An aerial photograph of a coastal region, showing a road that curves along the edge of a field. The field is divided into numerous small, rectangular plots, likely agricultural. The background shows a clear blue sky and a distant horizon line.

Projet Ariane S6

Travaux Personnels Encadrés
des élèves de Première S6 Sciences de l'Ingénieur
Lycée Bréquigny, Rennes

Pascal Lion

Projet Ariane S6

Travaux Personnels Encadrés
des élèves de Première S6 Sciences de l'Ingénieur
Lycée Bréquigny, Rennes

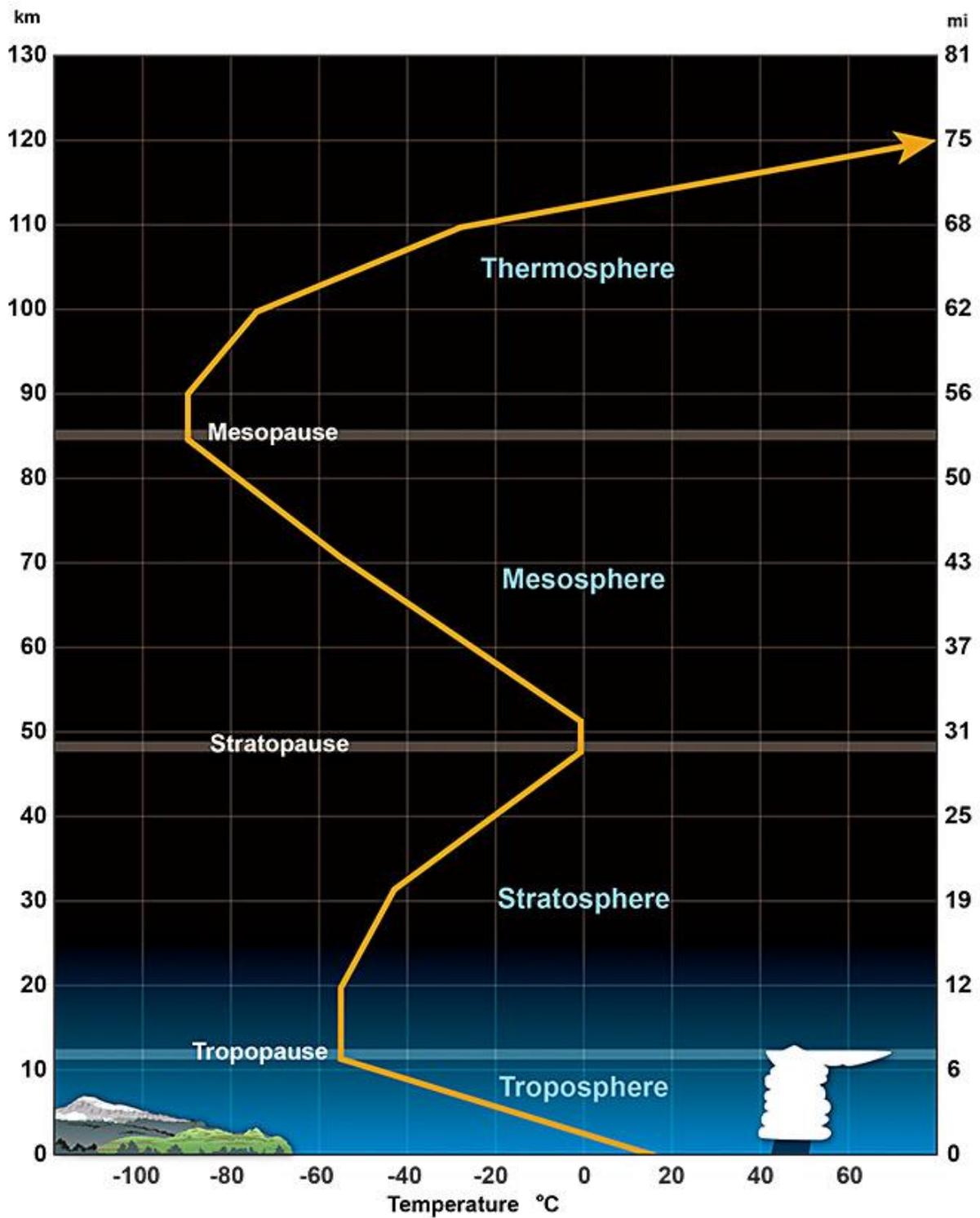
Pascal Lion

Septembre 2016 – Juin 2017



Table des matières

Le projet	7
1) Présentation du projet	7
2) Le projet	11
L'équipement de la nacelle	21
1) La nacelle	21
2) L'alimentation.....	38
3) La communication radio par l'émetteur KIWI.....	44
4) Les capteurs de pression	50
5) Les capteurs de température	65
6) Les capteurs UV et infrarouge.....	73
7) Les capteurs Arduino : humidité – vitesse du son – GPS.....	81
8) Mesurer la pollution en altitude	84
9) La prévision et le suivi de la trajectoire.....	91
10) Les caméras et l'appareil photo	107
Le jour J.....	113
1) Organisation du jour J – Logistique	113
2) Déroulement du jour J.....	122
Le traitement et l'analyse des données	141
1) Débriefing.....	141
2) Les données transmises par télémesure	150
3) Les données du capteur de pression – l'altitude.....	151
4) Les données des capteurs de température	163
5) Les données des capteurs UV et infrarouge.....	177
6) Les données des capteurs Arduino : humidité et vitesse du son	184
7) Les données GPS.....	193
Retour sur le jour J, en images	204
Conclusion	209
Remerciements	215
Annexes	216
DATASHEETS et documentation.....	224



Source : l'agence américaine N.O.A.A. (National Oceanic and Atmospheric Administration)

<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/atmos/layers.html>

Le projet

1) Présentation du projet

1) Un projet en Travaux Personnels Encadrés (TPE)

Nous sommes trois enseignants (Philippe Roca et Patrick Lamé, enseignants de sciences de l'ingénieur et moi-même, enseignant de physique) à encadrer les **TPE** (Travaux Personnels Encadrés) de 14 élèves d'une classe de première S Sciences de l'Ingénieur (1S6) et nous avons décidé de leur proposer un projet scientifique tourné vers l'espace et la météorologie.

Quel est ce projet ?

Il s'agit d'envoyer dans la stratosphère un ballon gonflé à l'hélium emportant avec lui une nacelle équipée de capteurs. L'objectif est d'étudier notre atmosphère jusqu'à des altitudes de l'ordre de 30000m.

Les questions qu'on se pose :

Comment et pourquoi des paramètres comme la pression, la température ou l'humidité varient avec l'altitude ? Jusqu'où y a-t-il de l'air ? Où commence l'espace ? Comment voit-on notre planète de là-haut ? Autant de questions qui en appellent d'autres et auxquelles notre projet pourrait apporter des réponses.

Comment allons-nous faire ?

Il faut s'interroger sur les moyens de mesurer les paramètres qui nous intéressent. Nous allons choisir des capteurs, les mettre en œuvre et les étalonner. Il faudra aussi réaliser la nacelle qui contiendra tout notre équipement et assurer une bonne isolation thermique pour que tout fonctionne. Il faut penser aussi à l'alimentation électrique. Nous pourrions installer un appareil photo, une caméra pour rapporter des images de là-haut. Et il faudra étudier le vol du ballon, faire des prévisions de trajectoire en fonction de la météo, des vents en altitude. Et il faut pouvoir communiquer avec la nacelle, au moins pour pouvoir la retrouver après son vol...

Comment serons-nous aidés ?

Notre projet s'inscrit dans une opération menée par l'association « Planète Sciences » (voir plus bas). Un suiveur, bénévole de l'association, suivra notre projet. Le ballon et l'hélium seront fournis par le CNES, ainsi que le parachute, l'émetteur radio Kiwi et le matériel de réception.

Pourquoi ce projet ? Pour qui ?

Il s'agit d'un projet scientifique et technique qui s'inscrit bien dans la démarche des Sciences de l'Ingénieur. Il en a les caractéristiques : une démarche en 3 étapes, **conception à partir d'un cahier des charges, simulation et expérimentation**. Dans l'esprit des TPE, les élèves vont d'abord devoir se documenter sur le sujet, de manière générale puis en affinant la **recherche** sur la partie d'étude qui les concerne. De cette approche théorique ils vont passer à la pratique. Il faut **concevoir, fabriquer et mettre au point** tous les éléments constitutifs du projet : nacelle, alimentation, capteurs... Tout ce travail devra se faire **en équipes, dans un esprit collaboratif, avec une coordination des équipes** qui pourra être proposée à un élève.

Un tel projet permet de **réinvestir et renforcer des savoirs acquis et en développe de nouveaux**. Tout en abordant l'étude de l'atmosphère, ce projet s'inscrit dans une démarche rigoureuse et minutieuse typique du **domaine spatial**. Nous sommes à la **croisée des différentes disciplines scientifiques** : sciences de l'ingénieur, sciences physiques, sciences de la vie et de la Terre, mathématiques.

Il met en avant l'**autonomie** et l'esprit d'**initiative**.

Il prépare les élèves aux **méthodes de travail et d'organisation** qu'ils vont rencontrer dans l'enseignement supérieur et plus tard dans le milieu industriel ou la recherche.

