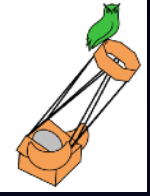


Les lumières de la nuit

(3ème et dernière partie)

- Résumé des 2 précédents épisodes
- Point sur la vision nocturne
- Contributions extraterrestres
 - Etoiles, Voie lactée, Lumière zodiacale
- Contribution terrestre naturelle
 - Airglow
- Mesure de la luminance

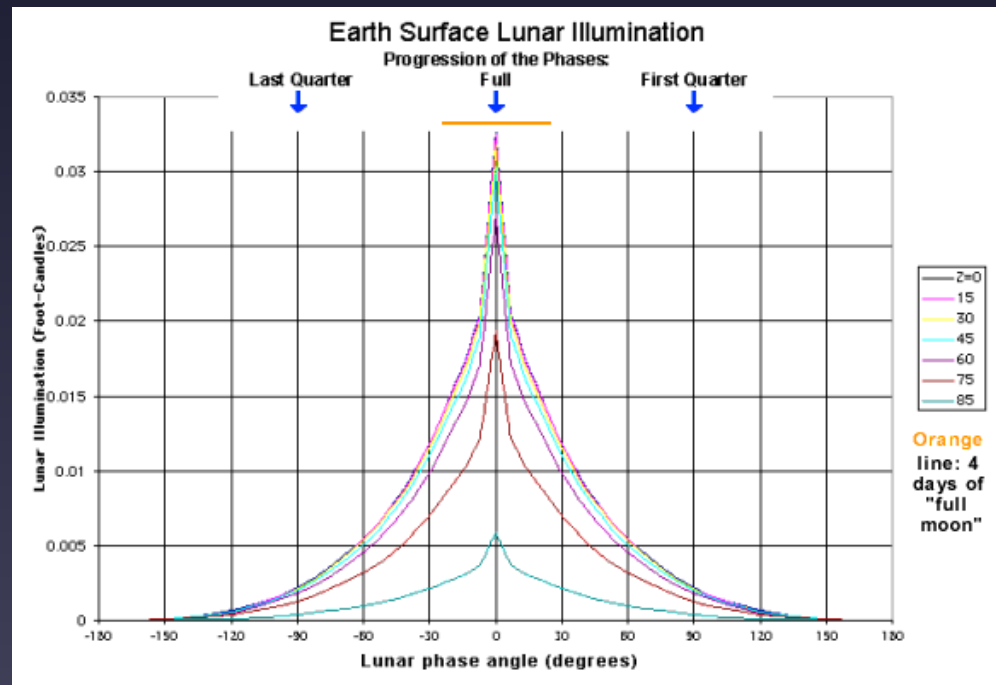


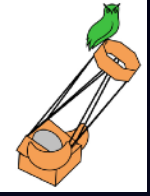
Rappel sur le clair de lune

Luminosité variable

Rayonnement oblique, zones d'ombre, mers réfléchissant moins que les montagnes :

- ➡ luminosité du 1er quartier $\sim 1/12$ - $1/15$ de la PL
- ➡ luminosité dernier quartier $<$ luminosité du 1er
- ➡ entre pleine lune (éclairée de face, pas d'ombre) et la veille ou le lendemain, différence de 30% de luminosité



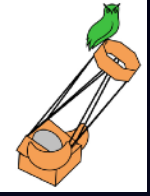


Trois raisons pour une nuit noire

Age de l'univers fini
Vitesse de la lumière finie
Univers en expansion



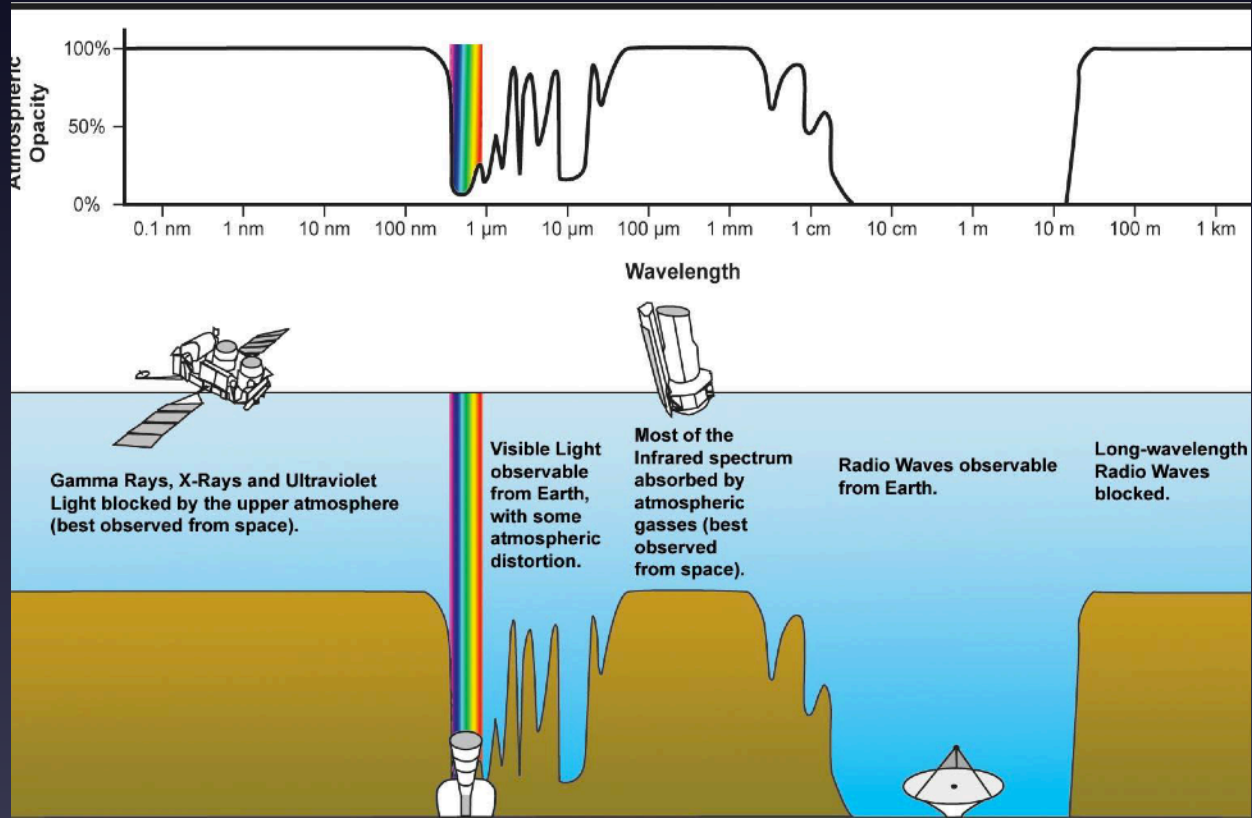
Image Credit: [NASA](#), [ESA](#), [Hubble](#)



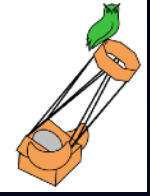
Vision humaine

Lumière « visible » !

Sensibles à des longueurs d'onde comprises entre 370 et 730 nanomètres.



