Considérations sur la supposée émission de radio de 1934 qui est arrivée à “Ummo” quatorze années plus tard*

Javier Fraile

Avril 2005

1 Introduction

Ce bref article est divisé essentiellement en deux parties. Dans la première, j'explique de manière plutôt "vulgarisatrice" l'origine de la limite qu'un récepteur d'ondes électromagnétiques peut atteindre dans sa sensibilité maximale possible. Dans la deuxième partie, j'examine la vraisemblance de l'affirmation des auto dénommés “ummites” concernant la supposée détection, accidentelle, d'une émission de radio effectuée depuis un navire norvégien près de la côte de Terre Neuve en 1934.

2 Le bruit comme limite à la sensibilité

Le problème de détection des signaux électromagnétiques (ou de tout autre type) très faibles se situe essentiellement dans le *bruit*. En soi, le fait que le signal soit de très basse amplitude n'est pas le quid de la question, parce que le signal peut toujours être amplifié a notre gré. Faut-il l'amplifier 10.000 fois ? Pas de problème, on l'amplifie. Faut-il l'amplifier dix millions de fois ? OK. On met donc un amplificateur de gain 10.000.000... (Cela n'est pas précisément aussi facile que je le décris ici, mais, nuances a part, il est possible de construire des amplificateurs avec des gains très élevés, presque aussi grands que ce que nous pouvons vouloir. Si nous pouvons le faire, il faut supposer que "eux" pourront faire beaucoup mieux que nous ...)

* *Consideraciones sobre la supuesta emisión de radio de 1934 que llegó a “Ummo” catorce años después.* Traduit par Manuel R. Révisé par A. J. Holbecq / J. Pollion.

Le problème, comme je l'avançais, c'est le bruit. On peut augmenter le volume de l'amplificateur de notre équipement de musique quand une cassette, par exemple, est enregistrée avec un niveau sonore très bas. Mais, que se passe-t-il quand le niveau d'enregistrement est *très, très bas ?*

Si on monte le volume de l'amplificateur jusqu'à la limite, même sans mettre aucune musique, on observera un fort bruit de fond émis par les haut-parleurs (ce qu'on appelle bruit blanc, plus ou moins). Ce bruit est produit fondamentalement dans les circuits électroniques du premier étage d'amplification (le pré-ampli). C'est le bruit apporté par les transistors ainsi que le bruit thermique des résistances, etc. Tout ce bruit passe par toutes les étapes d'amplification et supporte le même gain que celui que nous appliquons au signal. C'est-à-dire que, si nous augmentons beaucoup le volume parce que la musique est très, très basse, nous augmenterons aussi beaucoup le bruit blanc qui arrivera aux haut-parleurs. La conséquence est évidente : la limite pour travailler avec des signaux très faibles, c'est le niveau de bruit propre à l'amplificateur. Si un signal est plus faible que le bruit à l'entrée et que nous l'amplifions fortement, *nous amplifierons aussi le bruit par le même facteur*, de telle sorte qu'il continuera à arriver aux haut-parleurs la même proportion signal/bruit (le bruit étant plus fort que le signal) et le bruit masquera toujours le signal. Peut-être arriverons-nous à faire éclater les haut-parleurs si nous persistons à augmenter le volume, mais nous ne parviendrons jamais à augmenter la sensibilité.

Ceci établi, il convient de se demander s'il est possible de concevoir des amplificateurs (dans le cas qui nous occupe, des récepteurs HF) avec un bruit propre extrêmement bas. Dans un tel cas, la sensibilité serait énorme. Concrètement, tout signal de puissance plus grande que le bruit du récepteur (très bas par définition) serait décelable. La réponse à la question est, *grosso modo*, oui, on peut imaginer de tels amplificateurs. Sans jamais atteindre au moins avec notre technologie, le "zéro absolu" du bruit, il est possible de s'en approcher "de manière asymptotique". Avec une réception hétérodyne, des amplificateurs paramétriques, des circuits refroidis à très basse température, etc. nous pouvons parvenir à avoir des récepteurs avec un bruit propre extrêmement petit.

Est-ce que ceci veut dire, alors, qu'une sensibilité (presque) infinie peut être atteinte ? que l'on peut détecter des signaux de faiblesse infinitésimale ? Non. J'en explique la raison dans le paragraphe suivant.

3 Bruit photonique

Du fait de la nature quantique de la radiation, *un signal est bruyant par lui-même*. Ceci est dû, en dernière instance, au fait que l'énergie est émise dans des quantités *discrètes* (photons), et que les moments d'émission de ceux-ci sont *aléatoires*. Par exemple, dans le cas de la lumière cohérente (un laser par exemple), on peut démontrer que l'émission des photons suit une distribution de Poisson. Par conséquent, et même en acceptant que le récepteur soit idéal, ce qui implique qu'il n'y ait pas une addition non désirée de bruit, la sensibilité ne peut jamais être infinie parce que pour des raisons physiques fondamentales, la nature de tout signal est intrinsèquement bruyante. Ce bruit est appelé *bruit photonique*[1].

Ce qui précède étant dit, il est évident que, au moment de décider s'il est possible que les "ummites" ont pu être capables de détecter (ou non) un certain rayonnement très faible en provenance de la Terre, nous devons supposer que l'argumentation doit tourner autour des limites imposées par le bruit du signal, par le bruit photonique, et nous devons faire abstraction du bruit des équipements récepteurs ummites, puisque nous les supposerons "parfaits" (et bien qu'ils ne les soient pas, comment pourrions-nous les caractériser ?...)

