d'environ:

- | | |
|-----------|---------|
| a) 1.93 m | c) 4m |
| b) 10 m | d) 39 m |

Q12. Ordonner qualitativement les domaines des ondes électromagnétiques suivants à l'aide d'un schéma : Visible, Radio, Gamma, UV, Infrarouge et X. Indiquer sur ce schéma quels sont les domaines qui sont accessibles depuis le sol. Pourquoi ?

Astrométrie et mécanique céleste – Jérémie Vaubillon (3 points)

Astrométrie : Quel est le centre de la sphère céleste ?

- 1-le centre de la Terre
- 2-le centre du Soleil
- 3-le barycentre du Système Solaire
- 4-L'observateur
- 5-La sphère céleste n'a aucun centre.

Distances : Parmi ces arguments (incomplets), le(s)quel(s) peu(ven)t être utilisé(s) en faveur d'une Terre ronde (et non plate) ?

- 1-L'expérience commune nous informe directement sur la forme de la Terre.
- 2-Depuis la théorie d'Einstein, nous savons que la théorie de la gravitation telle qu'énoncée par Newton est incomplète.
- 3-Les éclipses de Lune montrent une ombre caractéristique de la forme de la Terre.
- 4-À l'œil nu, il est extrêmement difficile de différencier le mat d'un navire de sa coque lorsque celui-ci est loin sur l'horizon.
- 5-La trigonométrie sphérique permet de calculer des distances sur une surface non-Euclidienne (i.e. surface courbe).

Phénomènes : L'observation d'occultation d'un astéroïde est scientifiquement intéressant car :

- 1-cela dure très peu de temps
- 2-cela prouve que la Terre est ronde
- 3-cela permet de déterminer les formes des astéroïdes
- 4-cela permet de déterminer les tailles des astéroïdes
- 5-cela permet de déterminer la composition des astéroïdes

Mécanique Céleste : L'astéroïde 2020 XL5 est un Troyen de la Terre. Question : qu'est-ce qu'un astéroïde troyen de la Terre ?

- 1-un guerrier Grec, grand pote de Mathieu Puech
- 2-un astéroïde qui va tomber sur la Terre
- 3-un astéroïde qui croise l'orbite terrestre. À long terme, la probabilité de collision n'est pas nulle.
- 4-un astéroïde qui se déplace pratiquement à la même vitesse orbitale que la Terre, mais fait avec celle-ci un angle de 60 deg centré sur le Soleil (au point de Lagrange L3 ou L4)
- 5-un astéroïde dont la configuration orbitale l'amène à se rapprocher de la planète Troye.

Temps : En nov 2022 des physiciens se sont réunis à Versailles pour discuter de la suppression d'ajout ou retrait de seconde intercalaire. Quelle(s) conséquence(s) cette décision a-t-elle aujourd'hui ?

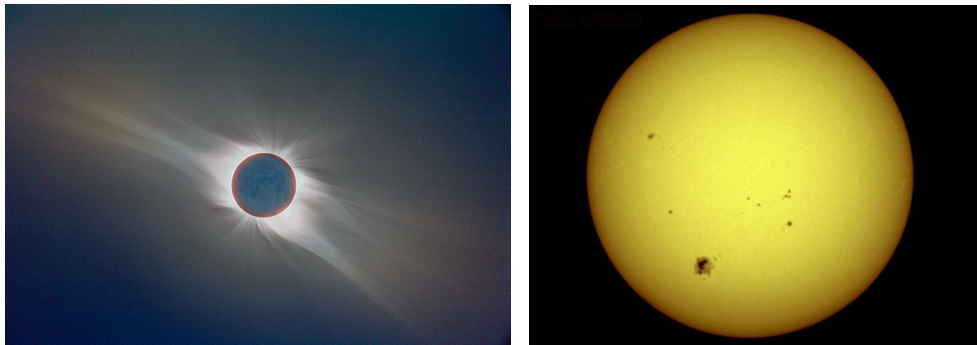
- 1-Le temps n'est plus défini par les astronomes
- 2-Le temps sidéral n'est plus défini
- 3-Le temps atomique ne correspond plus aux fuseaux horaires
- 4-Le temps sidéral ne représente plus l'orientation de la Terre
- 5-Le temps sidéral et atomique n'ont plus de lien entre eux

Météores : Le maximum des Perséides de 2023 aura lieu le 13 août entre 7h TU et 14h TU. Le ZHR sera de 100/h, et la Lune sera absente (nouvelle Lune). Les coordonnées du radiant sont : RA=48 deg, DEC=+58 deg. Quelle(s) affirmation(s) sont correcte(s) ?

- 1-À l'œil nu, on pourra observer plus que 100 météores par heure

- 2-À l'oeil nu, aucune Perséide ne sera observable depuis la France métropolitaine au moment du maximum
- 3-Bien qu'il fasse constamment nuit en Antarctique, le phénomène ne sera pas visible depuis ce continent
- 4-Il est conseillé d'éviter les voyages en avion pendant cette période (risque de collision accru)
- 5-Il est recommandé de filmer les météores avec son smartphone

Soleil - Ludwig Klein (1 point)



- 1) Les deux images ci-dessus montrent respectivement la photosphère et la couronne du Soleil.
- Laquelle des deux montre la photosphère, laquelle la couronne ?
 - Identifiez une manifestation du champ magnétique dans chacun des deux clichés.
- 2) Qu'est-ce que le vent solaire:
- l'écoulement de la couronne dans l'espace interplanétaire
 - les mouvements de montée du gaz chaud et de descente du gaz refroidi audessous
 - de la photosphère
 - l'éruption d'une protubérance.
- 3) Parmi les phénomènes de la météorologie de l'espace, il y a (plus d'une réponse correcte)
- la perturbation des communications par ondes radio passant par l'ionosphère terrestre
 - les périodes de sécheresse sur la Terre
 - l'induction de courants électriques dans la croûte de la Terre à la suite d'une perturbation de son champ magnétique

Soleil - Jean-Marie Malherbe (1 point)

- 1) Le Soleil est une étoile variable. Son cycle d'activité est de
- 11 ans
 - 22 ans
- 2) Son cycle magnétique est de
- 11 ans
 - 22 ans

3) La loi de Wien $\lambda T = 3 \cdot 10^6$ (trois millions) permet, pour un corps émettant sur la longueur d'onde λ (en nanomètres ou nm) d'estimer sa température T. Choisissez les bonnes réponses (les calculs sont à faire de tête).

