

Observation de satellites et de météoroïdes

Partie 4 – les satellites, analyse des données, suite et fin

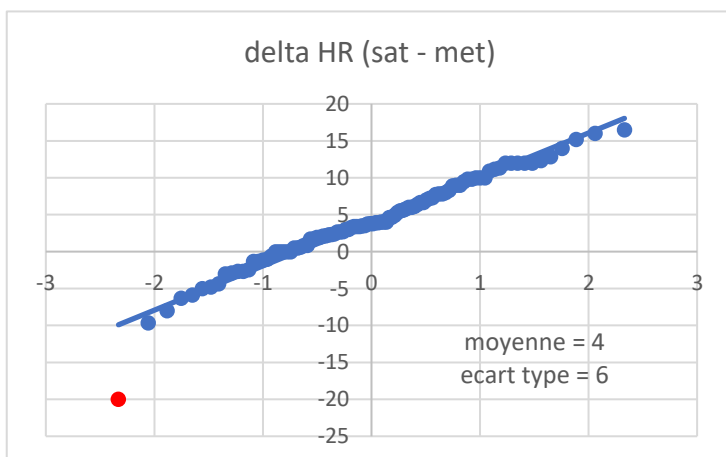
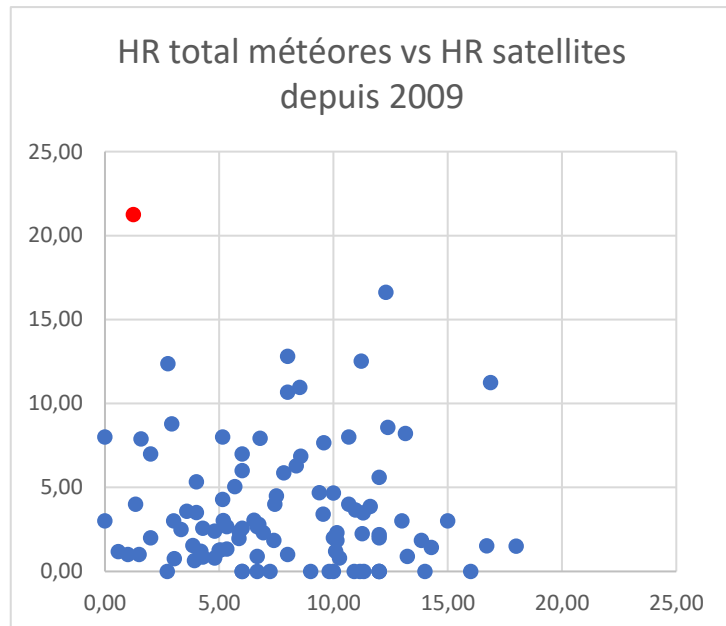
Combien de satellites peut-on voir dans le ciel ? :

Dans le précédent article, nous en étions restés à des constatations « qualitatives » : on voit souvent plusieurs satellites ensemble dans le ciel, quand ce n'est pas un « train » Starlink sur son orbite de transfert.

A l'oculaire, les objets du ciel profond sont fréquemment zébrés par le passage d'un point brillant plus ou moins vélocité ; on en voit presque autant que les avions et leurs feux de position et, si vous essayez de capter une Perséïde, vous avez beaucoup plus de chances d'enregistrer une traînée de satellite sur vos images de « timelapse ».

