

Introduction

En 2021, j'ai produit mon premier article relatif au climat de la planète Ummo sur le site Ummo-sciences.org, qui s'intitule :

« Art36-Habitabilité de la planète UMMO ». Le webmestre en avait fait la courte présentation suivante :

« Un article calculant la température moyenne régnant sur Oummo à partir des données astronomiques concernant Oummo et son étoile et disponibles dans le corpus, ainsi qu'un modèle terrien de climatologie planétaire. Oummo se situerait dans la zone habitable de son étoile, mais en fonction des données et du modèle, le climat peut varier du type glaciaire au type tempéré. »

Cet article a été chaudement accueilli par les Ummologues et a même été traduit en espagnol pour le site ummo-ciencias.org sous la référence UCAT 31. Le webmestre de ce site en a fait une présentation plus enthousiaste, en soulignant la cohérence des données astronomiques permettant d'en déduire le climat de la planète Ummo.

« Sobre la coherencia de los distintos datos sobre IUMMA y su influencia en el clima de UMMO. En siguientes trabajos Rémy Galli profundiza sobre el clima. »

Mais depuis lors, je me suis posé la question suivante : pouvait-t-on conduire cette étude de 2021 à partir des seules données et des connaissances de la période madrilène, c'est-à-dire à partir des lettres reçues entre 1966 et 1969 ? Pouvait-on aller jusqu'à proposer une fourchette de températures plausibles comme je l'avais fait en 2021 ?

Remarque sur mon questionnement

Mon étude de 2021 utilisait implicitement plusieurs informations devenues disponibles bien après la période madrilène (1966-1969), notamment des données relatives à la métallicité de Ioumma et à la pression atmosphérique de Ummo. L'objectif du présent article est donc de revenir à une reconstruction strictement limitée aux connaissances et aux données accessibles en 1969.

Les paramètres d'entrées utilisés en 2021.

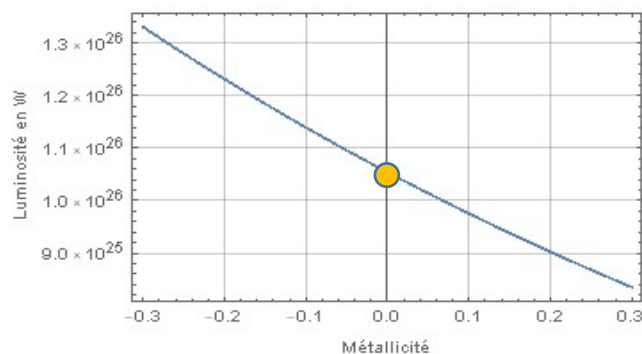
En 2021, je me suis appuyé sur les outils disponibles, sachant que depuis la découverte de la première exoplanète en 1995, de nouvelles disciplines sont nées notamment pour la recherche et l'étude des exoplanètes.

Des outils de simulation sont apparus, qui permettent à de simples amateurs de se faire une idée de la température moyenne imaginable sur une exoplanète à partir d'un certain jeu de paramètres.

Les paramètres que j'ai utilisés concernant la planète Ummo, mais également son étoile Ioumma sont clairement indiqués dans l'art36. Dans le cas du couple {Ioumma, Ummo}, nous disposons d'un corpus de données astronomiques très complet ; cependant il manquait en 2021 un premier paramètre essentiel, à savoir la luminosité absolue de l'étoile Ioumma, dont on connaît déjà via la

D74 la masse et la température effective. En effet, suite à la publication de la D74 en 1969, on se rend compte qu'il manque un paramètre très important pour estimer le flux de l'étoile incident sur Umma exprimé en W/m^2 à une distance standard de 1 Unité Astronomique. Pour estimer cette luminosité à partir des théories actuelles, il nous faudrait ce qu'on appelle l'indice de métallicité de l'étoile Umma.

C'est ce qui m'avait décidé à rentrer en contact avec le webmestre du site umma-sciences.org, afin de vérifier que je n'avais rien raté dans le dossier ; et là, surprise, un simple tweet le 30/01/2021 (W5 312-33) à un certain OAY permet d'avoir la réponse sur ce sujet quasi immédiatement, le 31/01/2021 ! Extraordinaire, non ? Sans trop me poser de questions, je suis parti de cette donnée de début 2021 pour établir une fourchette de luminosité de Umma comme le montre le tracé suivant, la méthode étant décrite dans Art36.