émission du Soleil (~ corps noir à 5800 K) maximum dans cette gamme de longueur d'ondes



Vision humaine

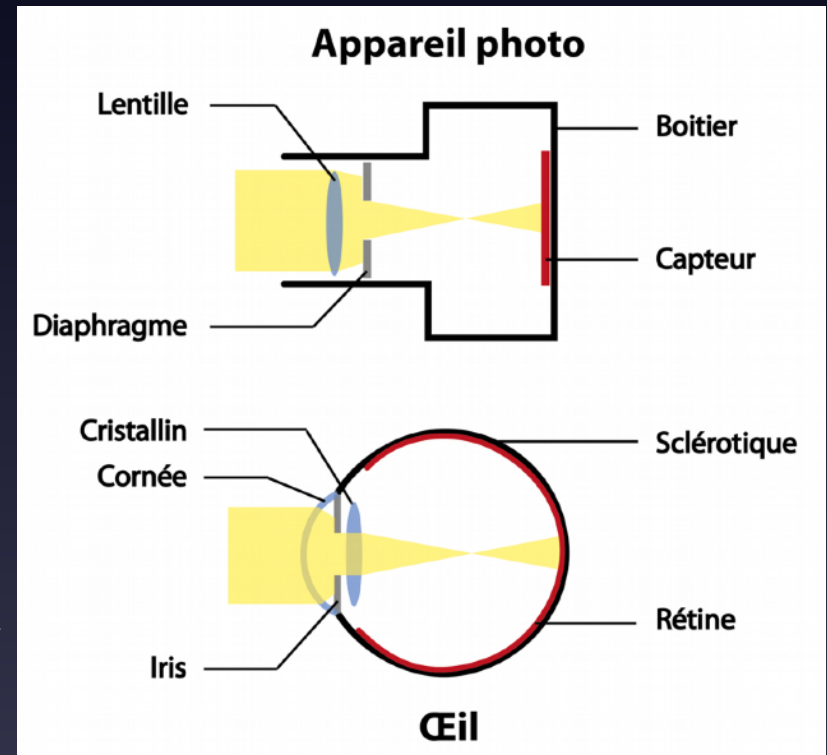
L'œil, un instrument performant

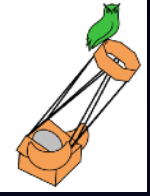
Le 1^{er} instrument d'observation !

Pupille + cristallin + rétine =
diaphragme + objectif + capteur

Limites physiologiques

Limite minimale : flux de 50 photons/s.
~ flux reçu au fond de l'œil par une
étoile de magnitude 6.
valeurs variant d'un individu à un autre,
en fonction de la qualité de sa vue.
Études récentes : sensibilité au photon
unique....





Vision humaine

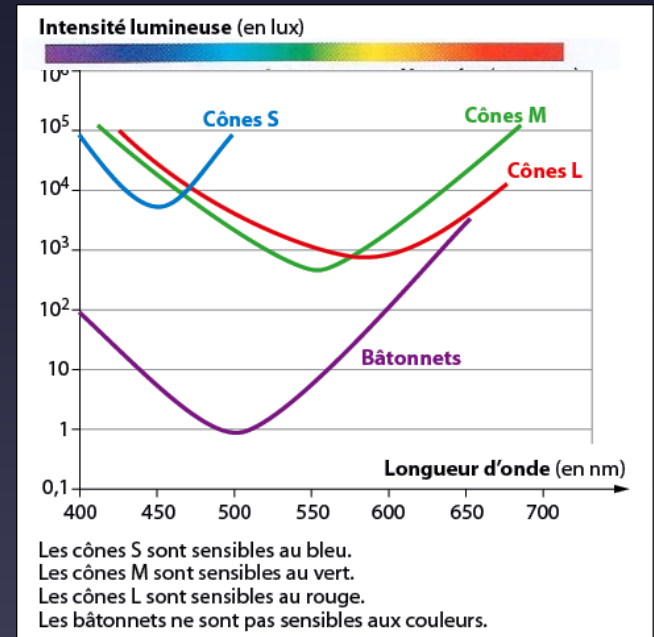
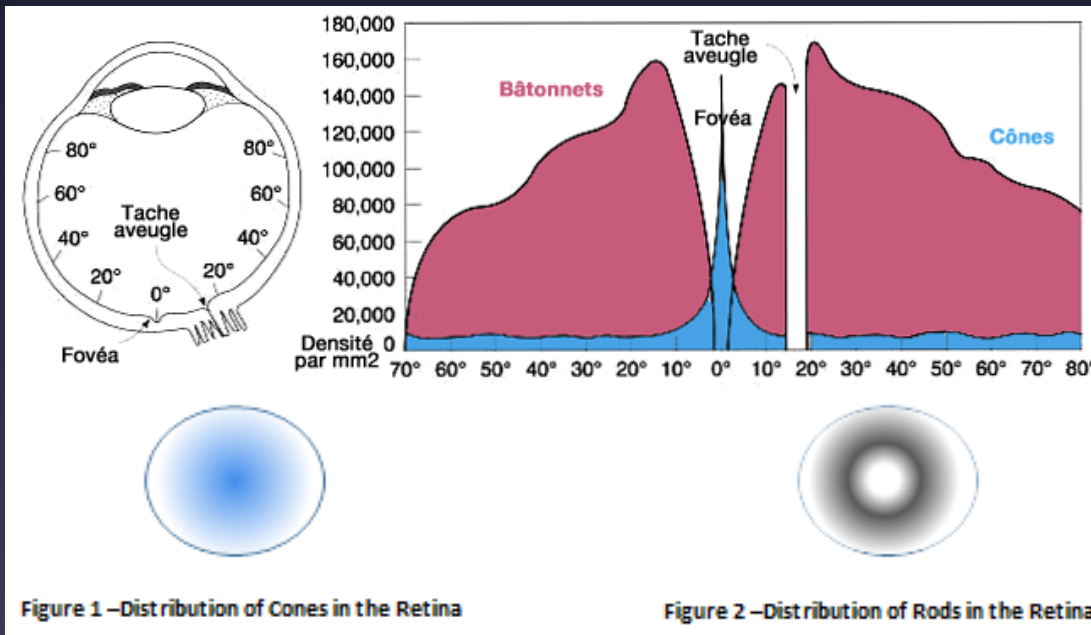
Rétine

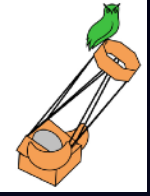
membrane neurosensorielle; lumière -> influx nerveux

~ 120 à 130 M cellules

5% « cônes »: vision diurne, 3 types pour la perception des couleurs, image très nette, zone centrale de la rétine (fovéa)

95% « bâtonnets » : vision nocturne, sensible à la différence obscurité/lumière, faible pouvoir de résolution, plus dense autour de la fovéa