2) Partenariat avec Planète Sciences et le CNES

a) Planète Sciences

Sur son site, Planète Sciences définit ainsi ses missions :

Planète Sciences est une association sans but lucratif, créée en 1962. Organisée en réseau comportant 11 délégations régionales, elle s'appuie sur 1 000 bénévoles et 80 permanents.

Planète Sciences a pour objectifs de favoriser, auprès des jeunes de 8 à 25 ans, l'intérêt, la découverte, la pratique des sciences et des techniques et d'aider les enseignants, les animateurs, les éducateurs, les chercheurs et les parents dans leurs activités vers les jeunes. Chaque année, environ 100 000 jeunes participent à nos activités.

*Planète Sciences propose aux jeunes de participer à un projet éducatif global, avec une approche ludique, favorisant la pratique expérimentale des sciences et des techniques. Au-delà d'une découverte et d'une meilleure compréhension des sciences et techniques, notre démarche leur permet, par une participation active, de **passer de la théorie à la pratique**, de l'idée projetée à sa concrétisation, à l'expérimentation. Le pari est, qu'autour d'un projet mené en équipe, ils le réalisent de bout en bout. **Ces étapes s'inspirent des pratiques utilisées dans les laboratoires de recherche et l'industrie.***

Un ballon pour l'école [Du cycle III au lycée] :

Menée avec le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) depuis 1992, l'opération met à la disposition des établissements scolaires, des ballons et des moyens de lâcher associés. Ils permettent l'embarquement d'expériences scientifiques (mesures de température, de pression, d'hygrométrie, appareil photo) à bord d'une nacelle qui peut atteindre jusqu'à 30 km d'altitude durant 2 à 3 heures. Certaines nacelles embarquent un émetteur qui transmet les mesures effectuées pendant toute la durée du vol.

Pour plus d'informations : <http://planete-sciences.org/espace/spip.php?rubrique11>

70 établissements du premier et second degré sont concernés. Un bénévole (traditionnellement surnommé "suiveur") sera désigné pour chaque classe retenue et intervient au moins trois fois dans l'année.

Le suivi des projets et le matériel de lâcher (chaîne de vol et hélium) sont dans la plupart des cas financés par le CNES. Les établissements scolaires n'ont donc à leur charge que la construction de la nacelle expérimentale et une participation réduite.



L'opération UBPE (Un Ballon Pour l'Ecole) en quelques chiffres :

- *2,5 kg maximum pour la nacelle expérimentale*
- *60 ballons décollent chaque année de*
- *70 départements français*
- *2500 jeunes participent à l'activité chaque année*
- *30 000 m, c'est l'altitude jusqu'à laquelle peut aller le ballon stratosphérique !*

L'opération favorise la réalisation de projets à caractère scientifique et technique et offre aux enseignants un support d'apprentissage de savoirs et de méthodes qui s'intègrent dans les programmes scolaires :

Quelles expériences pour quel niveau scolaire ?

La nacelle expérimentale peut être réalisée par des jeunes de l'école primaire jusqu'au lycée ! Le choix des expériences et l'initiative des élèves dépendront de leur niveau. Les expériences peuvent être simples (ex : thermomètre minima/maxima, baromètre à mémoire...) ou complexes (ex : mesure de rayonnement ultraviolet et envoi des données par radio...) Les limites sont souvent davantage dues à l'imagination des expérimentateurs qu'à leurs connaissances techniques !

*Cette opération scolaire est rendue possible grâce à la participation de nombreux **bénévoles** partout en France. Elles bénéficient du soutien de partenaires tels que le **Ministère de la Jeunesse, de l'Education Nationale et de la Recherche**, ainsi que de **collectivités locales**.*

Sélection des projets 2016-2017 :

En milieu scolaire	9	Lycée CONDE	25000	BESANCON
En club	10	Lycée Toussaint L'Ouverture	25300	PONTARLIER
Parcours	11	Lycée Albert Triboulet	26100	ROMANS SUR ISERE
Formations	12	Ecole Primaire Publique	26740	LA LAUPIE
Vie associative	13	Lycée Jehan de Beauce	28000	CHARTRES
Ressources	14	Lycée des Métiers Sully	28400	NOGENT LE ROTROU
Trajectoire	15	Lycée Déodat de Séverac	31000	TOULOUSE
Électronique	16	Lycée Marcellin Berthelot	31000	TOULOUSE
Télémesures	17	Ecole Sainte Marthe	31330	GRENADE SUR GARONNE
Calendrier	18	Collège François de Belleforest	32130	SAMATAN
Archives	19	Collège Jean Zay	33150	CENON
Liste des clubs	20	Ecole primaire Louis Prunet	34490	THEZAN LES BEZIERS
Liens	21	Collège Paul Dardé	34700	LODEVE
Partenaires	22	Lycée René Descartes	35200	RENNES
Contact	23	Lycée Bréquigny	35200	RENNES
Secteur espace	24	Lycée de la Vallée	35300	RENNES
Feuille de chou	25	Collège Fernand Bouvier	38440	SAINT JEAN DE BOURNAY
Permanences	26	Lycée Edgar Faure	39570	MONTMOROT
PlaSci.ab (Fab Lab)	27	Lycée ND Château	43120	MONISTROL SUR LOIRE
Délégations régionales	28	Lycée Voltaire	45000	ORLEANS
Trombinoscope	29	Collège Lucie Aubrac	45700	VILLEMANDEUR
	30	Lycée de L'Hyrome	49120	CHEMILLE
	31	Collège Jean Racine	49170	SAINT GEORGES SUR LOIRE
	32	Ecole élémentaire Publique	50190	PERIERS
	33	Collège la Chaussonnière	50300	SAINT MARTIN DES CHAMPS
	34	Ecole Lessay	50430	LESSAY
	35	Lycée Jules Renard	58000	NEVERS
	36	Lycée Queneau	59000	VILLENEUVE D'ASCQ
	37	Collège Théodore Monot	59100	ROUBAIX
	38	Collège Bussat	59300	RENNES

b) Le CNES, partenaire du projet :

Sur wikipédia : « *Le **Centre national d'études spatiales (CNES)** est un établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) chargé d'élaborer et de proposer au gouvernement français le programme spatial français et de le mettre en œuvre. Le CNES dispose d'un budget de 1,911 milliard d'euros en 2010, ce qui reste le plus important en Europe.* »

Depuis plus de 50 ans, le CNES entretient une activité « ballons », une des plus importantes au monde. Il s'agit de faire voler principalement des ballons « libres », sans lien avec le sol, qui n'emportent jamais de passager mais uniquement des appareils au fonctionnement automatique.

Objectifs	Étude de l'atmosphère, l'astrophysique et la météorologie
Types de ballons	Ouverts, pressurisés, captifs, marins
Bases de lâcher	Aire sur l'Adour (Landes), Kiruna (Suède), Timmins (Canada), Seychelles, Mac Murdo (Antarctique)
Partenaires	LATMOS, LMD, LPCE LATMOS, LMD, LPCEE, LPMAA, LOA, LSCE, CNRM, CETP, CNRM, LGGE, IRAP, IAS, LAM E, LPMAA, LOA, LSCE, CNRM, CETP, CNRM, LGGE
Altitude de vol	De quelques mètres du sol à plus de 40 km
Durée de vol	De quelques heures à plusieurs mois

2) Le projet

1) Composition de la chaîne de vol et déroulement du vol

Explication sur le site du CNES :

Un ballon expérimental est constitué de plusieurs éléments qui forment **la chaîne de vol** :

- **l'enveloppe**, fabriquée avec un matériau très élastique de quelques microns d'épaisseur et gonflée à l'hélium,
- **le parachute**, préalablement inséré dans la chaîne de vol et s'ouvrant après éclatement du ballon pour freiner la descente de la nacelle,
- **le réflecteur-radar**, utile pour repérer le ballon dans le ciel,
- **la nacelle** (ou charge utile) contenant les expériences scientifiques conçues et réalisées par les élèves. Elle peut embarquer un système de télémétrie qui transmet au sol les résultats des expériences en temps réel. Elle répond à un cahier des charges qui garantit la sécurité dans la mise en œuvre.

L'altitude moyenne avant éclatement est de 30 km pour une charge utile de 2,5 kg maximum et une **durée de vol de l'ordre de 3 heures**.

