

Introduction

La lettre D 57-1 a été envoyée en janvier 1967.

Elle contient beaucoup d’informations, le but étant d’expliquer le premier contact avec la Terre.

Comme souvent, le texte contient de nombreuses parenthèses explicatives de vulgarisation concernant différents sujets :

- La nature du temps et de l’espace
- Les unités employées en physique sur Ummo
- La physique des particules sur Ummo
- La cosmologie, les plis de l’espace-temps
- En résumé, la physique de base Ummitte, ayant permis de développer la technologie qui permet de voyager apparemment plus vite que la lumière.

Tout ceci permet de nous expliquer sommairement l’historique du premier contact via un signal émis de la Terre, envoyé entre le 4 et le 8 février 1934, et reçu environ 14 ans plus tard (mars 1948) par ce monde qui serait situé à 14.4 AL (années-lumière) du nôtre. Ce signal a déclenché une exploration de personnes d’Ummo qui sont arrivées dans notre système 2 ans après la réception de ce premier signal (c’est-à-dire en mars 1950 pour nous).

Le système solaire vu depuis Ummo

Pour quelqu’un qui s’intéresse aux exoplanètes détectables depuis la Terre, il y a dans cette lettre tout un paragraphe relatif à l’analyse du système solaire depuis Ummo, que j’ai reproduit intégralement en Annexe 1.

Le tableau ci-après synthétise les mesures concernant notre système solaire et effectuées depuis Ummo. Elles sont converties en kg, puis comparées à nos propres mesures des masses de nos planètes concernées. Précisons que le fameux signal ayant été reçu en 1948, la configuration planétaire du système solaire vue depuis Ummo était celle de 1934, et plus exactement celle de début février 1934.

Les valeurs de masses fournies sont inférieures aux nôtres d’environ 13% et paraissent raisonnables.

| | Masses (oobo) | oobo vers kg | Notre masse kg | Ecart % | Demí grand axe |
|---------------|---------------|--------------|----------------|---------|----------------|
| | | 1,733 | | | Millions de km |
| Neptune | 5,20E+25 | 9,01E+25 | 1,02E+26 | -12 | 4504 |
| Saturne | 2,86E+26 | 4,96E+26 | 5,68E+26 | -13 | 1429 |
| Jupiter | 9,40E+26 | 1,63E+27 | 1,90E+27 | -14 | 778 |
| Mercure+Vénus | 2,60E+24 | 4,51E+24 | 5,20E+24 | -13 | |
| Mercure | | | 3,30E+23 | | 58 |
| Vénus | | | 4,86E+24 | | 108 |

La résolution annoncée de l’appareillage utilisé depuis Ummo ne permettait pas selon le texte de distinguer clairement le couple Vénus-Mercure du Soleil : ce couple fut considéré alors comme une

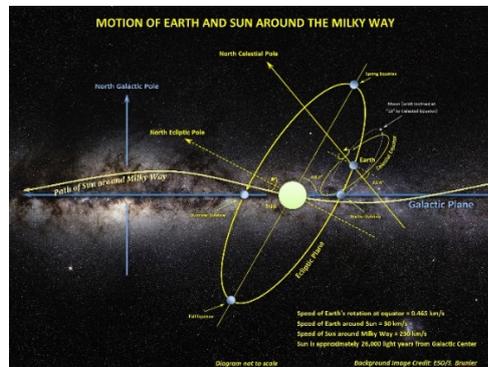
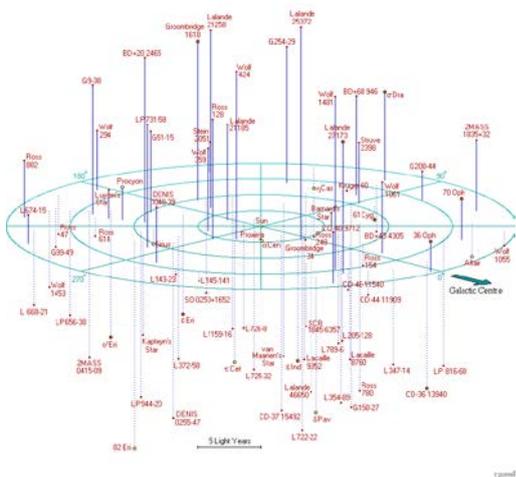
seule planète avant leur arrivée dans le système solaire, et ce n'est qu'en arrivant sur place que l'incertitude a été levée : il s'agit bien de deux planètes différentes.

C'est pourquoi dans la suite, on considérera si besoin la valeur de 58 millions de km comme une première estimation de la résolution de l'appareillage Ummite pour une observation depuis Ummo, à une distance de 14.4 AL, et ce quel que soit le principe de l'appareil utilisé.

Deux questions se posent immédiatement :

a) Que voyait-on depuis Ummo en direction du système solaire (avec 14 ans de décalage)?

Cette question est très intéressante comme on va le voir. Wolf 424 (qui n'est pas rappelons-le l'oumma) et son environnement sont situés au-dessus du plan galactique par rapport au Soleil comme le montre la figure suivante à gauche, dans la constellation de la Vierge.

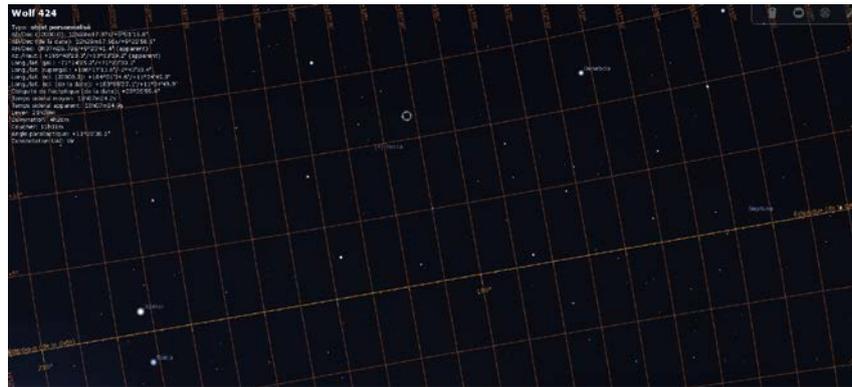


Le plan de l'écliptique du système solaire est fortement incliné par rapport au plan galactique comme le montre la figure ci-dessus à droite : il passe notamment par la constellation de la Vierge dans laquelle nous trouverions Wolf 424 et ses voisines.

La figure suivante obtenue avec Stellarium présente la configuration du ciel le **6 février 1934** en direction de la constellation de la Vierge : le petit cercle avec 4 graduations indique la direction de Wolf 424. On peut noter que Wolf 424 n'est qu'à 10 degrés au-dessus de l'écliptique, et à -183 degrés ou -3 degrés (selon la direction de l'axe de référence) dans le plan de l'écliptique. On distingue également l'arc de cercle du plan galactique en bas de la figure.

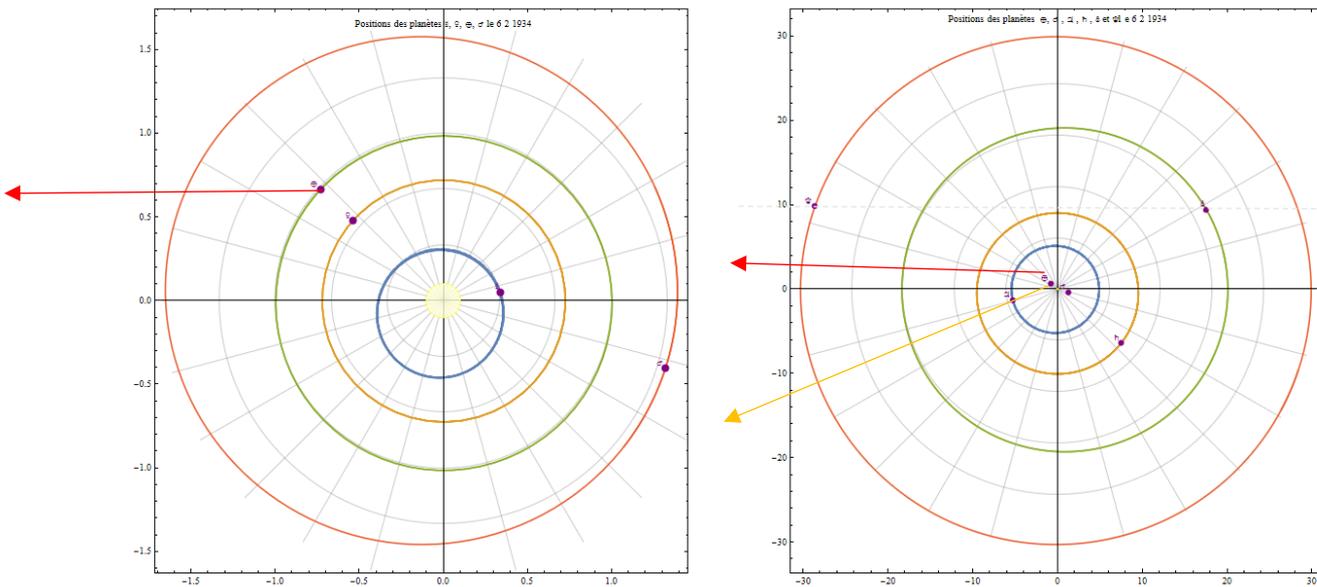


Voici la même vue zoomée, depuis la Terre, sur laquelle apparaissent Jupiter (à + 20° de Wolf 424) et Neptune à (-21 ° de Wolf 424), le tout en coordonnées écliptiques.