Vision humaine

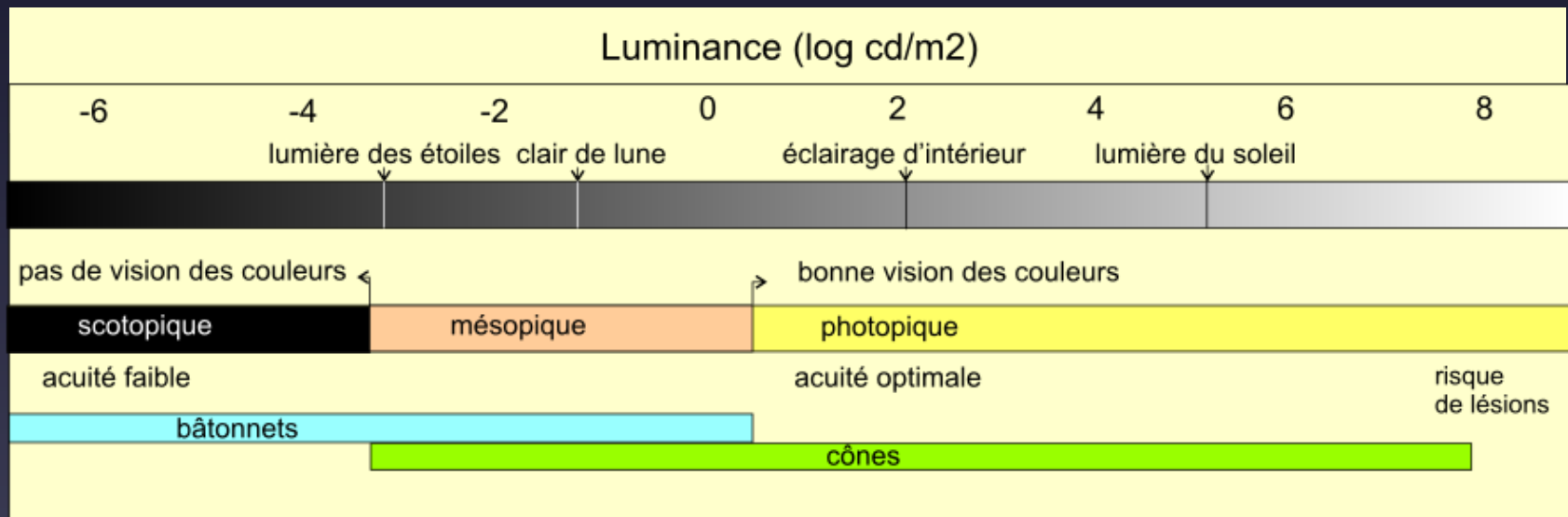
Rétine

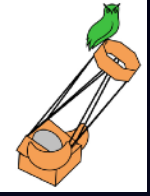
membrane neurosensorielle; lumière -> influx nerveux

~ 120 à 130 M cellules

5% « cônes »: vision diurne, 3 types pour la perception des couleurs, image très nette, zone centrale de la rétine (fovéa) - **Vision photopique**

95% « bâtonnets » : vision nocturne, sensible à la différence obscurité/lumière, faible pouvoir de résolution, plus dense autour de la fovéa - **Vision scotopique**





Adaptation à la vision nocturne

Temps d'adaptation

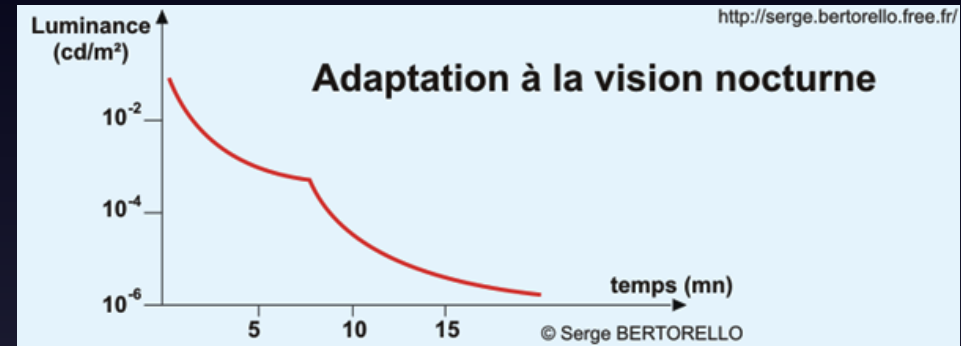
Dans l'obscurité:

Dilatation de la pupille

Libération dans la rétine d'un pigment augmentant la sensibilité des bâtonnets

Adaptation au bout de 20 à 30mn, sensibilité bâtonnets x 1000

Pigment détruit par source de lumière importante



Décalage du maximum de sensibilité

De jour, maximum @ 560nm

En faible luminosité, décalage vers le bleu

Vision décalée

Il faut regarder les objets faibles en vision périphérique, sinon l'image se forme sur la fovéa, les cônes ne sont pas stimulés, on ne voit rien.

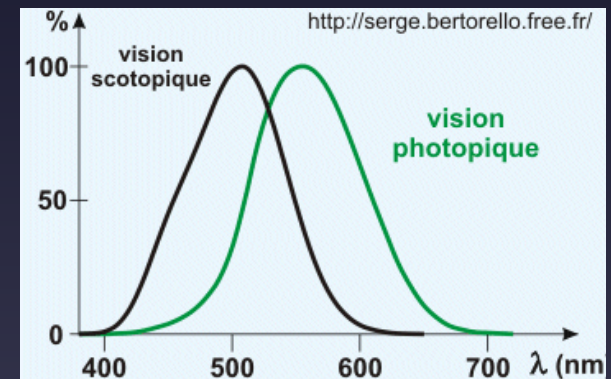
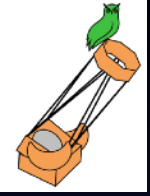


Figure 9a : Sensibilité spectrale des cônes et des bâtonnets. Les sommets sont rapportés au même niveau.



Lumière des astres

Eclat et magnitude

Loi de Pogson

Entre magnitudes apparentes 1 et 6 : éclat 100 fois plus faible
Sensation d'éclat perçue par l'œil varie comme le logarithme de son excitation (loi physiologique de Frechner)

$$r^{(6-1)} = 100 \Rightarrow r = 100^{1/5} = 2.511886$$

étoile de magnitude 1 brille 2,512 fois plus qu'étoile de magnitude 2

Astres A et B, éclats E_A , E_B , magnitudes apparentes m_A et m_B

$$E_A/E_B = r^{(m_B - m_A)}$$

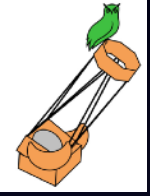
En passant en log décimaux
=> formule de Pogson :

$$m_B - m_A = \frac{1}{\log r} \log(E_A/E_B)$$

$$m_B - m_A = -2.5 \log(E_B/E_A)$$

Limite de visibilité œil nu : ~ mag 6

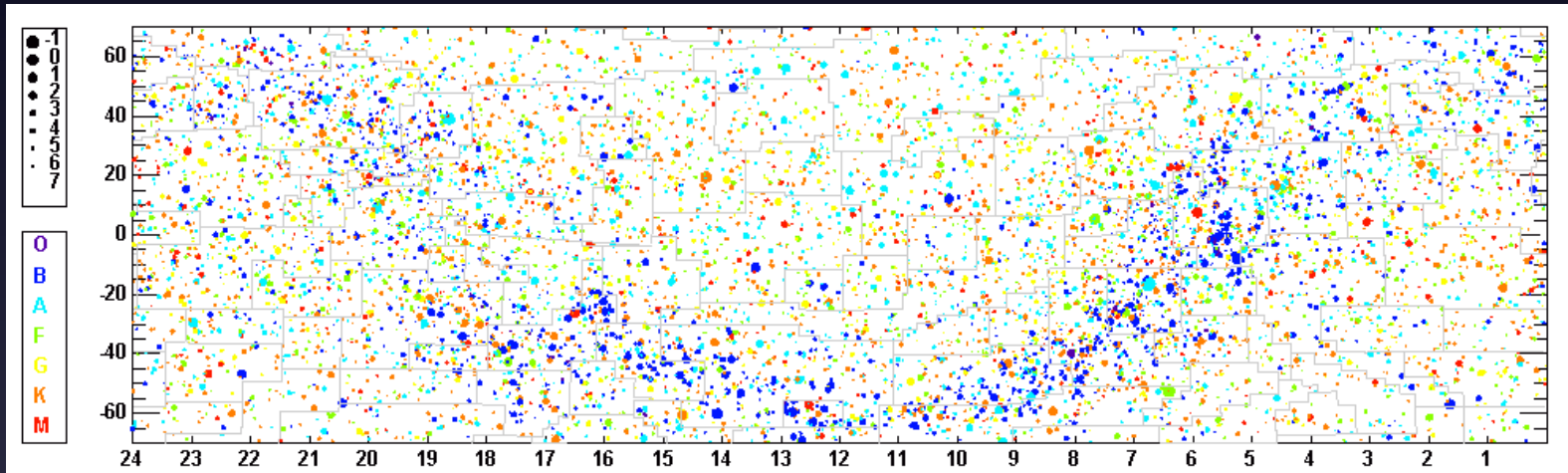
Objet	Magnitude
Soleil	-26,8
Lune (pleine lune)	-12,7
Planète Vénus (maximum)	-4,4
Planète Mars (maximum)	-2,8
Planète Jupiter (maximum)	-2,5
Sirius (étoile la +brillante)	-1,5
Étoile Véga	0
Étoile Polaire	2
Planète naine Pluton	14
Grosses exoplanètes	28



Lumière des étoiles

Environ 6000 étoiles visibles à l'oeil nu

dépend de l'individu et des conditions d'observation !!!



