



Réf. : IGOSAT-XX-X-XXX-XXXXX
 Edition : 1 Date : XX-XX-XX
 Révision : 0 Date :



Ionospheric and
 gamma-ray
 Observations
 Satellite

VISIBILITÉ DU SATELLITE PAR LES STATIONS-SOL ET DONNÉES DE TÉLÉMÉTRIE

Résumé

	Date	Signature
Préparé par : Léa SAFFAR et Axel VARENNE	23/04/14	
Approuvé par :		
Pour application :		



HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Ed.	Rev.	Date	Modifications	Visa
1	0	xx/xx/xxxx	Création du document	

Diffusion

Liste de diffusion	Restreint	Non restreint
Equipe IGOSAT		Non restreint
Enseignants physique expérimentale		Non restreint



TABLE DES MATIERES

I – Visibilité, position du satellite au cours du temps

1) Visibilité, invisibilité d'une zone (page 4)

2) Résultats obtenus (page 5)

II – Données de télémétrie, mémoire du satellite

1) Principe de l'étude de la mémoire du satellite au cours du temps (page 10)

2) Résultats obtenus (page 11)

3) Conséquences, adaptation de la mémoire (page 16)



I – Visibilité, position du satellite au cours du temps

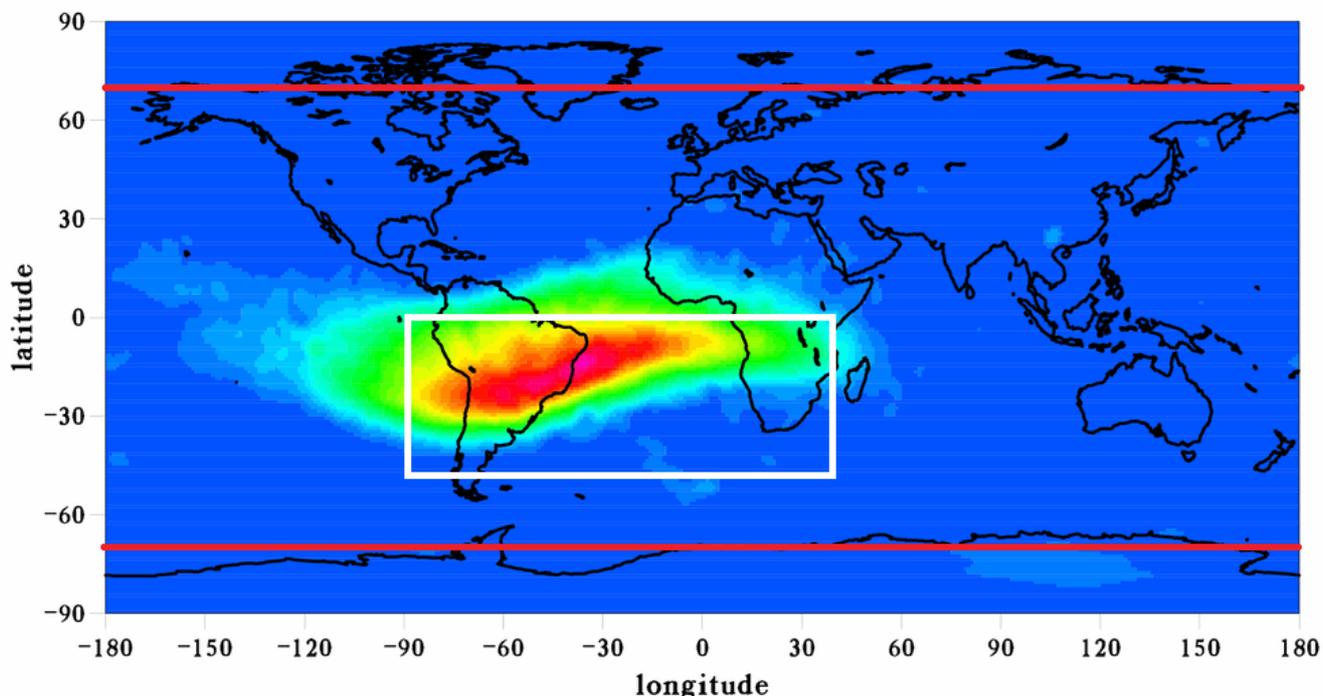
Objectif : Le but de cette étude est d'étudier la visibilité ou la non-visibilité du satellite par rapport aux stations-sol ainsi que d'étudier son passage au dessus des endroits qui nous intéressent pour les mesures, c'est à dire le pôle Sud, le pôle Nord et l'Anomalie de l'Atlantique Sud. Ces données seront nécessaires pour étudier le temps d'enregistrement et d'émission de données.

1) Visibilité, invisibilité d'une zone

Dans un premier temps nous avons étudié la visibilité du satellite par une station sol afin d'étudier le temps de communication entre la station sol et le satellite. Nous avons fait une première étude en prenant en compte uniquement Paris, puis nous avons fait la même étude avec Hanoï en plus. Cette étude nous a mené à nous pencher sur la durée de non-invisibilité du satellite par une station sol. Le satellite ne peut être en visibilité qu'au dessus d'une élévation minimum, c'est-à-dire l'angle minimal au dessus de l'horizon de la station-sol pour être visible.

Nous verrons que certaine données varient très peu selon une ou deux stations sol.

Enfin, on étudie la durée de passage du satellite au dessus d'une des zones où il doit prendre des mesures. Pour être considéré au dessus des pôles dans cette simulation, le satellite doit être à une latitude supérieure ou inférieure à 70 degrés pour les pôles Nord et Sud respectivement. De plus, l'anomalie de l'Atlantique Sud est considérée comme un rectangle délimité par des longitudes de -90 et 40 degrés, et des latitudes de 0 et -50 degrés. Le rectangle blanc, sur l'image ci-dessous, représente la taille de l'anomalie que nous avons pris en compte pour faire nos mesures, les traits rouges correspondent aux latitudes aux delà desquelles le satellite est considéré aux pôles.



2) Résultats obtenus

Tous les graphes de cette partie ont été tracés sur une durée de 3 jours par souci de lisibilité. Les valeurs numériques fournies sont issues d'une étude effectuée sur 10 jours.

Il est important de garder en mémoire que nous avons fait plusieurs simulations. Paris comme unique station sol, puis avec deux stations à Paris et Hanoï. De plus l'élévation minimale joue un rôle important dans cette simulation : c'est l'angle par rapport à l'horizon pour lequel le satellite est en visibilité de la station-sol. Nous allons considérer deux cas : une élévation minimale nulle, et une élévation minimale de 10 degrés.

a) Visibilité pour une élévation nulle

Voici un tableau comparatif des temps de visibilité et de non-visibilité selon le nombre de stations-sol.



	Visibilité totale	Non-visibilité totale	Non-visibilité la plus longue
Paris	11h 4min 45s	9 jours 12h 55min 50s	9h 53min 41s
Paris + Hanoï	18h 29min 20s	9 jours 5h 30min 40s	4h 47min 21s

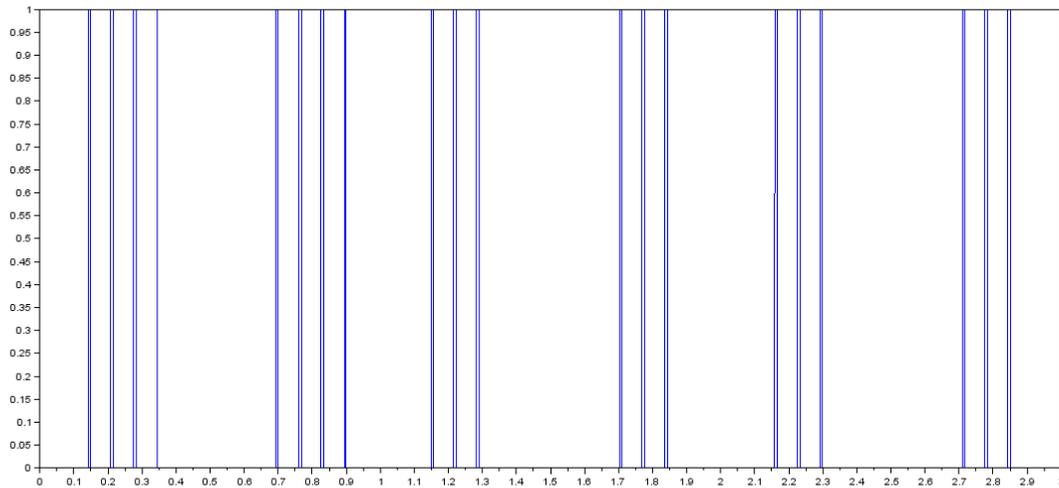
De plus on a les durées moyennes de visibilité et de non-visibilité, ainsi que le nombre total de visibilité.