Il y a quelques années, j'ai réalisé un notebook Mathematica qui donne la position des planètes du système solaire en fonction de la date. Voici cette position le **06/02/1934** : les cadres des graphiques sont gradués en unités astronomiques. Sur la figure de gauche, il s'agit d'un zoom sur les planètes intérieures y compris Mars, et à droite avec une échelle adaptée aux planètes extérieures.

J'ai rajouté la ligne de visée vers la Terre depuis Wolf 424 à peu près à 183° (flèche en rouge). Les angles d'observation sont au final très cohérents avec ceux de la figure de Stellarium. On voit en effet *depuis la Terre* Jupiter (direction donnée par la flèche jaune) et Neptune avec des angles de l'ordre de +/- 20° selon la planète considérée, ce qui est très satisfaisant.



Examinons maintenant de près ces graphiques. Pour les planètes jusqu'à Mars : *Mercury était derrière le Soleil et n'a donc pas pu être observée ce jour-là*. Ensuite, la Terre et Vénus sont très proches l'une de l'autre par rapport à la ligne de visée « Wolf 424 – Soleil » : la distance de 0.2 UA (30 Millions de km) pourrait induire une confusion entre Vénus et la Terre (*et non entre Vénus et Mercury*). Mars se situerait à environ 0.4 UA (60 Millions de km) de la ligne de visée Wolf 424-Soleil : le signal de Mars pourrait alors être noyé dans celui du Soleil. Nous y reviendrons ultérieurement quand nous aborderons la question de la résolution spatiale, mais il semble que la confusion serait plutôt (Vénus-Terre) et non (Vénus-Mercure). Un calcul estimatif prenant en compte les angles

d'éclairement et de réflexion de la lumière du Soleil sur chacune de ces planètes, et renvoyée en direction de la Vierge, est porté dans le tableau suivant (correction d'angle $(1+\cos[\text{angle}]) / 2$).

| | Demi grand axe Millions de km | Rayon km | Albedo | Angle solide | Coronographe et IR | Luminosité Relative | Angle févr-34 degrés | Correction angulaire févr-34 |
|--------|----------------------------------|-------------|--------|-----------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | | | | | 1000000 100 | Soleil filtré | | |
| Soleil | | | | 1 | 1,00E-08 | 1,00E+01 | 0 | 10,00 |
| Vénus | 108,2 | 6052 | 0,770 | 7,8E-10 | 1 | 6,02E+00 | 135 | 0,88 |
| Terre | 150,0 | 6378 | 0,306 | 4,5E-10 | 1 | 1,38E+00 | 135 | 0,20 |
| Mars | 228,0 | 3396 | 0,250 | 5,5E-11 | 1 | 1,39E-01 | 345 | 0,14 |

Vénus possède la meilleure luminosité vue depuis la Vierge et aurait été 4 fois plus lumineuse que la Terre. Nous y reviendrons ultérieurement en abordant aussi la question de la performance du coronographe qui permet d'atténuer très fortement la luminosité du Soleil pour mieux détecter les planètes proches.

Pour les planètes extérieures, Saturne devait être observable car bien éclairée par le Soleil. Jupiter devait être observable même si l'angle d'éclairement de Jupiter par le Soleil est assez obtus. Distance estimée à l'axe de visée pour Jupiter : 1.4 UA soit 210 Millions de km. Concernant Uranus et Neptune, on constate que les deux planètes sont quasiment alignées avec la ligne de visée. De plus, Neptune doit nettement moins réfléchir la lumière du Soleil qu'Uranus compte tenu des angles de réflexion de la lumière du Soleil sur ces planètes : autrement dit, la planète détectée par les Ummites ne serait pas Neptune mais Uranus ! Un calcul estimatif prenant en compte les angles d'éclairement et de réflexion de la lumière du Soleil sur chacune de ces planètes extérieures, et renvoyée en direction de la Vierge, est porté dans le tableau suivant (correction d'angle $(1+\cos[\text{angle}]) / 2$).

| | Demi grand axe Millions de km | Rayon km | Albedo | Angle solide | Luminosité Relative max | Angle févr-34 degrés | Correction angulaire |
|---------|----------------------------------|-------------|--------|-----------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Saturne | 1433 | 60268 | 0,342 | 4,4E-10 | 1,51E+00 | 315 | 1,29 |
| Jupiter | 779,0 | 71500 | 0,343 | 2,1E-09 | 7,22E+00 | 195 | 0,12 |
| Uranus | 2872 | 25600 | 0,300 | 2,0E-11 | 5,96E-02 | 30 | 0,056 |
| Neptune | 4495 | 24764 | 0,290 | 7,6E-12 | 2,20E-02 | 160 | 0,00066 |

La luminosité relative est obtenue en multipliant par un coefficient arbitraire final de 10^{10} . Sans correction angulaire, Jupiter est la source la plus intense ; mais si on prend en compte l'angle d'éclairement du Soleil par rapport à la direction de la Vierge, ce n'est plus le cas car la position de Jupiter est défavorable de ce point de vue. Jupiter serait alors 10 fois moins lumineuse que Saturne vue depuis la Vierge, après correction angulaire.

Uranus ne serait que deux fois moins lumineuse que Jupiter, mais surtout, la luminosité de Neptune se situerait à un facteur 80 en dessous de celle d'Uranus !

Mon hypothèse à ce stade est qu'il y a eu probablement confusion entre Neptune et Uranus :

- Uranus et Neptune étaient dans la même ligne de visée.
- Uranus était 80 fois plus lumineuse que Neptune à la date considérée.
- Uranus et Neptune possèdent quasiment la même masse, celle d'Uranus ($0.87 \cdot 10^{26}$ kg) étant d'ailleurs plus proche de celle annoncée par les Oummaines ($0.9 \cdot 10^{26}$ kg).

Pour les planètes extérieures, tout ceci me semble cohérent d'une observation faite depuis la constellation de la Vierge le 6/02/1934, et naturellement limitée à la détection de 3 planètes extérieures autour du Soleil.

b) De quel type d'appareillage s'agissait-il ?

La première idée est de penser à un télescope optique mais après tout, il pouvait s'agir d'un tout autre type d'instrument, car le texte fait référence comme moyen d'observation à l'utilisation d'ondes électromagnétiques (comme nos radiotélescopes), d'ondes optiques (comme nos télescopes au sol, ou notre télescope spatial Hubble, rejoint bientôt par le James Webb Space Telescope, JWST dans la suite), et enfin d'ondes gravitationnelles, que nous commençons à peine à utiliser dans le domaine de l'astronomie, avec la nécessité d'avoir des sources d'énergie gravitationnelle absolument colossales, ce qui est le cas lorsque deux trous noirs fusionnent !

Pour répondre à la question du type d'instrument utilisé, examinons tout d'abord les moyens à notre disposition sur la Terre pour la détection des exoplanètes.

Détection des exoplanètes depuis la Terre

En 1967, nous n'avions pas encore découvert d'exoplanètes, aussi pouvait-il paraître extraordinaire d'être capable de détecter, puis mesurer d'aussi loin (14.4 AL) et avec une aussi bonne précision la masse de planètes comme Neptune (Uranus), Saturne et Jupiter, même si la confusion concernant Vénus indique une limitation en résolution de l'appareillage utilisé.

Depuis lors, non seulement nous avons détecté quelques milliers d'exoplanètes, mais nous savons mesurer également les différents paramètres orbitaux de celles-ci, leur masse, leur densité, etc.