La photosphère émet dans le visible autour de $\lambda = 500$ nm. Sa température est de

- a) 1000 degrés
- b) 6000 degrés
- c) 10000 degrés

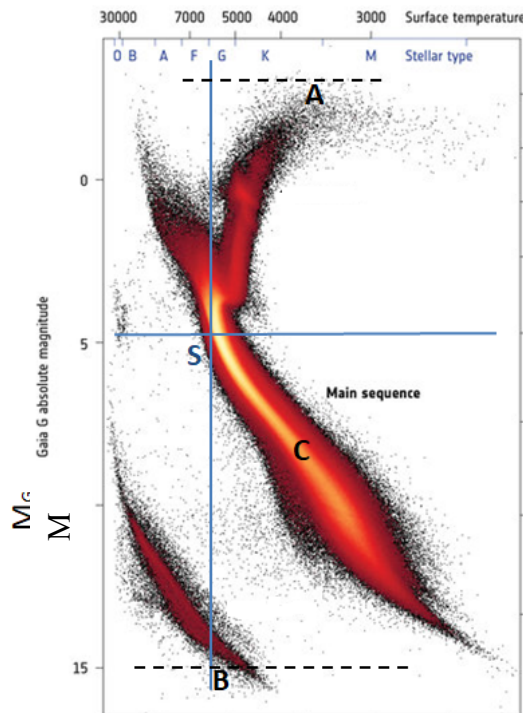
4) La couronne émet en UV autour de $\lambda = 3$ nm. Sa température est de

- a) 10000 degrés
- b) 100000 degrés
- c) 1 million de degrés

Etoiles et milieu interstellaire - Éric Michel (3 points)

Exercice 1 : Structure et évolution des étoiles

La mission Gaia a livré des mesures de luminosité et de distance pour des millions d'étoiles représentées ici dans un diagramme HR.



Sur ce diagramme HR, la position du Soleil (S) est indiquée par la croix bleue et la gamme de magnitude absolue Gaia (M_G) couverte par les étoiles observées s'étend de $M_G=15$ à $M_G=-2,5$ (respectivement zones B et A).

- 1) Lesquelles des étoiles (B ou A) sont les plus lumineuses ?
- 2) Pouvez-vous indiquer à quel stade évolutif peuvent appartenir les étoiles en A ? Même question pour les étoiles en B ?
- 3) Une étoile en B est-elle nécessairement plus vieille (d'un âge plus grand) qu'une étoile en A ? (argumentez)
- 4) On estime que les étoiles situées en C ont une masse de l'ordre de $0.2 M_{\odot}$. Que pouvez-vous dire de leur stade évolutif (quel élément est fusionné et dans quelle région de l'étoile) et de leur structure (zones convectives, radiatives,...)

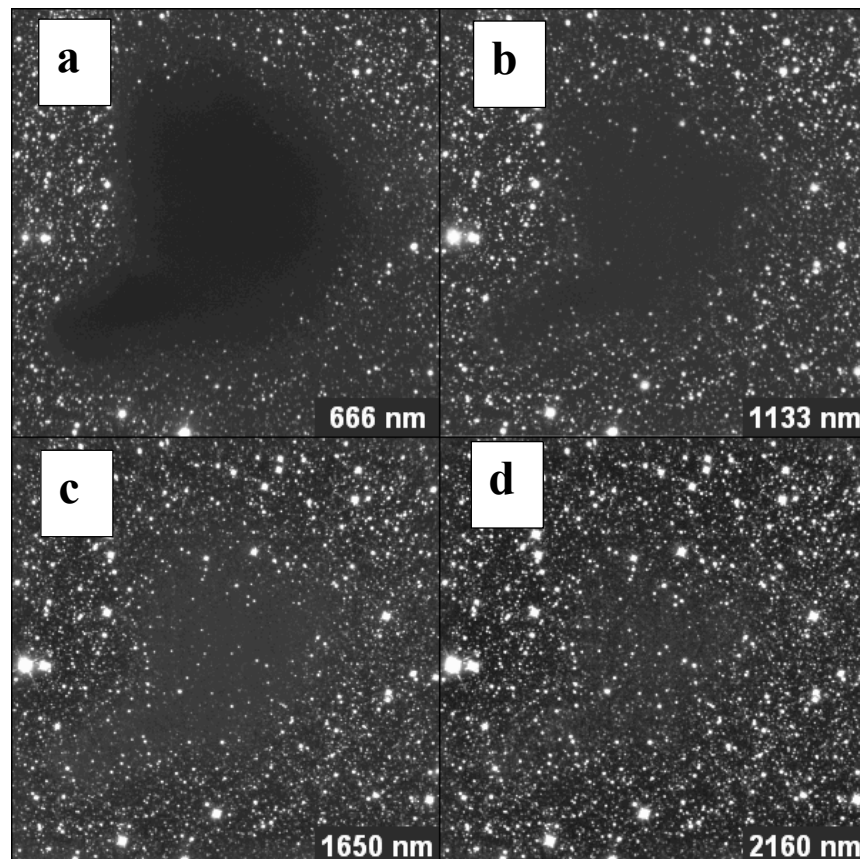
5) Quel est le rapport de luminosité L_A/L_B entre les étoiles les plus lumineuses ($M_G=-2,5$) et les moins lumineuses ($M_G=15$) ?

Exercice 2 : Milieu Interstellaire et libre parcours moyen

Un globule de Bok est un ‘grumeau’ de gaz froid et de poussières, résidu d’un nuage moléculaire et au sein duquel la formation d’étoiles peut avoir lieu.

Ici, le globule apparaît totalement opaque sur une image prise à $0.666\mu\text{m}$ (image a) et totalement transparent sur une image prise à $2.160\mu\text{m}$ (image d).

A ces longueurs d’onde, la section efficace d’extinction d’un photon (par particule) σ vaut respectivement $5 \cdot 10^{-22} \text{ cm}^2$ et $5 \cdot 10^{-23} \text{ cm}^2$ et le globule est supposé sphérique de diamètre $d \sim 1 \text{ al}$ ($\sim 10^{18} \text{ cm}$).



1) Si n est la densité particulaire au sein du globule, que représente la grandeur ℓ dans l’expression suivante ?

$$\ell = 1/(\sigma n)$$

2) Pouvez-vous expliquer qualitativement ce changement d’aspect avec la longueur d’onde ?

3) Pouvez-vous en déduire une estimation de la densité particulaire n dans ce globule ?

Planétologie comparée - Alain Doressoundiram (3 points)

Question 1 :

La gravité à la surface de la Lune n’est pas la même que sur Terre : la Lune est environ 4 fois plus petite et environ 80 fois moins massive que la Terre. Sur la Lune, vous pesez : *(indiquer la bonne réponse)*

- A. Deux fois moins lourd
- B. quatre fois moins lourd
- C. Cinq fois moins lourd
- D. huit fois moins lourd
- E. neuf fois moins lourd
- F. quatre-vingts fois moins lourd

Question 2 :

Sur la Lune, une carte des constellations pourrait-elle vous être utile pour vous orienter ? (*indiquer la ou les bonnes réponses*)

- A. Si le Soleil est dans le ciel, je ne pourrai pas voir les étoiles.
- B. Les étoiles ne forment pas dans le ciel lunaire les constellations décrites depuis la Terre ; la carte est donc inutile.
- C. Je retrouve les constellations comme sur Terre, mais l'étoile polaire n'indique pas le Nord.
- D. Les constellations du zodiaque sont proches de l'équateur céleste lunaire.
- E. Pas besoin de cette carte, je pourrai m'orienter avec ma boussole.