	Visibilité moyenne	Non-visibilité moyenne	Pourcentage de temps passé en visibilité	Nombre de visibilité
Paris	10min 4s	3h 25min 1s	4,61%	66
Paris + Hanoï	10min 11s	2h 19min 20s	7,70%	109

Le graphique suivant donne une idée de la fréquence à laquelle le satellite est en visibilité de la station-sol. Lorsque la courbe atteint le maximum, c'est que le satellite est en visibilité, lorsqu'elle atteint zéro, c'est que le satellite n'est plus en visibilité. On remarque que le satellite passe peu au dessus de la station sol, à un rythme de 3 à 4 orbites de suite toutes les 7 heures à peu près.

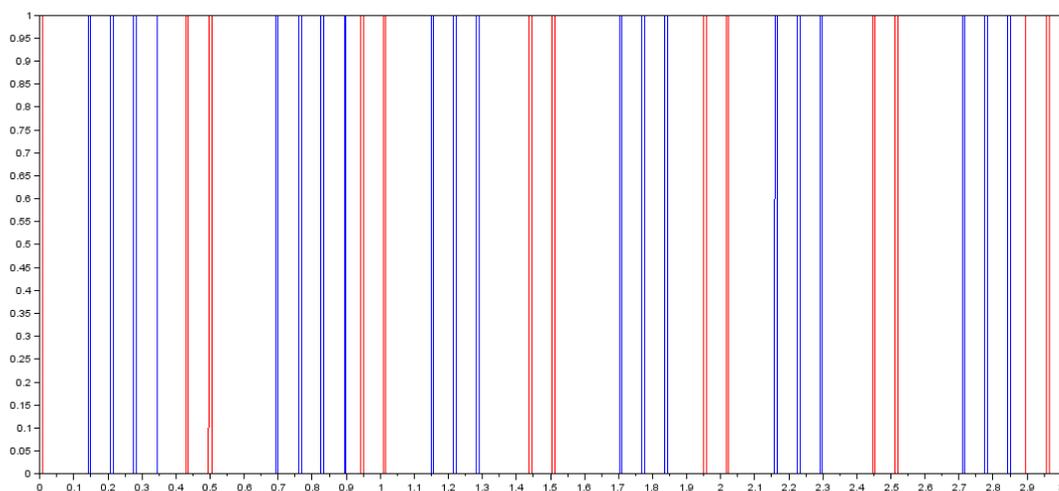


Durée de visibilité avec la station Paris sur 3 jours



De même, voici un graphe similaire dans le cas où il y a deux stations-sol : une à Paris et une à Hanoï.

Durée de visibilité avec les stations sol Paris et Hanoï sur 3 jours



On constate que, bien que le satellite passe plus de fois au dessus de Paris et de Hanoï que seulement de Paris, le temps total de visibilité n'est pas doublé comme on pourrait le croire. Ceci est dû à la position géographique des deux villes. En effet, comme à chaque orbite, le satellite passe au dessus des deux pôles, il passera plus souvent au dessus de Paris qui se trouve bien plus proche d'un pôle que Hanoï.

b) Visibilité pour une élévation de 10 degrés



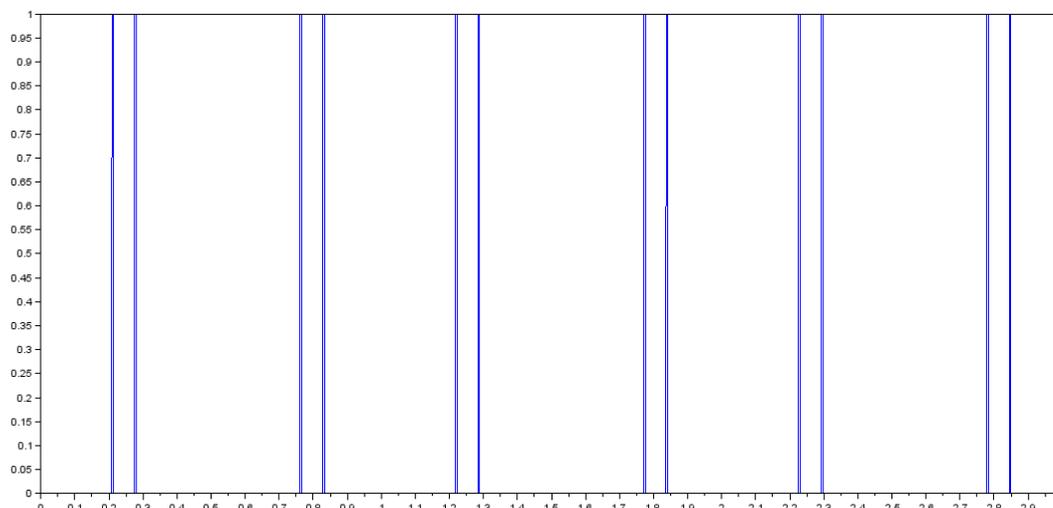
Lorsqu'on augmente l'élévation de 0 degrés à 10 degrés, les résultats précédents changent significativement, comme on peut le voir sur le graphique suivant, le satellite passe moins souvent au dessus de Paris que sans élévation. Ce paramètre change beaucoup les données que nous avons lorsqu'il n'y avait aucune élévation, car la zone de visibilité se rétrécit. Toutes les fois où le satellite passé juste au bord de la zone de visibilité, ne sont à présent plus comptées.

Le fait que le satellite passe juste au dessus de l'horizon ne suffit plus à dire qu'il est en visibilité d'une station sol, il faut maintenant qu'il soit à 10 degrés au dessus de l'horizon pour être considéré comme étant visible.

	Visibilité totale	Non-visibilité totale	Non-visibilité la plus longue	Pourcentage de temps passé en visibilité	Nombre de visibilité
Paris	4h 48min	9 jours 19h 24 min	11h 32min	2,00%	42
Paris + Hanoï	8h 7min 48s	9 jours 15h 51min 50s	6h 26min 30s	3,39%	72

Ceci est le graphique de visibilité du satellite par la station de Paris avec la nouvelle élévation minimale.

Durée de visibilité avec Paris sur 3 jours



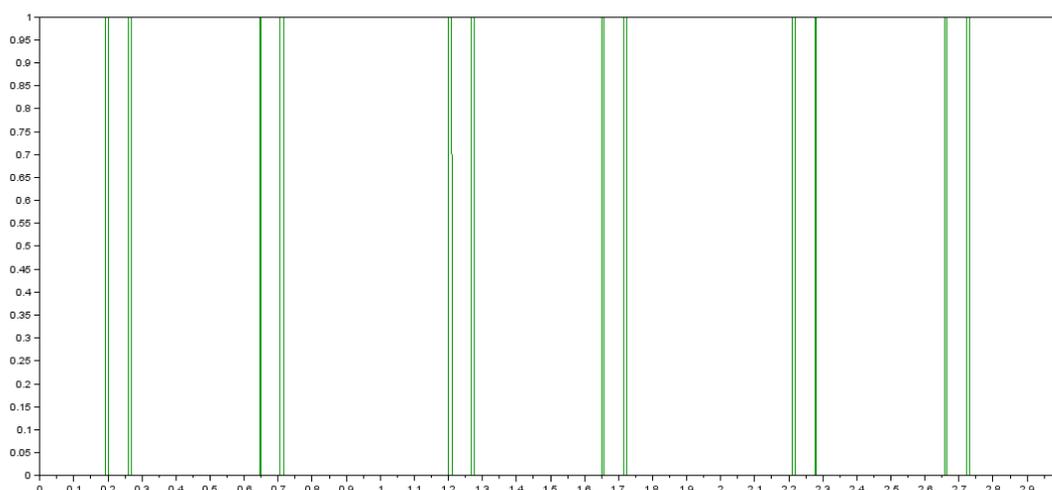


c) Visibilité des zones d'enregistrement

Les mêmes études de visibilité sont effectuées pour les zones qui présentent un intérêt pour la mission : les pôles et l'anomalie de l'Atlantique Sud.