Les techniques pour faire ces mesures évoluent régulièrement : elles étaient réparties en 2018 en différentes méthodes de détection, comme le montre la figure suivante extraite du livre « The exoplanet Handbook » de Michael Perryman dans l'édition de 2018. On pourra s'y reporter utilement pour comprendre comment on déduit de ces techniques les caractéristiques d'une planète comme sa masse par exemple.

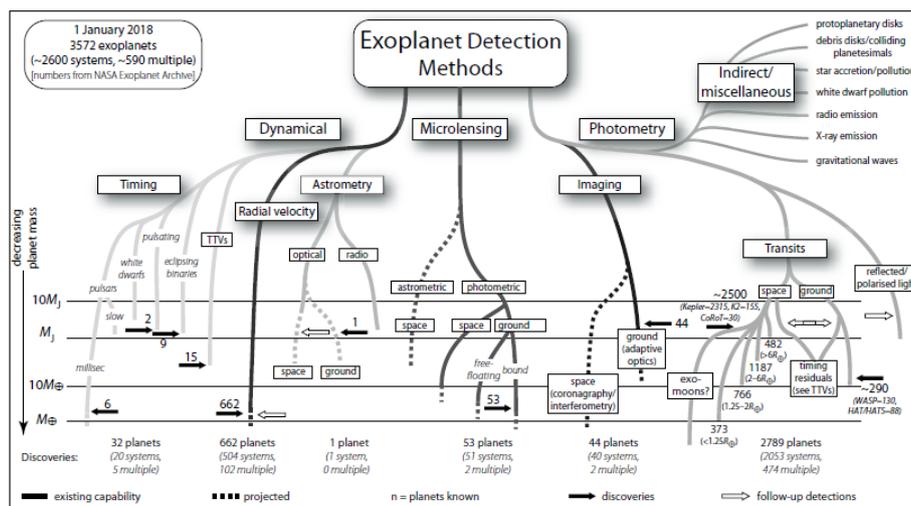


Figure 1.1: Exoplanet detection methods. The lower limits of the lines indicate masses within reach of present measurements (solid lines), and those that might be expected within the next few years (dashed). The (logarithmic) mass scale is shown at left. Miscellaneous signatures to the upper right are less well quantified in mass terms. Solid arrows show relevant discoveries. Open arrows indicate measurements of previously-detected systems. Numbers are from the NASA Exoplanet Archive, 2018 January 1.

On remarque assez rapidement dans cette arborescence que quelle que soit la méthode de détection utilisée, celle-ci fait appel à un moyen optique pour recueillir la lumière : celle-ci est alors utilisée au foyer de l'instrument d'optique, en y plaçant d'autres instruments spécifiques.

Les plus utilisés dans l'ordre sont les photomètres pour la méthode des transits (2789 détections), les spectroscopes pour l'utilisation de l'effet Doppler (662 planètes), et aussi les imageurs, pour l'imagerie directe (44 planètes).

Nos techniques actuelles ne font donc appel ni à la radioastronomie, ni à l'utilisation des ondes gravitationnelles : mais encore une fois il en va peut-être autrement sur Ummo.

Afin toutefois d'essayer de mieux comprendre les observations et les limitations annoncées de l'appareillage Oummain, nous allons supposer que ce dernier est constitué à la base par un télescope optique classique. Ceci nous permettra de comparer les performances atteintes par nos télescopes, avec celles d'un instrument d'optique et d'imagerie Oummain, sachant que ce dernier posséderait en outre les deux caractéristiques essentielles suivantes d'après le texte en Annexe 1 :

- Une résolution limitée aux alentours de 58 Millions de km @14.4 AL (année-lumière) : ce point sera illustré dans la suite.
- Une sensibilité ne permettant pas de voir optiquement une planète à plus de 6 AL. Cette définition est un peu vague, car tout dépend de l'éclairement et de l'albédo de ladite planète, de la distance à son étoile, et aussi de la luminosité de cette étoile. Il s'agit probablement d'un ordre de grandeur, car manifestement, les quatre planètes évoquées plus haut auraient bel et bien été détectées depuis Ummo @ 14.4 AL. Je pense aussi que cette valeur (6 AL) doit faire référence à la luminosité d'une étoile de type K comme Ioumma, 5 fois moins lumineuse que le Soleil. Avec le Soleil comme source de lumière, cela étend d'un facteur 2.24 la profondeur de détection, et on arrive ainsi à 13.5 AL, non loin de 14.4 AL.

Il s'agit là de deux spécifications importantes, mais il faut en rajouter une autre.

En effet, une phrase a particulièrement attiré notre attention dans le texte reporté en Annexe 1, à savoir que notre soleil est parfaitement observable depuis Ummo. Ce point est très important, car comme expliqué dans un texte ultérieur de 1969 (D 74), Ioumma n'est pas facilement observable dans le visible depuis la Terre en raison d'un nuage de poussière interstellaire intercalé entre nos deux systèmes. Autrement dit, l'observation évoquée dès 1967 depuis Ummo n'a sans doute pas été faite dans le visible, mais probablement dans l'infrarouge proche, comme je l'ai expliqué dans mon article « Non, Wolf n'est pas l'étoile des Ummites », et que j'illustre à nouveau ci-après.



Les nuages de gaz et de poussières où naissent les étoiles sont moins opaques dans l'infrarouge que dans le visible, comme le montre cette vue des Piliers de la Création, dans la nébuleuse de l'Aigle. © NASA/ESA.

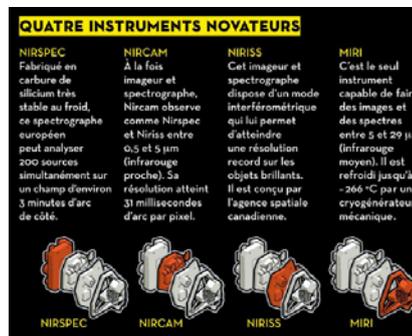
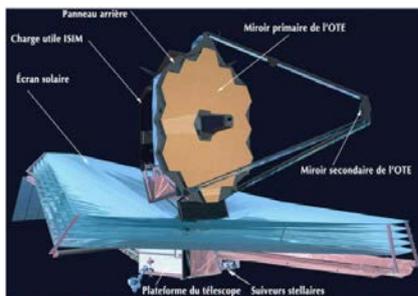
Si on revient aux techniques de détection des exoplanètes, il convient de rajouter une troisième spécification :

- Observation dans l'infrarouge, longueur d'onde beaucoup plus révélatrice du « terrain ».
Encore une fois, la carte n'est pas le territoire !

Imageur infrarouge et le James Webb space télescope (JWST)

La nécessité de travailler dans l'infrarouge

Notre fleuron actuel auquel comparer l'instrument supposé d'optique Oummain n'est autre que le futur télescope spatial James Webb, avec son miroir primaire de 25 m². Ce dernier disposera de l'instrumentation nécessaire pour faire de l'observation infrarouge, **jugée également par nos scientifiques comme étant la meilleure pour explorer le cosmos y compris pour la découverte de nouvelles exoplanètes**. C'est un point de convergence à noter.



Le JWST sera équipé de quatre instruments principaux, avec notamment les imageurs infrarouges MIRI et NIRCAM dont j'ai reporté les spécifications principales en Annexe 2.

Un quart du temps d'observation du James Webb sera dédié, au moins la première année, à l'étude des exoplanètes. L'instrument MIRI permettra de faire des images d'exoplanètes, car il est équipé de coronographes performants pour occulter la lumière de l'étoile du système observé. L'instrument NIRCAM est également équipé d'un coronographe et travaille dans l'infrarouge plus proche.

L'intérêt principal de l'infrarouge est le suivant : la luminosité relative d'une planète à son étoile est plus faible dans l'infrarouge que dans le visible. Par exemple, notre Soleil n'est que 1 million de fois plus lumineux que Jupiter dans l'infrarouge, alors que l'on estime cet écart à un milliard de fois dans le visible ! Un tel contraste dans l'infrarouge peut être atteint avec l'aide d'un coronographe performant. Nous y reviendrons.

Inconvénient : la résolution de l'image est moins bonne dans l'infrarouge.