Pour définir ce qu'est la sensibilité nous utiliserons un critère assez grossier, mais qu'on accepte généralement, à des effets surtout comparatifs entre des récepteurs différents. On prend comme puissance de signal minimale décelable par un récepteur, P_m, celle qui est égale à celle du bruit, parce qu'on suppose que si le signal est plus faible que le bruit, il sera masqué par celui-ci,

[1] Pour comprendre la nature de ce bruit, pensons un instant à une source *très* faible. Imaginons par exemple, une lumière cohérente de longueur d'onde de $\lambda = 0,63\ \mu$m (rouge) avec une puissance de $\sim 4 \times 10^{-23}$ watts. Cela équivaut à une émission de *quelques 10 photons par jour* (!) Mais c'est est une valeur *moyenne* statistique ; le nombre des photons réellement émis fluctuera en accord avec la distribution de Poisson. Si nous nous mettons à compter les photons dans des périodes de 24 heures, nous arriverons sans doute, après beaucoup de décomptes, à la valeur moyenne de 10 photons ; mais, individuellement, peut-être détecterons nous un jour 8 photons, et un autre jour il y en aura 13... et un autre jour, *aucun*. Si nous faisons abstraction des autres, à l'exception de ce dernier jour, nous dirons, de manière erronée, que la source est éteinte. Si par contre nous focalisons sur le jour ou il y avait 13 photons, nous conclurons que la source émet 30% plus de puissance qu'elle n'en émet réellement... Naturellement, nous pouvons toujours attendre un temps infini et mesurer la puissance correcte... Toujours ? Non ; C'est seulement si la puissance elle-même de la source *est constante*, qu'elle ne varie pas. Dans le cas du signal morse (point, trait) du navire norvégien, nous ne pouvons pas attendre de compter les photons pendant plus de temps que ce que dure l'émission du symbole le plus court (point), qui doit être de l'ordre de $\sim 1/5$ de seconde approximativement. (Si nous attendons plus de temps, nous mélangerons le point avec le point ou le trait suivant...) Par conséquent, si la puissance reçue est très faible, l'incertitude, le bruit, peut arriver à être énorme. Et cela vient de la nature elle-même du signal.

tandis que s'il est au moins un peu plus grand, il pourra "être détecté"[2].

Aussi, un récepteur est inévitablement influencé par le rayonnement non désiré provenant de l'" environnement". Je m'explique. Sauf dans le cas d'une température proche du zéro absolu, les charges électriques des atomes de tout objet se déplacent par agitation thermique. Les charges accélérées diffusent des ondes électromagnétiques. Par conséquent, pour tout "champ de vision" "il rentre" des ondes électromagnétiques parasites produites par le simple fait que l'environnement n'est pas à 0 K. La distribution spectrale de cette radiation est bien connue quand on peut idéaliser l'environnement comme un système en équilibre à une température unique : c'est la distribution du corps noir. L'énergie totale (intégrée sur toutes les fréquences) dépend, évidemment, de la température. Dans ce cas idéal du corps noir elle est proportionnelle à T^4 (loi de Stephan-Boltzman).

Naturellement, le cosmos n'est pas un corps noir parce qu'il n'est pas un système fermé en équilibre. Toutefois, curieusement, les formules du corps noir fonctionnent assez bien en ne changeant que la température selon le "morceau de ciel" qui est observé.

Quand les ummites ont visé avec leurs antennes notre système solaire, ils sont supposés avoir recueilli, outre la supposée émission morse, tout le "rayonnement de fond" de nature thermique (*background radiation* en anglais) provenant de la zone de notre système solaire qu'ils étaient supposés explorer de manière radioélectrique. On pourrait penser que cette radiation est d'une puissance constante —et il en est ainsi— et, que par conséquent, elle serait traduite dans le système récepteur par un simple "voltage" continu (dans nos antennes) qui ne devrait en rien affecter ni interférer avec le signal qu'on essaye de détecter. Le problème est que ce rayonnement de fond est, comme toute radiation, aussi de nature quantique, et que sa valeur "constante" est seulement une moyenne sur laquelle fluctue la puissance émise réelle (exactement ce qui se passe avec le signal à détecter). Ces fluctuations temporaires aléatoires peuvent se mélanger avec les variations temporaires du signal de la source que nous voulons déceler, en donnant lieu ainsi à une contribution additionnelle de bruit.

Une des stratégies pour diminuer l'effet du rayonnement de fond est "de rendre aveugle", dans la mesure du possible, l'antenne réceptrice (ou le photodétecteur, selon la technologie employée) à ce rayonnement parasite. Par exemple, si nous voulons recueillir le rayonnement d'une étoile éloignée dans l'infrarouge moyen, ce que nous faisons c'est "pointer" le détecteur précisément vers cette étoile, en le blindant avec un écran (sous forme d'une espèce

[2] Cette généralisation est simplifiée. Parfois, selon l'application, il est nécessaire d'avoir une puissance de signal assez supérieure à celle du bruit.

de cornet) qui empêche qu'arrive un rayonnement d'une autre direction. Cela réduit la vision du détecteur à un angle solide extrêmement petit dont la normale est l'axe qui unit le détecteur et l'étoile. Il nous parvient alors seulement la petite fraction du rayonnement de fond qui est sous-tendue par cet angle solide (qui devrait être aussi étroit que possible ; le minimum pour que passe la radiation de l'étoile). Naturellement, le blindage du détecteur (l'écran métallique opaque en forme de cornet) doit être refroidi à température cryogénique (si possible, à 0 K !), parce que si non, les parois chaudes elles-mêmes du blindage diffuseraient vers le détecteur et nous aurions précisément, le même problème que précédemment. De plus, les photodétecteurs eux mêmes sont généralement refroidis (pour ces niveaux de longueur d'onde).

Si on pense la situation idéale où le rayonnement de fond pourrait être totalement bloqué, le seul bruit serait alors le bruit photonique du signal lui-même que nous avons déjà commenté. Celui-là, en effet, sera toujours inamovible[3]. De toute manière, le bruit du rayonnement de fond *ne peut pas* être supprimé à 100%, comme nous allons immédiatement l'observer.

Un autre type de récepteur "parfait" qui nous permettrait d'avancer vers la limite photonique de sensibilité mentionnée, c'est le *récepteur cohérent idéal.* Dans ce récepteur le très faible signal reçu est mélangé avec une onde de grande amplitude et de même fréquence que le signal (on parle alors de récepteur homodyne) ou bien on mélange avec une onde de fréquence très proche (récepteur hétérodyne). Cette fréquence est produite dans le récepteur lui-même au moyen de ce qu'on appelle un "oscillateur local". Dans le cas d'une radiofréquence ce sera un oscillateur électronique, et dans le cas d'un récepteur pour un rayonnement optique ou infrarouge ce sera un laser. La condition *sine qua non* serait que cet oscillateur soit d'une grande puissance —idéalement infinie.