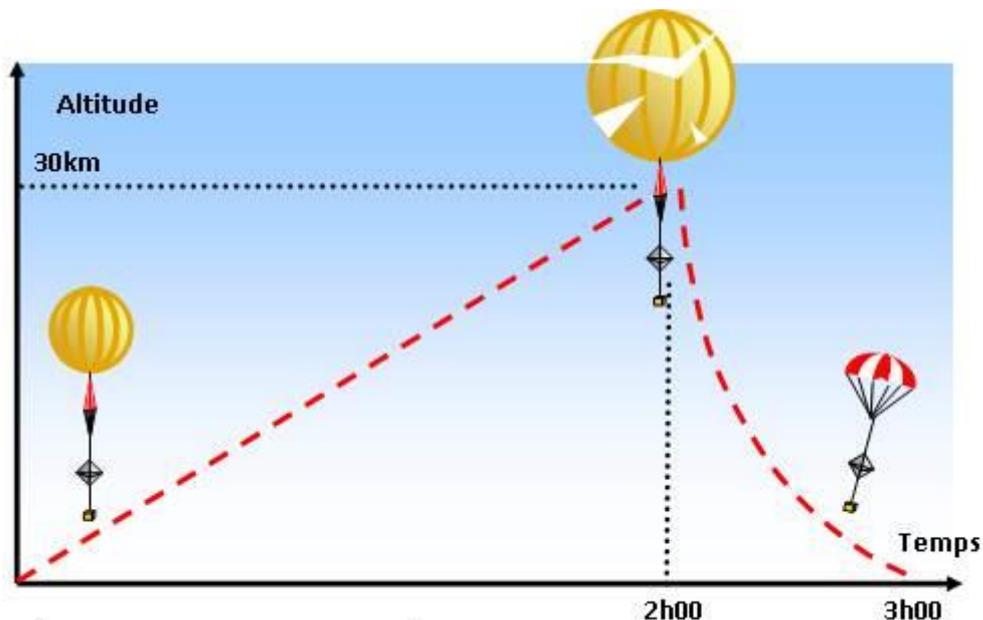
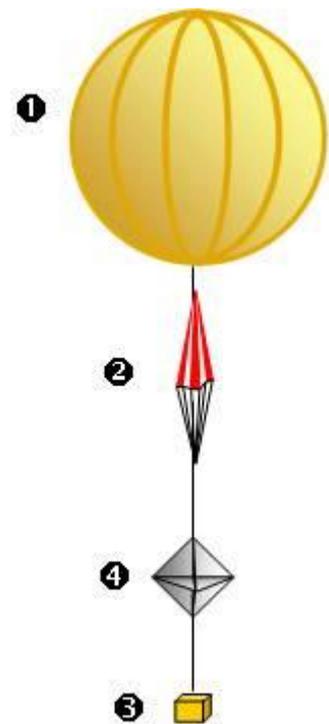


Fig 3 : Profil de vol typique d'un ballon léger dilatible

Le ballon est gonflé au sol de manière à acquérir une **force ascensionnelle libre** représentant typiquement **20% de la charge** soulevée.

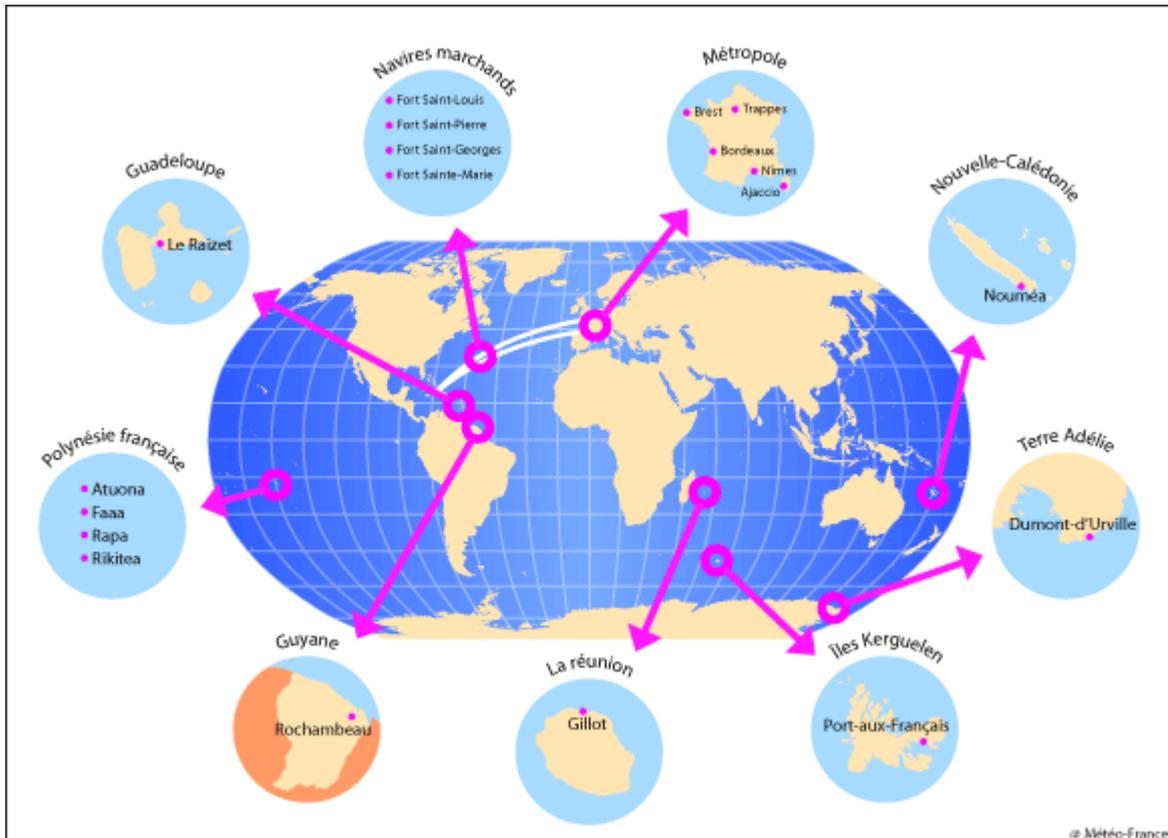
Cette valeur garantit une **ascension continue** sans risque de plafonnement et confère à l'ensemble une **vitesse ascensionnelle** de l'ordre de **400 m/min**.

La **diminution de pression** extérieure lors de l'ascension, engendre, puisque le ballon est **dilatible**, une **augmentation du volume** de l'enveloppe jusqu'à la **rupture**.

La **fin du vol** est donc déterminée par **l'éclatement de l'enveloppe** et intervient après **2h00** d'ascension en moyenne, à une altitude d'environ **30 km**.

2) A quoi servent les ballons sondes ?

Prévoir le temps qu'il fera demain nécessite de connaître l'état de l'atmosphère au sol mais aussi en altitude. Météo France envoie donc des ballons sondes tous les jours à 0h UTC et 12h UTC à partir de 5 sites répartis sur la métropole (Brest, Trappes, Bordeaux, Nîmes et Ajaccio), plus d'autres sites en outre-mer ainsi que du pont des navires transatlantiques.



<http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/observer-le-temps/moyens/les-radiosondages>

Conformément à la convention de l'**Organisation Météorologique Mondiale** (MMO) ces lâchers ont lieu partout dans le monde aux mêmes heures (0h UTC et 12h UTC). Les données mesurées sont mises en commun par les organismes météorologiques nationaux et permettent à tous d'accéder à la connaissance des caractéristiques de l'atmosphère partout dans le monde et à toutes les altitudes : pression, température, humidité, vitesse du vent, ...

Ces données sont traitées par des supercalculateurs parmi les plus puissants du monde car les données sont nombreuses et les algorithmes de plus en plus complexes. A Météo France, « *entre 1992, date d'acquisition du premier supercalculateur, et fin 2016, la puissance de calcul théorique a été multipliée par plus de 2 500 000* » (source Météo-France). Le traitement des données permet bien sûr d'obtenir des prévisions météo mais également de « *reconstituer les conditions climatiques passées à partir d'archives d'observations ou d'en simuler les évolutions futures. Enfin, ils sont utilisés dans la recherche sur les phénomènes atmosphériques.* »



1 des 2 **superordinateurs** Bull DLC B710 installés à Météo France à Toulouse en 2014 (puissance crête totale actuelle de 5 Pétaflops, soit 5 millions de milliards d'opérations par seconde)

Notre projet va permettre d'initier nos élèves au traitement des nombreuses données que nous allons recueillir, avec nos moyens certes modestes, mais qui nécessitent déjà une bonne organisation et un travail rigoureux.

Belaïd, un collègue bénévole à Planète Sciences depuis de nombreuses années, nous a montré une de ces **sondes M10** que Météo France envoie quotidiennement dans la stratosphère.



Notre nacelle sera plus volumineuse car 15 élèves vont y loger leurs expériences scientifiques.

3) Budget du projet

Planète Sciences et le CNES financent :

- L'hélium.
- L'émetteur radio Kiwi et l'antenne de réception avec son démodulateur (en prêt).
- Le réflecteur radar, la ficelle.

Reste à la charge du lycée :

- Les matériaux : polystyrène, colle, scotch large et résistant.
- Les capteurs : 3 capteurs de pression type MPX, 3 capteurs de température type CTN, 1 capteur UV, 1 capteur infrarouge, 1 capteur d'humidité DHT-22, 1 module télémètre à ultrasons, 1 capteur GPS.
- Câble blindé.

- 3 cartes Arduino Uno.
- Des piles 3LR6 + des piles AAA lithium
- Appareil photo Kodak (acheté 50€ par Patrick, notre collègue)

+ à ma charge

- Traceurs GPS TK-102 (1 acheté l'an dernier à 30€ +1 à 120€) + cartes micro SD + abonnement opérateur téléphonique
- Caméra Takara CS-10 + carte SD rapide 16 Go (100€)
- 2 batteries auxiliaires 2500 mAh pour les caméras

4) Répartition du travail en équipes

Cette année nous avons décidé d'avancer suffisamment la date du lâcher du ballon pour permettre aux élèves d'exploiter les données recueillies et qu'ils puissent ainsi présenter leurs analyses à l'oral de TPE en Mars. Le travail devra donc être plus concentré et efficace mais nous comptons bénéficier de l'expérience acquise lors du 1^{er} projet l'an passé.

a) Chronologie

La première séance débute par la présentation des textes officiels encadrant les TPE. Puis nous proposons le projet de ballon stratosphérique. Pour illustrer notre propos, nous projetons le film tourné sur le projet de l'an passé. Le projet semble recueillir l'adhésion des élèves. Du moins personne ne témoigne d'opposition. Les élèves sont ensuite invités à prendre connaissance de la documentation disponible sur le site de Planète Sciences, en particulier le cahier des charges du projet. Enfin, pour évaluer les connaissances acquises sur le projet, nous distribuons aux élèves un questionnaire qu'ils doivent compléter par des idées personnelles d'expérimentation pouvant s'insérer dans le projet.