Le James Webb dans l'infrarouge n'aura pas une résolution meilleure que celle de Hubble dans le visible : il disposera tout de même d'un pouvoir de résolution de l'ordre de 0,1 seconde d'arc ! Celle-ci est à peu près équivalente à celle du télescope spatial *Hubble* pourtant doté d'un miroir d'un diamètre bien inférieur (2,75 fois plus petit). Mais ce dernier effectue ses observations dans des longueurs d'onde plus courtes (environ 0,7 micromètre). Or, à taille de miroir égale, le pouvoir de résolution θ est d'autant meilleur que la longueur d'onde λ est courte et que le diamètre D de l'optique est important (voir plus de détails en Annexe 3) :

$$\theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

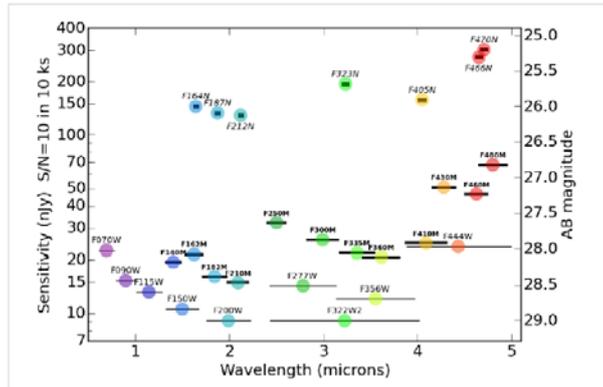
Cette résolution, qui dépend donc de la longueur d'onde, sera 3 fois meilleure avec l'instrument NIRCAM qu'avec MIRI, car NIRCAM observe dans l'infrarouge plus proche et sa résolution atteindra 0.031 secondes d'arc.

Sensibilité du JWST

L'autre paramètre auquel comparer l'instrument Oummain concerne la sensibilité de l'ensemble.

La figure suivante présente la sensibilité de l'instrument NIRCAM en fonction des différentes longueurs d'onde de travail.

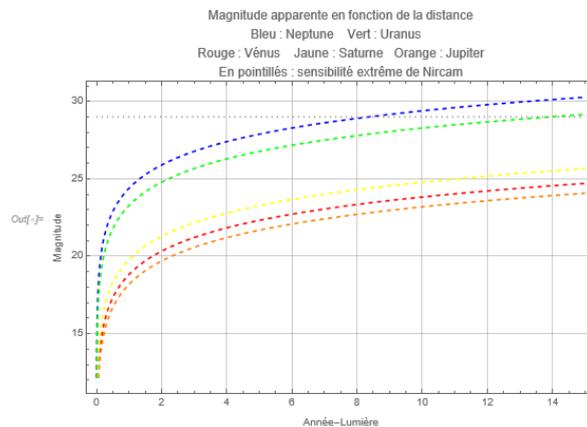
Figure 5. NIRCAM sensitivity for imaging



Sensitivity is shown as S/N = 10 detection limits for point sources in a 10 ks image (comprised of 10 exposures, 1 ks each). The sources are assumed to have flat spectra in nJy (and AB magnitudes). Zodiacal light is assumed to be 1.2 times the minimum. Filter widths are shown as horizontal bars. Extra-wide / wide, medium, and narrow filters are labeled in normal, bold, and italic text, respectively each with progressively thicker bars. Please use the Exposure Time Calculator (ETC) to calculate sensitivity estimates for your specific proposed observations.

La magnitude apparente la plus faible observable avec Nircam serait de l'ordre de 29, avec un rapport signal sur bruit de 10.

Qu'est-ce que cela signifie ? Pour répondre à cette question, on examine la magnitude apparente de différentes planètes de notre système solaire, en partant de leur magnitude **maximale par rapport au lieu d'observation** et de leur distance à la Terre pour ce cas, et en supposant simplement qu'on éloigne de nous ces différentes sources de lumière. Leur éclat va diminuer en $1/d^2$, et on le traduit en magnitude apparente en fonction de la distance exprimée en AL. On obtient alors le graphique suivant pour les planètes indiquées.



Ce graphique indicatif montre par exemple qu'une source lumineuse comme Neptune (en bleu) serait observable à 8.5 AL à la limite de la sensibilité de Nircam pour S/B=10 (magnitude 29 en

pointillés). Mais attention, tout dépend de la position de Neptune par rapport à la source qui l'éclaire et de l'observateur. Si Neptune est à 20 ° de l'axe de visée comme expliqué ci-dessus, il faut diviser sa luminosité d'un facteur ~ 30 , soit presque 4 magnitudes ! Dans ce cas, Neptune n'est clairement plus détectable à moins de 2 AL par le JWST.

En revanche, une source comme Uranus (en vert), éclairée avec un angle de 30 °, serait observable @14.4 AL avec un S/B proche de 10.

Toutes les autres sources lumineuses considérées dans ce graphique seraient observables par Nircam @ 14.4 AL avec une marge de 4 magnitudes environ.

En tout état de cause toutes les sources considérées au **maximum** de leur éclat seraient observables @6 AL, y compris d'ailleurs Neptune ; le JWST associé à Nircam serait peut-être un peu moins sensible que l'instrument Oummain, cette affirmation se basant sur le fait que Uranus (et non Neptune) aurait été détectée comme l'indique le texte, alors que le JWST serait à la limite de la détection d'Uranus à une telle distance.

Qu'en est-il maintenant de la résolution spatiale ?

En annexe 3, on explique ce qu'est le pouvoir de résolution théorique d'un instrument, et on donne des exemples de résolutions spatiales de différents télescopes, voire d'associations de télescopes en interférométrie. La résolution spatiale peut se simuler par une courbe de type gaussienne : cela veut dire que quand la source est infiniment ponctuelle, l'instrument en donnera une image gaussienne.

Un ensemble de sources ponctuelles se traduira par un ensemble de taches gaussiennes : cette opération mathématique s'appelle le produit de convolution de l'image par la fonction de transfert de l'instrument. Ainsi, une image quasi ponctuelle, comme une étoile par exemple, deviendra une tache gaussienne dont la largeur à mi-hauteur mesurée n'a rien à voir avec le vrai diamètre de l'étoile mais va dépendre de la fonction de transfert de l'instrument. Il en va de même pour une source planétaire et n'importe quel autre type de source.

Supposons que l'on observe le système solaire et quelques-unes de ses planètes avec un instrument d'optique absolument parfait, et cela depuis Umma, le 6/02/1934 !

Comme expliqué plus haut, on devrait observer Vénus, la Terre, Mars, Jupiter, Saturne puis le couple Uranus/Neptune.

Les distances estimées de ces planètes *par rapport à l'axe de visée Umma-Soleil* sont respectivement de $\{-0.47, -0.67, 0.42, 1.38, 6.66, -9.44, -9.72\}$ Unités Astronomiques.

Les luminosités relatives avec correction d'angle sont lues dans les tableaux ci-dessus, les planètes étant dans le même ordre : $\{0.88, 0.2, 0.14, 0.12, 1.29, 0.056, 0.00066\}$.

On peut donc aligner ces planètes dans un plan perpendiculaire à l'axe de visée et les positionner le long d'une ligne de part et d'autre du Soleil, ce qui permet de traiter cette question en 1D.

J'ai également supposé que le coronographe assurait une atténuation de l'étoile telle que l'on puisse visualiser une planète proche de l'étoile : en travaillant dans l'infrarouge, on gagne peut-être un facteur 250 de contraste (6 mag), facteur que j'ai multiplié par le facteur 10^6 (15 mag) provenant d'un coronographe qu'il était possible de réaliser en 2000 d'après la figure suivante. Autrement dit, le niveau de lumière non rejeté du Soleil serait filtré d'un facteur $2.5 \cdot 10^8$, ce qui le mettrait au niveau 40 au moins dans la liste des luminosités ci-dessus. Je ne suis pas très sûr de cette valeur.

