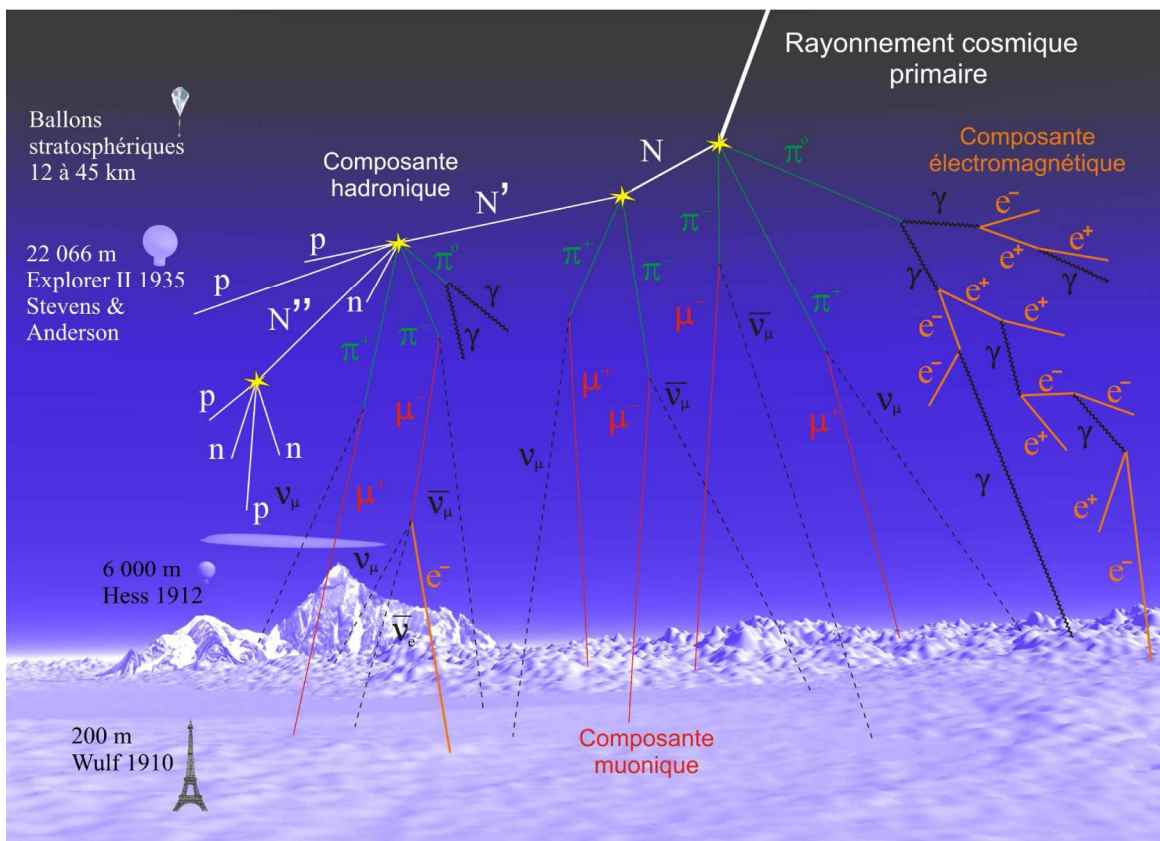


Hess et les Particules Cosmiques

Comment mesurer le flux de particules cosmiques en fonction de l'altitude ?



Gerbe de particules issue d'un rayonnement cosmique primaire (source : CERN)

Sciences à l'École



INTRODUCTION

Notre établissement scolaire a été doté d'un cosmodétecteur ou détecteur de particules cosmiques à la rentrée 2014. Cet appareil nous a été présenté dans le cadre de l'atelier scientifique du Lycée Vaucanson en parallèle avec le travail réalisé par nos prédécesseurs sur l'année 2014-2015. Ces particules dont nous n'avons encore jamais entendu parler nous ont intrigués et nous avons voulu en connaître davantage à leur sujet. C'est alors qu'au cours de nos recherches nous sommes tombés sur les écrits de Hess ...

En effet, à la fin du XIX^{ème} début du XX^{ème}, des scientifiques qui travaillaient sur le phénomène de la radioactivité fraîchement découvert, se rendirent compte que les électroscopes (l'outil de mesure de la radioactivité dont se servaient les scientifiques), une fois chargés, perdaient peu à peu leur charge sans aucune intervention de l'Homme, ni aucune source radioactive proche. Plusieurs expériences ont été faites pour comprendre d'où venait cette décharge. On pensait d'abord à un rayonnement ionisant d'origine Terrestre : des scientifiques essayèrent d'éloigner un électroscope de la surface de la Terre (en montant au sommet de la tour Eiffel par exemple). En 1912 Viktor Hess décida d'entreprendre un vol en montgolfière muni d'un électroscope pour observer cette décharge à haute altitude. Les résultats furent surprenants : à partir de 1000 mètres, au lieu de ralentir comme il était prévu par les scientifiques, le phénomène s'accélérait. À partir de 5000 mètres, l'électroscope se déchargeait deux fois plus rapidement ! L'origine des rayonnements était donc extraterrestre... C'était la découverte des rayons cosmiques.

Disposant d'un détecteur pouvant être embarqué dans la nacelle d'un ballon stratosphérique, nous nous sommes alors posé la question suivante : Comment déterminer le flux de particules avec l'altitude ? Dans un premier temps, nous avons dû réfléchir aux moyens d'accéder à la fois au nombre de particules détectées et à l'altitude au cours du temps, pour pouvoir les relier ensuite. Dans un second temps, nous avons lâché le ballon à l'occasion des 10 ans de la fête de la science dans notre établissement avec l'ensemble des élèves impliqués dans l'atelier scientifique. A l'aide de données récoltées, nous avons pu voir l'évolution du flux de particules avec l'altitude que nous avons essayé d'interpréter.

Pour avoir accès :

- à notre site Internet : <http://www.vaucanson.org/php5/Accueil/index.php/hess-et-les-rayons-cosmiques>
- à notre vidéo : <http://www.dailymotion.com/video/kJQvv7I2L28gH8m4qig>



Victor Hess dans son ballon en 1912 (Source : <http://www.etedorion.com>)

SOMMAIRE

Introduction	2
Sommaire	3
A- Comment accéder à l'altitude ?	4
1) Système GPS/APRS	4
2) Mesure de la pression pour en déduire l'altitude	5
a) Line entre pression et altitude	5
b) Capteur de pression relié à l'émetteur kiwi	6
3) Bilan fonctionnel	7
B- Comment accéder au nombre de particules détectées au cours du vol ?	8
1) Compteur Geiger	8
2) Transmission des données en vol	9
3) Enregistrement des données en vol	10
C- Lâcher et exploitation des mesures	11
1) Résumé du lâcher	11
2) Exploitation des mesures	12
D- Interprétation des mesures	13
1) Cohérence de nos mesures	13
2) Pourquoi ces mesures nous ont-elles surprises ?	17
Conclusion et Perspectives	19

A- Comment accéder à l'altitude au cours du vol ?

Notre professeur, possédant une certaine expérience dans les lâchers de ballons stratosphériques, a commencé par nous mettre en garde sur le côté périlleux de n'avoir accès qu'à une mesure au moyen d'un seul capteur. En effet, nous ne pouvions courir le risque que ce dernier ne fonctionne pas le jour J. D'autre part, l'encadrant de Planète Sciences nous a signalé que, même si la plupart des ballons, à l'aide des radioamateurs ou de traceurs, étaient retrouvés, il y avait un risque que la nacelle ne soit pas retrouvée. Il était donc conseillé de doubler le moyen de récupérer nos mesures, à savoir, par transmission radio en direct pendant le vol mais aussi par enregistrement sur carte mémoire. C'est donc sur ces précieux conseils que nous avons mis au point nos expériences.

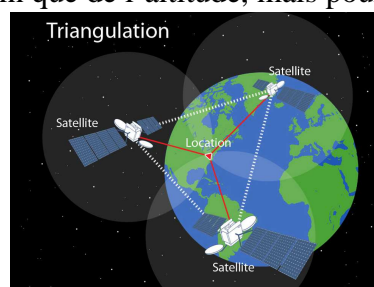
1) Le système GPS/APRS

Pour suivre le ballon en cours de vol, nous avons décidé d'utiliser un système GPS/APRS, à savoir une tête GPS reliée à un émetteur qui envoie au sol la position du ballon en direct au moyen d'une onde radio de fréquence 144,8MHz. Ces ondes radio, utilisées uniquement par les radioamateurs, d'où notre collaboration avec le REF37, peuvent être reçues en direct avec un récepteur HF connecté à un ordinateur possédant un logiciel approprié (IU-View.32 nous concernant). Dans tous les cas, ces infos sont aussi collectées par toutes les stations de radioamateurs qui publient en temps quasi réel sur le site <http://aprs.fi>. Il suffit d'avoir l'identifiant de la balise que les radioamateurs du REF 37 nous ont attribués GPS, F6KCI-11.

L'émetteur radio (APRS) a été mis au point par les étudiants de l'IUT GE2I de Tours.