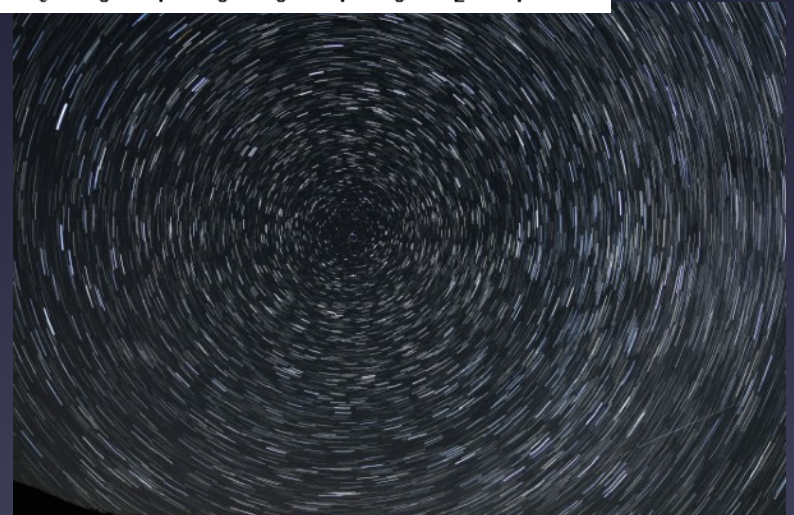
$m < 6$

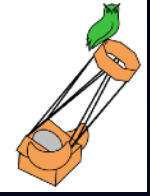
Toutes sont dans notre galaxie

On distingue des couleurs :

Rigel, Véga, Albiréo B... : bleu

Antarès, Aldébaran, Betelgeuse... :
orangé





Lumière de la voie lactée

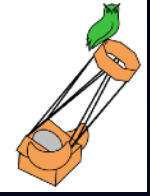
Bande diffuse de lumière blanchâtre

Environ 30° de large

« Voie lactée » : cette bande visible lors des observations nocturnes (si ciel bien noir)



G. Cannat



Lumière de la voie lactée

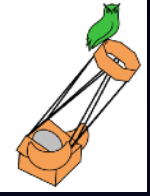
Magnitude

1/3 des étoiles brillantes $m < 3.5$ dans la voie lactée

Proportion augmente pour les étoiles moins brillantes



<https://www.lemonde.fr/blog/autourduciel/2020/06/02/larche-de-la-voie-lactee-seleve-chaque-nuit-un-peu-plus-tot-dans-le-ciel/rvb-20200517-archevl-4000/>



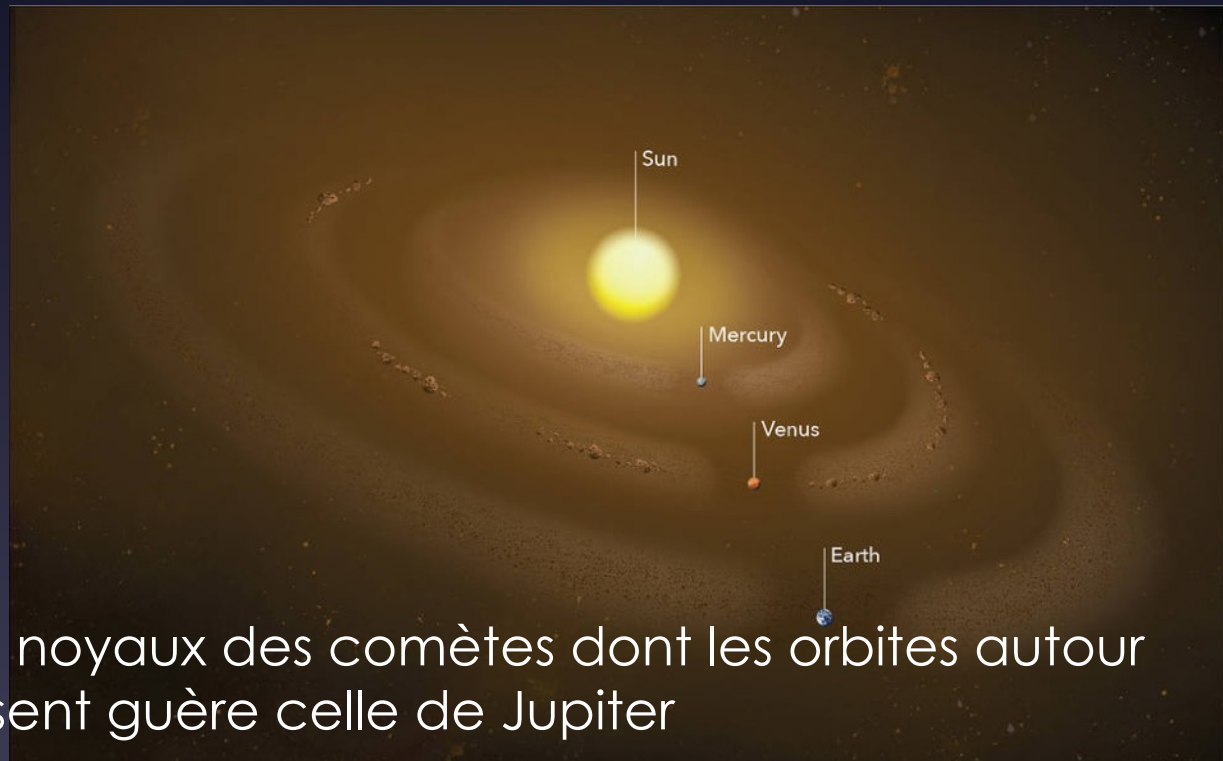
Lumière zodiacale

Diffusion de la lumière du soleil

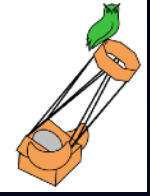
Spectre identique à celui de la lumière solaire

Diffusion des rayons du Soleil sur les particules microscopiques de poussière errant entre les planètes du Système solaire.

Nommée ainsi car s'étendant le long du zodiaque



Fragmentation des noyaux des comètes dont les orbites autour du Soleil ne dépassent guère celle de Jupiter



Lumière zodiacale

Visibilité

pâle lueur en forme de cône (d'arche, c'est rare...)

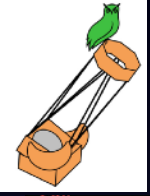
seulement visible lors d'une nuit sans lune, sans pollution lumineuse et dans un ciel clair et limpide.