La puissance minimale décelable devient, alors[4],

$$P_m = h\nu \left(1 + \frac{2}{\exp\left(h\nu/k_B T\right) - 1}\right) \Delta f. \tag{1}$$

Dans (1) k_B c'est la constante de Boltzmann, h c'est la constante de

[3]à moins que le rayonnement ne provienne d'un type d'état quantique exotique qui est appelé "état comprimé". Le rayonnement de ce type a moins de bruit photonique que celui qu'imposerait la distribution de Poisson. De fait, il peut idéalement tendre vers zéro. (!) Par exemple, les interféromètres optiques qui ont été conçus pour la détection d'ondes gravitationnelles, doivent utiliser de la *lumière comprimée*, parce que la lumière cohérente d'un laser normal n'est pas suffisante pour la sensibilité requise.

En tout cas, et entre autres, il est évident que l'émission de HF émise depuis le navire norvégien était une onde très normale..., il est donc superflu de faire plus de considérations sur ce sujet.

[4]Dans l'Appendice est ébauche une partie de la déduction de (1).

Planck, ν est la fréquence du rayonnement, T est la température absolue de la "fraction de ciel" vers laquelle pointe l'antenne, et Δf est la largeur de bande de modulation. J'expliquerai ce dernier concept dans le paragraphe suivant.

Observez qu'apparaît la température du fond (*"background"*) dans (1). Cela ne peut se passer que s'il y a une contribution non nulle du bruit du rayonnement de fond. Bien que j'aie dit que celui-ci peut-être diminué en protégeant le détecteur (ou antenne), il est évident qu'il faut laisser au moins un "petit trou" pour que le signal qu'on veut détecter puisse être reçu. Par ce "petit trou" on reçoit inévitablement une contribution du rayonnement de fond. (Plus techniquement, nous dirions que le récepteur recueille "le *mode*" du rayonnement de fond qui coïncide avec celui du signal). Cette contribution minimale apparaît dans (1) et son ampleur dépendra de la température. Concrètement, si la fréquence du rayonnement est telle que $h\nu >> k_B T$, nous aurons

$$P_m \simeq h\nu\Delta f, \tag{2}$$

et dans ce cas l'effet du rayonnement de fond est négligeable ; P_m est la limite de sensibilité idéale correspondant au bruit photonique reçu du signal lui-même. Cette limite est typique du spectre visible et infrarouge proche. Mais si $h\nu << k_B T$,

$$P_m \simeq 2k_B T\Delta f, \tag{3}$$

et le résultat (3) reflète que la limite de sensibilité est imposée par le bruit photonique, non du signal, mais du rayonnement de fond qui rentre inévitablement dans le récepteur. Ceci arrive typiquement en RF, micro-ondes et infrarouge éloigné. Si aucun des deux cas extrêmes n'est rencontré, il faut utiliser (1), parce que les deux contributions peuvent avoir des ampleurs comparables.

Observez que dans le résultat (1)il n'y apparaît *aucune* caractéristique du récepteur ni de l'antenne. C'est un résultat universel, puisqu'il reflète simplement *le bruit du rayonnement lui-même*. Si le récepteur est *idéal*, —quelle que soit la technologie utilisée— il se limitera à reproduire le bruit du rayonnement tel qu'il est, sans l'augmenter. Cependant, il faut faire des nuances sur l'"le caractère idéal" de la réception. Je consacre à ceci le paragraphe suivant.

4 Considérations pratiques sur le récepteur

D'abord, je vais expliquer ce qu'est la *largeur de bande* Δf. Si ce que l'on veut recevoir est en dernier ressort par exemple, un canal (analogique) de télévision, cela occupe 5 MHz, donc on a besoin d'une largeur de bande dans le récepteur d'au moins 5 MHz. Elle peut être plus grande, mais c'est contre-productif parce que cela permettrait que se glisse davantage de puissance de bruit. Dans le cas du signal morse, la largeur de bande est extrêmement petite. La transmission des signes morse produits à la main (à raison... 3, 4 ?... par seconde, en moyenne ?) produit un signal électromagnétique dont l'enveloppe aura la forme d'un train d'impulsions, plus ou moins rectangulaires, de durées variables, mais pas plus courts que 0,2 ou 0,3 seconds... On peut estimer la largeur de bande significative d'un signal ayant cette typologie, *grosso modo*, à pas plus de 5–10 Hz. Alors, il faudra mettre, par exemple, $\Delta f = 10$ Hz dans (1), ce qui nous donne un chiffre *franchement petit.*

Or, un doute apparaît ici. Etant donné qu'on peut supposer que les ummites ne savaient pas *à priori* qu'ils allaient recevoir un "signal télégraphique à très basse vitesse", pourquoi allaient-ils être "en attente" en adaptant leur récepteur à une largeur de bande aussi ridicule, aussi *primitivement* basse... ? En réalité, ceci serait facile à résoudre. Ils peuvent avoir disposé d'une largeur de bande Δf énormément plus grande que le nécessaire (pour ce cas) pendant la prise de données, et avoir appliqué ensuite —mathématiquement parlant— divers types de filtres, avec différentes largeurs de bande, au signal enregistré. Autrement dit, la minimisation du bruit sur la base de mettre Δf très petit peut être faite *après* avoir mesuré, en étudiant et en traitant l'information stockée.

Toutefois, il y a d'autres paramètres qu'il faut inévitablement établir *avant* de mesurer. Par exemple, pour pouvoir arriver à la formule (1) il faut supposer que "la surface effective" de l'antenne est beaucoup plus grande que le carré de la longueur d'onde du rayonnement qu'on veut détecter[5].

Ceci impliquerait, dans les fréquences de HF, des secteurs efficaces de l'ordre de 1 Km carré. Maintenant (et naturellement), il est évident que je dérive nécessairement vers des technologies "terrestres". Si *j'espérais* recevoir un signal de HF très faible d'une certaine direction (que je connaîtrais

[5]La surface effective d'une antenne parabolique est approximativement égale à 50% de sa surface réelle d'ouverture. D'autres types d'antennes (par exemple, filiformes) n'ont pas une relation aussi évidente avec la notion de surface. Toutefois, le concept de secteur efficace est appliqué à toutes les antennes ; il convient d'écrire quelle surface du front d'onde, concernant la collecte d'énergie, est "interceptée" par l'antenne. C'est quelque chose de semblable au concept de *cross section* en Physique.

préalablement), je préparerais l'antenne ou le groupe d'antennes (*array*) de la façon qui me parîtrait la plus adaptée. Mais, si je ne sais rien à l'avance ? je ne peux évidement pas faire d'hypothèse sur les équipements que les ummites avaient pour recevoir des signaux EM, ni sur le type de signaux qu'ils étaient allés chercher... D'autre part, probablement que leurs systèmes d' "antennes" ont mis en oeuvre des concepts qui nous sont même inconnus. En tout cas, les antennes mises à part, (1) est la limite absolue de sensibilité dûe aux propriétés fondamentales du rayonnement, comme je l'ai déjà dit, donc je vais m'y tenir.