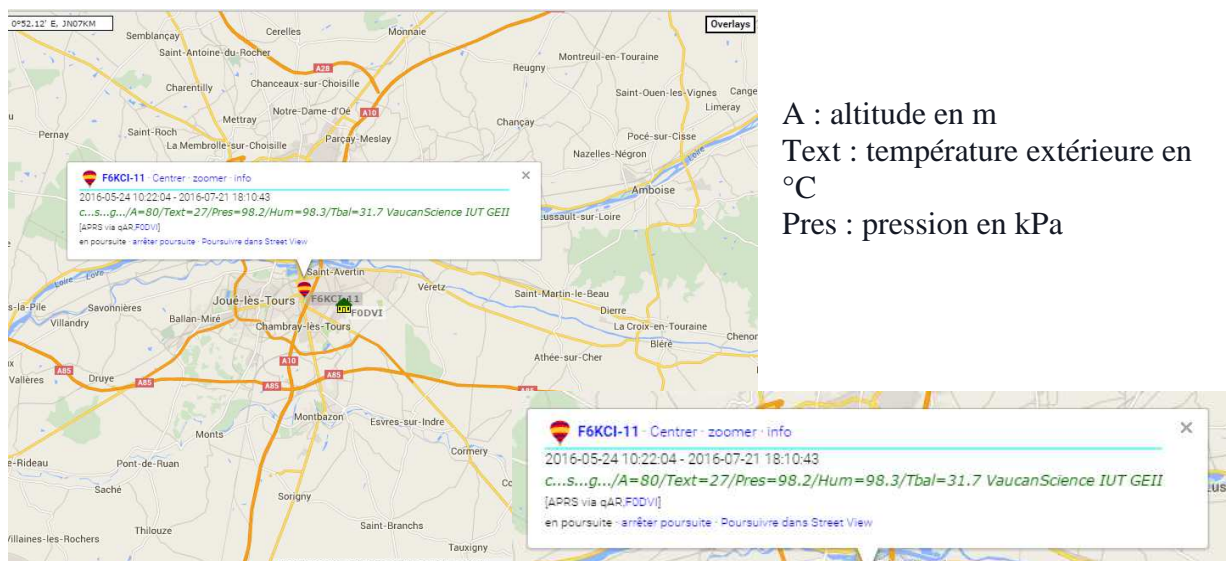
Ce dispositif sera sensé nous fournir pendant le vol, toutes les 50 s (choix de l'IUT), l'altitude, la longitude et la latitude de la chaîne de vol. Certes nous n'avons besoin que de l'altitude, mais pour la suivre et augmenter nos chances de la retrouver, connaître la latitude et la longitude nous serons aussi très utiles.

La tête de GPS peut être repérée grâce au système de triangulation. Ce système consiste à repérer la position de la tête de GPS avec l'aide d'au moins 3 satellites pour obtenir les 3 coordonnées GPS comme l'indique le schéma ci-contre.



Nous avons établi une procédure de réglages pour le jour J qui n'a pas de raison de figurer dans ce document, mais en annexe.

Voici ce qu'ont donné les premiers tests réalisés à l'IUT pendant les vacances d'été :



A : altitude en m
Text : température extérieure en °C
Pres : pression en kPa

Capture d'écran du site aprs.fi traquant notre balise F6KCI-11

Les autres données de la carte d'acquisition ne nous seront pas utiles (températures et humidité), elles avaient été ajoutées pour un autre projet.

Par précaution, nous avons demandé à l'IUT d'ajouter une carte mémoire au cas où la transmission radio ne fonctionnerait pas durant le vol.

Remarquons, que la pression pourrait nous servir, mais si nous n'avons pas l'altitude déterminée par triangulation à cause d'une mauvaise liaison radio, il n'y a pas de raison que nous aillions la pression... Nous avons donc décidé d'utiliser la pression pour en déduire l'altitude mais ce au moyen d'autres capteurs non reliés au système GPS/APRS.

2) Mesure de la pression pour en déduire l'altitude

a) Lien entre pression et altitude

Trouver un lien entre pression et altitude a été assez facile pour des altitudes comprises entre 0 et 11 km, soit dans la troposphère. Cependant, cela a été plus difficile au-delà de 11 km, En effet, entre 0 et 11 km, il semble qu'un modèle appelé formule du nivellement barométrique permet de relier assez précisément altitude et pression. Ce modèle repose sur l'hypothèse que la température décroît linéairement avec l'altitude, et qu'en effet, tout les 100m, on perd 0.65 K, donc 6,5 K sur 1 km : $T = T_0 - 6,5 z$.

Nous avons donc ajouté un capteur de température extérieur, mise au point et étalonné par d'autres élèves de l'atelier scientifique, dans le but de vérifier cette hypothèse le jour de notre lâcher. Il est évident que cette décroissance est une moyenne et en effet nous avons pu lire qu'elle peut aller de 0.30 K pour des masses d'air froid à 0,80 k pour des masses d'air chaud. Cette hypothèse sera d'autant meilleure que le ciel sera dégagé le jour du lâcher et pas encombré de masse nuageuse.

La pression est alors donnée par la relation suivante :

$$p(z) = p_0 \left(1 - \frac{6,5z}{T_0} \right)^{5,255}$$

- $p(z)$ la pression à l'altitude z et p_0 la pression au niveau de la mer dans la même unité, en hPa par exemple,

- z en km ;

- T_0 en K, température au niveau de la mer.

$T_0 = 288 \text{ K} = 15^\circ\text{C}$, température moyenne au niveau de la mer et $p_0 = 1013.25 \text{ hPa}$, la pression au niveau de la mer, appelées valeurs normalisées.

En travaillant cette formule, il nous a été possible d'extraire l'altitude en fonction de la pression mesurée, relation dont nous aurons besoin :

$$z(p) = \frac{T_0}{6,5} \left(1 - \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{5,255}} \text{ avec } z \text{ en km, } T_0 \text{ en K et } p \text{ et } p_0 \text{ dans la même unité.}$$

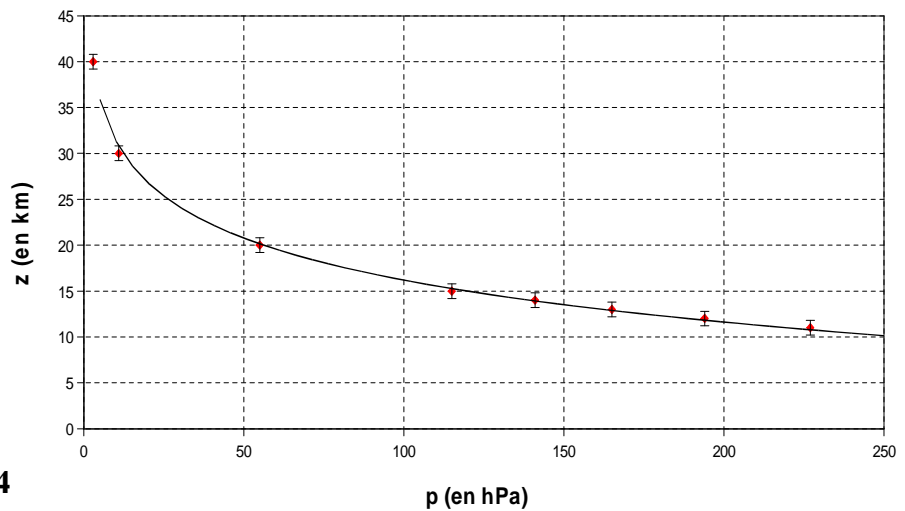
Au-delà, dans la stratosphère, nous avons récupéré des données expérimentales afin de construire notre propre modèle car nous n'en avons pas trouvé.

$$z=f(P)$$

$$f(x) = -6,611 \ln(x) + 46,641$$

$$R^2 = 0,998$$

p (en hPa)	z (en km)
227	11
94	12
165	13
141	14
115	15
55	20
11	30
3	40



Ainsi au-delà de 11km :

$$z(p) = -6,611 \ln(p) + 46,64$$

avec z en km et p en hPa.

L'écart-type par rapport au modèle étant de 0,8 km ce que font apparaître les barres d'erreur sur ce graphique.

b) Capteur de pression relié à kiwi

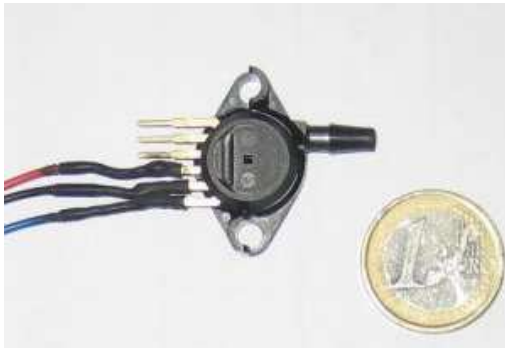
Un capteur pression sera utilisé, relié à l'émetteur radio du CNES, émetteur kiwi. L'émetteur kiwi fourni par le CNES joue à la fois le rôle de générateur pour les capteurs embarqués, de voltmètre pour mesurer des tensions aux bornes des capteurs embarqués comprises entre 0 et 5V, mais aussi d'émetteur radio qui envoie les données mesurées au sol toutes les 2 secondes au moyen d'une onde de fréquence 137,050 MHz en ce qui nous concerne. Cet émetteur doit être alimenté au moyen par une tension comprise entre 8 et 11V et il devra tenir au moins 24h si la nacelle n'est pas retrouvée dans l'immédiat pour permettre des recherches prolongées, critère auquel satisfont deux piles de 4,5 V en série d'après nos mesures de consommation (300 mA).