En Europe, meilleures périodes pour observer la lumière zodiacale

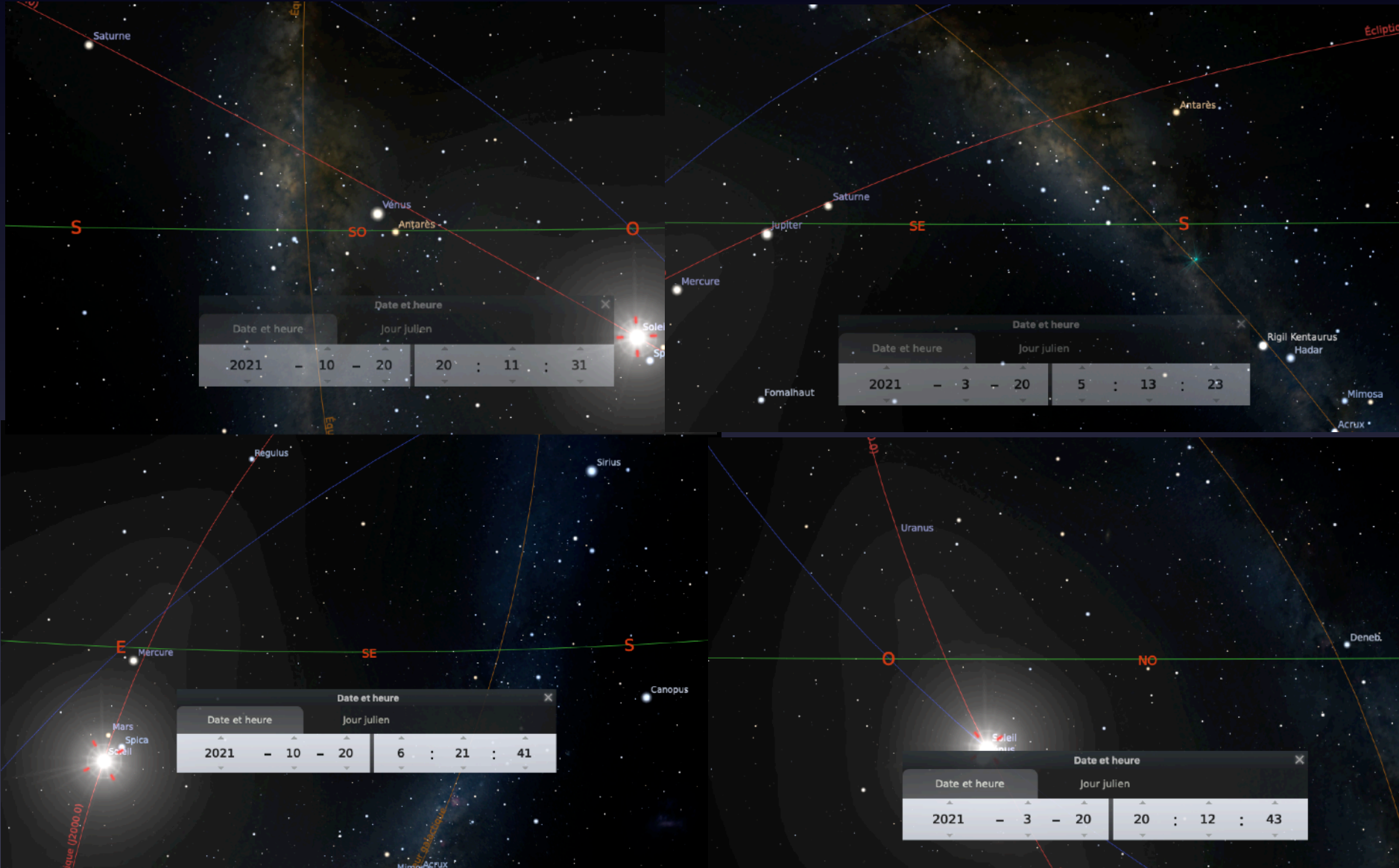
en mars et avril,
le soir au-dessus de l'horizon ouest
environ 1 h 30 après le coucher du Soleil.
en septembre et octobre,
le matin au-dessus de l'horizon est,
environ 1 h 30 avant le lever du Soleil

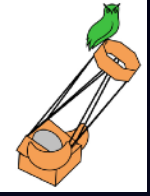


Photo : ESO/Y. Beletsky – ESO CC BY 4.0



Lumière zodiacale



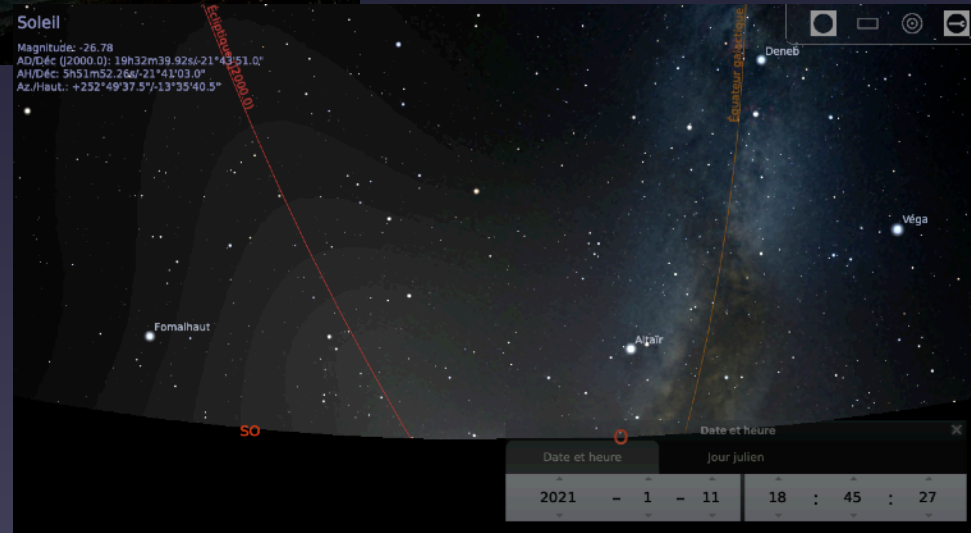


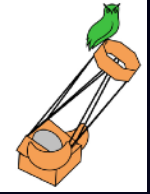
Lumière zodiacale

Visibilité



La lumière zodiacale et la Voie lactée au sommet du mont Aigoual en janvier 2021.
© Guillaume Cannat

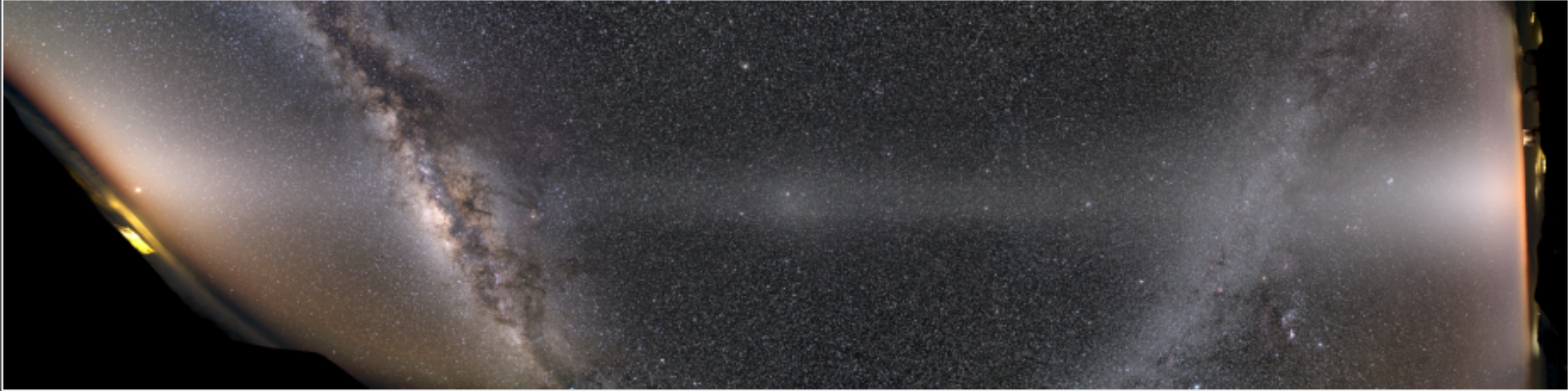




Lumière zodiacale

Panorama à 360°

http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/Astro/Mauna_kea_11/2011_04_02-03_360deg/0-info.htm