5 Transmission du signal

Passons maintenant à la transmission du signal de la Terre à Ummo (hum...) Par hypothèse, la fréquence employée a été 413 MHz. Appelons P la puissance émise (que nous ignorons). Les antennes de HF sont très peu directrices[6], et il faut supposer que celle-ci est assez ancienne pour n'avoir pas été nécessairement optimisée. Par simplicité, je prendrai, pour le moment, une antenne qui rayonne de manière isotrope dans tout l'hémisphère (2π stéradians). C'est-à-dire que la puissance rayonnée par unité d'angle solide dans toute direction est

$$P_\Omega = \frac{P}{2\pi} \qquad \text{(W/sr)}. \tag{4}$$

Ceci est une simplification plutôt grossière, mais cela n'a pas de sens de perdre du temps "à raffiner" cet aspect, vu la quantité d'approximations et suppositions additionnelles que nous devrons faire. Par exemple, suivant le format *de modulation* utilisé dans le transmetteur, la puissance émise réellement utile en ce qui concerne la détection n'est pas, en réalité, P, mais une fraction de cette dernière. Je *suppose* que le format employé aura été celui appelé "double bande latérale", auquel cas la fraction aura été 1/2 [ou, de manière équivalente, il faut mettre $2\Delta f$ au lieu de Δf dans (1)]. Mais, la réalité du cas est que nous ignorons ce détail ainsi que beaucoup d'autres. Autre exemple : toute la puissance diffusée s'est-elle échappée à travers l'ionosphère ? J'en doute ; l'ionosphère n'est pas un miroir parfait "binaire" il fonctionne ou il ne fonctionne pas ; sûrement qu'une fraction de la puissance aura été réfléchie.

Etant donnée l'incertitude que nous avons sur divers paramètres —en commençant évidemment par la propre valeur de P—, nous n'avons pas

[6] 413 MHz *n'est pas* de la HF. Il y a ici un problème sur lequel je reviendrai dans la suite.

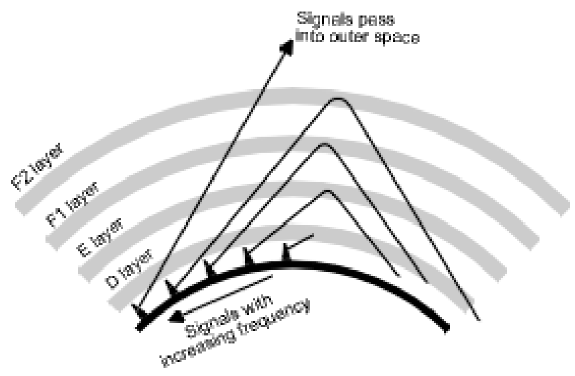


FIG. 1 – Réflexion dans les différentes couches de l'ionosphère.

d'autre recours que de les ignorer, en gardant simplement pour nous une valeur "représentative" de chacun.

Alors, une antenne “de surface effective” A placée sur UMMO sous-tend un angle solide, avec sommet sur Terre (voir figure 2),

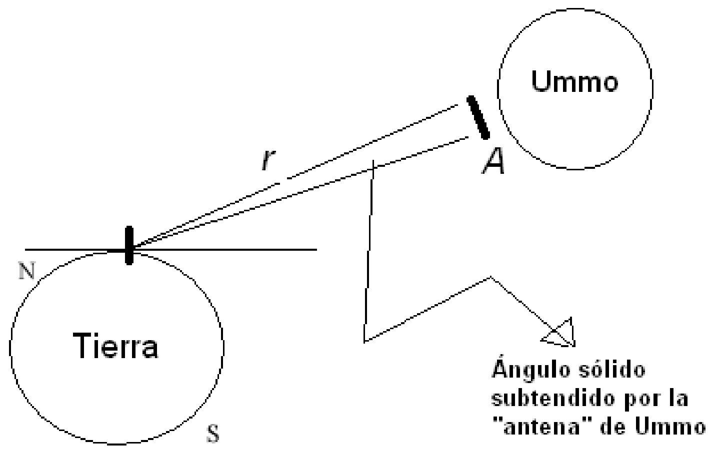


FIG. 2 – Seulement une fraction extrêmement petite de la puissance émise par le bateau a pu arriver à Oummo. L'onde électromagnétique à une telle distance aurait un front d'onde très approximativement plan.

$$\Omega_{\rm rec} = \frac{A}{r^2},$$

où r est la distance de la Terre à Ummo. Par conséquent, la puissance totale reçue serait

$$P_{\text{rec}} = P_\Omega \, \Omega_{\text{rec}} = \frac{AP}{2\pi r^2}, \tag{5}$$

et celle-ci doit être plus grande que (1) pour être "décelable". Ce qui veut dire que

$$P > \frac{2\pi r^2}{A} P_{\text{mín}}. \tag{6}$$

Faisons des estimations.

Pour commencer : quelle est la température T ? Plus : Est-ce qu'il y a *une* température T ? Sans doute, non. La température moyenne de l'Univers est de l'ordre de 3–4 K ; la température du Soleil est de 5770 K ; la température de la surface de la Terre est de quelques 300 K... Quelle est alors la température T exigée par la formule (1) ?

En réalité, la formule (1) est simple à ce point parce qu'elle assume que le récepteur est totalement "entouré" par un environnement à température uniforme T. Imaginons un four de cuisine, bien isolé de l'extérieur, qui est allumé depuis un bon moment et a atteint une température constante, homogène dans son réceptacle (il a atteint "l'équilibre thermique"). S'il en est ainsi, le four est un véritable "corps noir". Depuis toute position dans le four on verra toujours la même température, que ce soit à côté d'une des parois ou bien au milieu de la cavité... Le rayonnement thermique dans de telles conditions est totalement isotrope. La densité d'énergie thermique est pareille en tout point et les ondes électromagnétiques proviennent également de toutes les directions... Le bruit du rayonnement thermique est le même dans toutes les parties et dépend seulement de la température T, qui est un paramètre univoque... à l'intérieur du four. C'est seulement dans ces conditions que la formule (1) est valable —ainsi que toutes celles de l'Appendice.