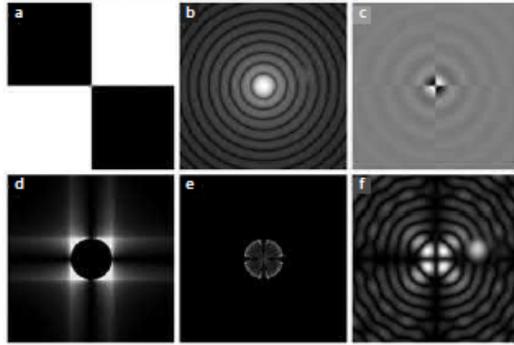
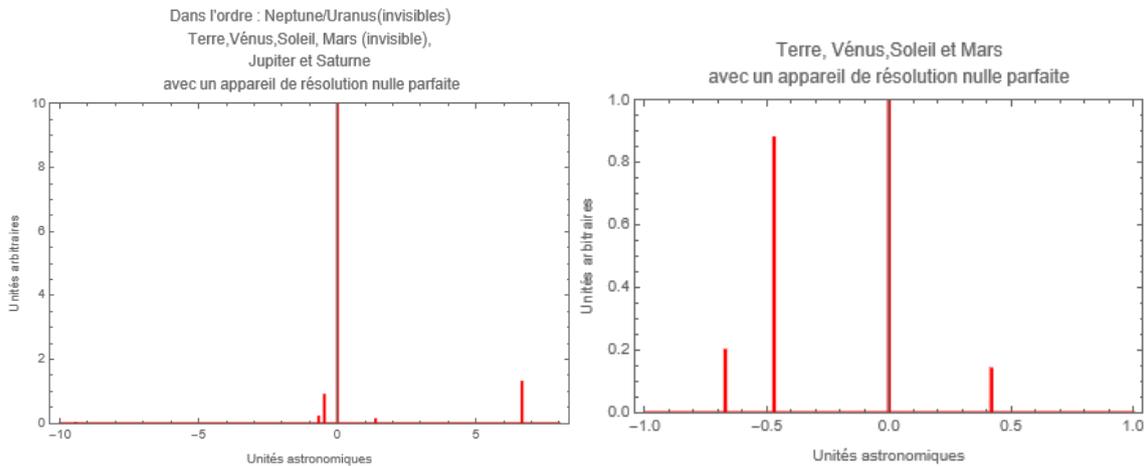


Figure 7.5: Simulation of the four-quadrant phase mask coronagraph and the detection of a companion 15 mag fainter at angular distance $2.1\lambda/d$: (a) the phase mask, with white/black for $0/\pi$ phase shifts, which takes the place of the occulting mask in the Lyot design; (b) the Airy pattern; (c) the complex amplitude of the star phase-shifted by the mask; (d) the exit pupil; (e) the exit pupil viewed through the Lyot stop; (f) final coronagraphic image, with companion. From Rouan et al. (2000, Figure 2), reproduced by permission, Institute of Physics Publishing.

En réunissant toutes ces informations, voici donc ce qu'on observerait @14.4 AL de distance (depuis Umno en direction du système solaire) avec un instrument parfait muni d'un coronographe remplaçant le Soleil par une source environ 40 fois plus forte que Vénus. Les niveaux des pics prennent en compte les différences de luminosité des planètes indiquées ci-dessus, et sont en unités arbitraires. Uranus/Neptune et Mars n'apparaissent pas en raison de l'échelle linéaire et de leur faible luminosité. Un zoom est également fait sur la figure de droite pour montrer que Vénus est bien présente. L'échelle verticale est limitée à 10 à gauche et 1 à droite.

L'abscisse est en unités astronomiques.



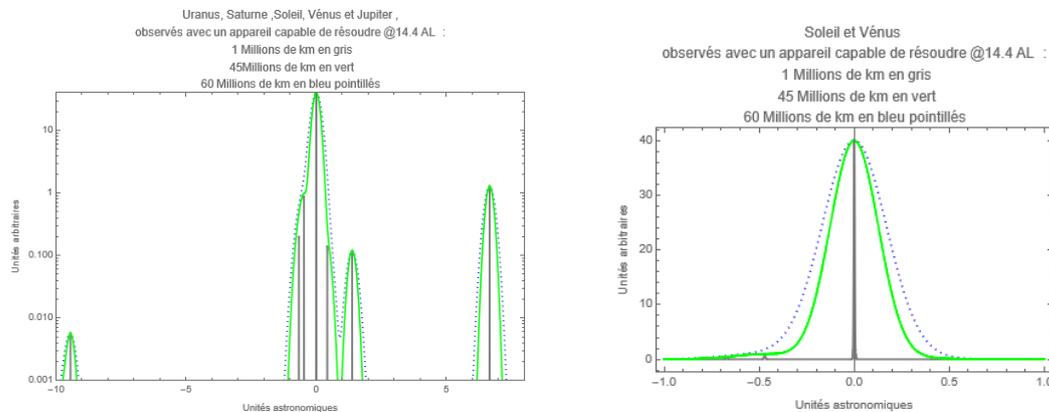
Si maintenant on dégrade progressivement la résolution de l'instrument, nous obtenons les nouveaux graphiques suivants, cette fois ci en échelles logarithmiques pour la figure de gauche, ceci afin de bien montrer l'existence du signal provenant d'Uranus/Neptune.

Les résolutions choisies sont de 1 Millions de km en gris, 45 Millions de km en vert, et 60 Millions de km en pointillés bleu, soit trois résolutions différentes @ 14.4 AL.

Quand on exprime que la résolution est de 1 Millions de km @ 14.4 AL, cela signifie que chaque point ponctuel sera vu comme une tache de 1 Millions de km de largeur à mi-hauteur. Ceci est vrai quelle

que soit la planète observée : cela ne veut pas dire que chaque planète fait 1 Millions de km de diamètre ; cela traduit simplement la limitation de l'instrument.

Pour une résolution @14.4 AL de 1 Millions de km, un tel instrument sépare très distinctement le Soleil des planètes, mais on ne distingue pas Neptune d'Uranus (courbes grises ci-dessous).



Le texte précise que la résolution est limitée, de telle sorte qu'on ne voit pas très clairement l'existence de Vénus. Pour simuler cette dégradation, on prend tout d'abord une résolution de l'appareil d'environ 60 Millions de km @ 14.4 AL comme estimé au début de l'article. C'est la courbe en bleu-pointillés ci-dessus à droite. Effectivement, le signal de Vénus (du couple Terre-Vénus devrait-on écrire) est absorbé par celui du Soleil, trop proche, et de surcroit trop lumineux.

En revanche, avec une résolution de 45 Millions de km @14.4 AL, on commence à deviner l'existence d'une planète (courbe en vert en haut à droite, avec un petit sursaut à l'endroit de Vénus), sachant qu'il est impossible de distinguer la Terre de Vénus. En échelles logarithmiques (en haut à gauche), ce sursaut se devine mieux.

Mars est noyée dans le signal lumineux du Soleil comme on s'y attendait. De même, il est impossible de séparer Neptune/Uranus, sachant que le signal est principalement celui d'Uranus.

Au final, on distingue bien 3 planètes extérieures : Uranus (et non Neptune), Saturne et Jupiter. On devine une planète proche du Soleil. Il s'agit de Vénus, son signal étant un peu renforcé par celui de la Terre. Il s'agit donc du couple Vénus-Terre et non Vénus-Mercure.

En conclusion de cette partie, pour rester conforme au texte, on en déduit que la résolution de l'instrument Oummain serait de l'ordre de 45 Millions de km @14.4 AL, soit encore de 0.0675 secondes d'arc.

Les trois résolutions annoncées du JWST sont de 0.032 et 0.065 secondes d'arc avec Nircam, et 0.11 secondes d'arc avec NIRI (revoir si besoin l'annexe 2).

Autrement dit, l'instrument Oummain serait tout à fait équivalent au JWST du point de vue de sa résolution ; il serait aussi sensible que le JWST muni de Nircam puisque la planète Uranus a été détectée par les Oummain, et que le JWST saurait aussi la détecter à 14.4 AL.

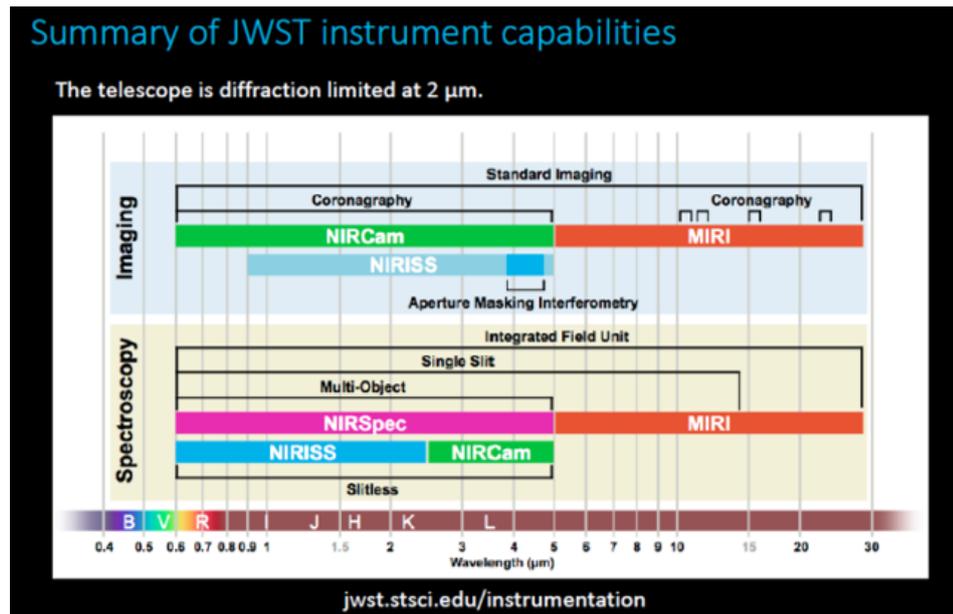
Dans ces conditions, il me semble inutile d'invoquer l'usage des ondes gravitationnelles ou l'emploi d'un télescope démesuré pour crédibiliser ce texte de 1967 : un instrument équivalent au JWST ferait l'affaire, le texte donnant des spécifications instrumentales en 1967 que nous savons maintenant atteindre un demi-siècle plus tard !