Nous avons constaté que le satellite passe 2 jours 9h 52min 40s soit 24 % du temps au dessus d'une zone qui nous intéresse, c'est à dire, le pôle Nord, le pôle Sud ou l'anomalie de l'Atlantique Sud. Cette donnée est très importante car c'est à ce moment là que le satellite doit enregistrer les données.

De plus, le satellite passe environs 4 fois/jours au dessus de l'Anomalie Atlantique Sud, comme on peut le voir sur le graphique suivant qui est sur 3 jours.



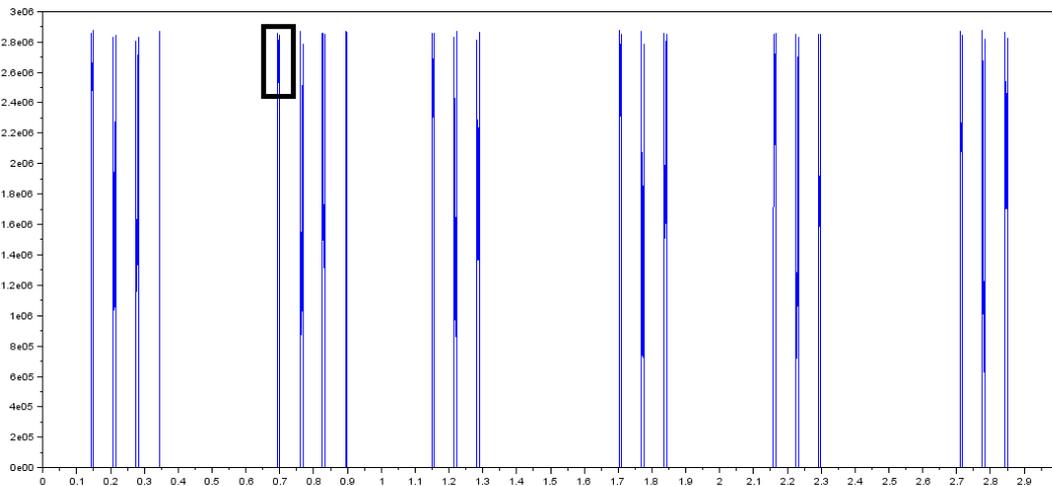
3) Distance entre le satellite et les stations-sol

Nous nous sommes penchés sur la distance moyenne séparant le satellite de la station sol. Cette distance est de 2010,1 km entre Paris et le satellite et de 1969,6 km entre Hanoï et le satellite.

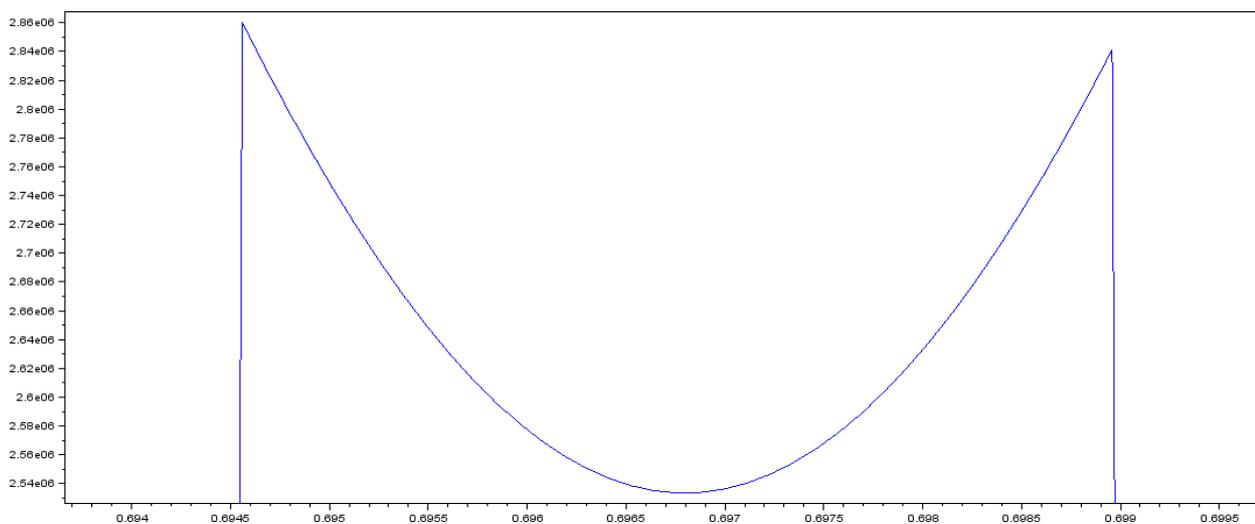
Sur le graphique suivant est représentée la distance du satellite par rapport à Paris. Ces mesures sont faites sur une période de 3 jours. Lorsque la courbe est à 0, cela signifie que le satellite n'est plus en visibilité de la station sol.



Lorsque le satellite est en visibilité, la courbe a l'aspect d'une parabole. En effet, plus le satellite entre dans la zone de visibilité, plus il s'approche de Paris, jusqu'à se trouver à une distance minimale, puis il s'éloigne et donc la distance entre Paris et le satellite augmente jusqu'à ce que ce dernier sorte de la zone.



La figure suivante correspond à la portion de courbe encadrée en noir sur le graphique précédent afin de montrer l'allure de parabole de la courbe de la distance.



Ces données changent dès que l'élévation est modifiée. Le graphique a été fait avec une élévation nulle.



II – Données de télémétrie, mémoire du satellite

Objectif : Le but de cette étude est d'obtenir une simulation relativement précise du remplissage de la mémoire au cours de la mission, plus précisément de la quantité de données créée par le satellite lorsque ses senseurs sont en activité, et la quantité de données que le satellite fait parvenir aux stations-sol lorsqu'il est en visibilité de ces dernières.

Les résultats obtenus seront comparés à ceux des études effectuées précédemment, et on en déduira les mesures à prendre en cas de mémoire insuffisante, ou encore les usages possibles de la mémoire inutilisée si ce cas vient à se présenter.

1) Principe de l'étude de la mémoire du satellite au cours du temps

On veut donc obtenir un suivi en temps réel du stockage de données dans la mémoire du satellite afin de pouvoir dimensionner celle-ci. Il est à noter que contrairement au cas de l'ensoleillement et de l'apport en énergie du satellite, l'acquisition et l'envoi de données ne dépendent pas de la position de l'orbite : la rotation de la Terre fait que le satellite balaye toute la surface à intervalles réguliers, n'omettant ainsi aucune zone d'enregistrement ni aucune station-sol. Ainsi les paramètres orbitaux tels que l'ascension droite du nœud ascendant n'ont aucune incidence sur ce travail, et seuls le demi-grand axe et l'inclinaison de l'orbite sont à prendre en compte. Dans cette simulation le demi-grand axe était de 600 km et l'inclinaison de 97 degrés.

Afin de savoir quand des données sont créées et quand elles sont envoyées au sol, on se sert des travaux effectués précédemment sur la visibilité du satellite. On considère que les données ne sont transférées de la mémoire à la station-sol que lorsque le satellite est situé au dessus d'une certaine surface délimitée par la portée des senseurs de la station. De même, les données en mémoire ne sont créées que lorsque le satellite est au dessus des zones qui présentent un intérêt pour l'étude, c'est-à-dire les pôles et l'anomalie de l'Atlantique Sud ; ces zones sont donc considérées comme des stations-sol, à la différence près que la mémoire du satellite s'y remplit au lieu de s'y vider.

Pour rappel, le satellite effectue des enregistrements aux pôles à des latitudes supérieures ou inférieures à 70 degrés et -70 degrés respectivement, et l'anomalie de l'Atlantique Sud est assimilée à un rectangle.