A la deuxième séance, nous dressons un bilan du questionnaire et des idées personnelles. Les élèves n'ont pas été très inspirés et n'ont pas beaucoup proposé d'idées en dehors de prendre une belle photo de la Terre vue de là-haut.

Nous proposons donc des thèmes de travail sur lesquels nous invitons les élèves à s'inscrire par équipe de 2 : conception de la nacelle et étude thermique, capteurs de pression, prévision de trajectoire, etc... Les élèves ont la possibilité de proposer un thème de leur choix mais ils préfèrent visiblement s'inscrire sur les thèmes proposés.

Un élève, **Florian**, se porte volontaire pour assurer le **rôle de coordonnateur du projet**. C'est une nouvelle idée cette année, impliquer un élève dans l'organisation du projet et la coordination des équipes. Florian va d'ailleurs très bien s'en acquitter. Il devra gérer le planning pour que tout soit prêt le jour J : planifier les différentes phases d'avancement de chaque équipe en tenant un agenda à plusieurs entrées (**diagramme de Gantt**), parfois demander à certains retardataires d'accélérer leur travail, superviser les commandes, préparer la logistique du jour J, etc ...



date	Les 15 séances de préparation du projet (30 heures)	n°
1 ^{er} Juillet	Envoi du dossier à Planète Sciences	
Septembre	29 : Présentation du projet à la classe de 1S6	1
Octobre	4 : recherche documentaire sur le projet (présentation et cahier des charges sur le site de Planète Sciences) Questionnaire sur le projet à remplir + mes idées	2
	11 : bilan et correction du questionnaire : peu d'idées personnelles Proposition d'activités et inscription par équipes	3
	18 : attribution d'un cahier des charges par équipe Début des investigations sur le projet d'équipe	4
Novembre	8 : Choix des matériels – début des commandes Expérimentations à mener – simulations Gestion du projet par Florian : Gantt à réaliser (mesure de la vitesse du son : rien !)	5
	15 : 1^{ère} visite d'Erwan Vappreau, suiveur du projet , bénévole à Planète Sciences Présentation des projets ballons – caractère scientifique du projet encadré par le CNES. Conseils.	6
	22 : 1 ^{ers} essais des capteurs. Température : mesures de R (CTN) dans le congélateur. Pression : mesures de U en fonction de P. Alimentation : mise en place d'un test comparatif sur 3h de 3 piles 1,5V en série / 1 pile 4,5V débitant dans 14,7 Ω, le tout dans le congélateur. Nacelle : fabrication de 2 prototypes : en 3 cm et 4 cm d'épaisseur. Arduino : topo avec Patrick pour les équipes utilisant une carte Arduino (3 cartes).	7
	29 : Pression : amplification avec INA121. $V_{ref}=0V$ et $R_G=390\Omega$. Température : comparaison courbes $R= f(\text{temp})$ expérimentale et théorique. Nacelle : mesure de température interne – essai dans congélateur à -25°C. Humidité : étudier les nuages (taille, altitude, ...). Combien de photos par seconde ? Prévision de trajectoire : démonstration en classe entière d'une prévision sur le site CUSF predictor. Visualisation de la trajectoire sur Google Earth. Traceur GPS TK102-2 commandé chez Geotracer (119€)	8
Décembre	5 : réception de l'émetteur Kiwi (transmis par Erwan) Réception du traceur GPS TK102-2 Expériences dans le congélateur (nacelle + piles) réalisées et à exploiter. Pression : mesure avec l'ampli et $R_G=100\Omega$. Recherche du gain optimum. Sondage sur la motivation pour le projet suite à des remarques « désagréables » d'élèves et de parents au conseil de classe. Chacun doit rédiger un document de quelques pages sur son sujet : formuler sa problématique, expliquer le contexte, exposer les notions scientifiques de base concernant son sujet et proposer ce qu'on va faire aux prochaines séances.	9

	<p>13 : Matériel de réception radio (antenne et démodulateur) reçu (nous sommes allés le chercher dimanche 11 chez Belaïd à Vitré) et testé par Timothé et Marin. Apprentissage du maniement du logiciel Kicapt.</p> <p>Température : réalisation et essai du capteur (alim + CTN + résistance).</p> <p>Nacelle : étude à la caméra thermique.</p> <p>Localisation GPS : essais du traceur par Adrien.</p> <p>Trajectoire : recherches de Théo sur la poussée d'Archimède (expériences à prévoir).</p> <p>Alimentation : Ewen et Théo poursuivent leurs investigations.</p> <p>Programmation sur Arduino en cours (Maël – Zackarya – Thibault).</p> <p>Logistique du jour J : Florian commence à préparer l'organisation.</p> <p>Lancement de la fabrication des cartes électroniques des capteurs de pression.</p>	10
Janvier	<p>3 : Pression. J'ai commandé et reçu un capteur avec ampli intégré : le MPX 5100 AP. Timothé et Marin testent la télémessure avec ce capteur : quelques parasites... MPX 2200 AP + ampli INA121 testé en « fils volants » et télémessure : nombreux parasites à 135 MHz.</p> <p>Température : choix de la résistance 33 kΩ.</p> <p>Nacelle : mesure de températures dans le congélateur avec 2 piles 4,5V débitant dans 14,7Ω pendant 5 heures.</p>	11
	<p>10 : présentation de la vidéo « horizon » racontant un projet ballon par 2 jeunes (activité en dehors de l'école).</p> <p>Bilan des exposés écrits rendus la semaine passée.</p> <p>Nacelle : bilan à tirer sur une série de mesures de températures réalisées avec différentes puissances délivrées à l'intérieur de la nacelle : 1,4 W – 2,8 W – 4,2 W, nacelle plongée dans le congélateur pendant 5 heures.</p>	12
	<p>17 : 2^{ème} visite d'Erwan Vappreau, notre suiveur. Visite également de Jean-Yves, radio-amateur, notre passionné de chasse au ballon de l'an passé.</p>	13
	<p>24 : les préparatifs s'accroissent en vue du lancement dans 8 jours...</p>	14
	<p>31 : derniers préparatifs avant le lancement programmé pour le lendemain. Dernières prévisions météo et simulations de vol.</p> <p>Fixation des cordes au parachute, puis au réflecteur radar.</p> <p>Etiquettes et scotchs de renforts sur la nacelle.</p> <p>Préparation de tout le matériel à emmener au Q.G. demain matin.</p>	15
Février	Mercredi 1^{er} février : lancement du ballon.	
	<p>7 : débriefing – visionnage du film – début de l'analyse des données</p>	
	<p>28 : analyse des données – préparation d'un diaporama pour chaque élève.</p>	
Mars	<p>8-11 : voyage à Toulouse (Airbus, cité de l'Espace, ...)</p>	
	<p>23 : Présentation orale du projet par les 15 élèves (individuellement) lors de l'épreuve de bac des TPE.</p>	

b) Répartition du travail par équipes

Prénom NOM	Prénom NOM	Equipe	activités
Mathis Convers-Gourhant 	Glenn Desmons 	Equipe nacelle	conception de nacelle – étude thermique
Ewen Menuge 	Théo Argans 		alimentation électrique
Florian Rigal 			organisation – logistique
Antoine Le genre 	Erwan Hautbois 	Equipe capteurs	capteurs de température
Marin Boiteau 	Timothe Fournier 		capteurs de pression

<p>Laabid Zackariya</p> 		Equipe capteurs	capteur humidité
<p>Thibaut Blanchais</p> 			propagation du son
<p>Maël Pereira</p> 		Equipe images	photo
			caméra
<p>Théo Simon</p> 		Equipe trajectoire	prévision de trajectoire
<p>Adrien Lecomte</p> 			suivi GPS du ballon

c) Notre projet et le B.I.A. : le Brevet d'Initiation à l'Aéronautique

Il est intéressant de constater que les domaines de connaissances abordés dans ce projet font partie de ceux enseignés dans le cadre du B.I.A. : le Brevet d'Initiation à l'Aéronautique. On peut lire dans le bulletin officiel n°11 du 12 mars 2015 définissant le programme du B.I.A.:

« La France est un grand pays d'aéronautique, par son histoire, par l'importance et la diversité de ses pratiques, par la richesse et le dynamisme de son industrie. Elle est porteuse d'une véritable culture scientifique et technique de l'aéronautique et du

*spatial où se mêlent toutes à la fois une aviation sportive et de loisir, variée et vivante, une aviation militaire prestigieuse, une aviation civile dynamique et innovante. La diversité des métiers, des pratiques, professionnelles ou amateurs, est animée par une même passion et une grande **exigence de rigueur**.*

*Le secteur aéronautique est un des secteurs les plus dynamiques de l'industrie et du commerce français. Nos avionneurs sont à la pointe de la technologie et beaucoup d'innovations dans ce domaine ont été et sont françaises. Toutefois, les métiers de l'aéronautique et du spatial et les filières de formation correspondantes sont encore souvent **ignorés ou méconnus du grand public et notamment des élèves** et de leurs parents.*

*Dans ce domaine **pluridisciplinaire**, il est donc intéressant de proposer au plus grand nombre une initiation à la culture scientifique et technique aéronautique et spatiale à la croisée des secteurs professionnels, sportifs et éducatifs.*

Méthodologie et activités des élèves

*L'enseignement se fera par une approche aussi **concrète** que possible.*

La relation avec les autres enseignements traditionnels sera recherchée.