On peut voir cet effet sur le premier graphe « HR total météores vs HR satellites depuis 2009 » (rappel : HR = taux horaire). En effet, la droite d'égalité ($y = x$) qui passe par (0;0) et (25;25) montre que la majorité des points se situe sous elle : les HR satellites l'emportent haut la main. Je vous montre aussi la répartition de la différence (graphe delta HR (sat-met), ci-contre). C'est presque parfaitement « gaussien » (ou normal, si vous préférez), à part le point rouge, que j'ai aussi repéré sur le premier graphe. Au passage, cela permet

de dire que les apparitions de satellites et de météores sont distribuées selon un parfait hasard pour les observations, que ce soit lors d'une « averse » (Perséïdes) ou en temps normal. Le HR satellite est en moyenne supérieur de 4 au HR météoroïdes, avec un écart type (une dispersion) important (de 6 en fait). Dans 80% des cas le HR satellites sera supérieur au HR météoroïdes. Pour l'anecdote, le point rouge correspond à la date de 13 août 2021 et, en revoyant les notes de cette nuit-là, je me suis rendu compte que j'avais surtout vu des Perséïdes (17 en 48 minutes) qui avaient été belles et nombreuses, et avoir sans doute inconsciemment négligé les satellites ! D'ailleurs, le lendemain, en 1h15mn, j'ai noté 15 satellites et seulement 7 météoroïdes. Intuitivement, il doit y avoir un phénomène de

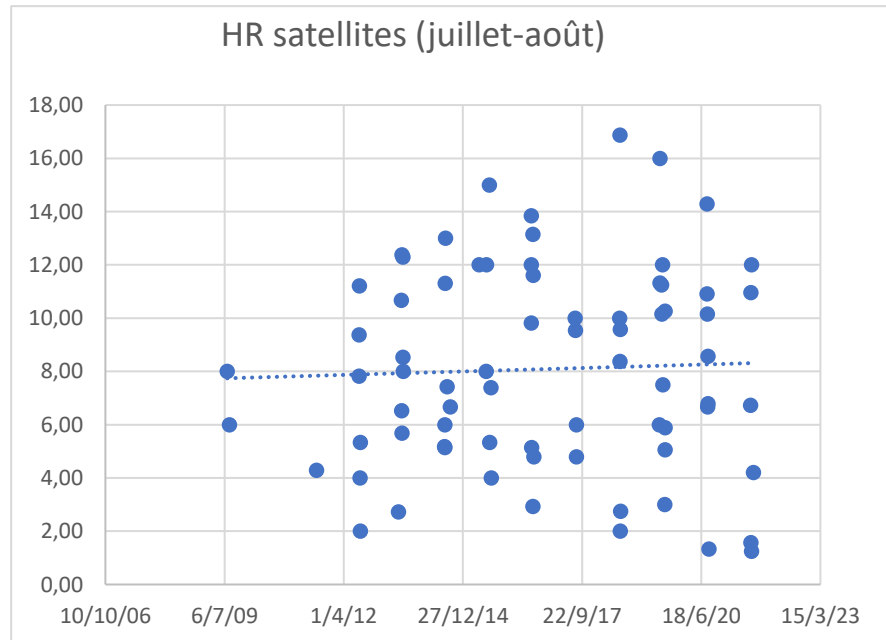
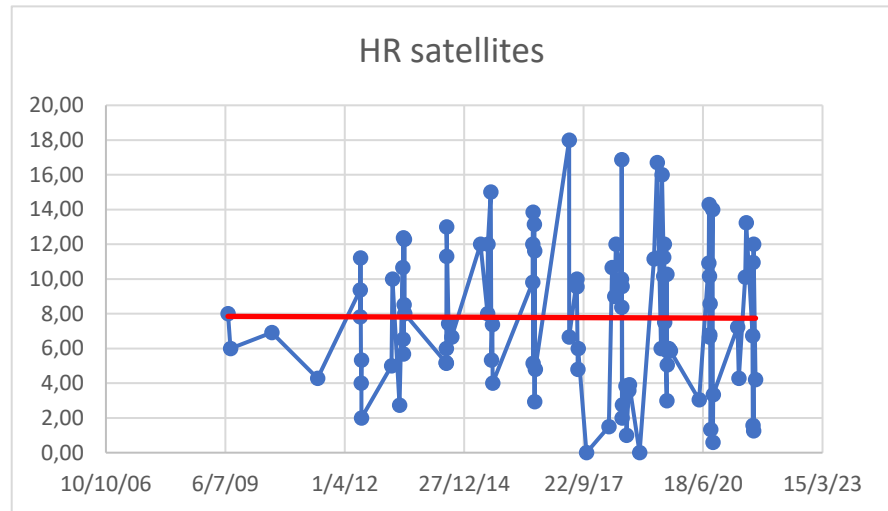