Question 3 : (max ½ page)

Structure d'une comète

Caractériser les différentes parties d'une comète : noyau, chevelure (ou coma), queue de poussières, queue de plasma, On précisera, pour chacune d'entre elles

- La taille (de façon très approximative).
- Le ou les processus physiques qui la rendent lumineuse.

Galaxies – Wim van Driel (3 points)

1) Dans une image optique d'une galaxie vous notez la présence d'un bulbe relativement petit, des bras spiraux bien ouverts et une structure linéaire au centre. Le type morphologique de cette galaxie est :

- a) S0
- b) SBa
- c) Sb
- d) SBc

2) Dans les spectres d'un grand nombre de galaxies membres d'un amas de galaxies on a mesurée la longueur d'onde λ d'une raie spectrale dont la longueur d'onde mesurée en laboratoire λ_0 est de 500 nm. Parmi les galaxies de l'amas la longueur d'onde moyenne observée λ de la raie est de 510 nm.

- a) Quel est le décalage spectral moyenne de l'amas ?
- b) Quelle est sa vitesse radiale moyenne observée ?
- c) En appliquant la loi de Hubble, à quelle distance se trouve cet amas - on prendra la constante de Hubble égale à $75 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$.

3) Dans le spectre optique du centre d'une galaxie à noyau actif on observe que certain raies d'émission sont très larges, et que d'autres sont beaucoup plus étroites. Ceci est dû à :

- a) Le fort gradient en température dans le disque d'accrétion
- b) L'interaction de particules accélérées avec le champ magnétique
- c) La présence d'un torus de matière obscurcissante
- d) Un effet de rétroaction dû aux jets relativistes

Cosmologie – Andrea Cattaneo (3 points)

1) Le principe cosmologique affirme que l'Univers est homogène et isotrope. Cette formulation présuppose un système de coordonnées cylindriques centrées sur nous.

Isotrope signifie que la densité de l'Univers ne dépend pas de la direction (à un r donné).

Homogène signifie qu'elle ne dépend pas de la coordonnée radiale.

Si on énonce le principe de cette manière, alors :

- a) L'homogénéité et l'isotropie de l'Univers sont des faits d'observation.
- b) L'isotropie à grande échelle de l'Univers visible est une donnée d'observation. L'homogénéité suit de l'hypothèse que nous ne sommes pas des observateurs privilégiés et que donc, si l'Univers est isotrope par rapport à nous, il doit l'être par rapport à n'importe lequel observateur.
- c) L'homogénéité et l'isotropie de l'Univers sont des postulats théoriques.

2) Qu'est-ce que c'est l'ère du rayonnement ?

- a) C'est l'époque entre l'ère des leptons et l'ère de la matière, qui commence 50 000 ans après Big Bang, lorsque la matière commence à dominer la densité d'énergie de l'Univers.
- b) C'est l'époque entre l'ère des leptons et l'époque de recombinaison, quand le rayonnement cesse d'être couplé à la matière.
- c) C'est l'époque quand particules et anti-particules étaient en équilibre thermique avec le rayonnement.

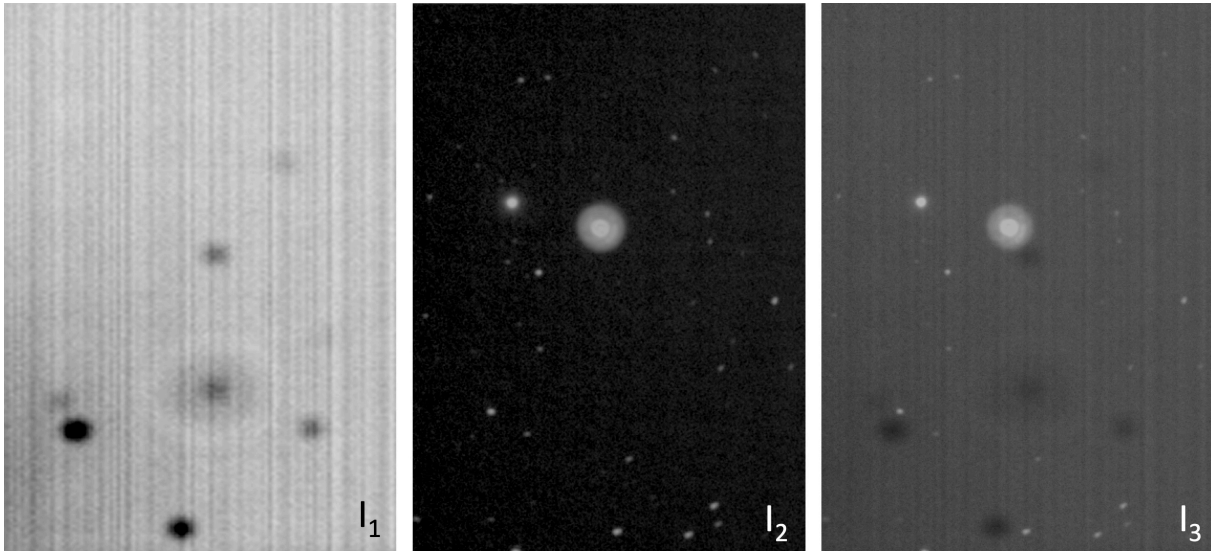
3) Pourquoi les galaxies massives sont en majorité des galaxies rouges ?

- a) Elles sont rouges parce qu'elles sont poussiéreuses.
- b) Elles ont cessé de former des étoiles il y a longtemps.
- c) Elles sont très lointaines ; c'est donc un effet du décalage spectral cosmologique.

Traitements de données – Pierre Baudoz (2 points)

Q1 : Que mesure-t-on avec un flat-field (ou plage de lumière uniforme) ?

- 4) Le niveau d'offset de la caméra
- 5) La longueur d'onde
- 6) La transmission en chaque point de l'image
- 7) Le bruit de lecture en chaque point de l'image



Q2 : A quelle donnée correspond le mieux le master-dark ?

- 3) I_1
- 4) I_2
- 5) I_3
- 6) Aucune

Q3 : A quelle donnée correspond le mieux le master-flat ?

- 1) I_1
- 2) I_2
- 3) I_3
- 4) Aucune

Q4 : A quelle donnée correspond le mieux l'image avant traitement ?

- 1) I_1
- 2) I_2
- 3) I_3
- 4) Aucune

Q5 : A quelle donnée correspond le mieux l'image après traitement ?