Or, la situation décrite dans le paragraphe précédent n'est absolument pas comparable à celle du système Terre-Ummo. Il est évident que dans ce cas il n'y a pas d'isotropie, il n'y a pas d'équilibre thermique... ; on ne peut pas considérer Ummo comme "plongé" dans une cavité gigantesque en équilibre, dans laquelle la température vue est toujours $T = 300$ K (celle de la Terre). La Terre ne serait pas, pour Ummo, un "fond", un environnement thermique homogène. Au contraire, la Terre, à une distance aussi éloignée que 14 années lumière, est vue comme une source de radiation thermique *ponctuelle.* L'énergie moyenne rayonnée *et, surtout, ses fluctuations* (qui sont celles qui donnent naissance au bruit thermique) pourraient être calculées comme celles correspondant à un corps à température de $T = 300K$ (approximativement) et avec la surface rayonnante de la Terre. Mais l'intensité électromagnétique transmise (mesurée en watts par mètre carré) sera atténuée, évidemment, avec la distance —plus ou moins comme celle d'une onde sphérique—. Par conséquent, il arriverait à l'énergie du bruit thermique en provenance de la surface de la Terre qui parviendrait, hypothétiquement, à Ummo, exactement la même chose qu'au signal lui-même émis par le bateau de Terre Neuve : elle serait d'une valeur *extraordinairement petite*.

Il n'est pas, par conséquent, acceptable d'utiliser les formules archiconnues du bruit thermique du corps noir dans une situation qui est, de toute évidence, très différente de celle de la cavité en équilibre.

Pouvons-nous calculer, alors, la contribution authentique du bruit thermique de la Terre dans les circonstances décrites ? Je suppose que oui, mais j'ai un problème : je ne connais pas la formule et je ne suis pas parvenu à la trouver en quelque endroit. Je pense que, si j'y consacrais du temps, je pourrais la déduire moi-même. Mais je ne vais pas le faire parce que je n'ai pas beaucoup de temps libre au moment d'écrire ces lignes et parce que je crois que ce n'est pas nécessaire. J'utiliserai une simplification très radicale : j'ignorerai le bruit thermique produit par la Terre. Je *soupçonne* que son amplitude (dans le récepteur sur Ummo) serait sensiblement inférieure à la puissance reçue du signal morse. Je ne peux pas le vérifier sans faire les calculs, clairement, mais en réalité ça ne vas pas trop changer : comme nous le verrons tout de suite, la conclusion générale de cet article serait essentiellement la même[7].

Je considérerai que, en regardant en direction de la Terre, Ummo "voit" la *température moyenne de l'Univers*, qui est de l'ordre de $T = 3$ K. Ceci est le "mieux" que nous pouvons obtenir quant au bruit thermique... : nous ne pouvons pas ignorer ces 3 K, parce que $T \approx 3$ K est la température effective que toute antenne "verra" *toujours*, au minimum, quels que soient les points d'où elle est pointée et vers lequel elle pointe[8]. Puisque le modèle d'Univers comme "cavité" gigantesque en (quasi) équilibre thermique à $\sim$3 K est en effet assez raisonnable, la formule (1) est alors directement applicable en y mettant $T = 3$ K.

Je répète : je suis dans l'ignorance du bruit thermique additionnel produit par la Terre elle-même (et peut-être par le Soleil) ; mais cela ne va pas affecter les conclusions.

Cependant, avant de continuer, il y a un autre problème à prendre en compte : l'éventualité que UMMO, le Soleil et la Terre aient été *alignés* au moment de la transmission : le Soleil aurait occulté complètement la Terre et dans un tel cas la transmission aurait été impossible. Toutefois, selon Manuel

[7] Si le Soleil était aussi dans le champ de vision de l'antenne ummite, il faudrait ajouter sa contribution au bruit thermique. Pour le même motif que je signale dans le texte, j'ignore également cette possible source de bruit.

[8] Sauf, peut-être, vers les Nébuleuses Toroïdales...

R., à aucun moment n'a pu se produire un alignement de ces trois corps. Vu depuis UMMO, la Terre décrit une ellipse autour du Soleil dont le demi-axe mineur est environ 20% de la taille du demi-axe majeur. D'autre part, le jour de l'émission, la Terre était à une distance apparente du Soleil, vu depuis UMMO, de 70% du demi-axe majeur ; voir la figure 3.