« coupure de vigilance » au-delà d'une certaine fréquence de météoroïdes, qui empêcherait de voir les passages de satellites, mais je n'ai pas assez de cas pour mettre à l'épreuve cette hypothèse... Encore une faiblesse de l'attention, ou du témoignage humain (à rapprocher de « l'expérience du gorille », si vous connaissez) !

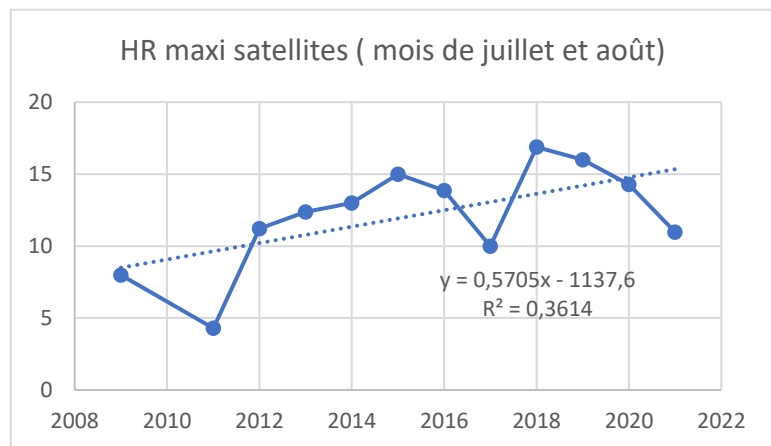
Pour ce qui est du nombre de satellites visibles, le graphe « HR satellites » depuis 2009 vous en illustre en même temps la très grande variabilité dans l'année et le nombre moyen. La ligne rouge, presque horizontale, est la droite de régression « moindres carrés » : elle passe par la moyenne du nuage de points (le centre de gravité du nuage, c'est une propriété de la droite des moindres carrés), soit un HR de 8. Il ne veut pas dire grand-chose, car en été c'est bien plus : voir les maxis entre 14 et 18 pour le HR. Bien entendu, s'il y a la pleine lune, ou beaucoup de météoroïdes (voir remarque précédente), on en verra moins ! La droite rouge semble indiquer que je n'ai pas observé d'augmentation du HR satellites sur 12 ans, ce qui m'a d'abord étonné. Mais, en y réfléchissant, vu l'énorme variabilité et la non reproductibilité des observations (jour de l'année, heure, lune, transparence et j'en passe)

d'une année sur l'autre, l'effet doit être masqué. En termes de signal, il y a beaucoup trop de « bruit » !

Je me suis alors concentré sur les observations de juillet et août (graphe ci-contre, « HR satellites (juillet-août) », sur la même période de 12 ans. La variabilité demeure très importante, mais la droite de régression (en pointillés) amorce un très léger et encourageant (si l'on veut !) « frémissement » vers la montée. Mais ce n'est guère probant...



Comment réduire cette fâcheuse variabilité sans compromettre la représentativité des mesures ? J'ai opté pour la recherche des HR maxi, année par année, en ne retenant qu'un seul point par an, le maximum. Il vient alors le graphe « HR maxi satellites », qui montre sans contestation possible une augmentation du HR, certes assez faible (de 0.6 environ par an), mais avec une variabilité beaucoup plus réduite. En moyenne, le HR est passé de 9 environ à plus de 15 en 12 ans, soit un peu plus que 4% par an (eh oui, tout augmente vite avec un taux de 4.3% constant par an, sur 12 ans faites le calcul ! Au temps pour ceux qui comparent encore les prix en Francs et en Euros...).