- 1) I_1
- 2) I_2
- 3) I_3
- 4) Aucune

Q6 : Justifiez votre réponse précédente en quelques lignes



Q7 : Quelle différence principale y a-t-il entre les images I_A et I_B ?

- 7) I_A a un meilleur signal sur bruit que I_B
- 8) I_B a un meilleur signal sur bruit que I_A
- 9) I_A a une meilleure résolution spatiale que I_B
- 10) I_B a une meilleure résolution spatiale que I_A

Histoire - Jérôme LAMY (2 points)

- 1) Quelle méthode a employé Ératosthène pour mesurer la circonférence de la Terre ? (au besoin faire un schéma)
- 2) En quoi la découverte des satellites de Jupiter était déterminante pour Galilée ?

Hautes Énergies – Alexandre le Tiec, Andreas Zech, Susanna Vergani (2 points)

Réservé aux parcours vidéo à distance : sujet compté dans la moyenne

Les noyaux actifs de galaxies (AGN)

1) Le mouvement superluminique observé dans certains jets d'AGN indique

- a) la présence d'un trou noir supermassif
- b) la violation de la relativité restreinte proche des singularités
- c) la présence d'un disque d'accrétion en rotation rapide
- d) la présence d'un jet relativiste qui pointe vers nous

2) La lumière Cherenkov

- a) est un rayonnement émis par les neutrinos relativistes
- b) est un rayonnement émis par les jets relativistes
- c) est un rayonnement émis par des particules chargées relativistes
- d) est un rayonnement émis par les disques d'accrétion

Ondes gravitationnelles

1) Parmi ces sources d'ondes gravitationnelles, lesquelles sont des systèmes binaires d'astres compacts (plusieurs réponses possibles) ?

- a) Le spiralement de deux étoiles à neutrons
- b) Deux étoiles de type solaire en orbite proche
- c) L'explosion d'une étoile massive en fin de vie (supernova)
- d) La coalescence de deux trous noirs supermassifs

2) Une seule de ces assertions est incorrecte. Laquelle ? Une onde gravitationnelle...

- a) induit une variation relative de longueur proportionnelle à l'amplitude de l'onde
- b) modifie la distance entre les objets
- c) déforme uniquement les objets de grande taille, comme par exemple la Terre

Sursaut Gamma

1) L'expansion de l'Univers :

- a) ralentit avec le temps t - la vitesse d'expansion tend à zéro pour t qui tend vers l'infini
- b) a ralenti jusqu'à récemment, puis elle a commencé à accélérer
- c) ralentira avec le temps, jusqu'à ce que l'Univers recollapsera

2) La nucleosynthèse primordiale se passe :

- a) dans les premières 10^{-5} secondes après le Big Bang
- b) dans les premières secondes après le Big Bang
- c) dans les premières minutes après le Big Bang

3) Les galaxies les plus massives :

- a) sont des galaxies elliptiques, elles ont rouges, et ont des taux de formation stellaire très élevés
- b) sont des galaxies spirales géantes, elles sont bleues, et ont une formation stellaire active
- c) sont des galaxies elliptiques, elles ont rouges, et ne contiennent presque pas de formation stellaire

Introduction à la Philosophie des sciences – Gauvain Leconte (1 points)

Parmi les affirmations suivantes, lesquelles sont correctes ? Il y a trois réponses valides : vous n'êtes pas obligé-e de justifier vos réponses mais vous pouvez le faire si vous souhaitez expliquer le raisonnement qui vous y a amené-e.

- A. Le problème de la vérification est que l'on ne peut pas vérifier directement toutes les informations scientifiques.
- B. Le problème de l'induction est que l'on ne peut pas déduire une théorie universelle de données d'observations particulières parce que l'on ne peut jamais être certain que le futur ressemblera au passé.
- C. Le principe cosmologique affirme que l'Univers est statistiquement isotrope et homogène.
- D. Le principe cosmologique affirme que la densité de l'Univers ne change pas avec le temps.
- E. Le problème de la vérification est que l'on ne peut pas démontrer qu'une hypothèse est vraie en prouvant que l'une de ses conséquences (prédictions) l'est.

F. Le problème de l'induction est que la science n'est pas une forme de croyance universelle mais subjective, socialement déterminée par la culture et la période historique des sociétés dans laquelle travaillent les scientifiques.

G. Le problème de l'induction, c'est que l'on finit toujours par manger de la dinde à Noël.

QUESTIONS D'EXAMEN 2024

Ondes et Instruments – Mathieu Puech (3 points)

Dans ce qui suit, indiquer une seule réponse par question.

Q1. Quel est le facteur principal qui limite la résolution spatiale d'un télescope au sol ? [0.5 point]

- a) La diffraction de la lumière par l'ouverture du télescope (« tâche d'Airy »)
- b) La quantité de poussière sur le miroir primaire du télescope
- c) La turbulence atmosphérique
- d) La pollution lumineuse du site d'observation

Q2. Quels sont les domaines de longueur d'onde observable depuis le sol ? [0.25 point]

- a) Tous les domaines
- b) Le domaine visible avec une partie de l'UV et de l'infrarouge
- c) Le domaine visible avec une partie de l'UV et de l'infrarouge ainsi qu'aux longueurs d'ondes radio
- d) Aucun

Q3. D'après les lois de Kirchhoff, lequel des milieux suivants émet des raies en émission ? [0.5 point]

- a) Un gaz froid à basse pression
- b) Un gaz froid à haute pression
- c) Un gaz chauffé à basse pression
- d) Un gaz chauffé à haute pression

Q4. Modèle de Bohr de l'Hydrogène : on rappelle la formule de Rydberg ci-dessous, avec $R_H = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$. A quelle transition correspondant la raie de Balmer $H\alpha$ qui émet à $\lambda = 656 \text{ nm}$? [0.5 point]

$$\frac{1}{\lambda_{\text{vac}}} = R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

- a) $n_1=1$ et $n_2=2$
- b) $n_1=1$ et $n_2=3$
- c) $n_1=2$ et $n_2=3$
- d) $n_1=3$ et $n_2=4$

Q5. Pourquoi cherche-t-on toujours à construire des télescopes au sol de plus en plus grands ? [0.25 point]

- a) La résolution spatiale est inversement proportionnelle au diamètre du télescope, on gagne donc en résolution quand le diamètre augmente
- b) Le pouvoir collecteur augmente proportionnellement avec le diamètre du télescope
- c) Ça fait plus d'emplois pour construire l'instrument, c'est donc économiquement intéressant
- d) Le pouvoir collecteur augmente proportionnellement avec la surface du télescope

Q6. Quel est le principal avantage des observations interférométriques ? [0.5 point]

- a) Cela permet d'observer des objets plus faibles que les observations classiques

- b) Cela permet de dépasser la résolution spatiale théorique d'un télescope unique
- c) Cela permet d'observer des objets qui se déplacent très rapidement dans le ciel
- d) Cela permet d'atteindre des résolutions spectrales très élevées

Q7. Qu'est-ce que l'astronomie multi-messagers ? [0.5 point]

- a) Une filiale de colissimo créée par J. Vaubailon
- b) L'observation d'un même objet à plusieurs longueurs d'ondes
- c) L'observation d'un même objet à partir de signaux électromagnétiques et de signaux non électromagnétiques
- d) Une branche de la physique qui étudie les interactions fondamentales

Astrométrie et mécanique céleste – Jérémie Vaubailon (3 points)

Répondez à chaque question en 1 ou 2 phrases (inutile d'écrire un paragraphe...)