Emetteur kiwi fourni par le CNES

D'autre part, cet émetteur envoie un signal caractéristique qui peut être détecté au moyen d'antennes et permettre une triangulation en dernier recours si nous n'avons pas de couverture réseau ou une absence de trame GPS/APRS depuis l'endroit où est retombée la nacelle le jour du lâcher.

Ainsi, ce dispositif ne peut transmettre que des données sous forme de tension. Nous avons donc dû relier pression et tension aux bornes du capteur mis à notre disposition, autrement-dit étalonner le capteur. Le capteur couramment utilisé est le MPX5100AP car il nécessite une alimentation de 5V qui peut être délivrée par l'émetteur KIWI du CNES, et en sortie il fournit une tension comprise entre 0 et 4,7 V qui correspond également à la plage mesurable par l'émetteur, et surtout peut résister à de faibles températures (-50 °C) qui seront rencontrées au niveau de la tropopause, soit entre 11 et 13 km.



Capteur de pression MPX5100

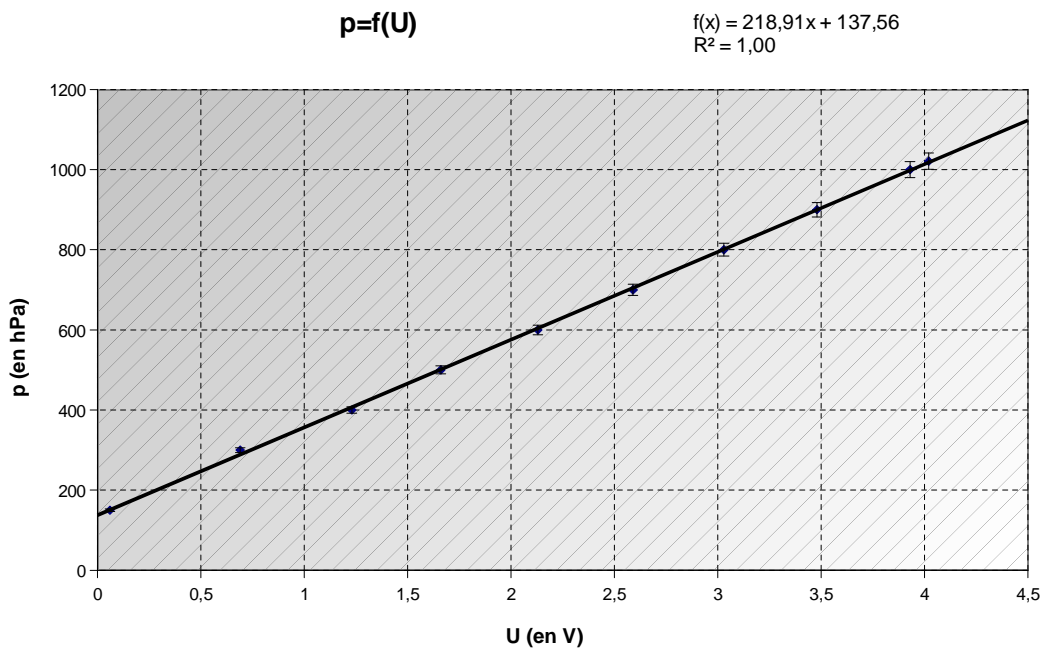


Etalonnage du capteur de pression

Pour l'étalonner, le lycée dispose d'une cloche à vide qui a été modifiée sous laquelle il est possible d'alimenter et réaliser des mesures électriques.

A l'aide de la pompe à vide, nous avons simulé la baisse de la pression qu'il y aura le jour du lâcher lors de l'ascension du ballon.

A l'intérieur de la cloche, nous avons une alimentation délivrant une tension de 5 V comme celle que délivrera l'émetteur radio et un voltmètre en mode continu de précision $0,5\% \pm 1\text{digit}$ et un pressiomètre de précision $2\% \pm 4\text{ hPa}$. Les barres d'erreur sur le graphique ci-dessous ne seront pas affichées sur la tension mesurée car insignifiantes.



Tension mesurée aux bornes du capteur en fonction de la pression mesurée par le pressiomètre

3) Bilan fonctionnel

Comme nous pouvons le constater sur le graphique ci-dessus, ce capteur de pression ne descend pas en dessous de 150 hPa. Il ne nous permettra donc pas d'accéder à des altitudes au-delà de 12-13 km. Il nous permettra ce pendant de vérifier ou non une certaine cohérence entre l'altitude fournie par le système GPS/APRS et le modèle de nivellement barométrique.

Néanmoins, nous avons cherché un nouveau capteur de pression : nous avons retenu le modèle MPL3115A2 qui a une précision de 0,25 % et fourni directement des pressions comprises entre 150kPa, ce qui est bien trop et 10 hPa correspondant à une altitude de 30km. Ce dernier sera relié à la carte arduino qui traitera les données du compteur Geiger.

B- Comment accéder au flux de particules cosmiques ?

1) Le compteur Geiger

Si c'est avec un électroscope qu'on a commencé à mettre en évidence la présence des particules cosmiques, plus tard, d'autres techniques de détection de particules (et donc des rayons cosmiques) furent développées avec le tube Geiger-Müller (1928) notamment. C'est en utilisant ce type de détecteur que nous aimerions retrouver les observations expérimentales de Hess.

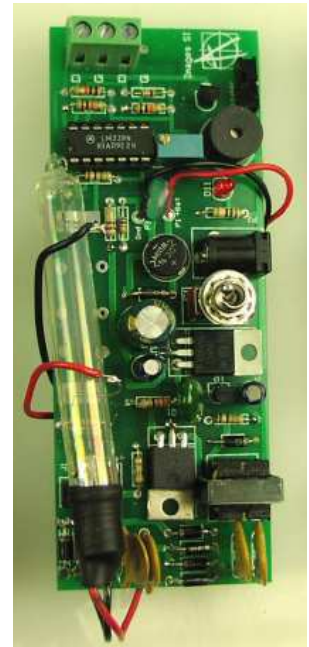
Le tube **Geiger-Müller** est rempli d'un gaz et contient un fil métallique mis sous haute tension (400V). Quand une particule traverse le gaz, elle ionise le gaz et une impulsion électrique est créée.

Le détecteur :

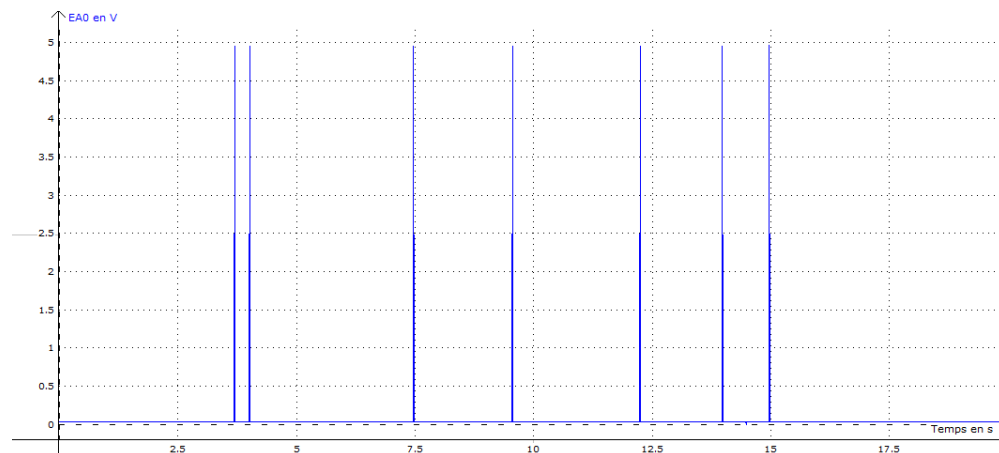
Nous avons acheté un détecteur en provenance des Etats-Unis utilisant un tube Geiger-Müller capable de détecter particules β , rayonnements γ mais aussi des muons, une particule proche de l'électron mais 20 fois plus lourde.

Le compteur est composé d'un tube Geiger-Müller et d'une carte d'acquisition, le tout alimenté par une pile 9V. Lors de la réception de ce dispositif, nous avons voulu voir la nature du signal qu'il fournissait. Pour cela, une fois alimenté, nous avons relié sa sortie à la carte d'acquisition Eurosmart reliée au logiciel Latispro.

Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous, chaque fois qu'une particule traverse le tube, une impulsion de 5V est envoyée à la sortie du dispositif. D'après la notice du constructeur, la carte émet un signal d'une durée de 100 ns. On en déduit que deux particules séparées par moins de 100 ns lors de leur entrée dans le tube, ne pourront être distinguées.