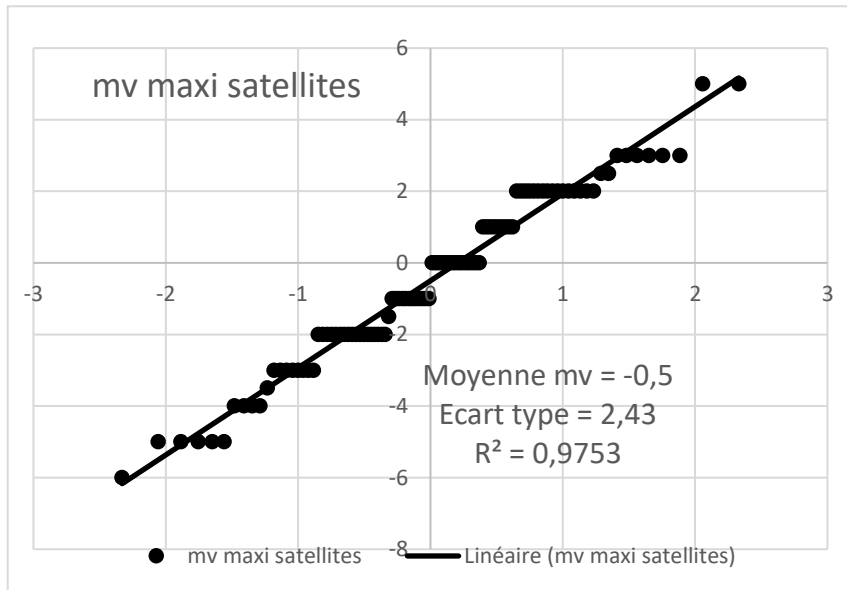


Bien sûr, ce n'est pas « flambant » comme démonstration, et nul doute que le nombre est bien plus élevé avec les près de 2000 Starlink sur orbite, mais attention, un satellite sera d'autant plus perceptible pour un observateur que sa magnitude sera élevée et son mouvement rapide. Les deux sont d'ailleurs liés : plus l'orbite est haute, plus le mouvement sera lent, et plus l'éclat sera faible (pour un « réflecteur » donné). Si l'on prend une orbite circulaire, avec un peu de souvenirs de physique élémentaire, on y arrive facilement : la vitesse (constante sur une orbite circulaire) est en inverse racine carrée de la distance au centre de masse. Allez, je vous donne les bases d'un petit calcul éclairant, qui vous amusera si vous ne détestez pas les maths :