Corollaire : pourrait-on résoudre Iouma, Ummo et Nawee avec le JWST ?

Question bien légitime !

Mais il paraît prudent de ne pas trop s'avancer pour deux raisons :

- Quelle est la transparence réelle dans l'infrarouge de ce fameux nuage de poussières interstellaires situé entre la Terre et Ummo ? Car comme le montre le tableau ci-dessous, Nircam travaille en imagerie (et coronagraphie) entre 0.6 et 5 μm avec une résolution allant de 0.032 secondes d'arc à 0.065 secondes d'arc, et Miri travaille quant à lui au-delà de 5 μm avec une résolution moins bonne (0.11 secondes d'arc).



⇒ Jusqu'où dans l'infrarouge faut-il aller pour avoir un nuage bien transparent ou en tout cas faiblement occultant ?

Il faut expliquer à ce stade que l'étude précédente a été faite sans prendre en compte l'influence de ce fameux nuage, et avait uniquement pour but d'estimer et comparer différents paramètres instrumentaux comme la sensibilité ou la résolution spatiale de l'instrument potentiellement utilisé.

L'étude a montré que le JWST aurait les performances nécessaires pour réaliser une observation équivalente à celle effectuée par les Ummites, si on reste aux environs de 2.5 μm à 5 μm de longueur d'onde. Mais est-ce vraiment le cas ?

- Ensuite, nous n'avons sur le système Iouma qu'une partie des informations :
 - Albedo des différentes planètes ?
 - Orientation du plan de l'écliptique du système par rapport au plan galactique ?
 - Etc.

On pourrait toujours faire des tas d'hypothèses et faire les calculs associés, mais je ne suis pas certain de l'utilité de ce travail, tant que nous n'aurons pas plus d'informations notamment sur ce fameux nuage.

Conclusion

On ne pouvait pas imaginer en 1967, qu'on lancerait en 2021 un télescope spatial capable d'observer des exoplanètes dans un rayon de la dizaine d'années-lumière de la Terre ! Et pourtant, ceci se passe en ce moment, le lancement étant en décembre 2021.

Autrement dit, en un demi-siècle, nos savoirs sur les exoplanètes et nos technologies ont évolués d'une manière assez fantastique, au moins dans certains domaines.

Les chiffres donnés dans la lettre D 57-1 concernant certaines capacités de détection et d'observation, qui pouvaient paraître absurdes en 1967 à l'aube de la conquête spatiale, se révèlent aujourd'hui accessibles et réalistes, et dans les ordres de grandeur de ce que l'humanité sait faire en 2021.

Est-ce que cela signifie qu'il suffit de pointer le JWST vers la constellation de la Vierge pour découvrir Ioumma et ses planètes ? En théorie, sans doute que oui, car les capacités instrumentales du JWST sont réellement exceptionnelles.

Mais il reste ce fameux nuage de poussières interstellaires dont les paramètres de transmission dans l'infrarouge nous sont totalement inconnus. Il faudrait plus d'informations sur cette question.

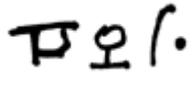
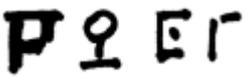
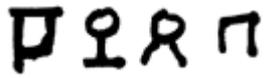
Notons pour finir que la Lettre D57-1 donnait d'après la présente étude des informations erronées, ce que je trouve assez bizarre pour un peuple qui serait aussi avancé techniquement :

- La confusion Vénus-Mercure est en réalité une confusion Vénus-Terre
- La détection de Neptune est en réalité la détection d'Uranus.

Mais au final, il y a bien eu détection de 4 objets, dont un proche du Soleil détecté avec une moins bonne certitude.

Annexe 1 Extrait de la lettre D 57-1

« Il nous fut facile (En utilisant notre Système de référence de Coordonnées Galactiques) de situer le point approximatif d'où était partie l'émission. La OOOYIA (Étoile naine) d'où provenait le signal était parfaitement visible, (LE SOLEIL; de votre système). De plus nous étions certains qu'au moins quatre

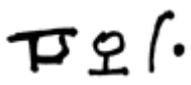
Planètes (OOYAA) tournaient autour de celui-ci, codifiées par nous comme: OOOYAA ,
OOYAA , OOOYAA , OOOYAA 

La première correspond à NEPTUNE, la seconde à SATURNE, la troisième à JUPITER et la quatrième, à cause d'une erreur compréhensible dans nos calculs, correspond au groupe formé par VENUS et MERCURE, car l'existence de tels astres froids était seulement déductible en fonction des altérations observées sur l'OOOYIA (SOLEIL). A partir de UMMO, il est impossible de contempler optiquement un astre froid de cette magnitude à plus de 6 années-lumière.

Jusqu'alors on n'avait pas fait attention à votre SOLEIL, tout simplement parce que l'on n'avait jamais reçu de ce point le moindre signal d'Ondes Électromagnétiques ou gravitationnelles ce qui fait que nos spécialistes présumaient l'inhabitabilité de ce groupe planétaire.

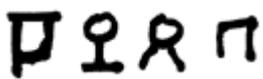
La nouvelle fut reçue avec intérêt par notre communauté et avec surprise par nos techniciens; l'étape suivante fut de spéculer sur les rares données non exemptes de larges marges d'erreur autour de la probabilité de chacun de ces quatre OOOYAA cités de ce système planétaire, de présenter des possibilités d'identification avec le récent centre émetteur OOOYAGAA (Planète "carré"). Certains de nos spécialistes en spéculant sur la raison de l'émission du message se référant à cette figure géométrique, supposèrent qu'il obéissait à la simple raison d'employer un Code interplanétaire à base de figures géométriques simples.

A cette époque-là, nos techniciens avaient calculé ainsi les masses probables de ces quatre Planètes Solaires :

OOOYAA..  (identifiée aujourd'hui comme NEPTUNE) : 52.10^{24} oobo

OOOYAA..  (probablement SATURNE) : 286.10^{24} OOBO

OOOYAA.  (identifiée aujourd'hui comme JUPITER): 940.10^{24} OOBO

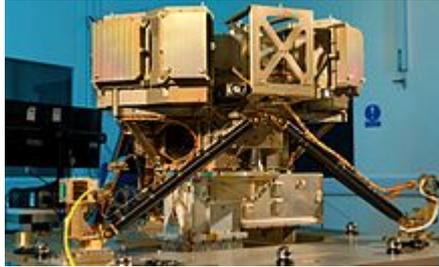
OOOYAA .  (Cette planète n'existe pas, sa déduction se fit en partant des influences gravitationnelles de MERCURE et de VENUS): masse estimée: $2,6.10^{24}$ OOBOO.