Kit de détection de particules



Tension au cours du temps en sortie du kit de détection des particules

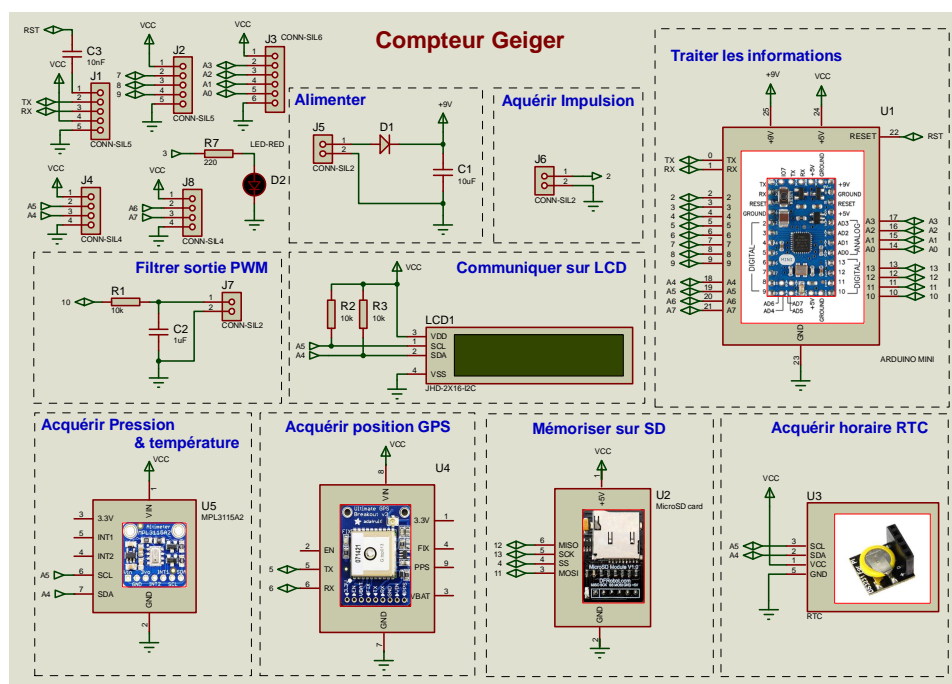
Par précaution, nous avons décidé que les mesures seront envoyées durant le vol, mais aussi stockées directement sur un Data Logger branché sur la carte d'acquisition.

2) Enregistrement sur carte mémoire

Pour traiter les données envoyées par le compteur Geiger, sur le conseil d'un professeur d'électronique, nous avons décidé d'utiliser une carte arduino, celle-ci fonctionnant entre autre avec ce type de tensions comprises entre 0 et 5V, donc pourra compter facilement les impulsions en sortie du kit.

Avec l'aide de M. Baronni, professeur d'électronique de notre lycée, nous avons réalisé une carte comprenant :

- Une carte d'acquisition de température, altitude et pression,
- Une carte d'horloge en temps réel (RTC),
- Une carte pour la mémorisation sur carte SD,
- Une carte microcontrôleur arduino,
- Plus des composants électroniques spécifiques...



Représentation schématique de la carte réalisée

Nous avons programmé la carte arduino, pour obtenir un enregistrement toutes les 10 secondes.

Pourquoi ce choix ?

- En 10s, le ballon est censé se déplacer de 50m, soit un peu plus que l'erreur en altitude d'une donnée GPS (30 m). Avec un temps plus faible, nous serions donc passés en dessous de la précision de nos capteurs d'altitude entre deux mesures. Sur une minute, le ballon aurait parcouru une distance trop importante, soit 300 m, et nous aurions probablement eu trop peu de mesures.
- D'autre part, compte tenu de la surface de notre tube Geiger, 6cm², une mesure sur un temps plus court n'aurait pas permis à basse altitude, de détecter suffisamment de particules pour être fiable. En effet, d'après nos recherches le flux de particules cosmiques descend nettement en dessous de 1 particules/s/cm² en dessous de 10 km. Nous aurions alors eu beaucoup trop de valeurs nulles au cours de nos mesures.

Comment fonctionne le microcontrôleur ?

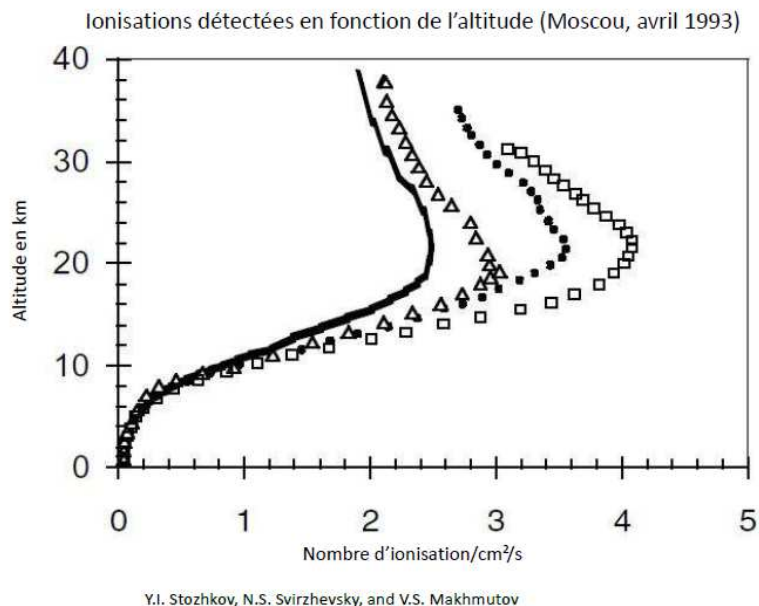
À l'aide du nombre d'impulsions reçues pendant 10 secondes, le microcontrôleur calcule la fréquence des particules détectées sur ces 10 s, soit $N/10$, la stocke sur la carte mémoire et se remet à zéro. Et ainsi de suite. Le principe est assez simple.

Il nous a fallu des bibliothèques pour inclure directement les ressources (pression, altitude, température...) aux différents modules cités ci-dessous. Ces bibliothèques nous ont permis de gagner du temps (et simplifier le programme). Une fois les modules utilisés en notre possession il ne restait plus qu'à coder le programme pour chacun des modules.

3) Transmission des données en cours de vol par émetteur Kiwi

Pour ce qui est de la transmission de ces données en cours de vol, c'est un peu plus complexe car l'émetteur kiwi ne peut transmettre que des tensions comprises entre 0 et 5V proportionnelles à une grandeur physique. Il nous a donc fallu faire correspondre un nombre de particules détectées ou ionisations à une tension.

A l'aide de nos recherches sur le flux de particules, nous avons trouvé que le flux maximal de particules détectées en altitude pouvait être voisin de 4 particules/cm²/s. Notre tube Geiger ayant une surface de 6 cm², nous en avons déduit qu'il pourrait détecter au maximum 240 particules sur 10 s.



Ainsi nous avons pensé qu'en attribuant 1 V pour 50 particules détectées, sur une plage de 5V, on pourrait mesurer jusqu'à 250 ionisations. En fait, l'émetteur radio kiwi envoyant au sol des données toutes les deux secondes, nous aurons la marge.

Que fait la carte ?

La carte Arduino compte les impulsions délivrées par la carte Geiger jusqu'à 250, puis la valeur du compteur est remise à zéro. À l'aide de la valeur courante du compteur, une sortie MLI (modulation de largeur d'impulsion) est gérée. Pour obtenir une tension continue, un filtre RC (résistance + condensateur = filtre RC) est utilisé en sortie.

La tension continue de sortie a été réglée pour obtenir 5 Volts lorsque le compteur est à 250 en jouant sur le filtre RC. Cette tension est envoyée directement sur l'émetteur radio kiwi.

Comment exploiter les mesures récupérées au sol ?

- Tant que la tension mesurée est supérieure à la précédente, le nombre de particule détectée sur l'intervalle entre deux réceptions, soit 2s, et $(U_t - U_{t-1}) * 50$
- Si $U_t < U_{t-1}$; alors le nombre de particules détectées est $(5 - U_{t-1} + U_t) * 50$

C- Exploitation et interprétations des mesures

1) Petit résumé du lâcher

Lors de la fête de la science, le 16 octobre dernier, le fameux ballon stratosphérique a été lâché emportant avec lui la nacelle et tous les équipements cités précédemment.

Un premier dispositif de réception radio a été installé sur un minibus pour collecter les données du système GPS/APRS et suivre le ballon en plein vol.

Un second dispositif installé au sol était destiné à collecter les données de l'émetteur kiwi.

11h52min10s : Face à plus de 500 personnes, tout étant opérationnel, le ballon s'envole ;

11h52min11s : A peine envolé, nous avons perdu la réception radio provenant de l'émetteur kiwi... Lors de la récupération de la nacelle, nous avons constaté que ce dysfonctionnement était dû à une des connexions sur une pile qui était défectueuse.

12h20min10s : Au bout d'une demi-heure, censé monter avec une vitesse verticale de $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, le ballon aurait dû être à 9000 m d'altitude, or d'après les données GPS, il n'était qu'à environ 5000m. Après multiples remises en question des données GPS bien que concordantes avec les données en pression envoyées en même temps, l'aérotechnicien de Planète Sciences nous a dit que sur une bouteille d'hélium, son manomètre indiquait qu'elle était moitié vide. Il lui avait pourtant semblé que le ballon n'était pas sous gonflé donc avait décidé de le lâcher sans compléter.

12h40min10s : Censé atterrir à 150 km du lieu du lâcher, à Pithiviers (45), le ballon était maintenant, après une rapide estimation avec le logiciel Balloon Track et les vents du jour, censé atterrir à l'est de Paris. Notre professeur a donc décidé d'annuler la poursuite en minibus car trop longue et trop risquée. Nous avons confié cette tâche à une équipe de radioamateurs à notre grand désespoir.