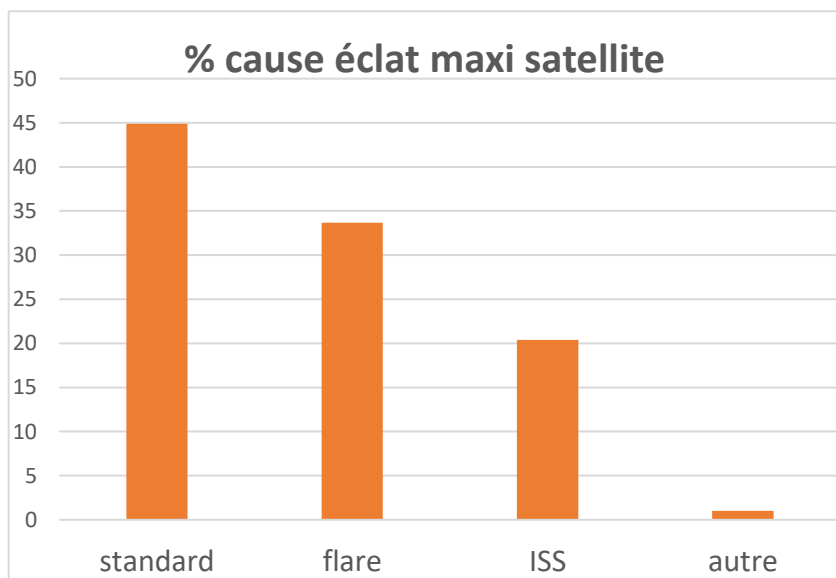
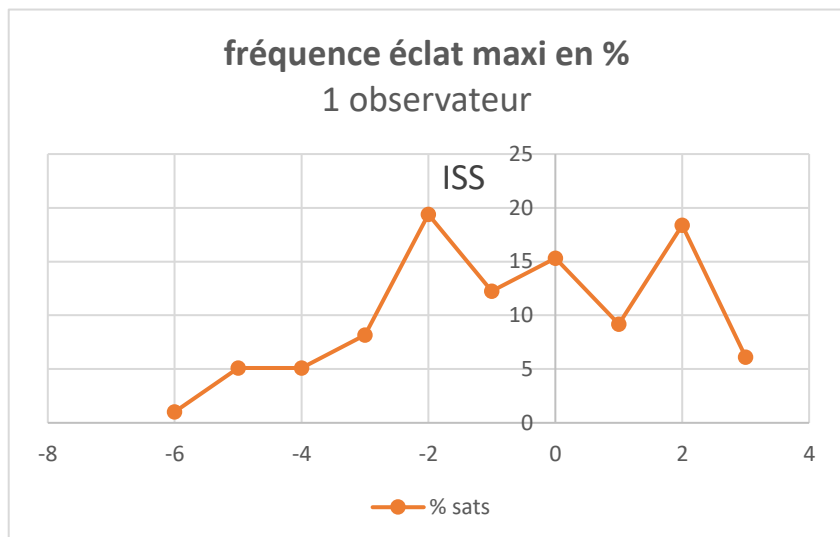
- Force « centrifuge » : $F_c = mv^2/(R+h)$, où R = rayon terrestre, h = altitude, m = masse satellite
- Force « centripète » : $F_r = KmM/(R+h)^2$ (Newton), où M = masse Terre, et K = constante de gravitation (si vous faites du comparatif, vous n'aurez pas besoin de M et K)
- Posez F_c (force d'éloignement) = F_r (force de rapprochement)
- Ne vous prenez pas pour Newton 😊 (on appelle plutôt ça un « calcul idiot »)

Avec ça, en se rappelant que si $h = 36000$ km, on a $P_{géo}$ (temps de rotation autour de la Terre) = 24h (c'est bien connu, à 36000 km, il y a les géostationnaires), et que $R = 6385$ km, vous pouvez avoir le P_{sat} de votre satellite fonction de son altitude, par mise en proportion des 2 P. D'où la vitesse apparente si vous l'observez passer au « zénith de chez nous » (vitesse max en degrés/s) Et l'éclat ? Eh bien, pour un réflecteur constant, sans tenir compte de l'atténuation de l'atmosphère (dans le vide, la lumière se répartit sur une sphère ou une portion de sphère...), il diminue comme le carré de la distance, soit en $1/(R+h)^2$

Voilà, voilà. Je vous laisse le soin de vous amuser un peu. Mais... Comme vous avez déjà vu des satellites, vous allez sûrement me dire que leur éclat peut beaucoup varier. Et vous aurez raison ! Le graphe ci-contre (mv maxi satellite) donne la répartition « normale » de la magnitude maxi observée des satellites pour chacune de mes observations. Elle se répartit bien « au hasard », mais on voit que la magnitude moyenne du maximum observé est quand même supérieure à 0 (-0.5 exactement), avec une grande dispersion. Par ailleurs, ne voir que des satellites de magnitude maxi 5, c'est rare (environ 1% de chance. Normal, à l'œil nu...). Toutefois, un examen détaillé de la fréquence de cet éclat maximum permet de distinguer un « pic » à l'éclat aux environs de mv = -2. De manière évidente, il est relié... aux passages de l'ISS, bien sûr ! (Voir le graphe « fréquence éclat maxi en % » ci-contre).