Enfin pour pouvoir émettre vers les stations-sol, le satellite doit être au dessus d'une élévation minimum, c'est-à-dire l'angle minimal pour lequel le satellite n'est pas masqué par le relief aux alentours de la station-sol. Pour cette simulation l'élévation minimale a été fixée d'abord à zéro, ce qui veut dire que le satellite émet vers la station dès qu'il se trouve au dessus de l'horizon, puis elle a été portée à 10 degrés afin d'étudier l'influence de ce paramètres sur la télémétrie.

A l'aide de ces données, il devient possible de déterminer à un instant donné si le satellite est en train de créer des données parce qu'il se trouve au dessus d'un pôle ou de l'anomalie, ou s'il est en train d'émettre ses données en mémoire vers la station-sol. En relevant ces informations à intervalles de temps réguliers, on peut avoir une idée de la quantité de données se trouvant en mémoire du satellite au cours du temps, voire même un suivi quasi en temps réel si on prend un pas de mesure assez réduit.

2) État de la mémoire en fonction du temps

a) Paramètres dont dépend la simulation

- Différents débits de données

Tout d'abord il est important de préciser que la simulation n'a pas été effectuée avec des débits d'information fixés. Plusieurs débits de sortie ont été envisagés : 1200 bits par seconde, 4800 bits/s ou encore 9600 bits/s. La simulation est censée montrer comment se comporte la mémoire du satellite pour ces différents débits de sortie : toutes les données enregistrées sont-elles envoyées vers les stations-sol lors du passage du satellite au dessus de celles-ci, et si non quelle est la quantité de données qui reste en mémoire après chaque passage ? Selon les résultats obtenus pour ces différents débits il sera établi lesquels sont utilisables afin d'envoyer toutes les données aux stations-sol, quelle capacité de mémoire est nécessaire pour pouvoir stocker toutes ces données, et si une compression des données est nécessaire pour faire partir toutes les informations.

De plus, le satellite fonctionne avec un débit de création de données particulier : 650 bits/s. Les données créées par le satellite sont les données GPS reçues, ainsi que les données recueillies par le scintillateur. Celui-ci fonctionne en mode histogramme : il enregistre 5 spectres différents en même temps, à un rythme d'un spectre par minute. Ceci, avec 30% de marge, donne un débit de création de données d'environ 650 bits/s. Ces données sont issues de la première étude consacrée à la télémétrie avec laquelle notre étude sera comparée.



- Passages au dessus des zones d'enregistrement et des stations-sol

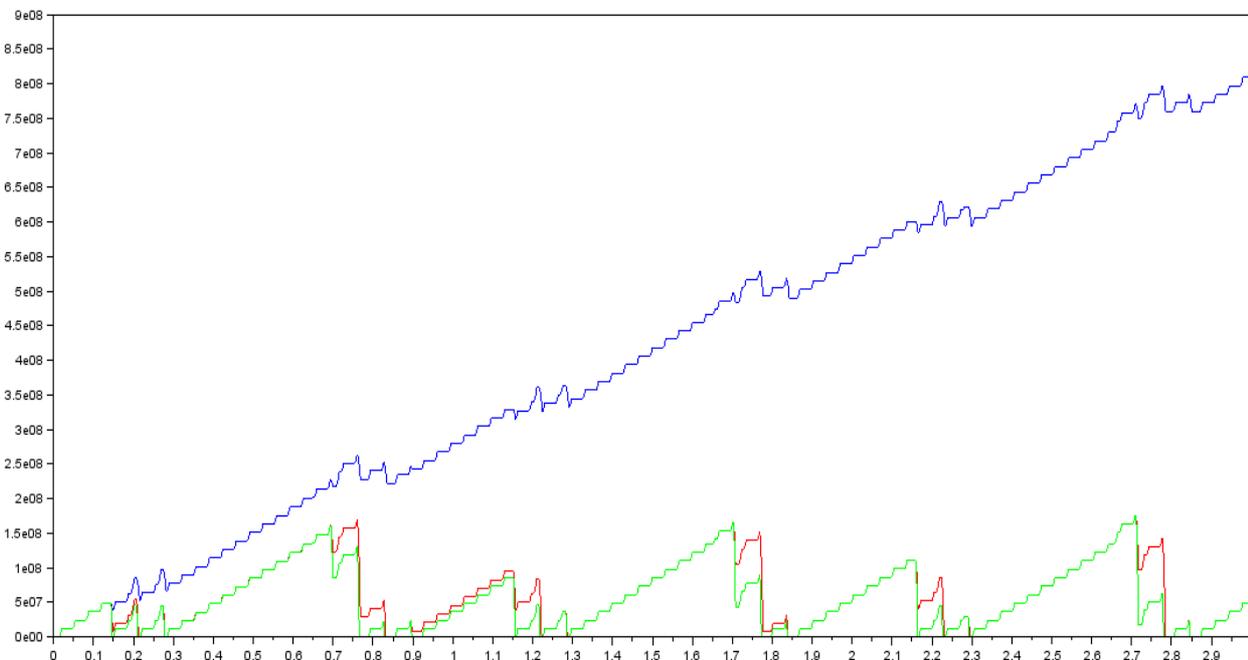
On remarque que le débit de création de données est inférieur à tous les débits de sortie envisagés, cependant le satellite passe par les pôles, zones où il crée des données, lors de chaque orbite, alors qu'il peut se passer plusieurs orbites sans contact avec une station-sol. De plus les contacts avec les stations-sol peuvent être très courts, et la zone d'enregistrement de l'anomalie de l'Atlantique Sud est très grande, ce qui fait que le satellite passe plus de temps à ajouter des données en mémoire qu'à en envoyer. C'est pour cette raison qu'il est nécessaire d'étudier différents débits de sortie pour déterminer lesquels seront utilisables sans accumuler les données dans la mémoire.

Enfin, la simulation prend en compte deux cas distincts en ce qui concerne les stations-sol : le cas où il n'y a que la station de Paris pour suivre la mission, et les cas où une autre station-sol se trouverait à Hanoï. Il est nécessaire de séparer ces deux scénarios car la présence d'une station-sol à Hanoï n'est pas encore assurée. L'avantage d'une deuxième station serait évidemment de pouvoir envoyer des données au sol plus souvent qu'avec une seule, réduisant les risques d'accumulation de données dans la mémoire lors de longues périodes sans visibilité, et réduisant ainsi la capacité de mémoire interne nécessaire.

b) Résultats obtenus

Dans les deux cas, le suivi de la quantité de données enregistrées ou envoyées à chaque instant permet d'obtenir un graphe de la quantité de données en mémoire au cours du temps pour les différents débits de sortie.

Cas n°1 : Une station-sol à Paris (courbe sur 3 jours)



Courbe bleue : débit de sortie de 1200 bits/s.

Courbe rouge : débit de sortie de 4800 bits/s.

Courbe verte : débit de sortie de 9600 bits/s.

On peut voir que la quantité de données en mémoire augmente à intervalles réguliers lors des passages du satellite au dessus des pôles, avec une augmentation encore plus importante lors des passages au dessus de l'anomalie de l'Atlantique Sud. Les sections descendantes de la courbe correspondent aux passages du satellite au dessus de Paris.