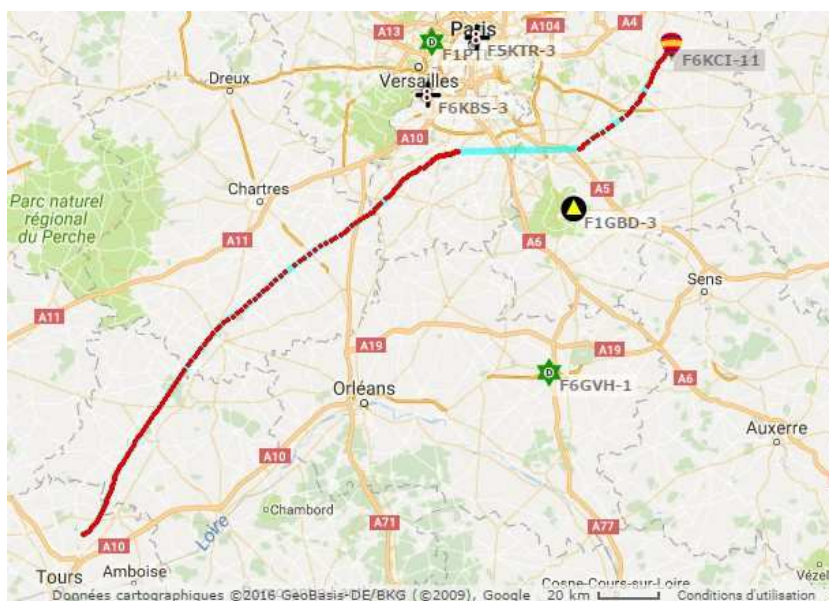
13h00min19s : Appel de l'aviation civile de Paris, inquiète car notre ballon en approche de la région parisienne, est à une altitude d'environ 9000m, il va entrer dans le couloir aérien et ne monte pas assez rapidement. Cet appel peu rassurant mais heureusement reçu par les radioamateurs, a confirmé l'hypothèse de sous gonflage...

14h19min22s : alors que le ballon est encore en pleine ascension, à 23800 m au dire du GPS, nous perdons les données GPS. Ceci est d'autant plus inquiétant qu'il est en pleine région parisienne.

15h02min37s : Une trame GPS est à nouveau reçue ! La chaîne de vol est en train de redescendre. Ce système GPS/APRS n'était pas censé fonctionner au-delà de 17 km. Nous avons donc été chanceux qu'il fonctionne jusqu'à environ 24 km à l'ascension.

15h35min24s : dernière trame GPS collecté par une station de radioamateur, le ballon est encore à 695 m d'altitude. Les radioamateurs sont environ à 30 km...

15h40 min : le traceur dans la nacelle nous répond et nous donne la position exacte de la nacelle, non loin de Coulommiers (77), ce qui permettra aux radioamateurs à sa poursuite de la récupérer à 15h50min. Ouf, quel stress !



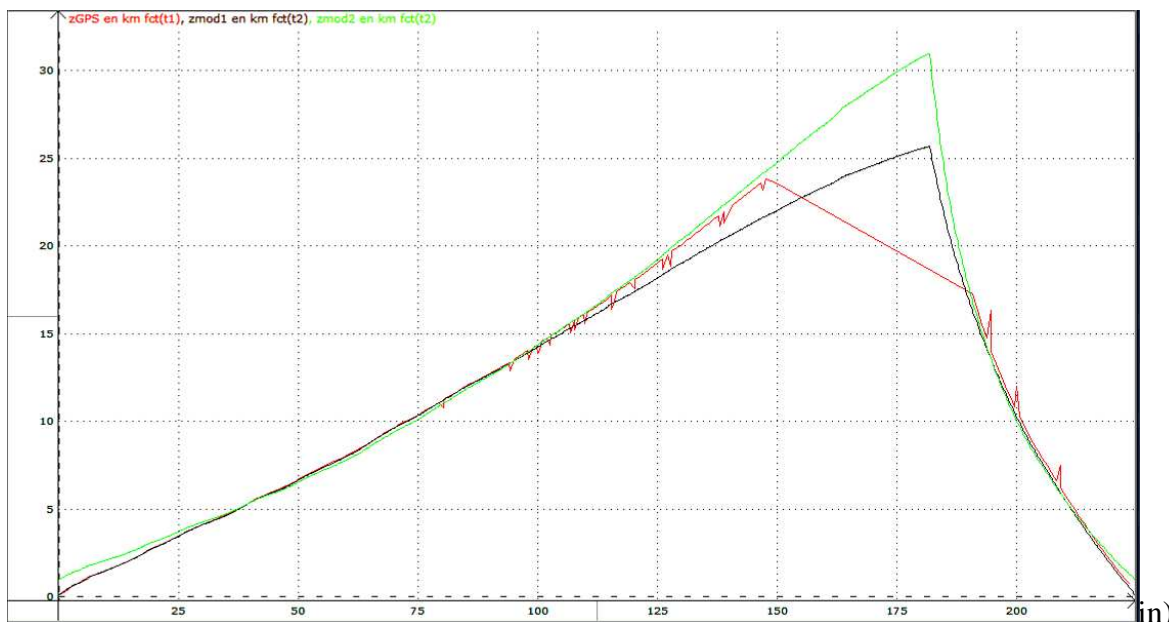
Trajet du ballon en projection verticale fourni par le site <http://aprs.fi> balise F6KCI-11

Au final, la prudence a été nécessaire. Les seules données dont nous disposons sur la totalité du vol sont stockées sur la carte SD liée à la carte arduino !

2) Exploitation des mesures

Dans un premier temps, il nous a fallu vérifier que les données en pression du seul capteur qui nous avait donné des valeurs cohérentes permettant d'accéder à l'altitude du ballon, à savoir celui de la carte arduino, étaient cohérentes avec les données GPS à notre disposition.

Altitude (en km) : **GPS**, modèle de nivellement barométrique, **modèle personnel**

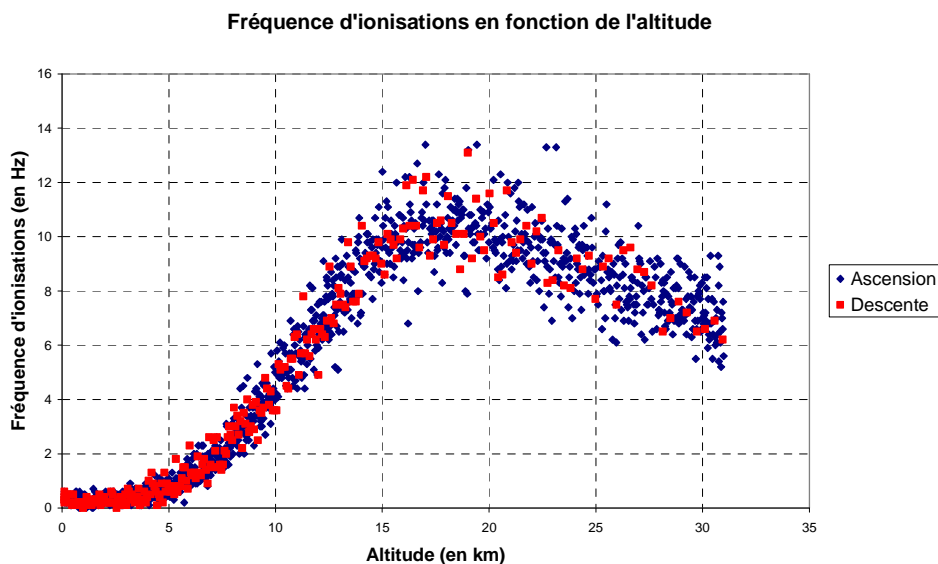


Altitude du ballon au cours du vol donnée par le GPS mais aussi la pression mesurée

On peut donc constater que le modèle de nivellement barométrique convient jusqu'à environ 12 km d'altitude puisque parfaitement cohérent avec les données du GPS. Ceci est donc cohérent avec la littérature qui prévoit une validité du modèle sur [0-11 km].