Astrométrie

Vous êtes à l'OHP (latitude=43.5 deg N) en août 2024 et vous apprêtez à observer Pluton. Le temps sidéral est : TS=19h15m. Pluton est de coordonnées RA=20h12m45s, DEC=-23deg 15 min 33 sec.

Est-il possible d'observer Pluton ? Expliquer pourquoi.

Distances

Expliquez pourquoi la mesure d'une seule distance (en l'occurrence l'unité astronomique) a permis de déduire beaucoup d'autres distances dans le Système Solaire.

Phénomènes

Expliquez comment l'observation d'une éclipse à Babylone le 15 avril -135 (ou de manière général, l'observation des éclipses dans l'antiquité, i.e. dans un temps lointain par rapport au présent) a permis de mesurer le ralentissement de la rotation de la Terre.

Mécanique Céleste

St-Exupéry a écrit : “Droit devant soi, on ne peut pas aller bien loin”. Expliquez pourquoi cette affirmation est spécialement pertinente dans le Système Solaire, en précisant comment aller d'un point A à un point B en mécanique céleste.

Temps

Pourquoi les satellites GPS modernes embarquent des horloges atomiques ?

Météores

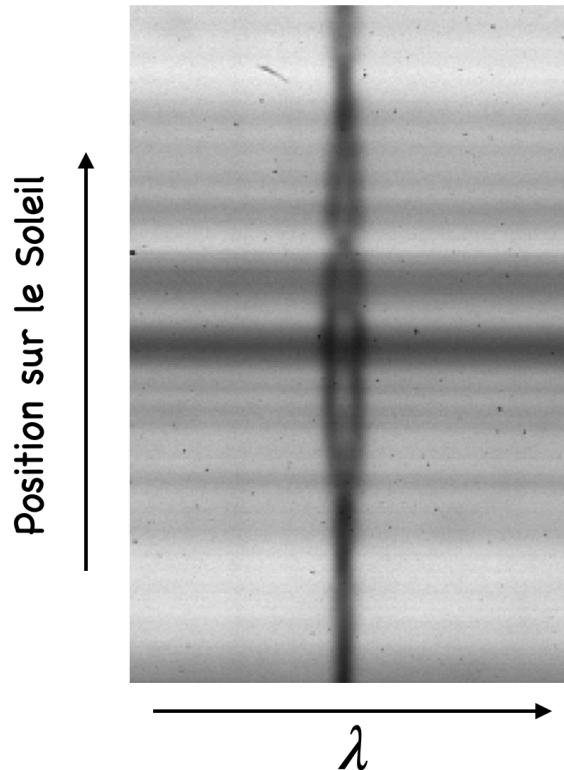
Un journaliste souhaite organiser un événement public en plein coeur de Paris pour observer les Perséides. Quel(s) aspect(s) astronomique(s) rend(ent) une telle idée difficile à mettre en pratique ?

Soleil – Frédéric Baudin (2 points)

1) Donner les noms des 3 zones internes du Soleil et décrire en quelques mots le phénomène physique qui les caractérise.

2) Décrire en quelques mots ce qu'est un plasma. A-t-on plus de chances d'en trouver à basse température ou à haute température ?

- 3) Rappeler en quelques mots comment varient la masse volumique et la température quand on va du centre du Soleil à la couronne.
- 4) Dans le spectre ci-dessous, qui montre la longueur d'onde en abscisse et la position sur le disque solaire en ordonnée, quel effet physique explique le dédoublement de la raie sombre ? Quelle structure est observée ?



Etoiles et milieu interstellaire – Pierre Kervella (3 points)

Question 1: (1 point)

- Citer les deux principales réactions de fusion nucléaire se produisant dans les étoiles de la séquence principale. (1/2 point)
- Quels sont les réactifs de départ, les produits et les éventuels catalyseurs de ces réactions ? (1/2 point)

Question 2: (1 point)

- Classer les étoiles dont la structure est représentée sur la **Figure 1** par ordre de masse croissante. (3/4 point)
- Laquelle des cinq étoiles est la plus grosse en termes de rayon ? Pourquoi ? (1/4 point)

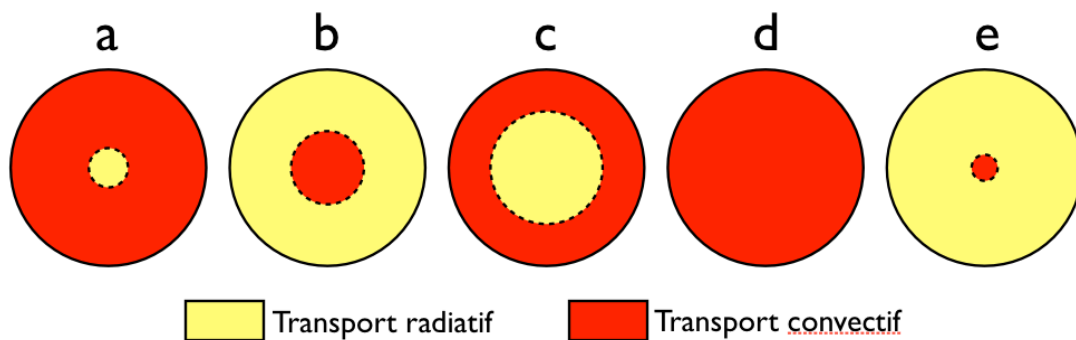


Figure 1. Représentation schématique la structure interne de 5 étoiles de la séquence principale. La taille relative des étoiles n'est pas respectée sur le dessin, mais l'extension des zones internes correspondant aux deux types de transport de l'énergie (radiation et convection) sont à l'échelle pour chacun des cas.