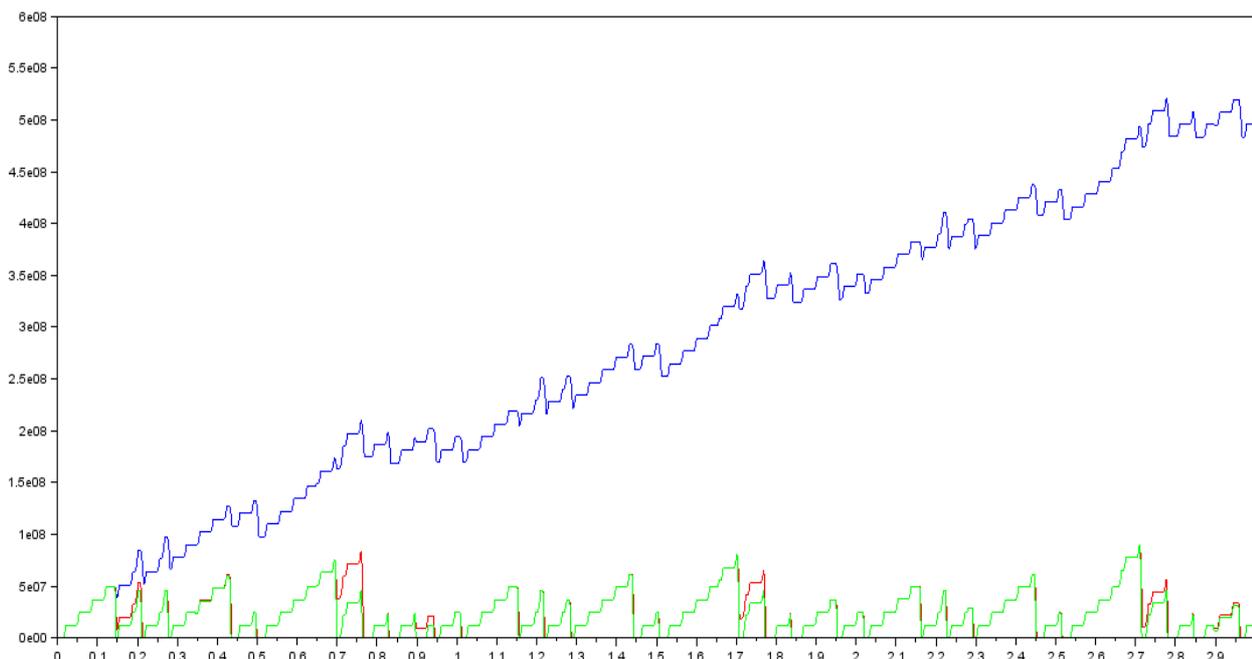
Pour un débit de sortie de 1200 bits/s, le satellite n'a pas le temps d'envoyer toutes les données emmagasinées lors de ses passages au dessus de Paris : la quantité de données en mémoire augmente constamment et la mémoire s'en trouve saturée.

Pour un débit de sortie de 4800 bits/s cependant toutes les données qui se trouvent en mémoire peuvent être envoyées à la station-sol, et la mémoire n'est pas saturée.

Pour un débit de sortie de 9600 bits/s le résultat est évidemment le même, à la différence près que la mémoire se vide parfois totalement lors de certains passages où ce n'est pas le cas à 4800 bits/s.



Cas n°2 : Deux stations-sol, Paris et Hanoï (courbe sur 3 jours)



Courbe bleue : débit de sortie de 1200 bits/s.

Courbe rouge : débit de sortie de 4800 bits/s.

Courbe verte : débit de sortie de 9600 bits/s.

On observe sur ce graphique que grâce à la présence d'une deuxième station-sol à Hanoï, les portions descendantes des courbes, qui correspondent aux moments où le satellite émet en direction du sol, sont plus nombreuses. Cependant les résultats sont similaires que pour une seule station-sol située à Paris.

En effet pour 1200 bits/s en sortie, on observe le même phénomène de saturation de la mémoire : le débit de 1200 bits/s ne permet d'envoyer toutes les données enregistrées pendant les passages au dessus des stations-sol.

Pour 4800 et 9600 bits/s, la mémoire se vide régulièrement : ces deux débits sont donc utilisables pour pouvoir envoyer toutes les données accumulées.

Il est à préciser que bien que les graphes précédents n'aient été faits que sur 3 jours de mission par souci de lisibilité, les résultats ne changent pas sur des durées plus importantes : la mémoire est rapidement saturée pour un débit de sortie de 1200 bits/s, et la quantité de données en mémoire ne diverge pas pour 4800 et 9600 bits/s.

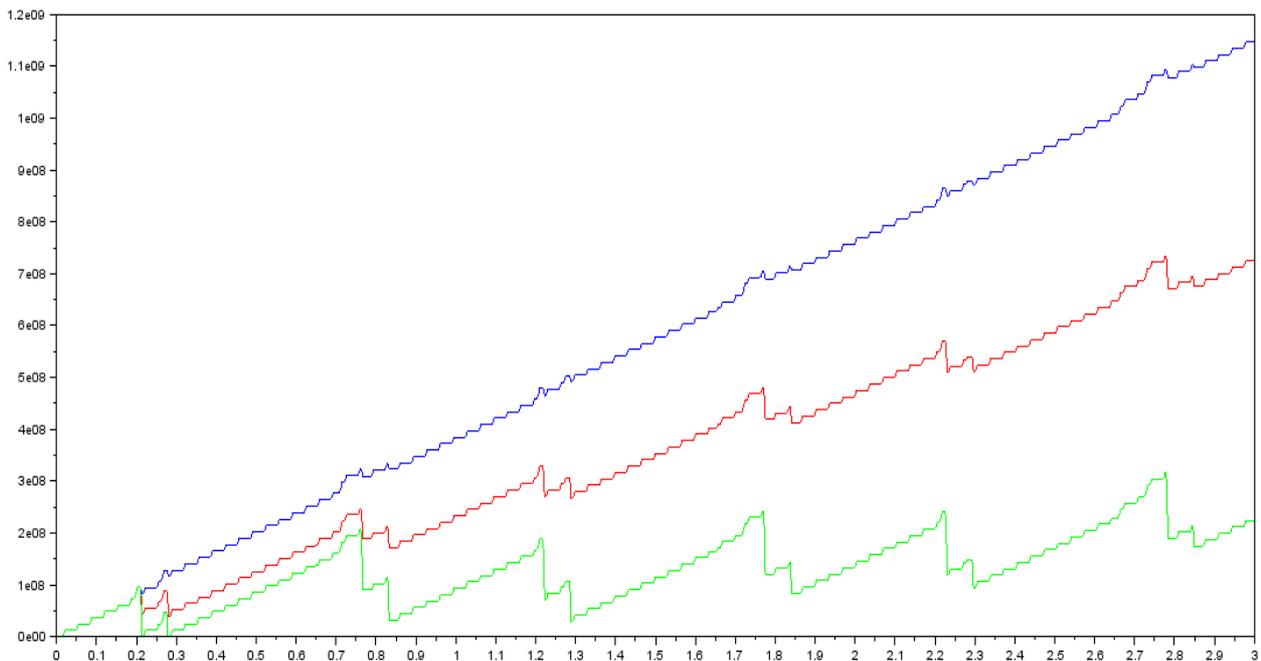


Comparaison avec les estimations précédant cette étude : les résultats de cette étude sont en contradiction avec les premières estimations de télémétrie sur certains points. En effet les premières études montraient une légère divergence de la quantité de données en mémoire pour un débit de sortie de 4800 bits/s. Comme pour 1200 bits/s, la mémoire ne se vidait jamais complètement, bien qu'elle se remplissait plus lentement. Ceci est en grande partie dû au fait que la première étude a été effectuée en se basant sur des données obtenues sous STK qui donnent des temps d'enregistrement au dessus des zones d'intérêt plus longs que les nôtres. Ceci fait que le satellite créait plus de données dans la première simulation et n'arrivait pas à vider sa mémoire aussi bien que notre étude.

- Influence de l'élévation minimale du satellite sur la simulation

On effectue la même simulation avec un élévation minimale de 10 degrés. En dessous de cet angle par rapport à l'horizon de la station, le satellite est considéré comme masqué et ne peut pas émettre. Concrètement, cela a pour effet de réduire la surface au dessus de laquelle le satellite peut envoyer des données au sol, et donc de réduire la quantité totale de données qui peut être émise, alors que la quantité de données créées reste la même.