Cette courbe montre une variation possible de la luminosité de Umma d'un facteur 1.5 entre une métallicité de -0.3 et une autre de +0.3. Cela paraît peu, mais cela fait une très grosse différence quand on va estimer le climat qui en découle sur la planète Umma.

⇒ **Remarque 1** : une information exploitable concernant la métallicité n'apparaît qu'à une époque tardive du corpus, en 2021. Cette donnée n'était donc pas disponible pour une reconstruction limitée à la période 1966-1969.

Une seconde donnée importante manque en 1969 : il s'agit de la pression atmosphérique de Umma. C'est également un paramètre fondamental dans les codes de simulation, car cela permet d'évaluer de manière relative la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère de la planète. Ceci est d'autant plus important que dès la D 41-1, on apprend que l'atmosphère d'Umma comprendrait une part non négligeable de gaz à effet de serre comme le gaz carbonique et le méthane, ce qui serait plutôt favorable pour conserver la chaleur planétaire si la luminosité de l'étoile est faible, mais plutôt défavorable comme on commence à s'en rendre sur Terre lorsque l'habitabilité est déjà acquise.

⇒ **Remarque 2** : Il faut attendre un tweet de mai 2015 pour avoir cette donnée relative à la pression atmosphérique (référence OT 8 dans la compilation W3).

Je conclus l'article 36 prudemment à l'aide de ces deux données tardives et grâce aux modèles de simulation de climats planétaires disponibles sur Internet :

« Tout cela signifie qu'un écart de moins de 10 % sur l'estimation de la luminosité de Umma conduit à des résultats tels que l'on resterait certes dans la zone d'habitabilité de Umma, mais avec une planète Umma dont le climat peut varier du type glaciaire au type terrestre ».

Mais qu'aurait-on pu estimer en 1969 sans ces deux données, c'est-à-dire sans la pression atmosphérique d'une part, et sans l'indice de métallicité d'autre part ?

Comment juger de l'habitabilité d'une exoplanète habitable en 1969 ?

En 1969, on ne connaît que les lettres collectées depuis 1966. Dans les années qui suivent 1966, il y a eu quelques errements de la part des auteurs des lettres, qui citent notamment Wolf 424 comme l'étoile des Ummites : mais cela paraît difficilement une étoile candidate pour accueillir Ummo comme je l'ai montré. La D74 semble enfin apporter des réponses satisfaisantes sur le couple {Ummo, Ioumma} en écartant la possibilité d'une étoile de type M et en fournissant surtout de nombreux paramètres utiles que je rappelle ci-après :

- Distance moyenne UMMO- IUMMA = $9,96 \times 10^{12}$ cm = 0,666 unités astronomiques (UA)
- Période orbitale complète = 232 jours terrestres
- Masse de IUMMA déclarée = $1,48 \times 10^{33}$ g = 0,744 MSol
- Température effective déclarée = 4580 K
- **Magnitude absolue visuelle « vraie »** = 7,4 (voir plus loin pourquoi j'ai mis en gras).

A ces données, on peut ajouter la composition atmosphérique de Ummo donnée dans la D 41-1, la gravité donnée par exemple dans la D60, la surface des océans dès la D21, etc....

Mais il manque à cette époque comme je l'ai écrit plus haut la pression atmosphérique et la métallicité de l'étoile (sans laquelle l'incertitude sur la luminosité de l'étoile reste très importante et sans laquelle il est difficile de fournir la constante solaire de Ioumma).

Difficile alors de calculer une fourchette de températures moyennes dans ces conditions, car pour faire un bilan thermique, il faut certes ce que j'ai appelé la constante solaire de Ioumma dans l'article 36, mais il faut aussi estimer finement les bilans d'énergie spectraux dans l'atmosphère dans l'infrarouge, ce que fait très bien de manière simplifiée le code de simulation GCM-1D publié en 2018 qui est toujours présent à l'adresse suivante : <http://exoplanet.eu/GCM1D/>

Ce bilan thermique et spectral dépend évidemment très fortement de la pression atmosphérique comme le lecteur pourra s'en rendre compte en faisant lui-même ses propres simulations. Il dépend également des données spectrales de l'étoile, qui elles sont déjà disponibles en 1969.