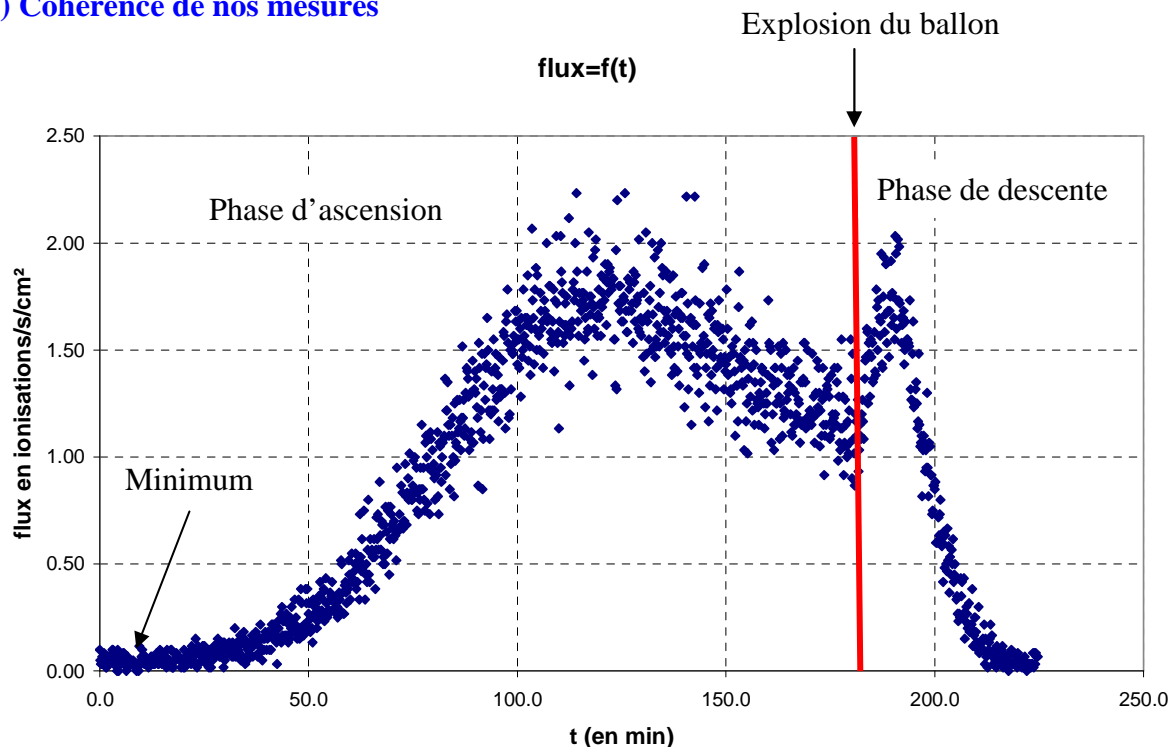
Ensuite, la modélisation que nous avons établie semble plus convenir même si au-delà de 20 km, nous pouvons noter un écart qui se creuse entre les données GPS et le résultat de notre calcul utilisant la pression (modèle vert ou personnel). Il nous faudra voir comment expliquer cela dans les semaines à venir. Néanmoins, grâce au capteur de pression, nous avons pu estimer le temps d'ascension du ballon à 180 min, soit 3h de vol, avec une altitude atteinte comprise entre 30 et 31 km. Le ballon a donc eu une vitesse moyenne d'ascension de $2,8 \text{ m.s}^{-1}$ contre 5 m.s^{-1} attendue.

Dans un second temps, nous avons tracé le graphique représentant la fréquence d'ionisation en fonction de l'altitude dont voici ci-dessous un premier résultat :



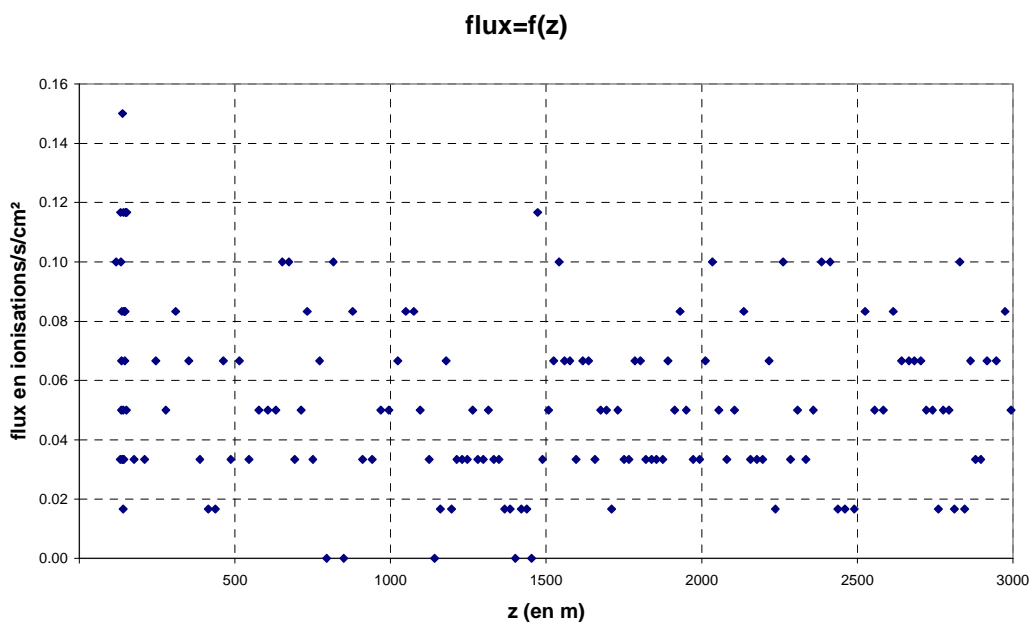
D- Interprétations de nos mesures

1) Cohérence de nos mesures



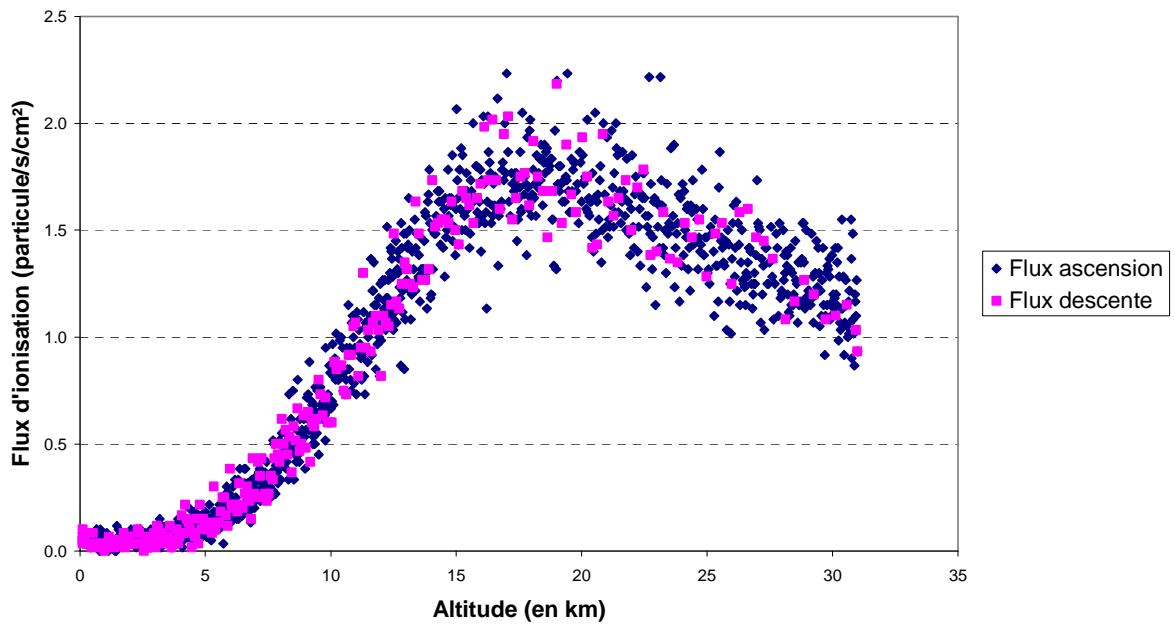
Nous constatons sur cette courbe :

- Une certaine « symétrie » après 180 min, soit 3h d'ascension du ballon avant d'explorer sur le flux de particules détectées. Nous avons bien deux maximums du flux qui sont cohérents (environ 2 ionisations/s/cm²), l'un correspondant à l'ascension et l'autre à la descente
- Très difficilement, mais a priori, une légère décroissance du flux sur les 1000 premiers mètres d'ascension ; avec un zoom, nous constatons en effet qu'au-delà de 800m, on peut avoir un flux nul de temps en temps jusqu'à 1500m, c'est-à-dire que notre détecteur a été 10 secondes sans détecter une seule particule, étant donné que la carte a été programmée pour enregistrer pendant 10 secondes avant de calculer la fréquence des ionisations. Il est tout de même difficile de conclure avec un tube de surface aussi faible.



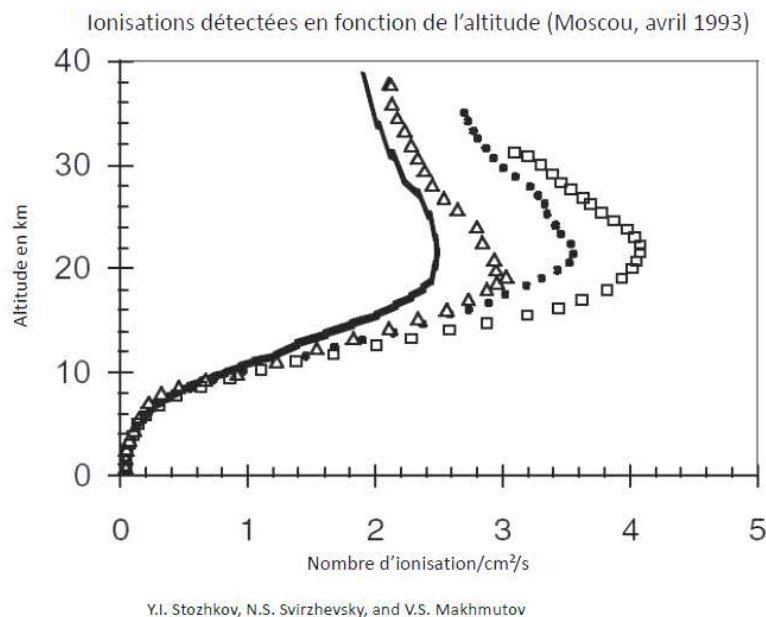
- Que le nombre d'ionisations par seconde et par cm^2 donc de particules détectées augmente avec l'altitude jusqu'à 17-18 km d'altitude pour stagner jusqu'à 20km d'altitude avant de décroître ;