Cas n°1 : Une station-sol à Paris (courbe sur 3 jours)



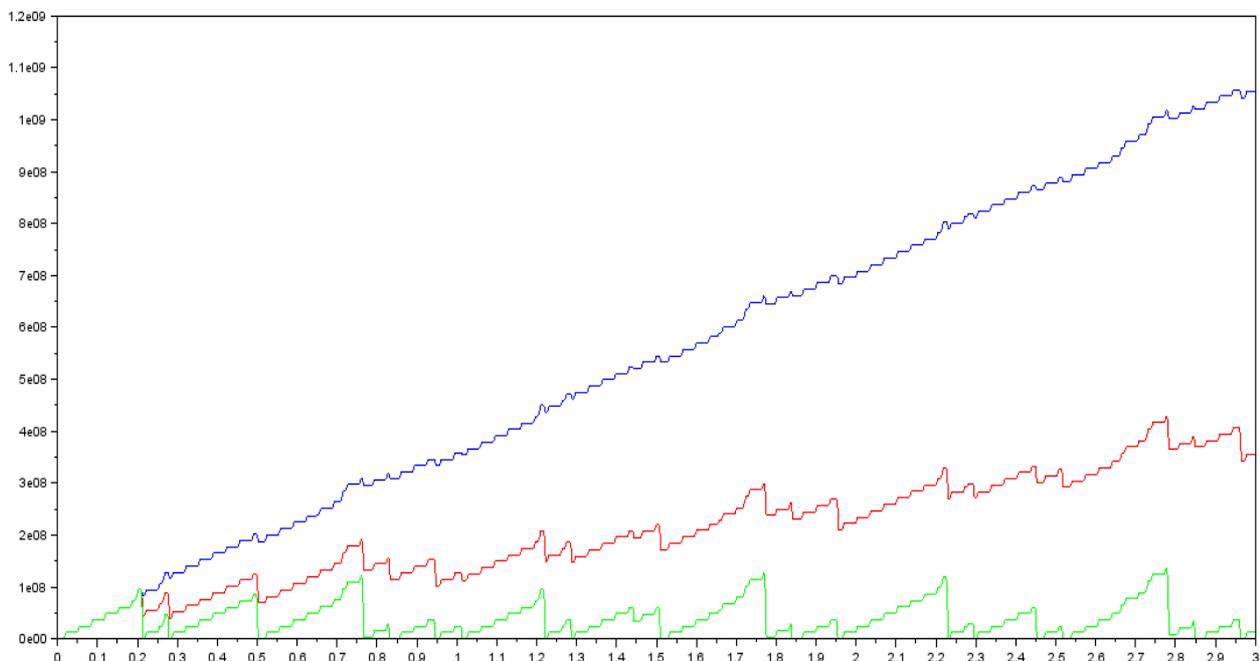


Courbe bleue : débit de sortie de 1200 bits/s.
Courbe rouge : débit de sortie de 4800 bits/s.
Courbe verte : débit de sortie de 9600 bits/s.

On voit sans surprise que pour un débit de sortie de 1200 bits/s, la mémoire se trouve rapidement saturée. En effet si le satellite n'arrivait déjà pas à envoyer toutes les données qu'il avait en mémoire avec une élévation minimale nulle, il est logique qu'il n'y arrive pas non plus si cette élévation augmente.

Cependant la différence avec le cas précédent réside dans les débits de sortie de 4800 et 9600 bits/s. On peut voir que l'on se trouve à présent dans le même cas que pour un débit de 1200 bits/s, c'est-à-dire que les données sont créées plus vite que ce que le satellite peut les envoyer au sol et que la quantité de données en mémoire augmente constamment. Même pour un débit de sortie de 9600 bits/s, bien que le remplissage de la mémoire se fasse plus lentement que pour les autres débits, la quantité de données stockée finit par diverger.

Cas n°2 : Deux stations-sol, Paris et Hanoï (courbe sur 3 jours)



Courbe bleue : débit de sortie de 1200 bits/s.
Courbe rouge : débit de sortie de 4800 bits/s.
Courbe verte : débit de sortie de 9600 bits/s.



On peut faire les mêmes observations que précédemment avec les débits de 1200 et 4800 bits/s : la présence de deux stations-sol ne suffit pas à compenser le fait que l'élévation ait réduit la capacité d'envoi du satellite.

Par contre, avec deux stations-sol, l'utilisation d'un débit de 9600 bits/s permet la transmission de toutes les données enregistrées vers le sol.

Explication des différences : Ces différences importantes avec le cas où l'élévation minimale est nulle peuvent paraître surprenantes pour une élévation de « seulement » 10 degrés. En fait, on se rend compte que cette élévation de 10 degrés réduit grandement la surface au dessus de la station-sol où le satellite n'est pas masqué. Par exemple, les passages où le satellite passait au bord d'une zone de visibilité et était capable d'envoyer quelques données se font à présent « dans le vide ».

3) Conséquences, adaptation de la mémoire

Les résultats précédents donnent une idée de la mémoire interne que devrait avoir le satellite pour être capable d'envoyer toutes les données créées aux stations-sol. On peut aussi en déduire plusieurs autres valeurs intéressantes, comme le facteur de compression qu'il faudrait appliquer dans les cas où toutes les données ne peuvent pas être envoyées vers le sol, ou au contraire quelle marge sur la mémoire on obtient dans les cas où toutes les données sont émises. Toutes ces différentes données montrent quels usages on peut faire de la mémoire disponible selon le débit de sortie et le nombre de stations-sol, et comment il faudrait adapter la création, le stockage, et l'envoi de données dans des conditions définies.

a) Mémoire nécessaire pour contenir toutes les données

Pour une seule station à Paris, les graphes de quantité de données en mémoire en fonction du temps montrent que pour un débit de sortie de 4800 ou 9600 bits/s, une mémoire interne avoisinant les $2 \cdot 10^8$ bits devrait suffire pour contenir toutes les données créées le temps que celles-ci soient envoyées vers le sol. Un débit de 1200 bits/s par contre, requerrait une mémoire infinie vu que la mémoire se remplit toujours plus vite que ce qu'elle ne se vide.

Pour deux stations-sol à Paris et à Hanoï, les graphiques montrent qu'une mémoire interne d'environ $1 \cdot 10^8$, peut-être $1,5 \cdot 10^8$ avec une marge de sécurité, serait suffisante pour contenir toutes les données avant qu'elles ne soient envoyées. Une fois de plus, faire partir toutes les données avec un débit de seulement 1200 bits/s impliquerait une mémoire infinie, ce qui est infaisable.



b) Quantités totales d'informations générées et envoyées

En calculant sur une certaine durée la quantité totale de données produites, envoyées, et la différence entre les deux qui donne la quantité de données qui reste en mémoire, on se fait une idée de la mémoire manquante, ou au contraire de la marge que l'on a.

Quantité totale de données produites sur 10 jours (débit de création de données 650 bits/s) : $1,35 \cdot 10^8$ bits.

Quantité totale de données qui serait envoyée si le satellite émettait toujours lors de ses passages au dessus des stations-sol (sur 10 jours) :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	$4,78 \cdot 10^7$ bits	$1,91 \cdot 10^8$ bits	$3,83 \cdot 10^8$ bits
Paris + Hanoï	$7,99 \cdot 10^7$ bits	$3,19 \cdot 10^8$ bits	$6,39 \cdot 10^8$ bits

En faisant la différence entre ces deux valeurs dans chaque cas, on obtient la quantité de données qui reste en mémoire après ces 10 jours :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	$8,76 \cdot 10^7$ bits	$-5,58 \cdot 10^7$ bits	$-2,47 \cdot 10^8$ bits
Paris + Hanoï	$5,56 \cdot 10^7$ bits	$-1,84 \cdot 10^8$ bits	$-5,04 \cdot 10^8$ bits

On peut voir que pour un débit de 1200 bits/s la valeur est positive car il reste toujours des données en mémoire. Les valeurs négatives pour 4800 et 9600 bits/s illustrent le fait que toutes les données sont envoyées : ces valeurs représentent la place restante en mémoire, ce qui pourrait être envoyé en plus de toutes les données créées par le satellite.

c) Compression

Un autre moyen, peut-être plus clair, d'illustrer ce rapport entre les données créées et les données envoyées, est de calculer le facteur de compression qu'il faudrait appliquer lors de l'envoi des données vers les stations-sol pour que la mémoire soit



vide à la fin de la période de temps considérée. Pour cela il suffit de calculer le rapport de la quantité totale de données produites sur la quantité de données envoyées :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	2,83	0,71	0,35
Paris + Hanoï	1,7	0,42	0,21

Les valeurs supérieures à 1 pour 1200 bits/s montrent qu'une compression est en effet nécessaire si l'on veut envoyer toutes les données aux stations-sol. Les valeurs inférieures à 1 pour 4800 et 9600 bits/s illustrent la quantité de mémoire non-utilisée : une compression n'est pas nécessaire, on pourrait même se permettre d'enregistrer plus de données et elles pourraient quand même être envoyées.

d) Débits de création de données idéaux

On peut même déduire la valeur théorique du débit de création de données idéal dans chaque cas. A quel débit doit-on se limiter si l'on n'arrive pas à envoyer toutes les données, et quel débit peut-on atteindre dans le cas où l'on arrive à vider la mémoire ?