Difficile donc de remonter à une fourchette de températures en 1969. Il reste néanmoins possible d'effectuer des estimations qualitatives à partir du flux reçu, des lois de rayonnement et de comparaisons avec le système solaire. En revanche, une modélisation climatique détaillée analogue à celle conduite dans l'article 36 n'apparaît plus faisable dans le cadre strict des informations disponibles en 1969.

Voyons comment un ingénieur de 1969 pouvait juger de la crédibilité des données disponibles pour expliquer l'habitabilité de la planète Ummo. Et d'ailleurs, que signifiait « planète habitable » pour un scientifique de 1969 ?

Comme nous allons le voir, un ingénieur bien informé en 1969 pouvait proposer une orbite « acceptable » pour une planète potentiellement habitable autour d'une naine K, même froide par rapport au Soleil. Il disposait pour cela de deux éléments clés disponibles en 1969 :

1) La Luminosité relative en fonction des types spectraux.

Les tables standards de l'époque (*Allen's Astrophysical Quantities*, 1963) donnaient les magnitudes absolues des naines K avec un facteur de l'ordre 0,1 à 0,3 en luminosité par rapport au Soleil. Ces tables étaient disponibles dans n'importe quelle bibliothèque universitaire. Plus précisément, une lecture fine de la table d'Allen suivante montre qu'en partant d'une masse de Ioumma de 0.744 MSol, soit une valeur logarithmique de -0.128 , on en déduit par interpolation (valeurs lues en log

pour une K0 et une K5) une luminosité de l'ordre de **0.29 Lsol, (-0.54 en log)** cohérente de celle des étoiles de type K.

Mass, radius, luminosity, and mean density with spectral class

I = supergiant, III = giant, V = dwarf

A single column between III and V represents main sequence

Sp	log (M/M _☉)			log (R/R _☉)			log (L/L _☉)			log $\bar{\rho}$		
	I	III	V	I	III	V	I	III	V	I	III	V
	[1, 2, 3, 4, 5]			[1, 3, 4, 5, 6]								
O5	+2.2	+1.6				+1.25		+5.7			-2.0	
B0	+1.7	+1.25		+1.3	+1.2	+0.87	+5.4	+4.3		-2.1	-1.2	
B5	+1.4	+0.81		+1.5	+1.0	+0.58	+4.8	+2.9		-2.9	-0.78	
A0	+1.2	+0.51		+1.6	+0.8	+0.40	+4.3	+1.9		-3.5	-0.55	
A5	+1.1	+0.32		+1.7		+0.24	+4.0	+1.3		-3.8	-0.26	
F0	+1.1	+0.23		+1.8		+0.13	+3.9	+0.8		-4.2	-0.01	
F5	+1.0	+0.11		+1.9	+0.6	+0.08	+3.8	+0.4		-4.5	+0.03	
G0	+1.0	+0.4	+0.04	+2.0	+0.8	+0.02	+3.8	+1.5	+0.1	-4.9	-1.8	+0.13
G5	+1.1	+0.5	-0.03	+2.1	+1.0	-0.03	+3.8	+1.7	-0.1	-5.2	-2.4	+0.20
K0	+1.1	+0.6	-0.11	+2.3	+1.2	-0.07	+3.9	+1.9	-0.4	-5.7	-2.9	+0.25
K5	+1.2	+0.7	-0.16	+2.6	+1.4	-0.13	+4.2	+2.3	-0.8	-6.4	-3.4	+0.38
M0	+1.2	+0.8	-0.33	+2.7		-0.20	+4.5	+2.6	-1.2	-6.7	-4	+0.4
M2	+1.3		-0.41	+2.9		-0.3	+4.7	+2.8	-1.5	-7.2		+0.7
M5			-0.67			-0.5		+3.0	-2.1			+1.0
M8			-1.0			-0.9			-3.1			+1.8

- 2) La notion de zone habitable : ce concept n'était pas clairement formalisé comme aujourd'hui, mais il était émergent depuis 1959 (voir Annexe 1 extrait de Huang 1959). Notre ingénieur connaît la loi des flux qui varient en inverse du carré de la distance, sans forcément avoir lu l'article de Huang qui parle explicitement de cela.