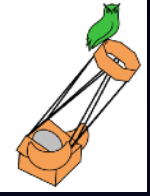


Zodiacal light, Mauna Kea, 3-4. 4. 2011

© 2011 Miloslav Druckmüller, Shadia Habbal

Coordonnées
écliptiques,
projection rectangulaire

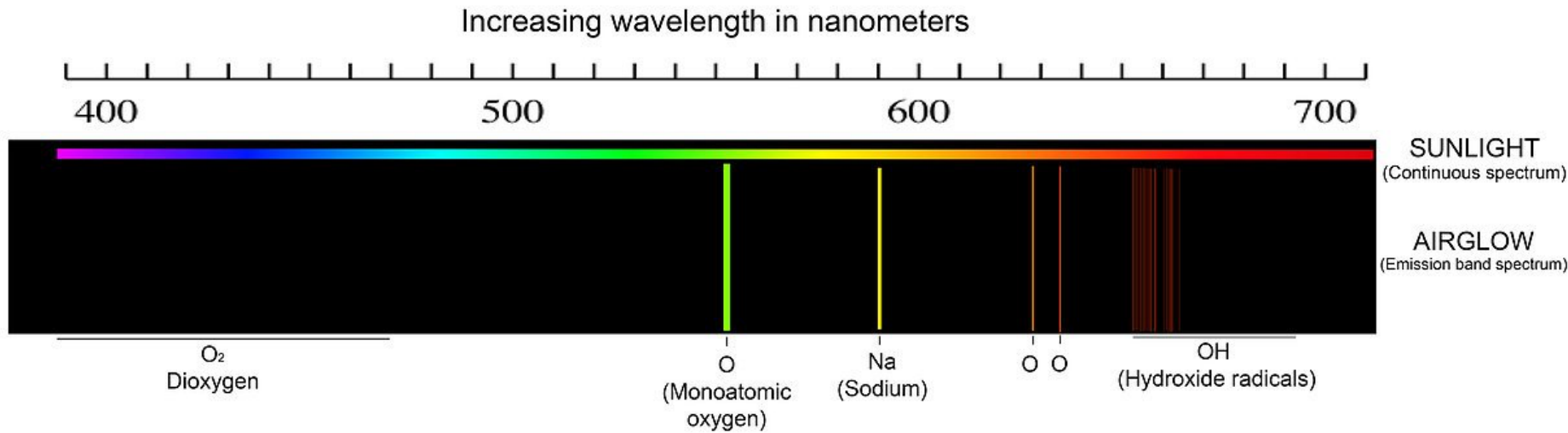
Time	02. 04. 2011, 19:48 - 03. 04. 2011, 04:46 HST (local time)
Place	Hawaii, Big Island, Mauna Kea, N 19° 49.37', W 155° 28.19', alt. 4230 m
Conditions	Excellent, clear sky
Optics	Canon Fisheye lens EF 15mm 1:2.8
Camera	Canon EOS 5D (Hutech Ia modification)
Exposure	56× 120 s (F4, ISO 1600) and 13× 30 s (F2.8, ISO 3200)
Copyright	© 2011, 2012 Miloslav Druckmüller, Shadia Habbal



Airglow (lueur de l'air)

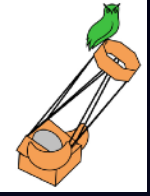
Lumière produite en haute atmosphère

Airglow = chimiluminescence, de jour comme de nuit (nightglow)

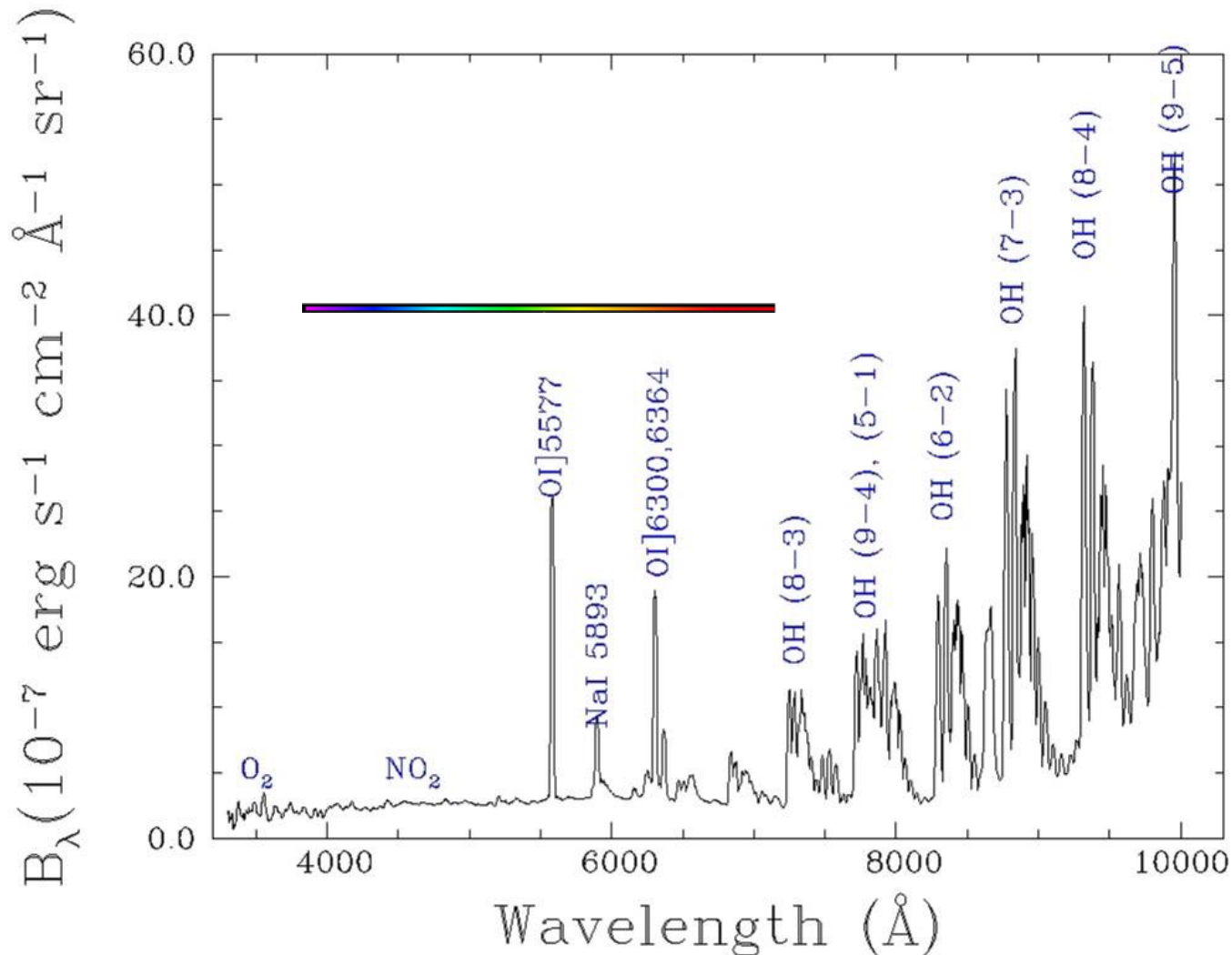


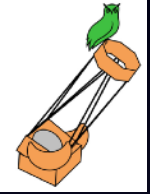
Dissociation de certaines molécules composant l'atmosphère terrestre par les UV

Réactions chimiques, même lorsque le Soleil s'est couché depuis longtemps.