Les exposés seront illustrés abondamment de schémas, de photos, de maquettes, d'animations ou de vidéos pour faciliter la compréhension et l'assimilation.

*L'aérodynamique et la mécanique du vol pourront faire l'objet d'**expérimentations** permettant de montrer les phénomènes mis en jeu.*

*La **simulation** de vol pourra aussi être utilement mise en oeuvre pour faciliter l'assimilation des notions abordées au cours de cet enseignement.*

La préparation de voyages aériens permettra de concrétiser la plupart des notions de réglementation et de navigation.

L'organisation de vols « découverte » est un moyen gratifiant et motivant de mettre en application tout ce qui est abordé dans la préparation au BIA.

*Des **visites d'installations aéroportuaires**, d'ateliers de maintenance, d'entreprises de construction, de musées ou d'écoles aéronautiques, tout autant que des rencontres avec des professionnels, sont également souhaitables. »*

(Notons qu'un **voyage à Toulouse en Février** a été organisé pour tous nos élèves de première SI (les 14 élèves du projet + une classe de 30 élèves). Nous avons pu visiter Airbus, le musée de l'aéronautique (photo ci-dessous), la Cité de l'Espace et nous avons même pu observer Jupiter au cours d'une soirée astronomique.)



Le B.I.A. est l'examen final d'une formation de 40 heures délivrée à des élèves intéressés par l'aéronautique mais aussi à des adultes passionnés inscrits en individuels. Voici un extrait du programme :

<p>1.1 – L'atmosphère</p> <ul style="list-style-type: none"> - Composition - Pression atmosphérique - Températures - Masse volumique - Atmosphère standard - Instruments de mesure - Humidité de l'air et saturation - Phénomènes énergétiques (conduction, convection, rayonnement) - Stabilité et instabilité de l'atmosphère - Circulation générale 	<p>1.3 – Les nuages</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formation des nuages - Formation des brouillards et des brumes - Description et classification - Précipitations associées <p>1.4 – Les vents</p> <ul style="list-style-type: none"> - Origine du vent et organisation globale - Carte des vents - Vents locaux
<p><i>Compétences : Utiliser des données météorologiques pour la préparation du vol</i></p>	
<p>2.3 – L'aérostation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Principes généraux de sustentation : <ul style="list-style-type: none"> • ballons à air chaud • ballons gonflés au gaz 	

D'autres points du programme abordent la mécanique du vol, les forces aérodynamique, l'équilibre des forces, etc...



Cité de l'Espace – Voyage scolaire à Toulouse – Mars 2017

L'équipement de la nacelle

1) La nacelle

1) Cahier des charges

Mathis et Glenn reçoivent le document suivant pour cadrer leur travail :

- Cahier des charges :
 - Masse totale < 2500 g
 - Dimensions minimales > 30 cm
 - Matériaux utilisés : matériaux légers et non coupants
 - Perméable aux communications radio
 - Température interne > - 20°C
 - Température du compartiment piles > 0°C
- Particularités:
 - Coordination nécessaire avec le groupe chargé de l'alimentation
 - Coordination nécessaire pour organiser l'implantation des systèmes dans la nacelle

Chaque élève devra contribuer à fournir un dossier contenant les pièces suivantes :

- 1) **Le cahier des charges** précis que vous avez défini
- 2) Une feuille de **présentation** : la nacelle, choix de la forme, des matériaux, ... A quoi va être soumis la nacelle au cours du vol : température, pression, ...
- 3) **Plan** réalisé sous solidworks avec tous les systèmes implantés (et leur masse).
- 4) Caractéristiques des matériaux utilisés
- 5) **Courbe de l'évolution de la température de la nacelle** dans des conditions thermiques se rapprochant le plus des conditions du vol (congélateur ?) : acquisition sous LATIS PRO de la température prise à des endroits intéressants, pendant une durée d'au moins 3h.
- 6) **Etude de la nacelle à la caméra thermique**
- 7) **Simulation sous matlab du comportement thermique** de la nacelle pendant le vol. Courbe montrant l'évolution de la température en différents endroits intéressants (les mêmes que ceux où on a effectué les mesures) pendant les 3 heures du vol.

2) Etude thermique

a) Matériaux et conception

Lors du vol, **notre ballon va s'élever dans un air de plus en plus froid jusqu'à atteindre des températures de l'ordre de -60°C**. Il est donc très important d'avoir une bonne isolation thermique dans la nacelle pour garantir le bon fonctionnement de l'électronique.

Mathis et Glenn optent rapidement pour une nacelle carrée de 30cm d'arrête. C'est la forme la plus simple et la dimension minimum imposée par le cahier des charges émanant de Planète Sciences.



Ils choisissent un matériau à la fois isolant et léger : le polystyrène extrudé. « *Les polystyrènes extrudés diffèrent essentiellement des polystyrènes expansés par leur plus grande résistance à la compression et à l'humidité* » (www.info-energie-fc.org/download/437)

Un premier prototype est réalisé en 30 mm d'épaisseur.

Ce prototype sera comparé à un deuxième prototype de 40 mm d'épaisseur.

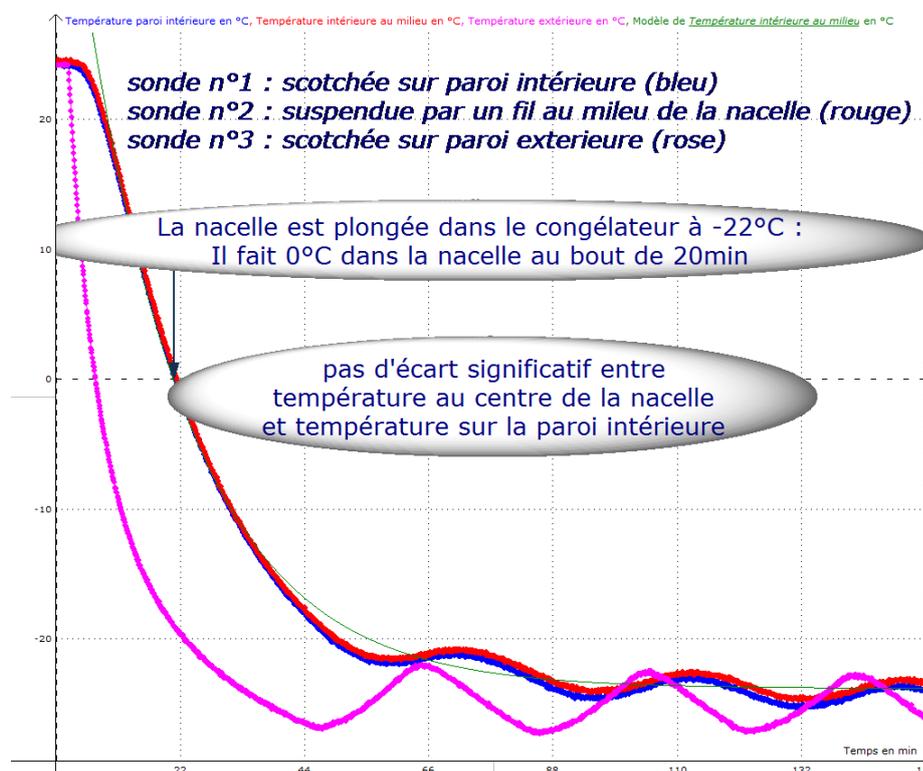
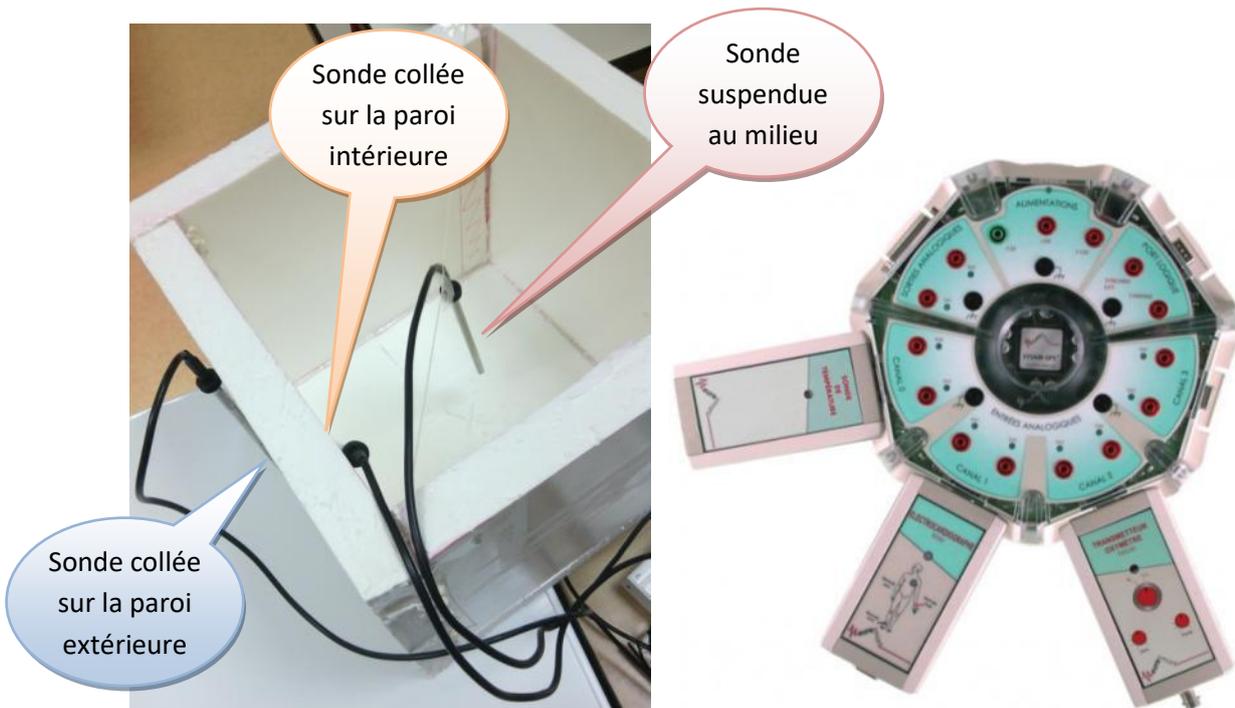
La nacelle sera finalement réalisée avec des parois de 20 mm doublées et agencées en quinconce pour limiter les ponts thermiques aux joints de colle sur les arrêtes.