Le flux reçu sur Ummo doit être du même ordre de grandeur que celui reçu sur Terre pour garantir une chance minimale que la planète soit habitable. A cette époque, on sait que la Terre est située du côté chaud de la zone habitable autour du Soleil (distance 1 UA), car Vénus, située à 0.72 UA, est beaucoup trop chaude, et Mars, située à 1.52 UA, est aujourd'hui trop froide et inhabitable.

L'ingénieur a donc une petite marge pour vérifier que le curseur du flux reçu par Ummo se positionne à peu près entre celui de la Terre et quelque part entre Mars et la Terre, mais tout de même pas trop près de Mars. Voyons cela de près :

Soit a le rayon moyen de l'orbite de la planète Ummo autour de Ioumma.

Le flux reçu par Ummo en haute atmosphère s'écrit à partir du résultat ci-dessus : $0.29 L_{sol} / (a)^2$.

Il faut donc que la planète Ummo soit à une distance a acceptable de l'étoile Ioumma que l'on paramètre pour le moment en appliquant un coefficient cohérent des données de la D 74.

$$a \text{ (UA)} == coeff \sqrt{\frac{0.29 L_{sol}}{L_{sol}}}$$

Pour illustrer le raisonnement, on peut prendre une distance caractéristique située entre les flux reçus par la Terre et Mars. Le coefficient 1,25 n'est utilisé ici qu'à titre indicatif afin de représenter une position intermédiaire dans cette zone de transition ; il ne constitue pas un ajustement physique unique ni une démonstration. Cette hypothèse conduit alors à une distance proche de celle indiquée dans la D74.

$$a \text{ (UA)} == 1.25 \sqrt{0.29} = 0.67$$

Notre ingénieur en déduit donc qu'à partir des données à sa disposition, Ummo semble correctement située par rapport à son étoile, peut-être plus froide que la Terre mais on comprend

bien qu'il ne peut guère en dire plus et fournir de fourchettes plus précises faute de données insuffisantes sur la pression atmosphérique.

Il ne note en tout cas à ce stade aucune incompatibilité avec les données disponibles.

3) Quid des autres données fournies dans la D74 scrutées par un ingénieur de 1969 ?

Pour la période orbitale, c'est trivial, il suffit d'appliquer la 3^{ème} loi de Kepler et cela fonctionne au % près.

Pour les autres paramètres comme la température de l'étoile, c'est un peu plus compliqué : il faut retourner consulter les tables d'Allen et examiner également les diagrammes de Hertzsprung-Russell tels qu'ils étaient publiés à l'époque.

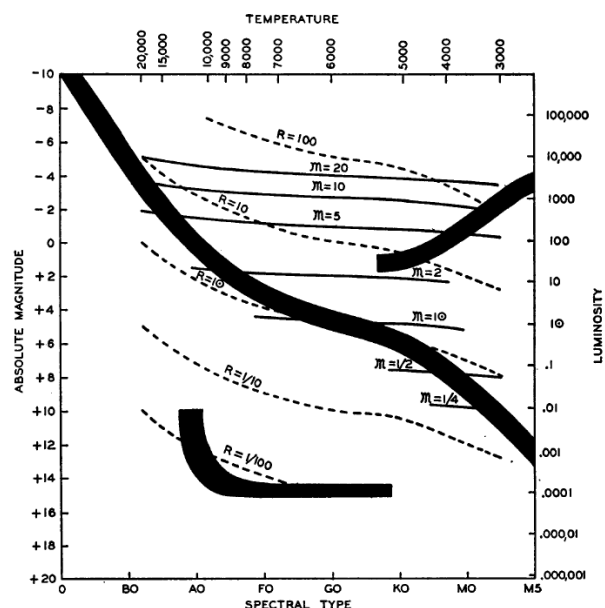
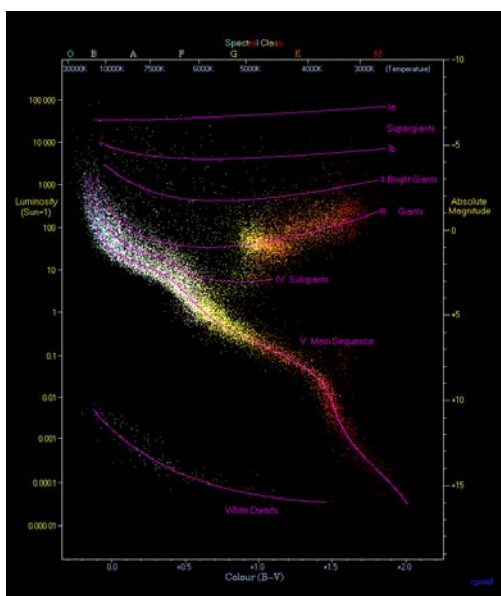
J'ai mis côte à côte ci-dessous un diagramme H-R moderne et un autre assez ancien édité dans les années 1950.