Un OOBO - Unité de Masse- équivaut à 1,733 kilogrammes-masse. »

Annexe 2 Extraits d'un article de Wikipedia

[https://fr.wikipedia.org/wiki/James-Webb_\(t%C3%A9lescope_spatial\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/James-Webb_(t%C3%A9lescope_spatial))

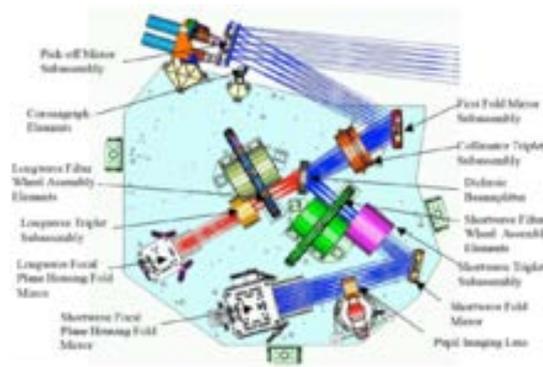
Caméra / spectromètre MIRI



MIRI (en anglais *Mid InfraRed Instrument*, « instrument pour l'infrarouge moyen ») est un instrument comportant une caméra et spectromètre (spectro-imageur), fonctionnant dans l'infrarouge moyen de 5 à 28 μm . L'instrument doit permettre notamment de réaliser des photos et des spectres de jeunes exoplanètes et de leur atmosphère, d'identifier et caractériser les premières galaxies de l'univers et d'analyser les poussières chaudes et les gaz moléculaires des jeunes étoiles et des disques protoplanétaires. Quatre modes d'observation sont possibles :

- réalisation d'images à travers dix filtres. La résolution de MIRI est de 0,11 seconde d'arc par pixel, pour un champ maximum de 74×113 secondes d'arc. Plusieurs champs plus petits seront aussi disponibles (7×7 , $14,1 \times 14,1$, $28,2 \times 28,2$, $56,3 \times 56,3$ secondes d'arc) pour permettre un temps d'exposition court (prise d'images d'objets lumineux ou environnement lumineux) ;
- coronographie sur un champ de vue 15×15 secondes d'arc avec une résolution de 0,11 seconde d'arc. Les coronographes sont situés au plan focal du JWST à l'entrée de l'instrument MIRIM. Ils sont composés de trois masques de phase monochromatiques de type 4QPM (*Four-Quadrant Phase Masks*) et d'un masque de Lyot. Les trois masques de phase fonctionnent à 10,65 μm , 11,4 μm et 15,5 μm respectivement, alors que le masque de Lyot fonctionne à 23 μm . La fonction d'un coronographe est d'atténuer ou de supprimer le flux d'un objet très brillant (une étoile par exemple) afin d'observer son environnement proche peu lumineux (une exoplanète par exemple). La séparation angulaire entre une étoile et son système planétaire étant très petite, l'utilisation de coronographes classiques à pastille de Lyot n'est pas adaptée. Une nouvelle génération de coronographes de phase à quatre quadrants, dits 4QPM, a été mise au point et étudiée par une équipe de chercheurs de l'Observatoire de Paris (LESIA) menée par D. Rouan. Ces coronographes permettent d'atténuer le flux de l'étoile et d'observer des objets angulairement très proches. En centrant l'image d'une étoile sur un 4QPM, l'énergie diffractée est rejetée en dehors de la pupille géométrique du système. Un diaphragme placé dans le plan pupille permet de bloquer le flux de l'étoile. En revanche, une planète angulairement proche de l'étoile ne sera pas centrée sur le 4QPM et ne subira pas cet effet. Une grande partie de son flux passera par la pupille géométrique sans être bloqué par le diaphragme ;
- spectroscopie à basse résolution (résolution spectrale de 100) entre 5 et 11 μm ;
- spectroscopie en « champ intégral » sur un champ de 3×3 secondes d'arc avec une résolution spectrale d'environ 1500.

Caméra NIRC*am*



NIRC*am* (*Near-InfraRed Camera*, en français caméra pour l'infrarouge proche) est une caméra grand champ fonctionnant dans l'infrarouge proche de 0,6 à 5 μm . La caméra comporte deux sous-ensembles pratiquement identiques qui couvrent des portions de ciel adjacentes séparées de 44 secondes d'arc. Le champ optique de chacun de ces modules est de $2,2 \times 2,2$ minutes d'arc. Un des deux instruments couvre les longueurs d'onde comprises entre 0,6 et 2,3 μm (ondes courtes) l'autre entre 2,4 et 5 μm . La lumière de l'instrument à ondes courtes arrive sur quatre détecteurs (2×2) de $2\,040 \times 2\,040$ pixels chacun, tandis que celle du deuxième instrument arrive sur un détecteur unique de $2\,040 \times 2\,040$ pixels. La résolution est de 0,032 seconde d'arc par pixel pour le premier ensemble de détecteurs et de 0,065 seconde d'arc pour le second. Des filtres permettent de sélectionner des longueurs d'onde particulières. L'instrument à ondes courtes dispose de cinq filtres sélectionnant des bandes larges ($R \sim 4$), quatre moyennes ($R \sim 10$) et trois étroites ($R \sim 100$). Le deuxième instrument comporte trois filtres larges, huit moyens et quatre étroits. L'instrument dispose d'un mode coronagraphie pour pouvoir réaliser des images d'objets très peu lumineux proches de sources très brillantes comme les exoplanètes ou les disques de débris. L'instrument peut également effectuer sur des surfaces réduites des prises d'images rapides ainsi que de la spectroscopie sans fente sur la bande spectrale 2,4–5 μm avec une résolution $R \sim 1700$.

Annexe 3 Pouvoir de résolution d'un instrument d'optique et application à différents télescopes

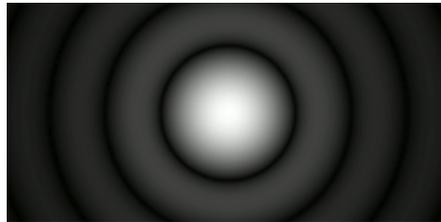
Cette annexe s'inspire très fortement de l'article Wikipedia suivant :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Pouvoir_de_résolution

Le **pouvoir de résolution** exprime la capacité d'un système optique de mesure ou d'observation à distinguer les détails. Il peut être caractérisé par l'angle ou la distance minimal(e) qui doit séparer deux points contigus pour qu'ils soient correctement discernés.

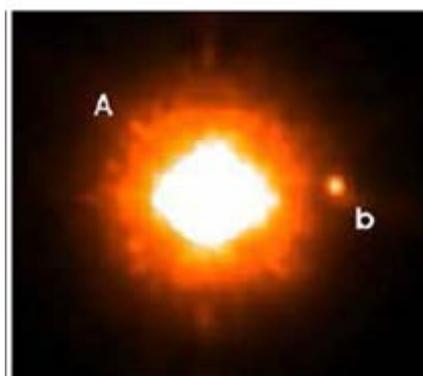
Les instruments optiques contiennent le plus souvent une chambre noire, la lumière passant par l'ouverture de la chambre noire subit une diffraction. Même si le système optique est considéré parfait dans le sens où il est dénué de toute aberration, la diffraction limite son pouvoir de résolution : un objet ponctuel donne une image « floue », appelée tache d'Airy. Si deux détails d'un objet sont trop proches, les taches de diffraction se chevauchent et il devient impossible d'obtenir des images séparées de ces détails : c'est ce qu'on appelle la tache d'Airy.

Tache d'Airy



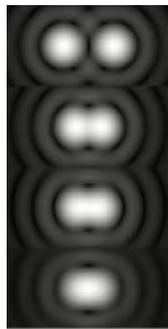
Pour un instrument optique d'ouverture circulaire de diamètre D (en mètre) traversé par une onde de longueur d'onde λ (en mètre), la figure de diffraction obtenue, nommée tache d'Airy, présente un premier cercle noir pour un angle θ par rapport à l'axe de révolution de : $\theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$.

Lorsqu'on cherche à distinguer deux points lumineux très proches (par exemple une planète et son étoile comme le montre la figure suivante), plusieurs critères différents peuvent être utilisés selon les domaines d'application. Ils donnent une condition sur la distance entre deux taches d'Airy permettant la séparation entre les points ; ces critères sont valables pour des systèmes optiques à symétrie de révolution.



Ces critères sont ceux de Schuster, Rayleigh et Sparrow.

Les images suivantes illustrent ces critères, lorsque l'on cherche à distinguer deux taches différentes.



- a. Critère de Schuster.
- b. Critère de Rayleigh.
- c. Critère de Sparrow.
- d. Les taches sont indiscernables.

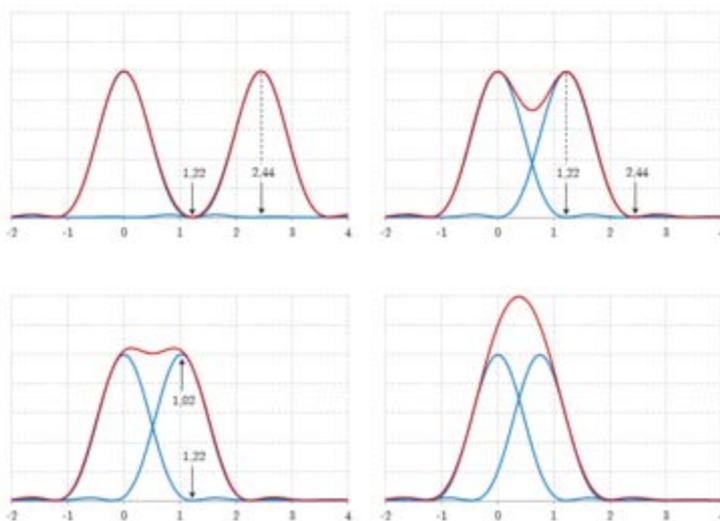
Mathématiquement, le critère d'angle s'exprime comme suit :

a : $\theta \approx 2.44 \frac{\lambda}{D}$.

b : $\theta \approx 1.22 \frac{\lambda}{D}$.

c : $\theta \approx 1.02 \frac{\lambda}{D}$.