Une autre manière de procéder est de partir de la cause de l'éclat maxi (que j'ai noté dans les observations) et d'en faire une répartition par % (c'est le graphe % cause éclat maxi satellite ci-contre). « Standard » veut dire qu'il n'y a rien d'exceptionnel, c'est l'éclat maxi du plus brillant satellite observé, hors ISS, flare ou « autre ». C'est la première cause : passage d'un satellite de grosses dimensions et assez bas sur son orbite. La 2ième



occurrence concerne les « flare » : le satellite brille un court instant d'un éclat exceptionnel, qui est lié à l'orientation favorable (pour l'observateur) d'une grande surface, renvoyant l'éclat du soleil (il s'agit souvent d'un panneau solaire). C'est une cause fréquente : plus de 1/3 des cas ! La 3^{ème} cause est bien sûr le passage de l'ISS, toujours remarquable (elle est à 330/420 km, et a une surface très importante, vu qu'elle mesure 108mx74m). Enfin, il reste une petite case pour les quelques cas supérieurs à $m_v = -4$ (plus brillant que Vénus), qui sont des flares exceptionnels, ou, au moins pour un cas, une rentrée de débris probable.

En résumé, et à l'œil nu :

- On voit beaucoup de satellites passer dans le ciel nocturne, surtout en été, où ils sont plus longtemps visibles, car l'ombre de la terre est basse dans le ciel.
- Il y en a nettement plus que des « étoiles filantes » (il n'y a que les Perséides au maxi de leur fréquence, vers les 11 ou 12 août, qui les surpassent) ; en été, on en voit presque autant que des passages d'avions
- Il n'est plus exceptionnel d'en voir plusieurs en même temps, jusqu'à des dizaines dans le cas d'un « train » Starlink encore sur son orbite de transfert
- On constate une augmentation de la fréquence de passage des satellites : leur HR, ou taux horaire, augmente nettement si on compare les maxis obtenus pour chaque année pendant les mois de juillet et août.
- Leur éclat peut être très élevé en magnitude : l'ISS peut atteindre la magnitude -3 ou un peu plus. On la reconnaît facilement à son éclat élevé et à sa vitesse de passage (consulter les sites de prévisions)
- Il n'est pas rare d'assister à de vrais « flashes », parfois nettement plus brillants que Vénus (les fameux « flares », liés au renvoi de l'éclat du soleil par une grande surface, comme les panneaux solaires par exemple)

Il y a encore bien des exploitations possibles des observations faites à l'œil nu, ou avec un appareil photo. Les phénomènes comme la trace d'un météoroïde, ou le passage d'un (ou plusieurs) satellites sont faciles : il suffit d'observer une heure, vers minuit (heure locale), en juillet ou en août. Le passage de l'ISS, en particulier, qui reste visible même avec la Pleine Lune, est toujours beau et assez émouvant (en gros, elle met 5 à 6 minutes pour traverser tout le ciel, si toute la trajectoire est visible).

Par contre, phénomènes avec une magnitude supérieure à -4 (Vénus) sont rares, et demandent de la patience. Ce sera le plus souvent un flare exceptionnel pour un satellite, et plus exceptionnel encore un bolide (météoroïde très brillant) ou une rentrée de débris.

Le réseau national « FRIPON » (voir sur le Net, acronyme de Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network), mis en place depuis début 2014, exploite un réseau de caméras automatiques pour déterminer la trajectoire d'un bolide, et lancer une éventuelle recherche de débris ou de météorite. Le programme comprend aussi une partie ouverte aux observateurs, qui s'appelle « Vigie-ciel », et auquel vous pouvez vous associer (vigie-ciel.org). Des infos en continu sont disponibles sur le site. Il propose aussi un formulaire en ligne pour signaler votre observation.

Alors bon ciel à tous, même à l'œil nu !

AMS