Question 3 : (1 point)

- a) Quel est le plus jeune des deux amas A et B d'après leurs diagrammes Hertzsprung-Russell présentés sur la **Fig. 2** ? Expliquer brièvement votre raisonnement. (1/2 point)
- b) Lequel des deux amas est le plus lointain ? Lequel est un amas ouvert et lequel est un amas globulaire ? Pourquoi ? (1/2 point)

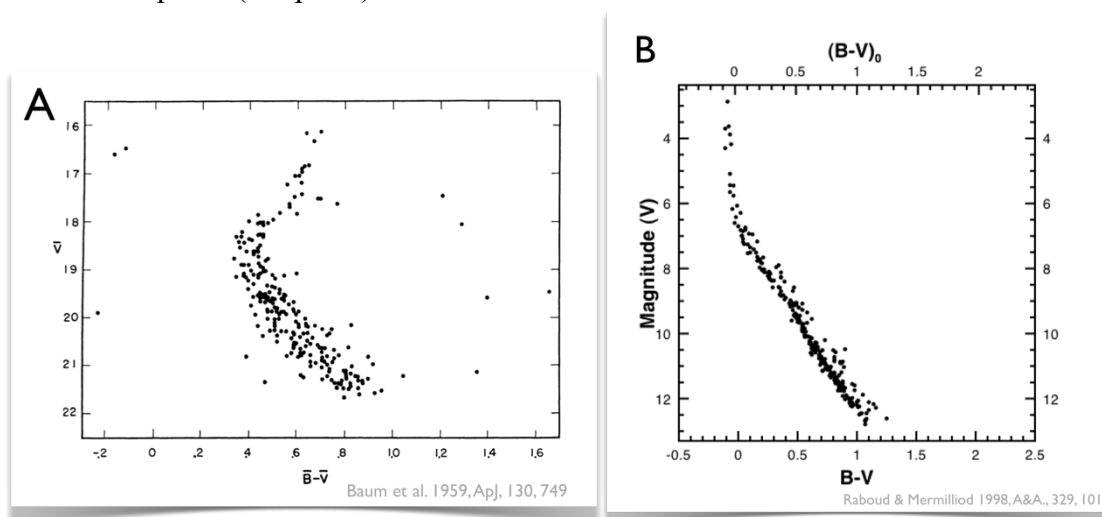


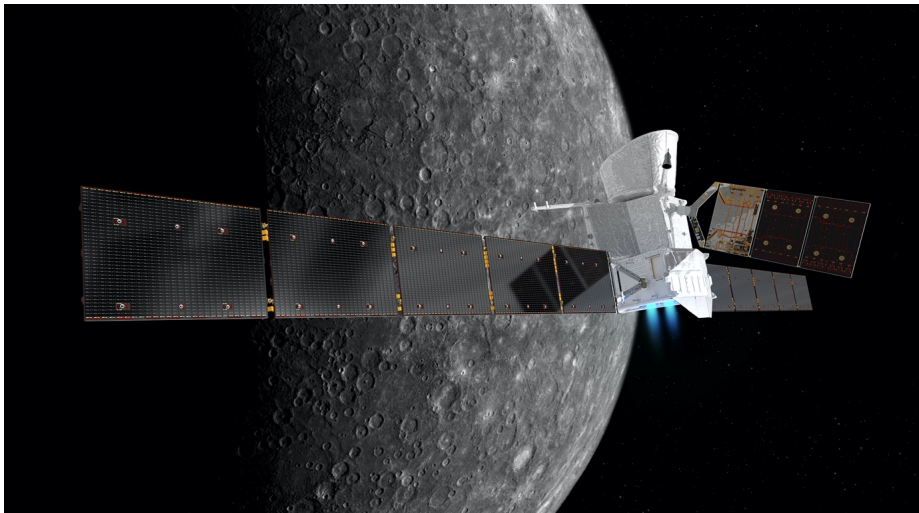
Figure 2. Diagrammes Hertzsprung-Russell de deux amas stellaires. En abscisse est représentée la couleur B-V (plus bleue vers la gauche, plus rouge à droite) et en ordonnée la magnitude apparente des étoiles en bande V.

Planétologie comparée - Alain Doressoundiram (3 points)

Mercure, la planète de fer »

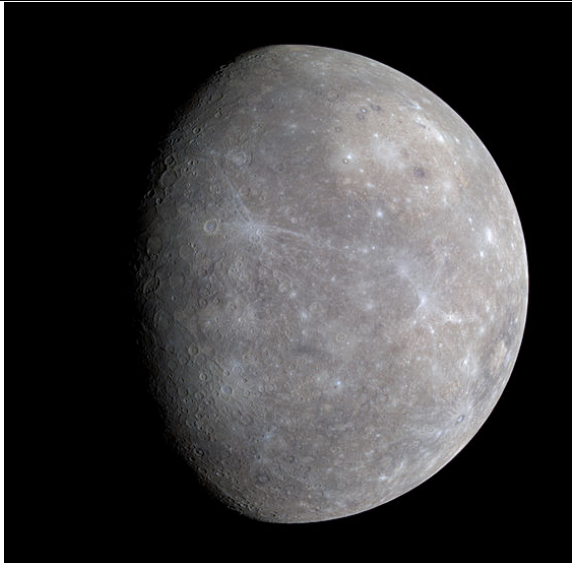
La planète Mercure est l'objet d'une très grande attention de la communauté scientifique européenne depuis la sélection du projet de mission spatiale ESA/JAXA BepiColombo. Cette dernière, dans la nuit du 19 Octobre 2018, a commencé son long voyage vers Mercure. Elle devrait à son arrivée en 2025 répondre à des questions restées en suspens comme l'origine du champ magnétique, l'interaction de la magnétosphère herminienne avec le vent solaire, l'histoire volcanique de la planète ou encore la nature de ces fameux « hollows », zones brillantes, « bleues » et étonnamment actives à la surface.

Pour en savoir plus et télécharger des jeux et des goodies, <https://www.planete-mercure.fr/>



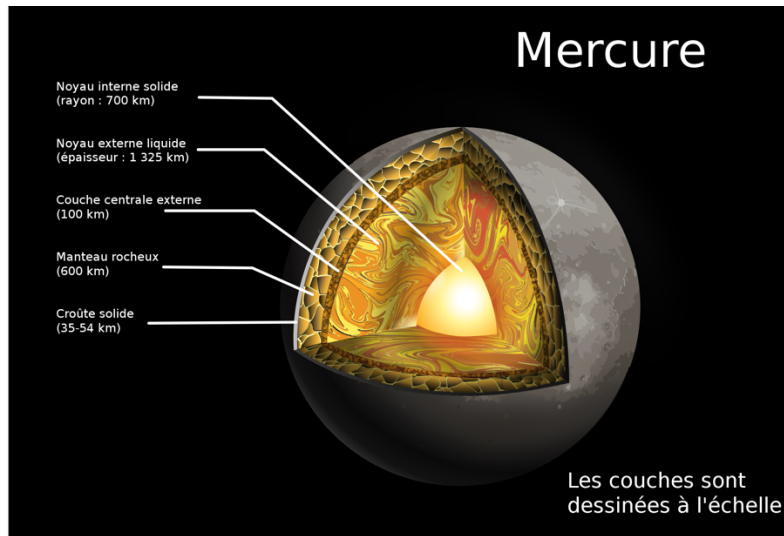
Le vaisseau composite BepiColombo, à l'approche de la planète Mercure fin 2025. Crédits : ESA

DOCUMENT 1 : Carte d'identité de Mercure.