Flux de particules détectées au cours du vol



Nous nous sommes posé alors un certain nombre de questions :

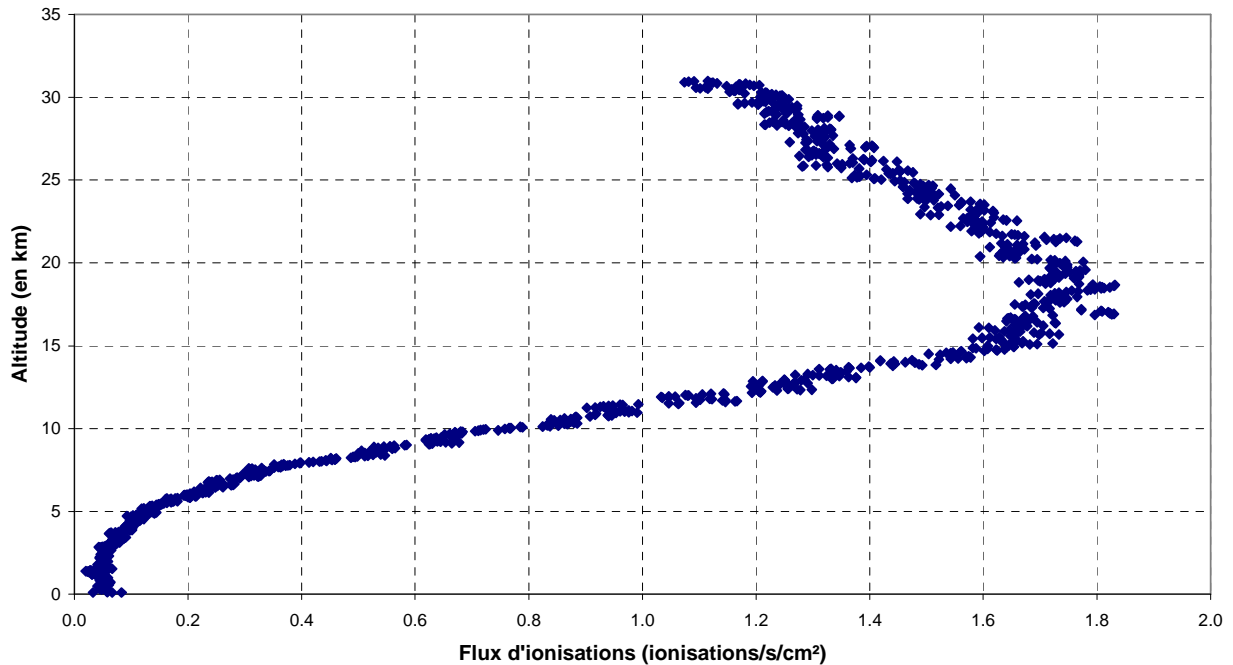
- La première sur cette stagnation apparente : est-ce que le compteur arrivait à suivre avec ce nombre d'ionisations donc de particules important. La documentation fournie avec le détecteur acheté, nous a indiqué que chaque pic en sortie du détecteur durait 100 ns, donc que le détecteur était en mesure de compter 100 millions de particules pas s. Nos mesures n'ont pas excédé 2,2 ionisations/s/ cm^2 , soit 13 ionisation/s.
- Est-ce que nos mesures sont cohérentes avec celles faites par les scientifiques ? Trouver des données correspondant aux nôtres venant d'études scientifiques n'a pas été simple. Nous avons trouvé des mesures dans un compte-rendu d'élèves de Guérande.



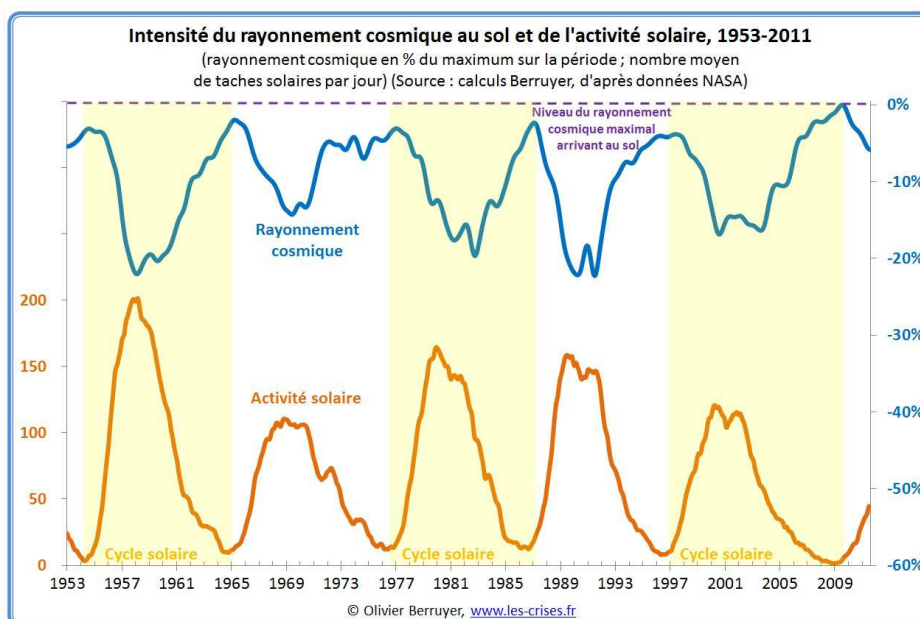
Ce graphique nous montre l'ionisation par des particules chargées en ionisation/cm²/s. Les 4 courbes correspondent à 4 lâchers de ballons le 12, 13, 14 avril 1993 à Moscou aux dires de nos homologues.

La variation des mesures effectuées à seulement 24h d'intervalles nous a fortement surpris et nous n'avons malheureusement pas d'explications.

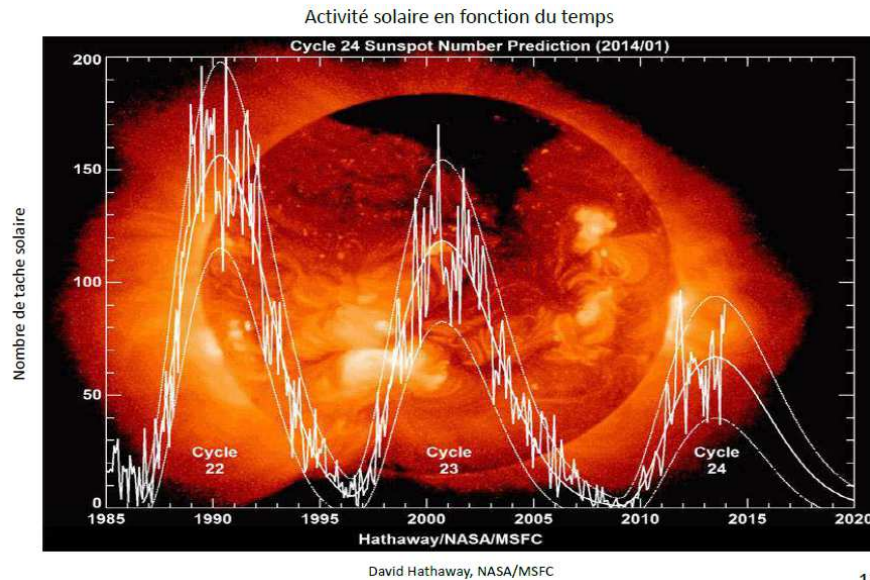
Flux d'ionisations en fonction de l'altitude



Nous constatons que l'allure de notre courbe, une fois la même disposition adoptée, est semblable. Nous avons été surpris de constater que notre maximum de flux est de 1.7 à 1,8 ionisations/s/cm², très en dessous de celui mesuré à Moscou, qui culmine à 4,2 ionisations/s/cm². Nos homologues ont attribué cette valeur élevée à une activité solaire plus élevée au moment de ces mesures. Cependant au cours de nos recherches, nous avons trouvé des documents qui montrent qu'en période de fortes activités solaires, le rayonnement cosmique est moindre.