Dans les années 1950-1960, les diagrammes de Hertzsprung-Russell utilisaient couramment la **magnitude visuelle vraie, ou magnitude absolue visuelle MV**, en ordonnée, comme d'ailleurs indiqué dans les tables d'Allen (1963). **On remarque au passage l'emploi du même vocabulaire par les auteurs des lettres tel qu'énoncé dans la D74.** Cette convention reflétait les observations photométriques de l'époque, dominées par la bande visuelle V où MV servait de base pour la luminosité intrinsèque, corrigée à 10 parsecs, avant l'essor systématique des mesures bolométriques totales comme on les pratique de nos jours.

Car les diagrammes H-R privilégient maintenant les rapports de luminosité en échelle logarithmique : les données infrarouges et ultraviolettes (issues de missions comme Gaia ou Hipparcos) permettent une intégration complète du spectre énergétique, **rendant MV obsolète** pour les analyses précises en astrophysique stellaire.

Il paraît difficile sur les diagrammes d'époque de lier facilement la luminosité, la température et la magnitude visuelle vraie, surtout quand on voit les échelles de la figure ci-dessous à droite !

D'ailleurs, je disais la même chose dans mon article « Ioumma, étoile de type K » : même avec un diagramme H-R moderne comme celui en bas à gauche, il est difficile de faire mieux que 20 % en relevant des valeurs sur le graphique.



Mais en 1969, notre ingénieur connaît la loi de Stefan Boltzmann et a dû déjà lire l'extrait suivant (même article que celui de la figure ci-dessus à droite), ou un commentaire du même type.

The luminosity of a star is equal to the surface times the flux F ,

$$(1) \quad L = 4\pi R^2 F$$

where R is the radius of the star. Hence the radius can be computed from the luminosity and the effective temperature. In fact, since by the definition of the effective temperature T_e the flux F is proportional to T_e^4 , we have

$$(2) \quad \frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{T_e}{T_{\odot}}\right)^4 \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2$$

Il s'agit d'une formule de physique connue depuis bien longtemps, appliquée à des sources lumineuses de la taille d'une étoile ! Comme on le voit, c'est une formule intéressante pour estimer une température de l'étoile, car la table d'Allen reproduite plus haut permet à partir de la masse de Ioumma d'en déduire sa luminosité (le rapport $L/L_{\odot}$) comme on l'a vu, mais également le rayon de l'étoile Ioumma ($R/R_{\odot}$), et enfin connaissant la température du Soleil $T_{\odot}$, on peut en déduire une température effective pour Ioumma.

Mes interpolations issues des données d'Allen fournissent les valeurs suivantes :

$L/L_{\odot}=0.29$, $R/R_{\odot}=0.8$, et comme $T_{\odot}=5772$ °K, on calcule **$T_{\text{eff}}=4680$ °K, soit 4580 °K à + 2.2 % près.**

Ainsi, avec les tables d'Allen et un peu de physique, un ingénieur pouvait en 1969 vérifier que **tous** les paramètres fournis dans la D74 étaient cohérents, mais largement insuffisants pour déclarer Umma habitable ou non, faute de pouvoir estimer une plage de températures correctement au niveau du sol de la planète.