	<p>Planète rocheuse Période de révolution : 87,969 jours (0,241 années terrestres) Demi grand axe : ??? UA Périhélie : 0,307 UA Aphélie : 0,467 UA Inclinaison de l'axe de rotation sur l'orbite : 0,035° Période de rotation : 58,6 jours Albédo : 0,142 Diamètre moyen : 4879 km (0,383 Terre) Masse : $3,30 \cdot 10^{23}$ kg (0,055 Terre) Pas d'atmosphère mais une exosphère Champ magnétique 100 fois plus faible que sur Terre</p>
---	---

Mercure vue par la sonde Messenger (source NASA)

DOCUMENT 2 : Structure interne de Mercure telle que supposée en 2020. Le noyau, composé de métaux, représente près de 85 % de son rayon, contre environ 55 % pour la Terre. De ce fait, Mercure est surnommée la « planète de fer »



source : wikipedia

QUESTION 1 : En utilisant vos connaissances ainsi que les informations extraites du document 1, choisissez les propositions exactes parmi les suivantes.

- A. Sur Mercure, on peut voir les étoiles en plein jour car il n'y a pas d'atmosphère
- B. Sur Mercure, on peut voir les étoiles en plein jour car le champ magnétique est très faible
- C. Sur Mercure, tout comme sur la Lune, on peut voir les étoiles en plein jour.
- D. Vu dans le ciel de Mercure, le Soleil apparent est au maximum 3 fois plus grand qu'il ne l'est dans le ciel de la Terre
- E. Vu dans le ciel de Mercure, le Soleil apparent est au maximum 6 fois plus grand qu'il ne l'est dans le ciel de la Terre
- F. Vu dans le ciel de Mercure, le Soleil apparent est au maximum 3 fois plus petit qu'il ne l'est dans le ciel de la Terre
- G. Vu dans le ciel de Mercure, le Soleil apparent est au maximum 6 fois plus petit qu'il ne l'est dans le ciel de la Terre

QUESTION 2 : En utilisant vos connaissances ainsi que les informations extraites du document 1, choisissez les propositions exactes parmi les suivantes.

- A. Sur Mercure, on ne peut pas avoir de saisons car son axe de rotation est pas/peu incliné sur son orbite
- B. Sur Mercure, on ne peut pas avoir de saisons car on est trop près du Soleil
- C. Sur Mercure, l'été a lieu obligatoirement au périhélie
- D. Sur Mercure, il fait globalement plus chaud au périhélie qu'à l'aphélie
- E. Sur Mercure, il fait globalement plus chaud à l'aphélie qu'au périhélie
- F. Mercure a une orbite elliptique autour du Soleil

QUESTION 3 : Johannes Kepler énonce en 1618 sa fameuse 3^e loi qui permet de déterminer le demi grand axe de l'orbite d'un astre autour du Soleil si on connaît la période de révolution de son orbite. Choisissez les propositions exactes parmi les suivantes.

- A. le demi grand axe est de 0,118
- B. le demi grand axe est de 0,307
- C. le demi grand axe est de 0,387
- D. le demi grand axe est de 0,401
- E. le demi grand axe est de 0,467
- F. le demi grand axe est de 0,722
- G. La 3^e loi de Kepler permet aussi de déterminer la température de Mercure
- H. La 3^e loi de Kepler permet aussi de déterminer la masse du Soleil.

QUESTION 4 : En utilisant vos connaissances ainsi que les informations extraites du document 2, choisissez les propositions exactes parmi les suivantes.

- A. Une explication avancée pour l'existence d'un champ magnétique sur Mercure est l'existence d'un noyau métallique partiellement liquide
- B. Le champ magnétique existe sur toutes les planètes telluriques du Système solaire.
- C. Le champ magnétique sur Mercure doit son existence à la proximité du Soleil
- D. le noyau de Mercure occupe environ 85 % de son volume
- E. le noyau de Mercure occupe environ 72,3 % de son volume
- F. le noyau de Mercure occupe environ 61,4 % de son volume

Galaxies – Paola Di Matteo (3 points)

1. En quoi consiste le diagramme de Hubble ? Comment les galaxies de morphologies différentes y sont distribuées et comment leurs propriétés changent le long de ce diagramme ?
2. Etoiles Céphéides : pourquoi sont-elles utilisées comme estimateurs de distance ?
3. Galaxies ultra-lumineuses dans l'infrarouge : à quelles longueurs d'onde leur distribution spectrale d'énergie est maximale, pourquoi, et à quel processus évolutif ces galaxies sont souvent associées ?

Cosmologie – Andrea Cattaneo (3 points)

- 1) Une galaxie se trouve à une distance propre $R = 10$ milliards d'année lumière. On supposera une constante de Hubble de $H_0 = 70 \text{ km/s/Mpc}$ (1 parsec = 3,26 année lumière). Laquelle des affirmation ci-dessous est correcte ?
 - a) La galaxie s'éloigne à une vitesse dR/dt proche de la lumière. Elle se trouve dans l'horizon cosmologique. Elle est observable.
 - b) La galaxie s'éloigne à une vitesse $dR/dt = 2.3 \times 10^6 \text{ km/s}$. Elle se trouve dans l'horizon cosmologique. Elle est observable.
 - c) La galaxie s'éloigne à une vitesse $dR/dt = 2.3 \times 10^6 \text{ km/s}$. Elle est au-delà de l'horizon. Elle n'est pas observable.
- 2) Dans quel sens les neutrinos peuvent être considérés comme du rayonnement ?
 - a) Les neutrinos sont des particules de masse nulle.

- b) Ils sont issus de désintégrations radioactives.
- c) Leur énergie de masse mc^2 est négligeable par rapport à l'énergie total $E = \sqrt{((mc^2)^2 + (pc)^2)}$.

3) Qu'est-ce qui détermine la taille des galaxies spirales ?

- a) La conservation de l'énergie
- b) La conservation du moment cinétique
- c) L'efficacité de la rétroaction par les supernovas.

Traitements de données – Pierre Baudoz (2 points)

On veut traiter les observations d'une galaxie peu lumineuse enregistrées sur une caméra CCD.