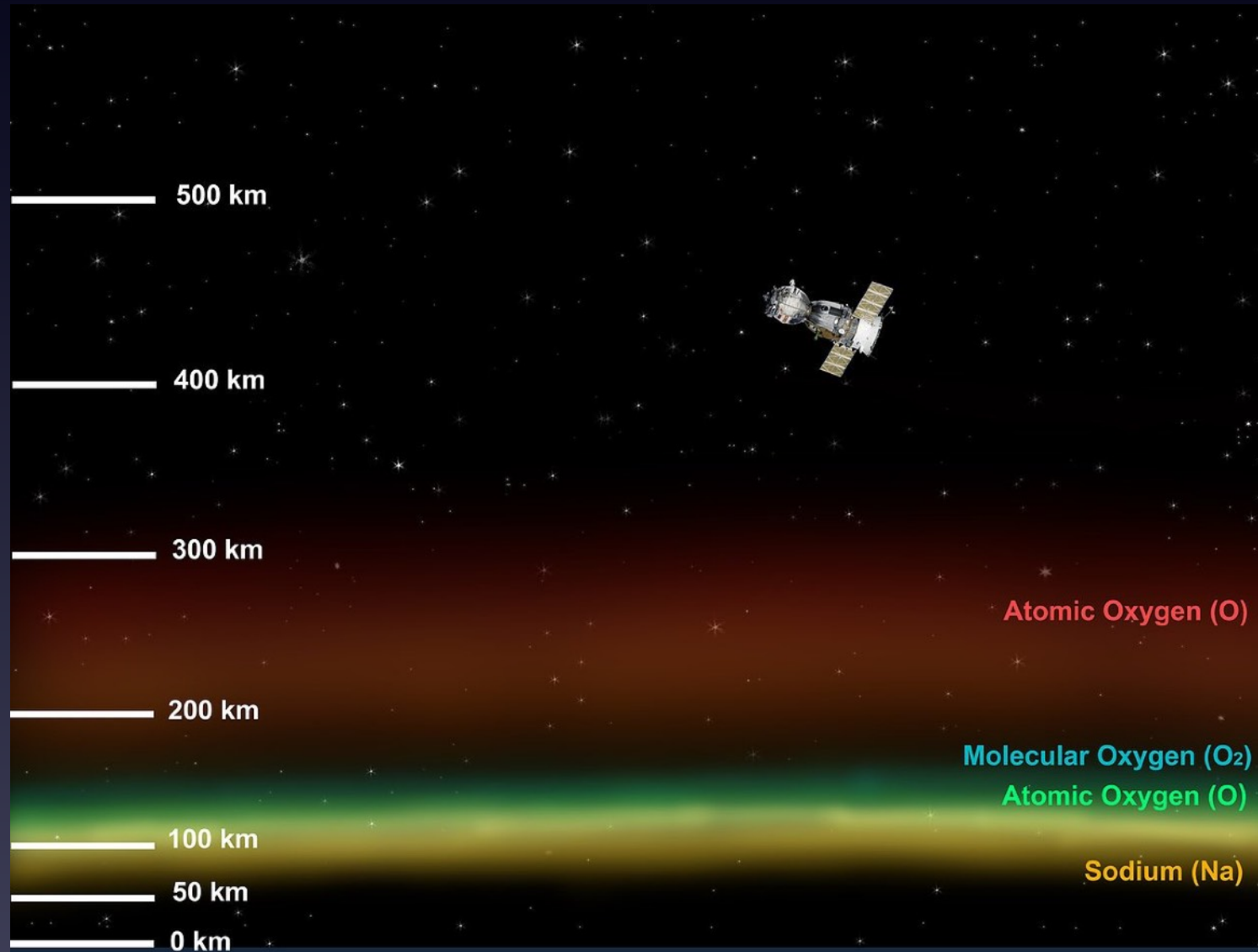


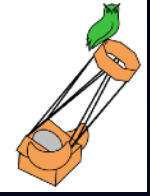
Spectre d'émission





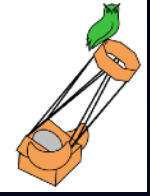
Altitudes de production





Nightglow

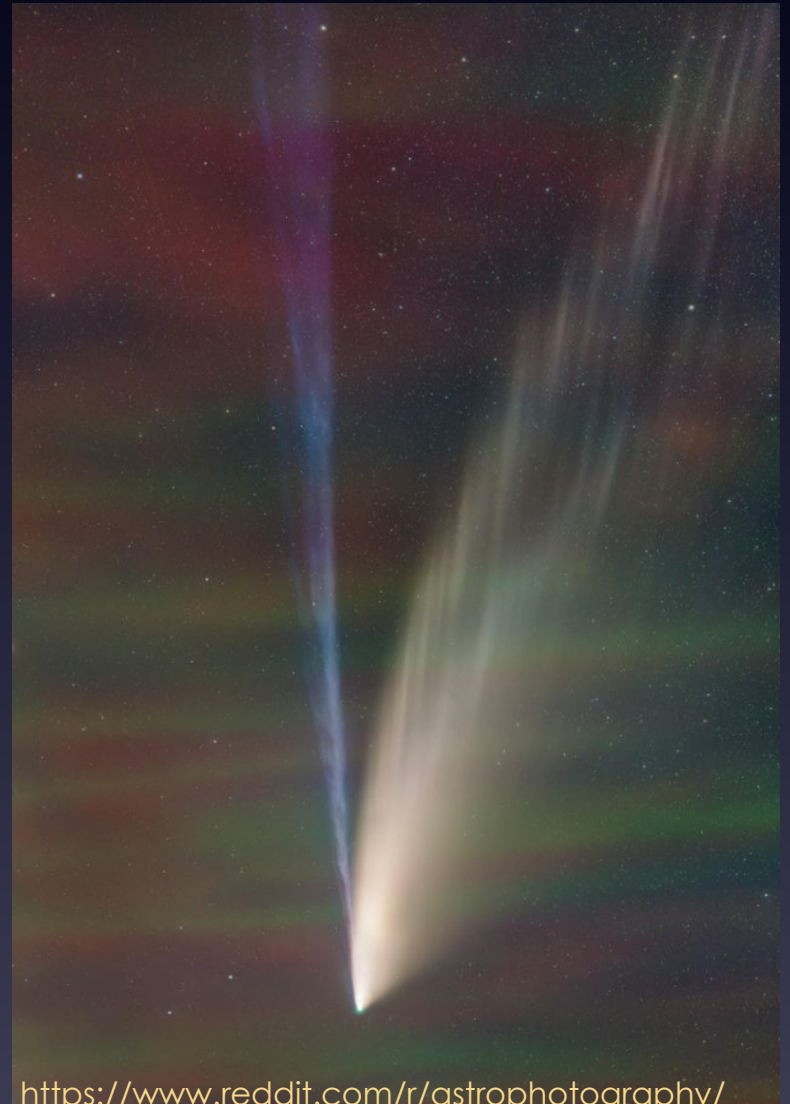




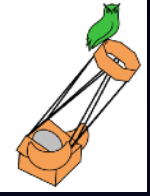
Nightglow



Dan Burbank, Expedition 30 commander
<https://apod.nasa.gov/apod/ap111231.html>



https://www.reddit.com/r/astrophotography/comments/hw4jvq/neowise_very_strong_airglow/



Contributions relatives

Chimiluminescence = source dominante

Luminance surfacique évaluée en unité de S_{10} , celle d'une étoile $m_v=10$, lumière répartie sur 1 degré carré. (Rque : 1 hémisphère = 20626 deg²)