b) Prototype en 1 seule épaisseur de 40 mm

Le banc d'essai thermique est constitué des éléments suivants :

- Un congélateur dont la température peut être réglée par un thermostat allant de 0 à 5. Sur 5, la régulation fait osciller la température autour de -25°C (entre -23°C et -27°C) avec une période de 40 minutes.
- Des sondes de températures reliées à un boîtier d'acquisition.
- Un boîtier d'acquisition SYSAM-SP5 de chez Eurosmart
- Un logiciel dédié LATIS-PRO.

La première acquisition est réalisée avec 3 sondes sur une durée de 2,5 heures.



Deux sondes sont placées à l'intérieur de la nacelle vide : une sonde au centre de la nacelle et une sonde contre la paroi. Ces 2 sondes donnent les mêmes courbes. On peut en conclure que **la température à l'intérieur de la nacelle vide est homogène.**

La modélisation sous LATIS PRO donne une constante de temps $\tau = 1140 \text{ s} = 20 \text{ min}$. Il faut donc une durée de $3\tau = 1 \text{ heure}$ pour que **la température atteigne sa valeur finale à 5% près** (ici -24°C en moyenne d'après la modélisation).

Un deuxième essai est réalisé sur une durée de 7h30 avec une seule sonde à l'intérieur. La modélisation donne cette fois une constante de temps de l'ordre de $\tau = 1800 \text{ s} = 30 \text{ min}$.

Ce qui donnerait **1h30 pour que la température atteigne sa valeur finale** à 5% près. Donc peu de variations dans nos résultats.

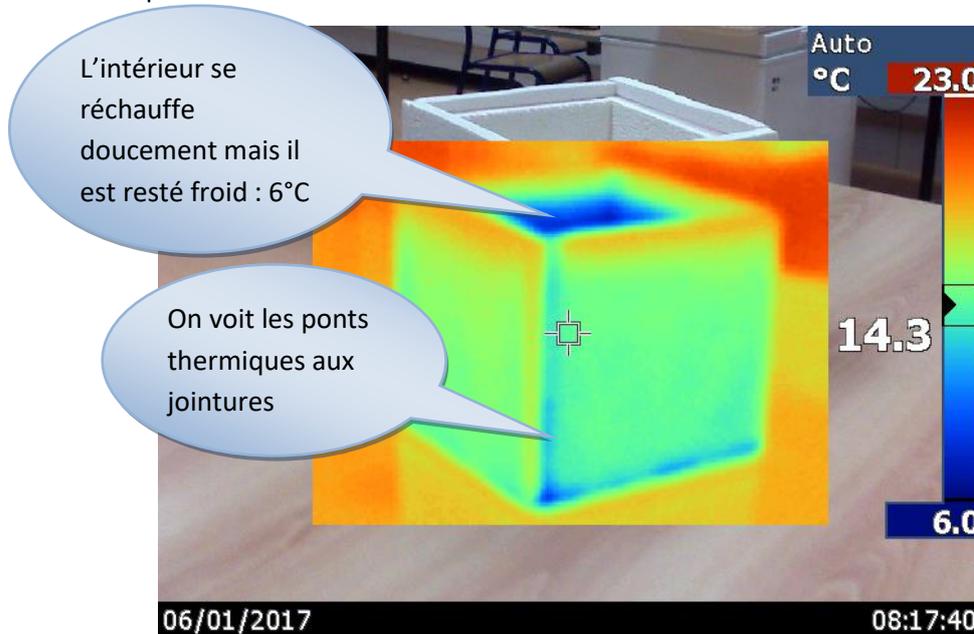
Pour le moment ces résultats ne sont pas encourageants : si la nacelle était plongée dans un air à température constante de -25°C , cette température serait atteint au bout de 1h30 ! **Or la nacelle va être soumise à des températures allant jusqu'à -60°C .**

On remarque un détail dans la courbe qui a son importance dans la modélisation. La température dans la nacelle ne décroît pas immédiatement. On constate un arrondi dans le début de la courbe. **La modélisation en système du 1^{er} ordre n'est donc correcte.**

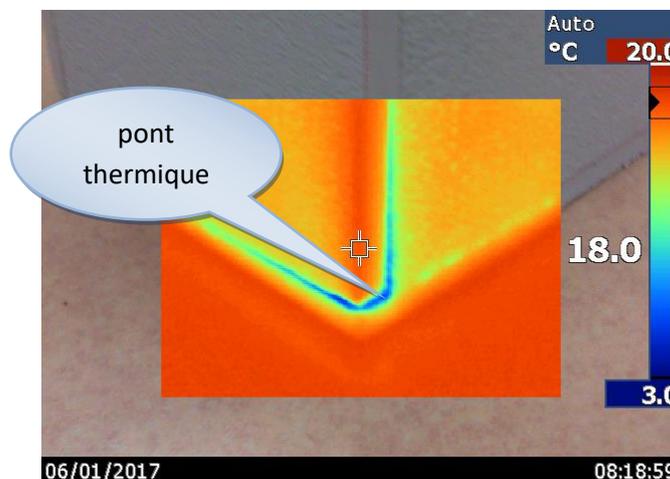
c) Etude à la caméra thermique

Une nacelle est ensuite construite en 2 épaisseurs de 20mm. La constante de temps est améliorée (voir les mesures suivantes au d).

Lors d'un essai, la nacelle a passé plusieurs heures dans le congélateur à -25°C . On la sort et on prend quelques photos à la caméra thermique pour mettre en évidence les ponts thermiques.



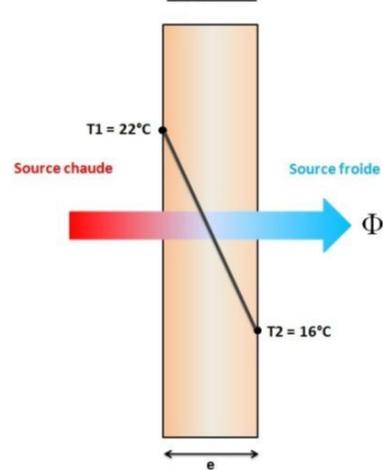
Zoom sur un coin : on voit nettement un pont thermique sur les joints de colle.



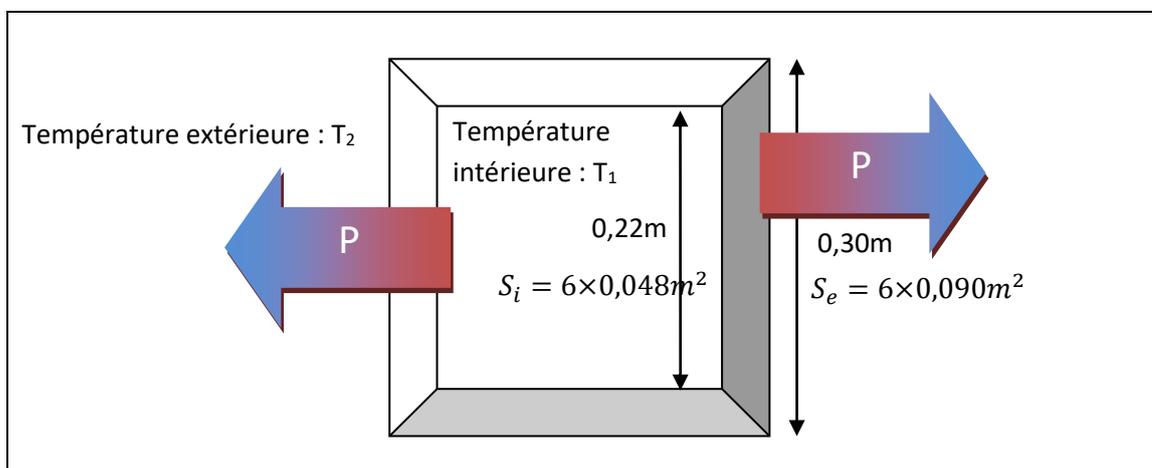
d) Calcul de la constante de temps thermique τ

• **Conduction et convection** thermique à travers la paroi de polystyrène extrudé