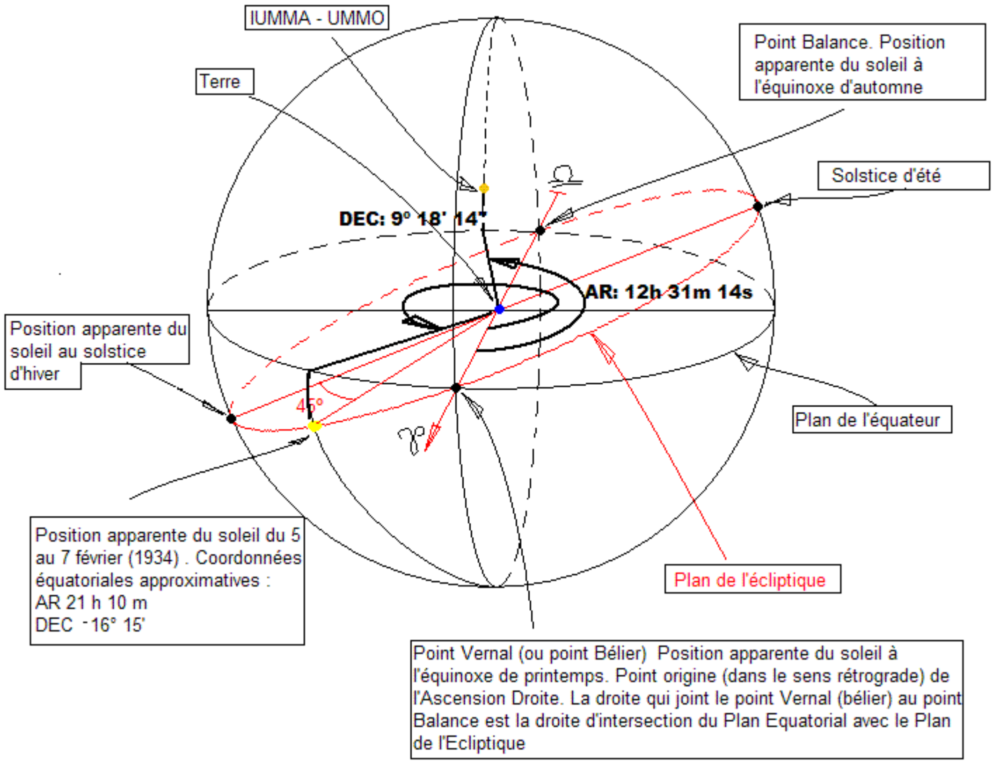


FIG. 3 – Positions d'UMMO, Terre et Soleil le 3–5 février 1934. (Manuel R.)

Après ce préambule, nous pouvons déjà faire usage de l'expression (1). Pour[9] $\nu \simeq 40$ MHz, et en prenant $\Delta f = 5$ Hz,

[9]Il y a un problème avec la fréquence de l'émission. Dans la lettre ummite qui raconte ces faits, une fréquence de quelques 413,44 MHz est mentionnée ; mais la réflexion ionosphérique n'est pas possible à des fréquences aussi hautes. En outre, il est indiqué que les *scientifiques ummites* ont écarté que le rayonnement reçu proviendrait "du bruit du rayonnement de fond de la galaxie, sur la longueur d'onde de 21 cm, de l'hydrogène". Mais la longueur d'onde correspondant à 413,44 MHz est $\lambda = c/\nu = 3 \times 10^8/(413,44 \times 10^6) =$ 72 cm, assez éloigné de 21 cm. Comment pourrait avoir eu lieu une quelconque confusion avec l'émission de l'hydrogène à 21 cm ?

D'un autre côté, peut-être qu'à ce stade initial de la recherche, dans laquelle on ne

$$\frac{h\nu}{k_B T} = \frac{(6,6 \times 10^{-34}) \times (40 \times 10^6)}{(1,38 \times 10^{-23}) \times 3} = 6,38 \times 10^{-4}.$$

Par conséquent, nous nous trouvons dans la situation où le bruit de fond domine clairement, et nous pouvons utiliser l'expression (3). Y compris même si nous augmentions de deux ordres de grandeur la fréquence ν (voir Note 9), l'approximation serait encore valable. Et plus encore si ν était plus petit.

$$P_{\text{mín}} = k_B T \Delta f = (1,38 \times 10^{-23}) \times 3 \times 5 = 2 \times 10^{-22} \text{ watts.} \tag{7}$$

Par conséquent, (7) c'est la puissance minimale que les ummites "pourraient" détecter... De (6), et en tenant compte du fait que

$$r = 14 \text{ années lumière } = (14 \times 365 \times 24 \times 3600) \times 300000 = 1,32 \times 10^{14} \text{ Km},$$

on obtient (nous prenons $A = 1$ Km^2)

$$\begin{aligned} P > \frac{2\pi r^2}{A} P_{\text{mín}} &= \frac{2 \times \pi \times (1,32 \times 10^{14})^2}{1} \times 2 \times 10^{-22} \text{ watts} \\ &\simeq 22 \text{ mégawatts (!!!)} \end{aligned} \tag{8}$$

6 Discussion

Le résultat (8) est un non sens. Le bateau norvégien ne peut pas avoir émis des *mégawatts* en 1934... La puissance d'une station émettrice en HF d'un bateau arrive, de nos jours, à $\sim$1 KW au plus.

Peut on modifier le résultat (8) ? Oui, jusqu'à un certain point.

Si nous mettons $\Delta f = 1$ Hz au lieu de 5, nous augmentons P_m par un facteur de 5... Ce qui n'est pas grand chose non plus.

Et si nous assignons une certaine directivité à l'antenne ? Nous pourrions conjecturer (en étant optimistes !) que l'antenne en question avait une directivité de $\sim$ 5 dB, au plus, ce qui suppose un accroissement de $\sim$ 3 fois pour la puissance reçue.

---

connaissait pas beaucoup d'aspects de la transmission ionosphérique, les norvégiens ont utilisé des gammes de hautes fréquences sans connaissance précise des résultats pouvant être attendus.

Je vais prendre $\nu = 40$ MHz ($\lambda = 7,2$ m), qui est au moins plus près des fréquences utiles maximales pour la réflexion ionosphérique —qui ne sont pas supérieures à $\sim$ 10 MHz.

Procédons de la manière suivante : Calculons la surface effective A que doit avoir l'antenne idéale ummite pour détecter l'émission dans les conditions suivantes : $P = 1$ KW; gain directeur : 3 (5 dB) —ce qui équivaut à remplacer $P \to 3P$ dans la formule (8)—, $\Delta f = 5$ Hz, et $T = 3$ K. En dégageant A de (8), nous obtenons

$$A > \frac{2\pi r^2}{3P} P_{\text{mín}} = \frac{2 \times \pi \times (1,32 \times 10^{14})^2}{3 \times 10^3} 2 \times 10^{-22} \simeq 7300 \text{ Km}^2. \qquad (9)$$

Le résultat (9) vient nous dire que les ummites devraient avoir disposé d'une surface d'antenne collectrice d'énergie équivalente à un carré de quelque 85 Km de côté (!) pour détecter le signal émis depuis Terre Neuve. Cela en supposant, en outre, des caractéristiques *parfaites* dans la conception de cette dernière et de tout le reste du système récepteur...

Toute variation dans la valeur des paramètres employés dans le calcul affecterait le résultat (9) d'une manière très simple : si, par exemple, la puissance diffusée avait été de 500 W au lieu de 1 KW, il faudrait multiplier la surface A par 2... Si l'effet du rayonnement thermique de la Terre et/ou du Soleil n'est pas négligeable, de sorte que "il équivaille", par exemple, à introduire une température de bruit (fictive) de 30 K dans la formule (7), au lieu des 3 K du fond cosmique[10], il faudrait multiplier l'aire A par 10 ; etcetera.