$m_v = 10$ sur 1 degré carré $\Rightarrow 27.78 \text{ mag.arcsec}^{-2}$

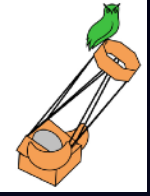
$$(m = -2.5 \log(S_{10}/3600^2) = -2.5 \log(S_{10}) + 2.5 \cdot 2 \log(3600))$$

Luminance surfacique du ciel = 220 S_{10}

Correspond à 21.9 mag.arcsec⁻²

Source	Luminance surfacique	Proportion (%)
Airglow	145	65
Lumière zodiacale	60	27
Lumière des étoiles	15	7
TOTAL	220	

La lumière zodiacale et l'« airglow » varient avec la période de l'année le cycle solaire, la latitude de l'observateur



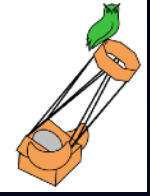
Mesure de la luminance du ciel

Mesure au zénith, différents observatoires

Site	Year	$S_{10.7\text{cm}}$ <i>MJy</i>	U	B	V	R	I
La Silla	1978	1.5	-	22.8	21.7	20.8	19.5
Kitt Peak	1987	0.9	-	22.9	21.9	-	-
CTIO	1987-8	0.9	22.0	22.7	21.8	20.9	19.9
Calar Alto	1990	2.0	22.2	22.6	21.5	20.6	18.7
La Palma	1994-6	0.8	22.0	22.7	21.9	21.0	20.0
Mauna Kea	1995-6	0.8	-	22.8	21.9	-	-
Paranal	2000-1	1.8	22.3	22.6	21.6	20.9	19.7

F. Patat - ESO

Mattila et al. 1996; Pilachowski et al. 1989; Walker 1987, 1988; Leinert et al. 1998; Krisciunas 1997.

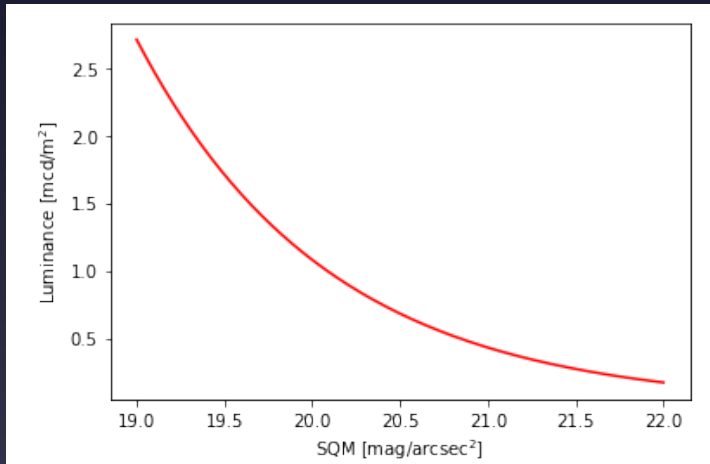


Mesure de la luminance du ciel

SQM : sky quality meter

mesure la luminance (brillance de surface) du fond de ciel.
en mag/arcsec².

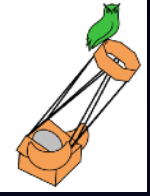
21 mag/arcsec² : luminosité de magnitude 21 répartie sur une surface de 1 arcsec²



SQM	mcd/m ²
21.9	0.1877
21.0	0.4300
20.5	0.6814
20.25	0.8579

$$L[\text{cd/m}^2] = 10.8 \cdot 10^4 \cdot 10^{-0.4 \cdot \text{SQM}[\text{mag/arcsec}^2]}$$

Une diminution de 0,75 correspond à une luminance x 2

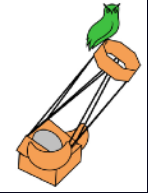


Mesure de la luminance du ciel

SQM et échelle de Bortle

Echelle de Bortle: 9 degrés pour mesurer l'intensité de la pollution lumineuse et la qualité d'un site d'observation

SQM	Degré	Type	Lieux (exp.)
21.7 – 22.0	1	Site excellent	
21.5 – 21.7	2	Vraiment noir	L'Epine, Restefond
21.3 – 21.5	3	Rural	L'Epine
20.4 – 21.3	4	Transition rural/ urbain	Le Banchet, Serpaton
19.1 – 20.4	5	Peri-urbain	
18.0 – 19.1	6	Banlieue	
18.0 – 19.1	7	Transition banlieue/ville	
<18.0	8	Ville	
<18.0	9	Centre ville	



Mesure de la luminance du ciel

SQM : sky quality meter

<https://www.lightpollutionmap.info>

Zenith sky brightness info (2015)

Coordinates	44.40017, 5.60110
SQM	21.80 mag./arc sec ²
Brightness	0.207 mcd/m ²
Artif. bright.	35.5 μ cd/m ²
Ratio	0.208
Bortle	class 3
Elevation	976 meters

l'Epine

Zenith sky brightness info (2015)

Coordinates	44.33468, 6.80954
SQM	21.80 mag./arc sec ²
Brightness	0.205 mcd/m ²
Artif. bright.	33.9 μ cd/m ²
Ratio	0.198
Bortle	class 3
Elevation	2661 meters

Restefond

Zenith sky brightness info (2015)

Coordinates	44.41494, 3.63765
SQM	21.80 mag./arc sec ²
Brightness	0.207 mcd/m ²
Artif. bright.	35.4 μ cd/m ²
Ratio	0.207
Bortle	class 3
Elevation	1254 meters

La Barraque
de l'air

Zenith sky brightness info (2015)

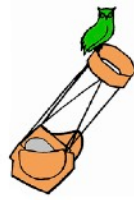
Coordinates	45.47562, 5.59724
SQM	20.99 mag./arc sec ²
Brightness	0.433 mcd/m ²
Artif. bright.	262 μ cd/m ²
Ratio	1.53
Bortle	class 4
Elevation	707 meters

Le Banchet

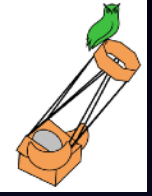
Zenith sky brightness info (2015)

Coordinates	45.34595, 5.61501
SQM	20.32 mag./arc sec ²
Brightness	0.805 mcd/m ²
Artif. bright.	633 μ cd/m ²
Ratio	3.70
Bortle	class 5
Elevation	312 meters

Le Gros
Bois



Merci de votre attention



Bibliographie

CLEA CahiersClairaut 051 05

<http://www.eso.org/~fpatat/science/skybright/>

Jean-Charles Augereau. Les poussières des systèmes planétaires extrasolaires. Planétologie et astrophysique de la terre [astro-ph.EP]. Université Grenoble Alpes, 2017. .tel-01614636. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01614636>

<https://www.lemonde.fr/blog/autourduciel/2017/08/25/une-video-du-coucher-de-la-lumiere-zodiacale-et-de-la-voie-lactee-et-autres-rendez-vous-astronomiques/>

<https://www.lemonde.fr/blog/autourduciel/2020/06/02/larche-de-la-voie-lactee-seleve-chaque-nuit-un-peu-plus-tot-dans-le-ciel/rvb-20200517-archevl-4000/>

<http://www.ontarioparks.com/parcsblog/la-lumiere-zodiacale-et-le-gegenschein/>

http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/Astro/Mauna_kea_11/2011_04_02-03_360deg/0-info.htm

serge.bortello.free.fr

<https://aurora.live/2020/04/airglow-all-you-need-to-know-about-this-firework/>

https://www.reddit.com/r/astrophotography/comments/hw4jvq/neowise_very_strong_airglow/

<https://www.scienceabc.com/nature/colors-sky-airglow.html>

APOD

<https://www.lemonde.fr/blog/autourduciel/tag/airglow-en-france/>