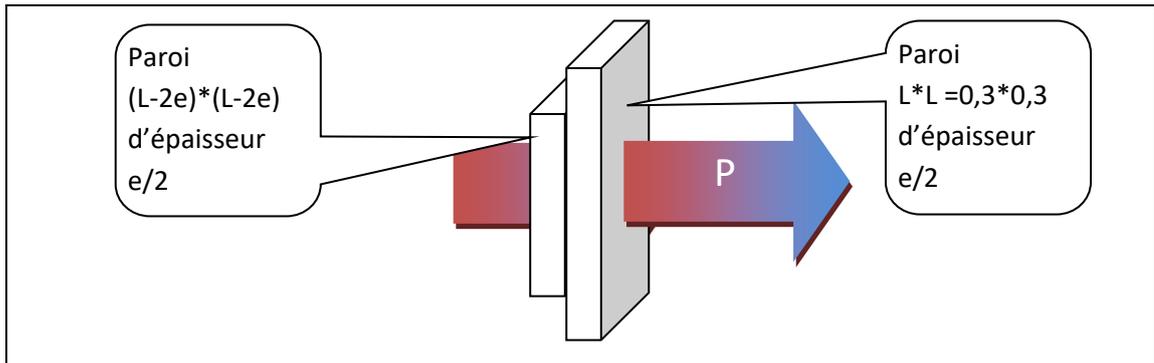
On sait qu'un flux de puissance thermique P dans une boîte isolée permet de maintenir une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur égale au produit de la puissance P par la résistance thermique des parois et divisé par la surface des parois. C'est la loi d'Ohm thermique :

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> $\Delta T = T_1 - T_2 = \frac{R}{S} \cdot P = R_{th} \cdot P$ </div> <p>R : résistance thermique surfacique en $m^2 \cdot K/W$</p> $R = \frac{e}{\lambda}$ <p>R_{th} : résistance thermique en K/W</p> $R_{th} = \frac{e}{\lambda \cdot S}$	<p style="text-align: center;"><u>Cas d'un mur</u></p> 
<ul style="list-style-type: none"> • Les panneaux isolants en mousse rigide de polystyrène extrudé jaunes sont appliqués comme couche d'isolation thermique. • Dimensions : L.1,25 x 1.0,60 m. • Epaisseur : 40 mm. • Surface couverte : 0,75 m². • Finition des bords : Rainurés bouvetés. • Insensible à l'eau. • Résistance thermique R : 1,10 m² K/W. 	 <p style="text-align: right;"><i>Source : vendeur (Castorama)</i></p>

La nacelle est un cube dont chacune des 6 faces a une surface extérieure S_e supérieure à la surface intérieure S_i .



On décompose chaque paroi d'épaisseur $e=0,04$ m en 2 parois d'épaisseur $e/2 = 0,02$ m.



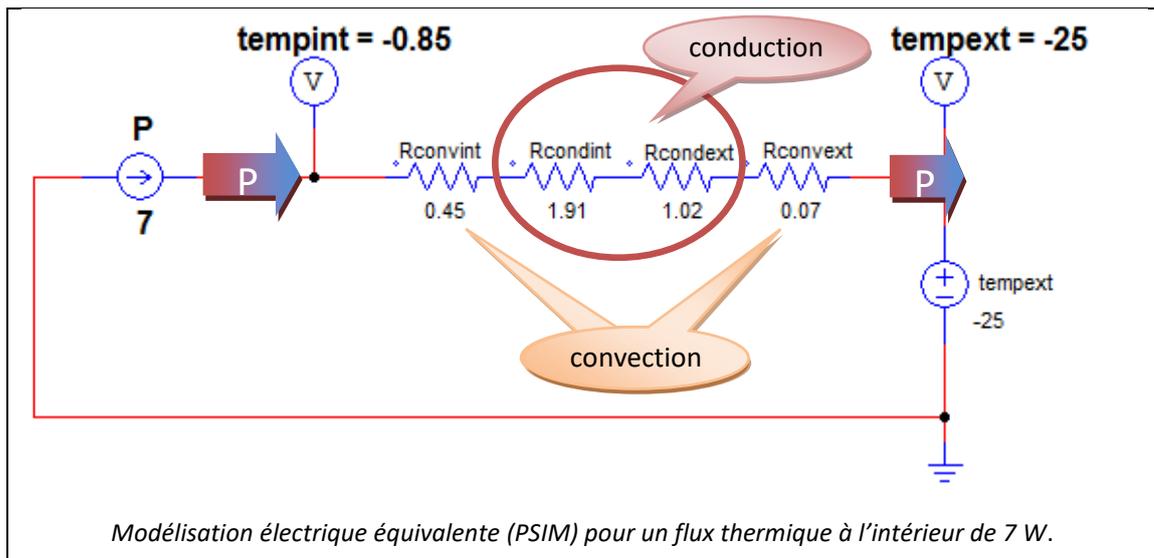
L'échange thermique par **convection** obéit à la même loi d'Ohm thermique avec une résistance thermique de convection qui s'ajoute de chaque côté de la paroi :

- Coté paroi intérieure : $R_i = \frac{1}{h_i}$
- Côté paroi froide : $R_e = \frac{1}{h_e}$

Les paramètres physiques et géométriques sont renseignés dans le tableau ci-dessous :

matériau	polystyrène	air
épaisseur (m) $e=$	0,04	
largeur d'un côté (m) $L=$	0,30	
surface extérieure 1 paroi (m ²) $S_e=$	0,0900	
surface intérieure 1 paroi (m ²) $S_i=$	0,0484	
volume (m ³)	0,016	0,011
masse (kg) $m=$	0,654	0,013
Conductivité thermique : (W.m ⁻¹ .K ⁻¹) $\lambda=$	0,036	
conduction surfacique (m ² .K/W) $R=e/\lambda=$	1,11	
convection ext (m ² .K/W) $R_e=1/h_e=$	0,04	
convection int (m ² .K/W) $R_i=1/h_i=$	0,13	
masse volumique (kg/m ³) $\rho=$	40	1,2
chaleur spécifique (J.K ⁻¹ .kg ⁻¹) $c=$	1400	1000

Informations obtenues pour le polystyrène extrudé sur www.info-energie-fc.org/download/437, ainsi que sur le site du vendeur du polystyrène <http://www.castorama.fr/store/Panneau-polystyrene-extrude-RB-125-x-060-m-ep40mm-PRDm952468.html>. (la conductivité a été ajustée pour coller à la valeur annoncée $R=e/\lambda=1,10$ m².K/W).



La résistance thermique totale serait donc :

$$R_{th} = \frac{R_i}{S_i} + \frac{R/2}{S_i} + \frac{R/2}{S_e} + \frac{R_e}{S_e} = \frac{1}{h_i \cdot S_i} + \frac{e/2}{\lambda \cdot S_i} + \frac{e/2}{\lambda \cdot S_e} + \frac{1}{h_e \cdot S_e} = \frac{0,13}{0,288} + \frac{0,55}{0,288} + \frac{0,55}{0,540} + \frac{0,04}{0,540}$$

$$R_{th} = 0,45 + 1,91 + 1,02 + 0,07$$

$$\mathbf{R_{th} = 3,45K/W}$$

La loi d'ohm thermique tenant compte de la conduction et de la convection pour l'ensemble des 6 parois sera donc ici :

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 3,45 \cdot P$$

Avec une puissance $P=7$ W par exemple à l'intérieur de la nacelle, l'isolation imposerait un écart de température entre l'extérieur et l'intérieur : $\Delta T = T_1 - T_2 = 3,45 \cdot 7 = 24^\circ C$.

On voit que la convection intervient beaucoup moins que la conduction (2,93 pour la conduction contre $0,45+0,07=0,52$ pour la convection, soit 6 fois moins).

- **Inertie thermique**

L'inertie thermique est due en grande partie au **polystyrène** :

- Capacité thermique massique (ou chaleur spécifique) : $c = 1400 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.
- Densité annoncée ρ : 15 à 30 kg/m^3 . La nacelle pèse 0,654 kg pour un volume de $0,30^3 - 0,22^3 = 0,016352 \text{ m}^3$. Ce qui fait une masse volumique : $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$!
- D'où une capacité thermique : $C_{th} = m \cdot c = \rho \cdot V \cdot c = 0,654 \cdot 1400 = 916 \text{ J.K}^{-1}$

L'inertie thermique de l'air contenu à l'intérieur de la nacelle intervient peu :

- Capacité thermique massique (ou chaleur spécifique) : $c = 1000 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$. (un peu moins quand la température diminue : $950 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ à $-50^\circ C$).
- Volume d'air (cube de 22cm de côté) : $V = 0,010648 \text{ m}^3$.
- Densité ρ : 1,206 kg/m^3 .
- Masse : $m = \rho \cdot V = 0,01284 \text{ g}$.
- D'où une capacité thermique : $C_{th} = m \cdot c = \rho \cdot V \cdot c = 1,206 \cdot 0,022^3 \cdot 1000 = 12,8 \text{ J.K}^{-1}$