Le système de réception cohérente décrit n'exige pas la réfrigération de la surface détectrice. La directivité du système cohérent est imposée par le processus de mélange lui-même avec l'oscillateur local —au contraire des systèmes à "réception directe", qui atteignent pratiquement la même limite (3) sans oscillateur local, mais au prix de strictes conditions de blindage directeur[11]—. Comme il est mentionné dans l'Appendice, la directivité du système cohérent est réduite plus ou moins à un cône d'angle solide de l'ordre de λ^2/A.

[10] Pour des raisons physiques évidentes, jamais la température de bruit T effective ne pourrait atteindre, dans le pire des cas, ~ 300 K (ou ~ 5000 K si le Soleil se trouvait dans le champ de vision). Intuitivement, en outre, j'estime que la répercussion de la Terre et/ou du Soleil sur le bruit thermique doit être *très inférieure* à de telles limites.

[11] Sur "notre planète", actuellement, il n'est pas viable de réaliser des récepteurs *quasi idéaux* à des fréquences HF qui utilisent des antennes - par des techniques de détection directe. On recourt universellement aux récepteurs cohérents. A des fréquences beaucoup plus élevées (autour de l'infrarouge lointain), il est en effet possible d'employer une détection directe et de s'approcher de la sensibilité limite en protégeant les détecteurs de manière directionnelle.

La détection directe exige aussi une *absence totale de bruit électronique* pour arriver à la limite idéale, tandis que la détection cohérente non, donc, avec $P_L \to \infty$, l'effet du bruit électronique disparaît [voir (13)].

Dans notre cas, $\lambda \approx 10$ mètres et, avec la surface effective gigantesque (9), $\lambda^2/A \approx 1,37 \times 10^{-8}$ sr. Réellement directeur ! !

Est-il possible de trouver une certaine “amélioration” à la situation dans laquelle nous laisse ce résultat redoutable ? Le comportement de l'ionosphère et de ses diverses couches est assez complexe. La possibilité existe qu'une heureuse combinaison des réflexions et des réfractions dans cette dernière ait contribué à focaliser l'énergie diffusée par l'antenne du bateau dans la direction d'Ummo. De cette manière, une grande partie de la puissance P (au lieu de $P_\Omega \, \Omega_{\text{rec}} = (P/2\pi)\Omega_{\text{rec}}$) pourrait avoir été recueillie... Mais ceci est de la spéculation pure, et très risquée.

Il faut supposer, d'autre part, que le système récepteur ne sera pas composé d'*une* antenne, mais réellement d'un énorme groupe d'antennes (*array*) ou éléments capteurs qui atteignent, conjointement, une surface effective énorme. Et ce système devrait probablement se trouver en orbite, *en flottant* hors de la planète... Le défi technique que constitue la conception et construction d'un tel système donne le vertige... J'ignore si, au moyen de techniques semblables à celles du radar d'ouverture synthétique —qui impliquerait l'utilisation des multiples capteurs se déplaçant rapidement—, il serait possible de produire plus facilement des surfaces effectives d'antenne de ces tailles extraordinaires...

Et si l'antenne émettrice utilisée par le bateau norvégien avait été une *antenne UHF*, et que l'émission avait été effectuée *réellement* à la fréquence 413,44 MHz ? Au contraire des antennes HF, une antenne UHF de type Yagi-Uda a un gain important[12] très haut jusqu'à un ordre de ~ 30 dB. La largeur du lobe d'émission peut être estimée par la formule approximative

$$g \approx \frac{4\pi}{\Delta\theta\Delta\varphi},$$

où g est le gain dans des unités naturelles (pour 30 dB[13], $g = 1000$), $\Delta\theta$ est la

[12] Le *“gain”* de l'antenne dans une certaine direction est défini comme le quotient entre la puissance diffusée dans cette direction, et celle qui diffuserait —avec la même alimentation– s'il émettait de manière isotrope dans toutes les directions de l'espace.

[13] Je prendrai cette valeur pour effectuer l'estimation numérique, bien que 30 dB soit un

largeur en élévation et $\Delta\varphi$ est la largeur en azimut (toutes les deux mesurées en radians). En supposant $\Delta\theta \approx \Delta\varphi$, nous obtenons

$$\Delta\theta \approx \Delta\varphi \approx 0,112 \text{ rad} \simeq 6,5^0.$$

Ceci équivaut à un angle solide

$$\Omega \approx 2\pi(1 - \cos 0,112) \simeq 0,04 \text{ sr}.$$

En supposant que toute la puissance émise soit distribuée "de manière homogène" sur Ω, il faut remplacer (4) par

$$P_\Omega \approx \frac{P}{0,04} \qquad (\text{W/sr}). \tag{10}$$

Par conséquent, nous avons maintenant

$$P_{\text{rec}} = P_\Omega \, \Omega_{\text{rec}} = \frac{AP}{0,04 \times r^2},$$

au lieu de (5). Par conséquent, au lieu de (6) nous obtenons

$$P > \frac{0,04 \times r^2}{A} P_{\text{mín}},$$

d'où

$$A > \frac{0,04 \times r^2}{P} P_{\text{mín}},$$

[au lieu de(9)].

Si, comme l'indique Norman Molhant dans *www.ummo-sciences.org*, nous supposons une puissance assortie du transmetteur à l'antenne, $P \approx 100$ W, le secteur effectif nécessaire dans l'antenne réceptrice devient :

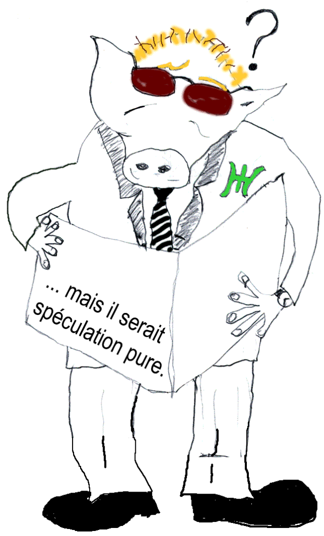
$$A > \frac{0,04 \times (1,32 \times 10^{14})^2}{100} 2 \times 10^{-22} \simeq 1400 \text{ Km}^2, \tag{11}$$

valeur légèrement plus petite que celle de (9), mais qui ne réduit certainement pas significativement les difficultés techniques (équivaut à un carré de ~ 37 Km de côté).