On a vu que pour un débit de création de données fixé, et selon les différents débits de sortie appliqués, on arrive pas toujours à envoyer toutes les données générées aux stations-sol. Du coup il peut être intéressant de savoir quel débit de création de données on peut atteindre pour chaque débit de sortie tout en restant capables de vider complètement la mémoire.

Débit de création de données maximal atteignable tout en restant capable d'envoyer la totalité des données aux stations-sol (calculé avec les mêmes valeurs utilisées précédemment sur une période de 10 jours) :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	229,51 bits/s	918,03 bits/s	1836,1 bits/s
Paris + Hanoï	383,34 bits/s	1533,3 bits/s	3066,7 bits/s

Pour rappel, ces valeurs théoriques sont à comparer avec le débit de création de données utilisé qui est de 650 bits/s. Vu que pour des débits de sortie de 4800 et 9600



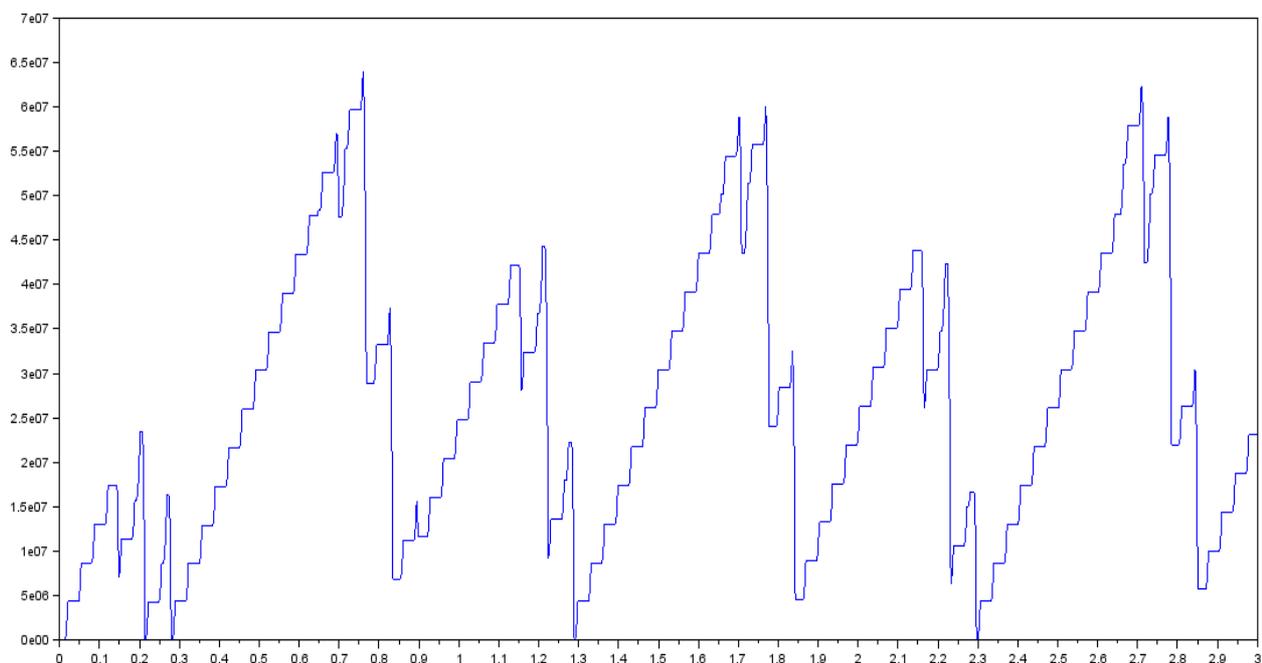
bits/s on se rend compte que l'on a aucun problème de mémoire, et que l'on pourrait même enregistrer beaucoup plus de données sans subir de pertes, il est envisageable de mettre à profit cet excédant de mémoire en effectuant des mesures plus précises avec le scintillateur, par exemple en enregistrant les histogrammes à un rythme plus élevé que toutes les minutes comme c'est le cas actuellement.

e) Application de ces débits idéaux

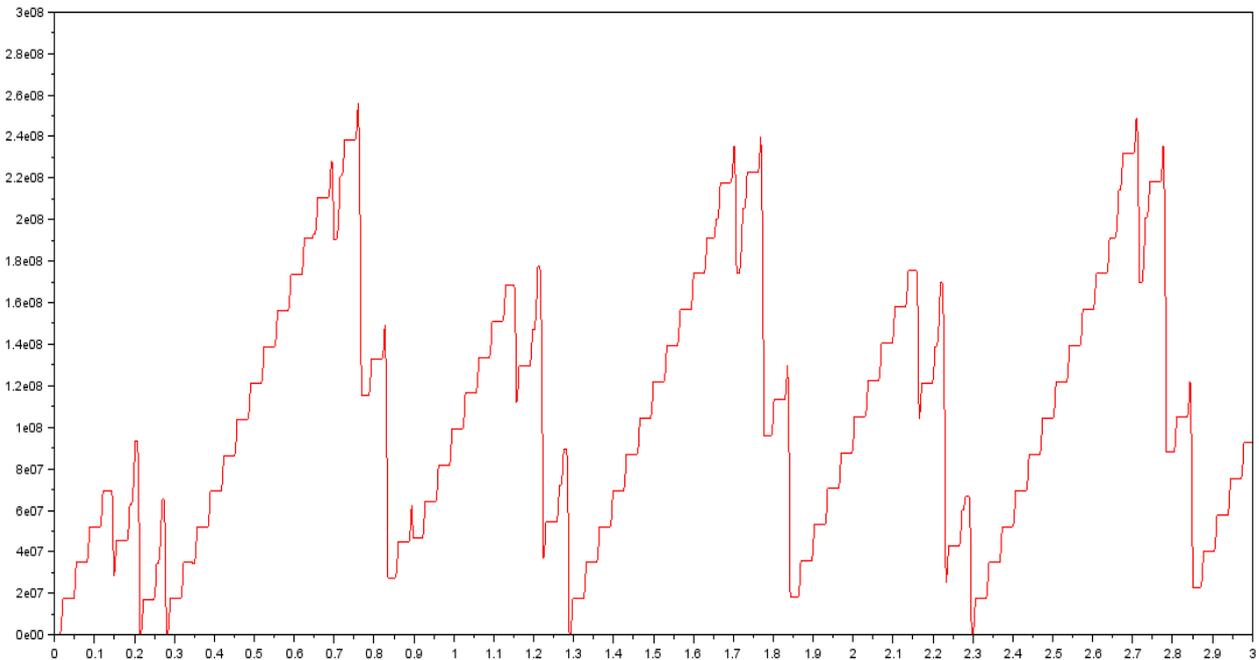
Afin de vérifier la justesse des résultats obtenus dans la partie précédente, on effectue un suivi de la mémoire en fonction du temps en remplaçant le débit d'entrée de 650 bits/s utilisé jusqu'ici par les débits d'entrée idéaux qui ont été calculés. On obtient les courbes suivantes.