Si on fait une coupe le long de l'axe joignant les deux taches, on obtient les courbes suivantes dans le même ordre a, b, c et d que ci-dessus.



Pouvoir de résolution de quelques télescopes

Pour un télescope de 10 m de diamètre, et pour une longueur d'onde de 550 nm au milieu du domaine visible, le pouvoir de résolution théorique est d'environ 0,014 seconde d'arc , mais il ne peut être atteint sans l'usage d'optique adaptative en raison de la turbulence atmosphérique qui « floute » les images. Pour obtenir une meilleure résolution, on peut utiliser une optique de plus grand diamètre : c'est ce qui justifie la course aux grands télescopes.

Le tableau suivant présente la résolution de quelques instruments en utilisant le critère de Rayleigh.

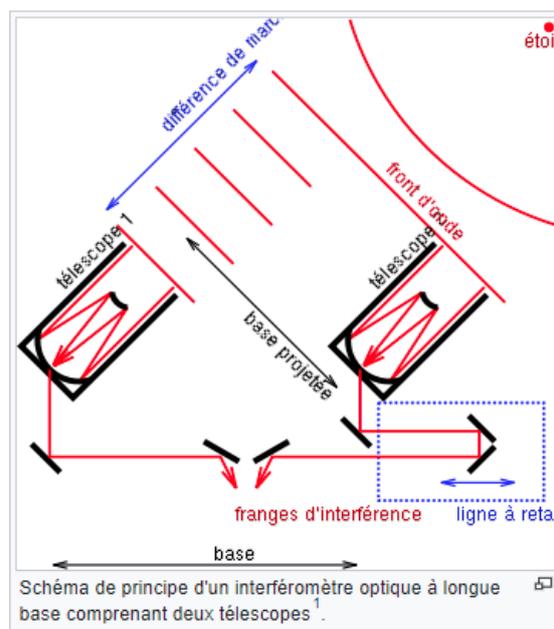
| Outil | Diamètre (m) | (rad) | (") | Détails sur la Lune | Détails à 200 km |
|--------------------|--------------|----------------------|--------|---------------------|------------------|
| Œil | 0,0025 | $2,7 \times 10^{-4}$ | 55 | 103 km | 53 m |
| | 0,010 | $6,7 \times 10^{-5}$ | 13 | 25 km | 13 m |
| Jumelles | 0,050 | $1,3 \times 10^{-5}$ | 2,8 | 5 km | 2,7 m |
| | 0,10 | $6,7 \times 10^{-6}$ | 1,4 | 2,6 km | 1,3 m |
| Télescope 150 mm | 0,15 | $4,5 \times 10^{-6}$ | 0,92 | 1,7 km | 89 cm |
| | 0,20 | $3,4 \times 10^{-6}$ | 0,69 | 1,3 km | 67 cm |
| Télescope 1 m | 1,0 | $6,7 \times 10^{-7}$ | 0,14 | 260 m | 13 cm |
| Hubble | 2,4 | $2,8 \times 10^{-7}$ | 0,058 | 110 m | 55 mm |
| VLT | 8,0 | $8,4 \times 10^{-8}$ | 0,017 | 32 m | 16 mm |
| Télescopes du Keck | 10 | $6,7 \times 10^{-8}$ | 0,014 | 25 m | 13 mm |
| E-ELT (2025) | 40 | $1,7 \times 10^{-8}$ | 0,0035 | 6 m | 3,3 mm |

Les calculs ci-dessus sont effectués, comme précédemment, avec le critère de Rayleigh et pour une longueur d'onde de 550 nm.

La résolution annoncée du JWST va de 0.033 secondes d'arc à 0.11 secondes d'arc selon l'instrument (et la longueur d'onde de travail) utilisé derrière le télescope.

Une variante au télescope unique est d'utiliser l'interférométrie entre plusieurs télescopes distants. Ce type d'assemblage se base sur le principe de l'interférométrie à longue base :

https://fr.wikipedia.org/wiki/Interféromètre_optique_à_longue_base



Les performances de quelques systèmes au sol existant sont portées dans le tableau suivant (extrait).

| Nom | Opérateur | Lieu | N_B^3 | B^4 | λ (μm) | $N_{\text{tél}}^5$ | Début ³⁵ | $\lambda/\Delta\lambda$ | m_{lim}^6 (mag) | $\Delta V/V$ | $\Delta\phi$ (mrad) | $\theta_{\text{rés}}^7$ |
|--|-----------|--------------------|-------------------|------------|--------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| COAST ³⁶ | Cambridge | UK | 10 ³⁷ | 4–67 | 0,65– 1,0 | 4 | 1991 | ? | 7 | 0,04 | 10 | 2–50 |
| | | | | | 1,0– 2,3 | 4 | 1995 | ? | 3 | 0,2 | 10 | 3–120 |
| VLTI ³⁸ VIMA ³⁹ | ESO | Paranal (Chili) | 6 ⁴⁰ | 47– 130 | 1,1– 2,4 | 3 | 2004 | 30– 12000 ⁴¹ | $K=2-$ $7^{41,42}$ | 0,01–0,03 ⁴³ | 10– 30 ⁴⁴ | 2–10 |
| | | | | | 8–13 | 2 | 2002 | 30–230 ⁴⁵ | $N=2-$ $4^{45,42}$ | 0,1 | 250 | 13–60 |
| VLTI ³⁸ VISA ⁴⁶ | ESO | Paranal (Chili) | 248 ⁴⁰ | 8–202 | 1,1– 2,4 | 3 | 2005 ⁴⁷ | 30– 2000 ⁴¹ | $K=1-$ $5^{41,42}$ | 0,01–0,02 ⁴³ | 10– 20 ⁴⁴ | 1–60 |
| | | | | | 8–13 | 2 | 2005 ⁴⁷ | 30–230 | $N=0-$ $1^{45,42}$ | 0,1 [réf. nécessaire] | 250 | 8–300 |

Les performances du VLT seul (17 milli secondes d'arc) ne sont guère plus mauvaises que le VLT associé à un ou deux de ses voisins (VLTI), soit 1 à 2 milli secondes d'arc de résolution au minimum, le tout sur une base de 130 à 200 m. On gagne donc un ordre de grandeur en pouvoir de résolution, ce qui est logique, car cela revient en gros à considérer l'ensemble comme un télescope unique d'un diamètre de la centaine de mètres au lieu de la dizaine de mètre.

Mais dans l'infrarouge, ce type d'installation perd de son intérêt en raison des turbulences atmosphériques (et ce malgré les miroirs adaptatifs), de la transmission de l'atmosphère dans l'infrarouge, et surtout de la température ambiante, bien plus élevée sur Terre que dans l'espace.

Ainsi, le JWST sera équivalent voire meilleur dans l'infrarouge selon les longueurs d'ondes que le VLTI: c'est bien ce qui en fait l'intérêt !

Autrement dit, pour gagner encore en résolution dans l'infrarouge par rapport au JWST, il faudrait imaginer un ensemble de télescopes spatiaux réunis sur une longue base interférométrique. Il a existé des projets de la sorte dans les cartons des grandes agences spatiales, mais qui ont été annulés. Ce type de projet ne semble pas encore suffisamment mûr pour s'y lancer.

L'interférométrie à très longue base n'existe pour l'instant que dans le domaine de la radio astronomie, avec des résultats toutefois spectaculaires. Le plus célèbre est l'Event Horizon Telescope https://fr.wikipedia.org/wiki/Event_Horizon_Telescope qui a effectué en 2017 la célèbre « image » du trou noir situé au centre de notre galaxie. La longueur d'onde utilisée est d'environ 400 GHz, et la base utilisée n'est autre que le globe terrestre !

A la lecture de tout ce qui précède, on comprend mieux les attentes suscitées par le JWST.