En considérant ce qui précède, je résume ainsi ma conclusion personnelle :

gain réellement important pour ce type d'antennes, y compris de nos jours.

Du point de vue du paradigme de notre Physique, et dans l'état de notre Technologie, il semble *très peu probable* (PAS totalement impossible) que les ummites aient pu recueillir à proximité d'une planète située à plus de 14 années lumière, un signal comme celui qu'a probablement émis le supposé bateau norvégien entre le 5 et le 7 février 1934. Il n'est néanmoins pas interdit d'essayer d'imaginer de futures avancées technologiques qui permettraient une telle prouesse...



Remerciements.- *L'auteur remercie J. L. Rodríguez pour sa consultation sur divers aspects de la technologie antennes, ainsi que Manuel R. et V. Solé pour la révision de ce manuscrit et les discussions fructueuses qui s'en sont suivies.*

7 Appendice

L'expression (1) est obtenue à partir des calculs très génériques qui peuvent être trouvés, par exemple, dans la référence suivante : T.P. MacLean and E.H. Putley : *"The performance of ideal receivers of optical, infra-red and radio-frequency radiation"*. Royal Radar Establishment Journal, 52-5.1965. (UK). Je vais résumer la partie finale de ces derniers afin de clarifier (j'espère) la signification et le cadre d'application de (1) ; les formules "trop simples" sont utilisées habituellement avec tant d'enthousiasme qu'elles sont fréquemment mal utilisées en oubliant leurs limitations et leur cadre strict d'application.

La relation signal-bruit à la sortie du récepteur cohérent est :

$$\frac{S}{N} = \frac{\overbrace{P_s P_L}^{\substack{\text{Puissance du signal amplifiée} \\ \text{par l'oscillateur local}}}}{\underbrace{h\nu(P_L+P_s)\Delta f}_{\substack{\text{Bruit quantique} \\ \text{du signal et de} \\ \text{l'oscillateur local}}} \underbrace{+\nu^2 \frac{4(k_B T)^3}{c^2 h}\eta\Delta f \int_{\text{hem}} A f(\theta,\phi) d\Omega \int_{x_1}^{x_2} \frac{e^x x^2}{(e^x-1)^2} dx + \cdots}_{\substack{\text{Bruit quantique du rayonnement} \\ \text{de fond dans tout le domaine spectral} \\ [\nu_1,\nu_2] \text{ auquel l'antenne est sensible} \\ \text{(non amplifié par l'oscillateur local)}}} + \underbrace{P_L P_{B,\text{amp}}\Delta f}_{\substack{\text{Bruit quantique du} \\ \text{rayonnement de fond} \\ \text{amplifié par} \\ \text{l'oscillateur local}}} + \underbrace{N_{\text{el}}}_{\substack{\text{Bruit de la} \\ \text{circuiterie} \\ \text{électronique}}}}, \qquad (12)$$

où P est la puissance du signal reçue (très faible), P_L est la puissance de l'oscillateur local, A est la surface efficace de l'antenne, $f(\theta,\phi)$ est sa caractéristique de directivité angulaire (on suppose qu'elle est maximale "visée", $f(\theta=0,\phi=0)=1$), $P_{B,\text{amp}}$ est la partie de puissance (moyenne)) du rayonnement de fond *qui se mélange avec l'oscillateur local et est amplifiée,* et $x = h\nu/k_B T$. L'intégrale $\int_{\text{hem}} A f(\theta,\phi) d\Omega$ est étendue à tout l'hémisphère (angle solide 2π).

Si la puissance P_L de l'oscillateur local est réellement grande, l'expression précédente est simplifiée en (en divisant par $P_L \to \infty$)

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{h\nu\Delta f + P_{B,\text{amp}}\Delta f}. \qquad (13)$$

En égalant la relation (S/N) à 1, on obtient la puissance minimale décelable $P_s = P_m$:

$$P_m = h\nu\Delta f + P_{B,\mathrm{amp}}\Delta f. \tag{14}$$

Pour calculer $P_{B,\mathrm{amp}}$ il nous faut connaître les caractéristiques directrices de l'antenne employée. Concrètement, la puissance apportée à l'antenne par un cône différentiel d'angle solide $d\Omega$ orienté dans la direction θ, ϕ, et dans une petite[14] largeur de bande Δf autour de ν, est :

$$dP_B = \frac{4\nu^2}{c^2} A f(\theta,\phi) d\Omega \frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1}\Delta f. \tag{15}$$

Or, seul le rayonnement provenant d'un angle solide $\Omega_R \simeq \lambda^2/A$ autour de l'axe $(\theta = 0, \phi = 0)$ se mélange adéquatement avec l'oscillateur local et est amplifié par ce dernier. Par exemple, pour $\nu \approx 40$ MHz, $\lambda = c/\nu \approx 10$ mètres, et avec une surface A de 1 Km^2, on a $\Omega_R \approx 0,1$ sr. Par simplicité, on prend habituellement

$$f(\theta,\phi) \simeq \begin{cases} 1 & \text{pour } \Omega \text{ dans } \Omega_R \\ 0 & \text{pour } \Omega \text{ hors de } \Omega_R, \end{cases} \tag{16}$$

de sorte que

$$\begin{aligned} P_{B,\mathrm{amp}} &\simeq \left(\frac{2\nu^2}{c^2}\frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1}\Delta f\right)\int_{\Omega<\Omega_R} A d\Omega = \left(\frac{2\nu^2}{c^2}\frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1}\Delta f\right)\underbrace{A\Omega_R}_{\lambda^2} \\ &= \frac{2\nu^2}{c^2}\beta\frac{h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1}\Delta f, \end{aligned}$$

où on a aussi divisé (15) par 2 parce que seulement la moitié de la puissance du rayonnement de fond est réellement détectée (statistiquement, l'autre moitié aura une polarisation de champ électrique perpendiculaire à celle de l'oscillateur local et sera rejetée).

Ainsi, finalement, on obtient :

$$P_m = h\nu\Delta f + \frac{2h\nu}{e^{h\nu/k_B T} - 1}\Delta f,$$

qui est la formule (1).

[14] "Petit" veut dire que $\int_\nu^{\nu+\Delta f} F(\nu)d\nu \simeq F(\nu)\Delta f$.