Remplissage de la mémoire sur 3 jours selon les différents débits d'entrée avec seulement la station-sol de Paris :

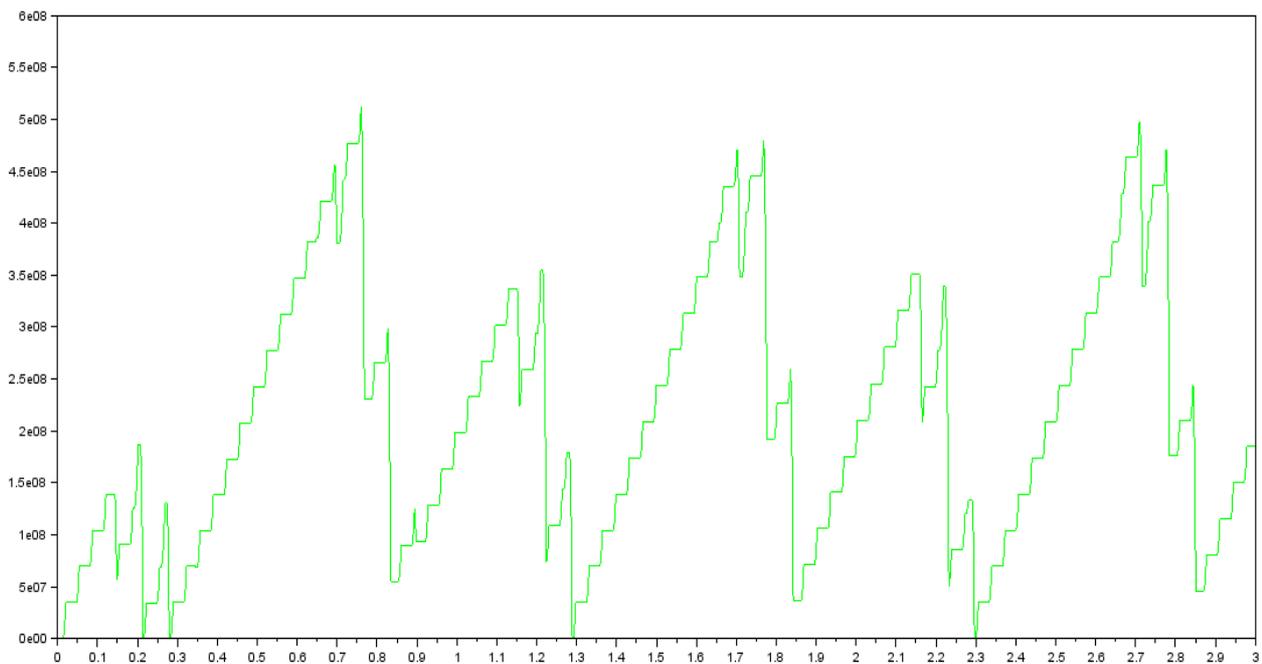
Débit d'entrée : 229,51 bits/s, débit de sortie : 1200 bits/s



Débit d'entrée : 918,03 bits/s, débit de sortie : 4800 bits/s



Débit d'entrée : 1836,1 bits/s, débit de sortie : 9600 bits/s





Ces graphes valident les débits d'entrée idéaux calculés, car on peut voir que dans chaque cas la mémoire est vidée régulièrement lors des passages au dessus des stations-sol. Ces résultats restent valables pour une durée de simulation supérieure à 3 jours. De plus les courbes similaires pour le cas de la deuxième station-sol ne seront pas montrées, car elles présentent une forme similaire. Ces graphes ne servent que de preuve graphique que les débits d'entrée idéaux que nous avons trouvés sont utilisables.

De plus une fois qu'un débit d'entrée idéal est fixé, on peut dimensionner la mémoire de manière à ce qu'elle puisse contenir toutes les données créées. Voici les résultats obtenus.

Capacité de mémoire requise pour contenir toutes les données avant qu'elles ne soient envoyées au sol en fonction du débit d'entrée :

Débit d'entrée/sortie	229,51(P) / 1200	918,03(P) / 4800	1836,1(P) / 9600
	383,34(P+H) / 1200	1533,3(P+H) / 4800	3066,7(P+H) / 9600
Paris	$7 \cdot 10^7$ bits	$3 \cdot 10^8$ bits	$6 \cdot 10^8$ bits
Paris + Hanoï	$7,5 \cdot 10^7$ bits	$3 \cdot 10^8$ bits	$6 \cdot 10^8$ bits

f) Influence de l'élévation minimale

On effectue la même simulation en appliquant une élévation minimale de 10 degrés : les résultats suivants sont les mêmes que dans la partie précédente, mais calculés avec la nouvelle élévation.

- Quantités totales d'informations générées et envoyées

Quantité totale de données qui serait envoyée si le satellite émettait toujours lors de ses passages au dessus des stations-sol (sur 10 jours) :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	$2,07 \cdot 10^7$ bits	$8,29 \cdot 10^7$ bits	$1,66 \cdot 10^8$ bits
Paris + Hanoï	$3,51 \cdot 10^7$ bits	$1,41 \cdot 10^8$ bits	$2,81 \cdot 10^8$ bits



On peut voir que ces valeurs sont bien plus petites que pour une élévation nulle. Par contre la quantité de données créées, elle, ne change pas. Cela entraîne logiquement une augmentation de la quantité de données qui reste en mémoire à la fin de la simulation.

Quantité de données qui reste en mémoire après ces 10 jours :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	1,15.10 ⁸ bits	5,25.10 ⁷ bits	-3,05.10 ⁷ bits
Paris + Hanoï	1,00.10 ⁸ bits	-5,06.10 ⁶ bits	-1,46.10 ⁸ bits

On voit qu'il ne reste de la place en mémoire que pour un débit de sortie de 9600 bits/s (valeurs négatives). La valeur négative pour 4800 bits/s et deux stations-sol est à relativiser, car elle est d'amplitude bien inférieure aux autres. De plus on part ici du principe que le satellite émet en continu lorsqu'il est au dessus des stations-sol, ce qui n'est pas le cas en réalité.

- Compression

En découlent les facteurs de compression suivants :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	6,53	1,63	0,82
Paris + Hanoï	3,86	0,96	0,48

Seule l'utilisation d'un débit de 9600 bits/s n'entraîne pas la nécessité d'une compression (valeur inférieure à 1).

- Débits de création de données idéaux

Finalement, voici les débits d'entrée atteignables sans subir de pertes de données :



Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	99,52 bits/s	398,08 bits/s	796,16 bits/s
Paris + Hanoï	168,57 bits/s	674,29 bits/s	1348,6 bits/s



Conclusion

Pour conclure, la télémétrie dépend de plusieurs critères, dont certains ont un influence très importante sur la capacité du satellite à envoyer toutes les données qu'il a accumulées lors de ses relevés. Parmi ces critères, la présence d'une station-sol supplémentaire à Hanoï s'est révélée utile pour raccourcir les délais entre chaque communication avec le sol. Cependant, il a été vu que modifier l'élévation minimale de visibilité a un impact considérable sur la quantité de données qui peut être communiquée au sol, au point que selon le débit de sortie choisi, même deux stations-sol ne suffisent pas à recueillir toutes les informations. Finalement, le critère le plus important reste sans doute le choix du débit de création et d'envoi de données. Pour des débits de sortie de 4800 et 9600 bits/s, on arrive à utiliser des débits d'écriture supérieurs aux 650 bits/s utilisés comme référence.

Les principaux résultats de notre étude sont les suivants (ces résultats sont ceux pour une élévation minimale nulle, car la valeur d'élévation minimale de 10 degrés a été choisie arbitrairement pour montrer l'influence de ce paramètre) :

Débit de création de données maximal atteignable tout en restant capable d'envoyer la totalité des données aux stations-sol (sur une période de 10 jours) :

Débit de sortie	1200 bits/s	4800 bits/s	9600 bits/s
Paris	229,51 bits/s	918,03 bits/s	1836,1 bits/s
Paris + Hanoï	383,34 bits/s	1533,3 bits/s	3066,7 bits/s

Capacité de mémoire requise pour contenir toutes les données avant qu'elles ne soient envoyées au sol en fonction du débit d'entrée pour les débits mentionnés plus haut :

Débit d'entrée/sortie	229,51(P) / 1200 383,34(P+H) / 1200	918,03(P) / 4800 1533,3(P+H) / 4800	1836,1(P) / 9600 3066,7(P+H) / 9600
Paris	7*10 ⁷ bits	3*10 ⁸ bits	6*10 ⁸ bits
Paris + Hanoï	7,5*10 ⁷ bits	3*10 ⁸ bits	6*10 ⁸ bits



Pour obtenir d'autres résultats en faisant varier certains paramètres (principalement le débit d'écriture et l'élévation minimale), le code fournit avec ce rapport est à disposition.

Nous joignons aussi une courte vidéo enregistrée sur VTS montrant notre satellite avec son orbite en vert, les deux stations-sol (Paris et Hanoi) en bleu, et en rouge les trois endroits où le satellite va écrire des données (Pôle Nord, Pôle Sud et anomalie de l'Atlantique Sud). La vidéo a été faite lorsque le satellite passe, le plus possible, au dessus de toutes ces zones. De plus la vitesse de visionnage varie ainsi que la position de la caméra.