Conclusion

Les données disponibles en 1969, avec un peu de physique standard, assorties des tables d'Allen de 1963, permettent de vérifier que le couple {Ummo, Ioumma} est plausible dans le cadre de la définition d'une planète habitable avec les définitions sommaires de l'époque. (Annexe 1)

Mais il est difficile d'aller plus loin dans l'étude, car il manque à l'époque un paramètre pour Ummo, à savoir sa pression atmosphérique et son rôle dans l'effet de serre, et un autre paramètre qui concerne l'étoile Ioumma, à savoir sa métallicité, qui est totalement absente du discours des années madrilènes et pourtant très importante comme je l'ai expliqué dans mon art 36.

Dans les sources astronomiques disponibles avant 1969, on rencontrait déjà des discussions relatives à la composition chimique des étoiles et à leur contenu en éléments lourds. En revanche, la notion moderne de métallicité exprimée sous forme normalisée et directement comparable d'une étoile à l'autre n'était pas encore utilisée avec le niveau de généralisation et de précision connu aujourd'hui, en particulier pour les étoiles de type K du voisinage solaire. La notion de métallicité commence à être véritablement standardisée entre les années 1970 et 1980, avec une adoption progressive de l'échelle logarithmique différentielle référencée au Soleil.

Si l'on adopte l'hypothèse d'une démarche pédagogique des Ummites visant à nous transmettre des informations scientifiques avancées, on peut s'étonner de l'absence d'un paramètre qui apparaît aujourd'hui important pour caractériser le système {Ioumma, Ummo}. Cette remarque reste toutefois rétrospective, car ce paramètre n'occupait pas encore en 1969 la place qu'il prendra plus tard dans l'astrophysique stellaire. Je remarque tout de même que ce n'est pas cohérent avec d'autres démarches des Ummites, comme par exemple celle qui consiste à nous expliquer par anticipation un fonctionnement extraordinaire du cerveau et du rôle du Krypton.

En résumé, en 1969, on ne pouvait que vaguement estimer la plausibilité de l'habitabilité de la planète Ummo sans fournir de modèle détaillé d'une température moyenne à la surface de la planète.

Le présent article « Retour sur le climat » ne remet pas en cause les calculs de l'article 36 en tant qu'exercice climatique moderne ; il montre seulement qu'on ne peut plus en formuler ses conclusions à partir des seules connaissances disponibles durant la période madrilène, à savoir que l'on ne peut plus proposer une quelconque fourchette de températures au niveau du sol de la planète Ummo.

Remarque très personnelle

Un ingénieur humain disposant en 1969 des tables d'Allen, des lois classiques de la mécanique céleste, des diagrammes H-R et d'une connaissance générale des étoiles de type K aurait probablement pu construire un système stellaire fictif présentant une cohérence interne suffisante pour être jugé plausible par un autre ingénieur de la même époque.

Cette remarque ne démontre évidemment pas l'origine des données du dossier Ummo ; elle indique seulement qu'une telle construction apparaissait techniquement accessible avec les outils scientifiques disponibles à cette date.

Annexe 1 Extrait d'un article de 1959.

OCCURRENCE OF LIFE IN THE UNIVERSE

Author(s): SU-SHU HUANG

Source: *American Scientist*, Vol. 47, No. 3 (SEPTEMBER 1959), pp. 397-402

The Habitable Zone of a Star

Let the luminosity of a star be L . This energy supplies necessary heat to the living organism. The heat received by the living beings on a planet must be neither too large nor too small. Otherwise they will perish. In consequence, we can define a habitable zone around each star such that the rate of energy received per unit area facing the star, i.e., $L/(4\pi R^2)$ where R is the distance from the star, lies between an upper limit

$$\epsilon_1 = \frac{L}{4\pi R_1^2}$$

and a lower limit

$$\epsilon_2 = \frac{L}{4\pi R_2^2}$$

where ϵ_1 and ϵ_2 are constants independent of the nature of the star itself, while R_1 and R_2 are defined by these two equations. A planet is habitable if its distance R from the star satisfies the condition that

$$R_1 < R < R_2.$$