En effet, nous avons découvert qu'une partie du rayonnement galactique est déviée par le champ magnétique transporté par le vent solaire. En effet, l'atmosphère du Soleil laisse échapper en permanence un flux de particules qui remplit tout le milieu interplanétaire, que l'on appelle le vent solaire. Les caractéristiques, notamment magnétiques, du vent solaire varient avec l'activité solaire et induisent un champ qui repousse le rayonnement cosmique de la Terre. Ainsi, ce rayonnement atteignant la Terre est moindre lorsque l'activité solaire est forte. Au niveau de la Terre, le rayonnement suit donc, comme l'activité du soleil, un cycle de onze ans. »

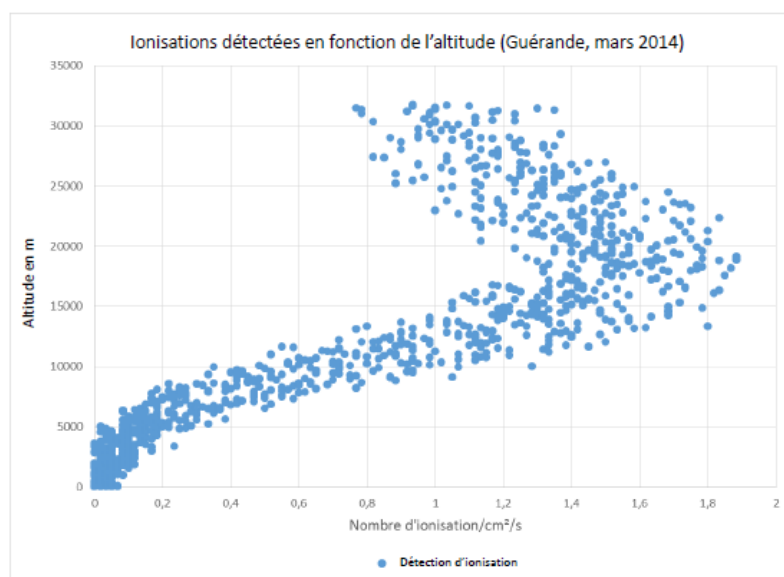


12

L'activité solaire sur 2016 semble très proche de celle en 1993.

Nous pensons donc que cette nette différence de flux peut être reliée à la différence d'altitude entre Moscou et Tours. En effet, en se rapprochant du pôle Nord, les particules cosmiques pénètrent plus. La différence de latitude semble donc être aussi à prendre en compte !

Il est certain que beaucoup d'explications nous échappent comme la fiabilité de notre détecteur. Parvient-il à détecter tout le rayonnement cosmique ? Vendu pour ne détecter que la radioactivité β (électron et positon) alors que celui de nos homologues de Guérande était censé détecter la radioactivité α en plus, ceci nous a interpellés. Cependant en comparant leurs résultats aux nôtres, nous avons été rassurés de voir que leurs valeurs étaient proches des nôtres mais également de celles d'un autre établissement faite la même année (2014) avec le même détecteur que nous.



2) Pourquoi ces mesures nous ont-elles surprises ?

Nous avons, dans un premier temps, été surpris du fait que le nombre de particules détectées augmente avec l'altitude. En effet, cela n'était pas cohérent avec la représentation première que nous nous étions fait de l'évolution de ce nombre de particules au fur et à mesure que l'on se rapprochait du sol. Voyant la plupart des représentations de gerbes cosmiques qui étaient faites, nous pensions naturellement que le nombre de particules cosmiques aurait dû augmenter au fur et à mesure que l'on se rapprochait du sol. La représentation ci-dessous en attestant.

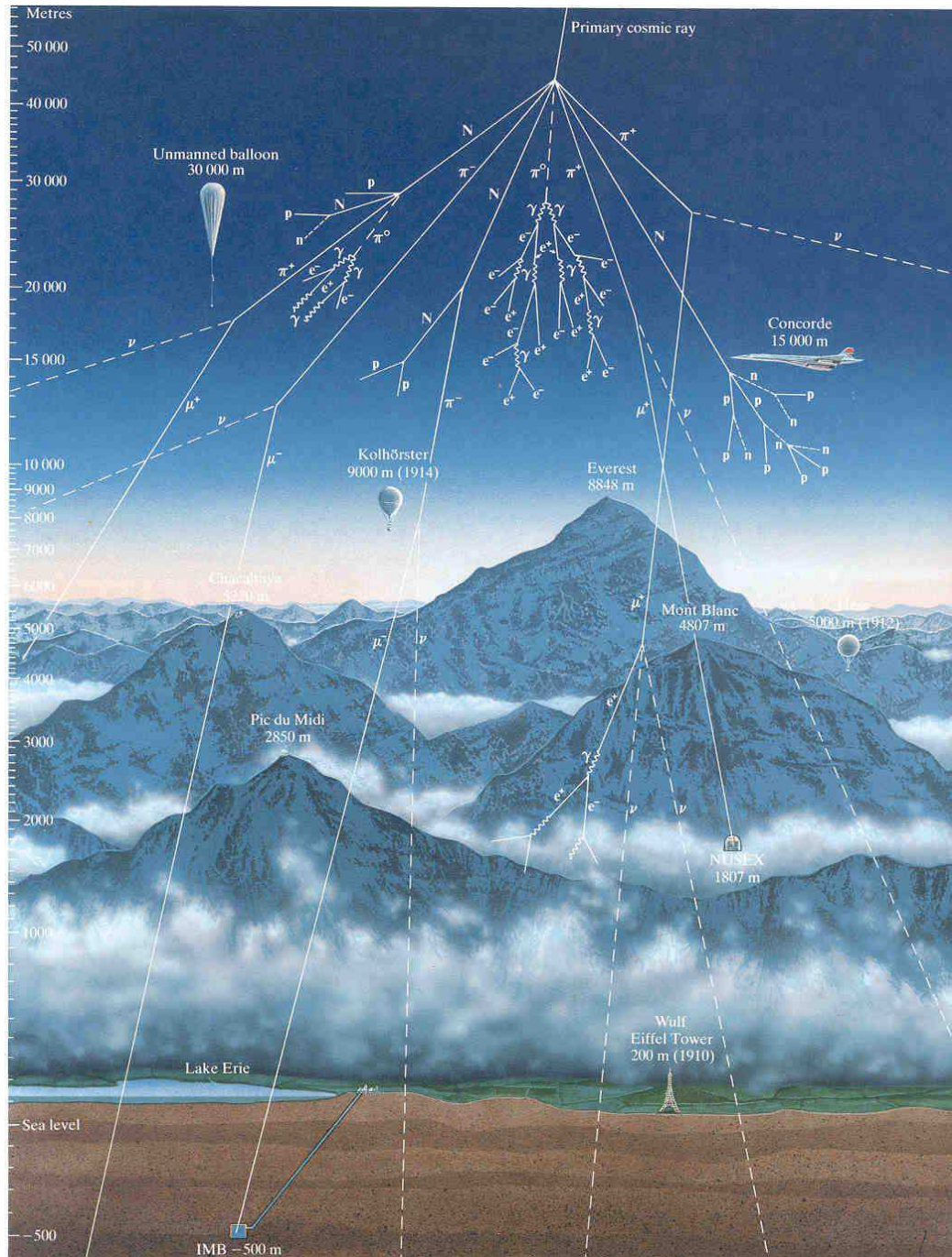


Vue artistique de gerbes de rayons cosmiques ultra-énergétiques
(ASPERA/Novapix/L. Bret)

Cependant, en regardant de plus près le titre de cette image, « rayons cosmiques ultra-énergétiques », Loïc Vilain de la faculté des Sciences de Tours, nous a expliqué que ce type de rayonnement cosmique très énergétique est excessivement rare et que la plupart des particules et rayonnements de la gerbe n'atteignent pas le sol avec un rayonnement cosmique primaire courant soit par désintégration soit par absorption.

En effet, la plupart des particules qui vont se former suite aux collisions avec des noyaux de l'atmosphère terrestre sont instables ou plus exactement radioactives donc vont se désintégrer et bon nombre d'entre elles vont donner lieu à de nouvelles particules moins énergétiques et un rayonnement électromagnétique. Ces particules ne seront pas toutes suffisamment énergétiques pour donner lieu à de nouvelles particules par collision, et le rayonnement électromagnétique sera la plupart du temps absorbé par des atomes et molécules de l'atmosphère conduisant à leur excitation puis désexcitation avec émission dans des directions quelconques.

Ainsi la plupart des « rayons cosmiques » n'atteindront pas le sol ! La représentation ci-dessous est bien plus cohérente avec nos observations, faisant apparaître un maximum de particules et rayonnement autour de 20 km comme nous avons pu le constater.



Gerbe de particules issue d'un rayonnement cosmique faiblement énergétique
http://www.ulb.ac.be/sciences/intra/inforsc_archives/nrj/vilain_fichiers/vilain_pic3.html

CONCLUSION

La courbe sur l'évolution du nombre de particules détectées en fonction de l'altitude est une réussite parce qu'elle semble en accord avec celle obtenue par les scientifiques. Certes, au commencement, nous avons été surpris par nos mesures, mais cette surprise nous a poussés à faire un certain nombre de recherches dans le domaine des rayons cosmiques. Merci à Viktor Hess et aux autres scientifiques qui nous ont permis de mieux comprendre ce phénomène. Il nous reste encore du travail et des échanges avec des scientifiques, tel Loïc Vilain de faculté des sciences de Tours, pour maîtriser un peu mieux ces phénomènes mais nous avons répondu à notre problématique.

Cependant, nous restons frustrés de l'échec de la liaison avec l'émetteur kiwi. Nous envisageons un nouveau lâcher de ballon courant avril mais cette fois-ci solaire ne nécessitant pas l'intervention d'un aérotechnicien de Planète Sciences. Il n'irait pas aussi haut, mais il nous permettrait de voir si notre programmation pour envoyer le nombre de particules détectées au sol au cours du vol fonctionne et fourni des données cohérentes avec les mesures stockées sur carte SD. Et puis nous espérons cette fois pouvoir partir à la poursuite de la chaîne de vol avec le concours des radioamateurs du REF37.



A 30 km d'altitude après 3h de vol