On dispose de :

- A) Une image I_A enregistrée avec un temps de pose de 0.001ms et avec l'obturateur de l'instrument fermé.
- B) Une image I_B enregistrée avec un temps de pose de 1s et avec une source uniforme placée à l'entrée de l'instrument
- C) Une image non traitée I_C de la galaxie avec un temps de pose de 3 minutes

Q1 : À quelle image correspond le biais :

- 8)** I_A
- 9)** I_B
- 10)** I_C
- 11)** Aucun biais

Q2 : À quelle image correspond le « dark » :

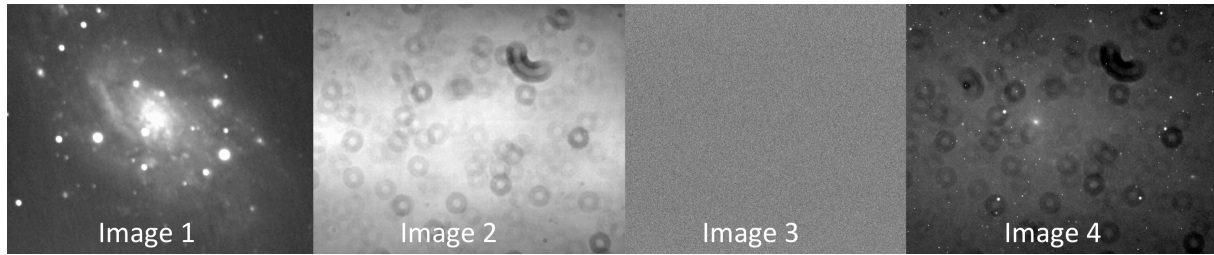
- 1)** I_A
- 2)** I_B
- 3)** I_C
- 4)** Aucun dark

Q3 : À quelle donnée correspond le « Flat-Field » :

- 1)** I_A
- 2)** I_B
- 3)** I_C
- 4)** Aucun « Flat-Field »

Q4 : Quelle équation va-t-on utiliser pour soustraire les effets de la CCD des données brutes de I_C :

- 6)** $(I_C - I_A)$
- 7)** $(I_C - I_A) / I_B$
- 8)** $(I_C - I_A) / (I_B - I_A)$
- 9)** $(I_C - I_B) / (I_B - I_A)$



Les images enregistrées et l'image traitée sont données ci-dessus.

Q5 : A quelle image correspond I_A ? :

- 1) $I_A = \text{Image 1}$
- 2) $I_A = \text{Image 2}$
- 3) $I_A = \text{Image 3}$
- 4) $I_A = \text{Image 4}$

Q6 : A quelle image correspond I_B ? :

- 1) $I_B = \text{Image 1}$
- 2) $I_B = \text{Image 2}$
- 3) $I_B = \text{Image 3}$
- 4) $I_B = \text{Image 4}$

Q7 : A quelle image correspond I_C ? :

- 1) $I_C = \text{Image 1}$
- 2) $I_C = \text{Image 2}$
- 3) $I_C = \text{Image 3}$
- 4) $I_C = \text{Image 4}$

Q7 : Pourquoi doit-on enregistrer beaucoup d'images du biais ?

Histoire - Jérôme LAMY (2 points)

1- Quels ont été les apports décisifs des savants présocratiques à l'astronomie antique ?

2- En quoi le télescope proposé par Isaac Newton constitue-t-il une avancée technique ?

Hautes Énergies – Alexandre le Tiec, Andreas Zech, Susanna Vergani (2 points)

Réservé aux parcours vidéo à distance : sujet compté dans la moyenne

Ondes gravitationnelles (Alexandre Le Tiec)

1) Les ondes gravitationnelles sont...

- a) des vibrations du champ électromagnétique.
- b) des vaguelettes à la surface des océans.
- c) de petites oscillations dans la courbure de l'espace-temps.

2) Les ondes gravitationnelles sont générées par...

- a) l'accélération de particules chargées électriquement à des vitesses relativistes.
- b) l'accélération de grandes concentrations de masse à des vitesses relativistes.
- c) les interféromètres laser de taille kilométrique LIGO et Virgo.
- d) l'expansion de l'Univers.

AGN (Andreas Zech)

1) Qu'est-ce qu'on sait sur l'émission des « radio galaxies » ?

- a) Une émission puissante en rayons X est liée à la présence d'un tore de poussière.
- b) Leur émission puissante en radio vient du disque d'accrétion qui entoure le trou noir.
- c) Le tore de poussière est responsable de l'émission des rayons gamma.
- d) Les jets peuvent émettre de la lumière de la bande radio jusqu'aux rayons X et parfois gamma.

2) Comment détecte-t-on les rayons gamma de très hautes énergies ?

- a) On détecte les rayons gamma de très hautes énergies sur le sol grâce à une diminution de leur section efficace en régime relativiste quand ils traversent l'atmosphère.
- c) On peut seulement détecter les rayons gamma de très hautes énergies avec des télescopes spatiaux, de par leur émission de bremsstrahlung dans le milieu interstellaire.
- b) On détecte les rayons gamma de très hautes énergies sur le sol par une lumière bleue et ultra-violet émise par des cascades atmosphériques qu'ils déclenchent.
- d) On détecte les rayons gamma de très hautes énergies avec des télescopes spatiaux grâce à l'effet Cherenkov qui est lié à leur mouvement supraluminique.

Sursauts Gamma (Susanna Vergani)

1- Les observations des contreparties électromagnétiques de GW170817 confirment les théories qui soutiennent que les sursauts gamma courts:

- a) ont la même origine que les sursauts gamma longs
- b) sont associés à la coalescence d'un système binaire d'étoiles à neutrons
- c) ont tous eu lieu dans notre galaxies
- d) sont associés à l'explosion d'étoiles massives

2- Les observations des contreparties électromagnétiques de GW170817 contribuent à confirmer les prédictions théoriques qui soutiennent que les éléments lourds présents dans l'univers se forment surtout:

- a) lors d'une kilonova
- b) lors d'une supernova Ia
- c) lors d'une supernova Ic
- d) lors d'un sursauts gamma long

Introduction à la Philosophie des sciences – Gauvain Leconte (1 points)

- A. Le problème de la sous-détermination empirique des énoncés théoriques est que l'on ne peut pas donner un sens précis aux énoncés scientifiques.
- B. Le problème de la sous-détermination empirique des énoncés théoriques apparaît quand une observation peut être interprétée dans plusieurs modèles théoriques.

- C. On ne peut pas trancher entre différents modèles empiriquement équivalents parce qu'ils sont identiques en tout point et reposent sur les mêmes hypothèses formulées de la même manière.
- D. On peut trancher entre différents modèles empiriquement équivalents en utilisant des critères non empiriques, comme la simplicité, mais ces critères sont eux-mêmes difficiles à fixer de manière univoque.
- E. La loi de Hubble-Lemaître (le décalage vers le rouge des galaxies est proportionnel à leur distance) était un exemple de sous-détermination empirique dans les années 1930 puisqu'elle pouvait être interprétée de différentes manières : comme une expansion de l'espace, comme un effet de Sitter, comme un déplacement des galaxies, comme une lumière fatiguée, ...
- F. Le problème de la sous-détermination empirique est de déterminer le critère de démarcation pour distinguer les théories scientifiques (comme la théorie de l'inflation) et les théories pseudo-scientifiques (comme l'astrologie ou le créationnisme).
- G. Le problème de la sous-détermination empirique est que l'on ne sait toujours pas ce que « empirique » veut dire !