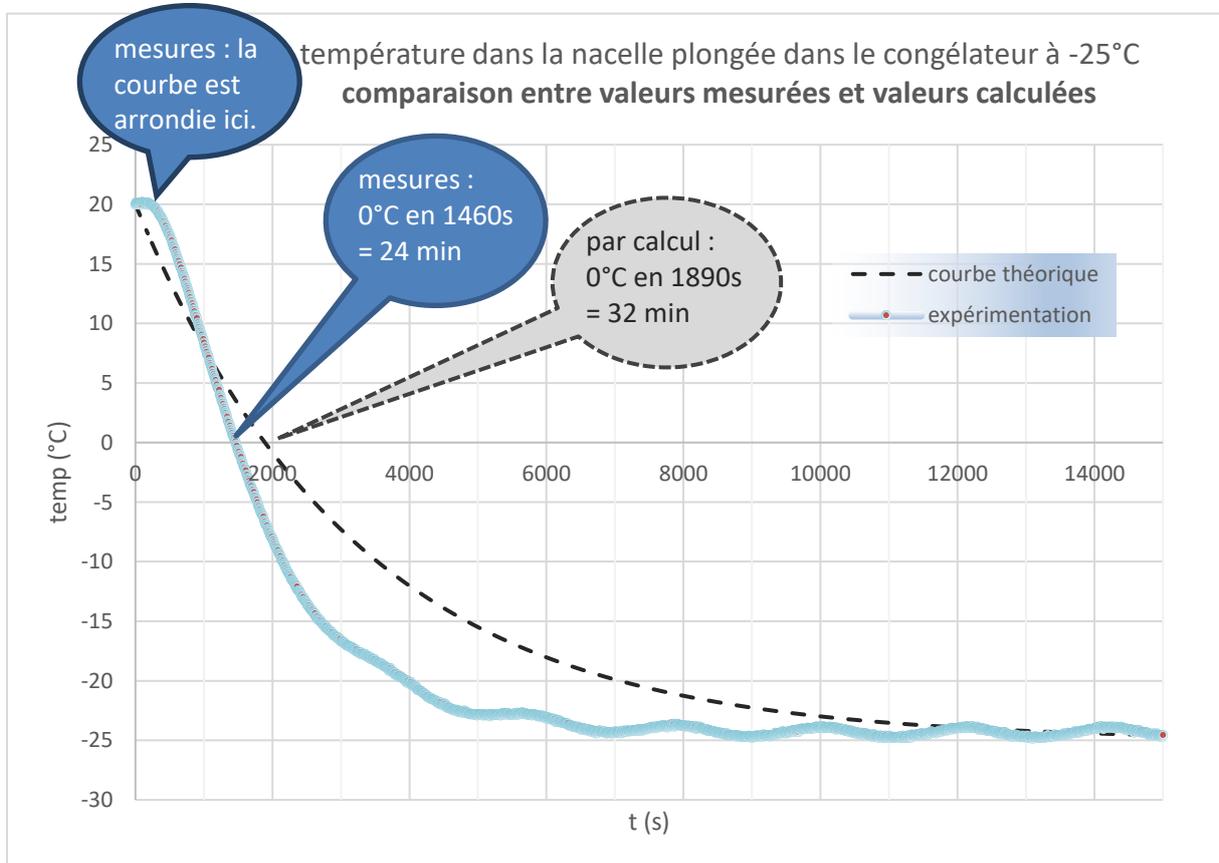
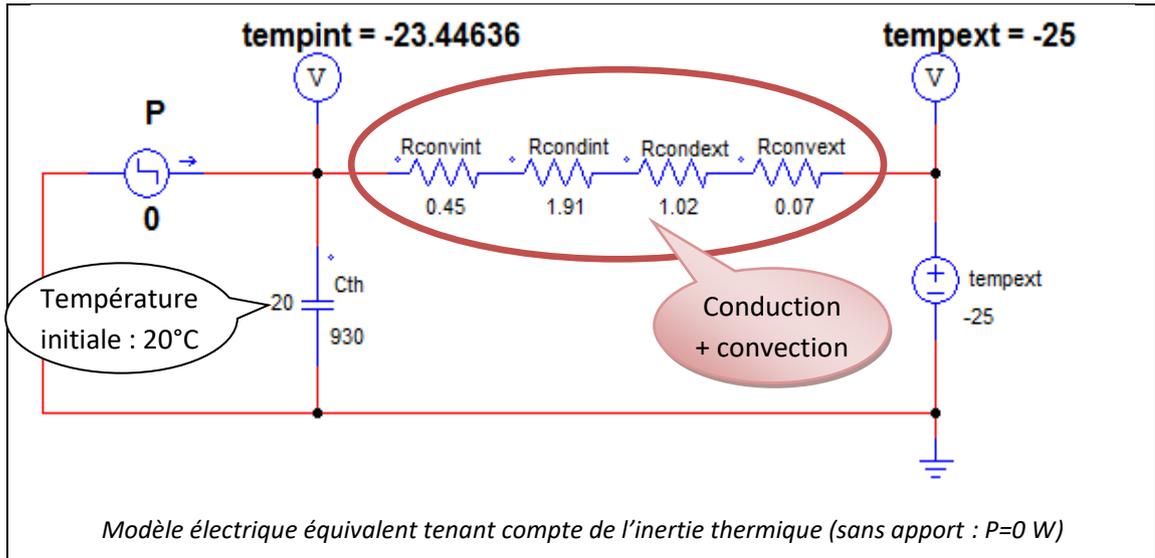
- Conductivité thermique : $\lambda = 0,023 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$. (un peu moins quand la température diminue : $0,020 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ à -50°C).

En simplifiant, la capacité thermique équivalente est la somme des capacités, soit :

$$C_{th} = 916 + 13 = 929 \text{ J. K}^{-1}$$

La constante de temps vaut donc $\tau = R_{th} \cdot C_{th} = 3,45 \cdot 929 = 3216 \text{ s} \approx 54 \text{ min}$.

Cette valeur obtenue par calcul est supérieure aux valeurs estimées lors des 2 premiers essais : 30 min.



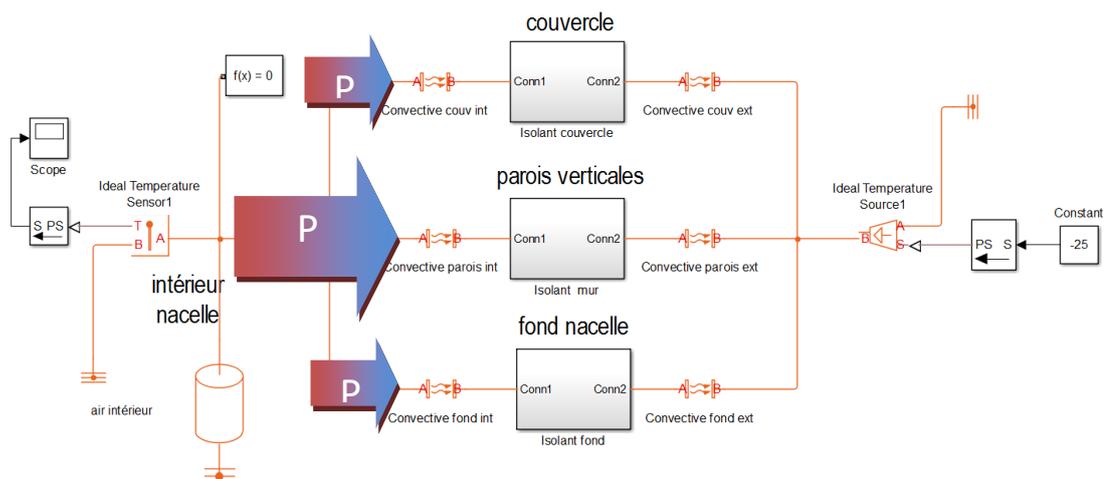
La courbe en pointillé a été obtenue par calcul sous EXCEL en supposant un comportement en **système du 1^{er} ordre avec une constante de temps égale à 54 minutes**. Mais on a déjà noté que cette modélisation est trop simpliste, ce qui explique l'écart observé sur ce graphe.

e) Modèle Matlab

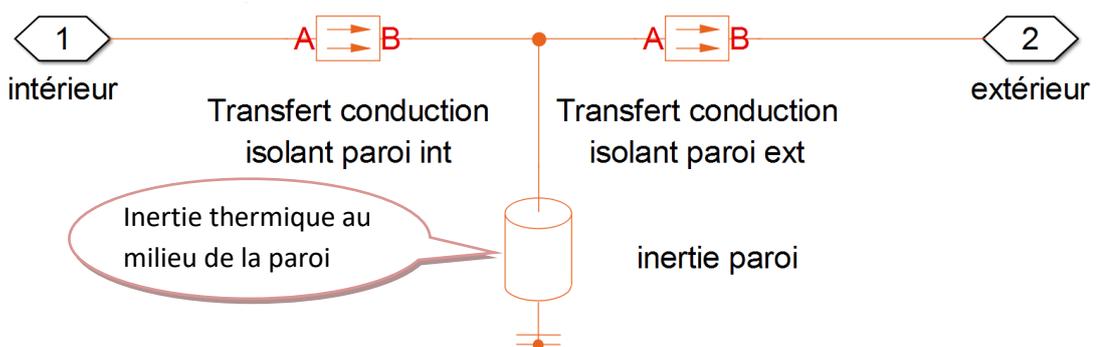
Matlab est un logiciel de simulation qui permet, entre autres, de modéliser le comportement thermique d'un système. Un 1^{er} modèle thermique de la nacelle est réalisé avec une source de température extérieure constante égale à -25°C.

La modélisation va jusqu'à différencier la convection à l'intérieur sur les parois verticales de celle sur les parois horizontales pour lesquelles le R_i vaut $0,10m^2K/W$ en haut et $0,17m^2K/W$ en bas. D'où ce schéma du modèle thermique de la nacelle dans lequel le flux thermique se subdivise en 3 branches parallèles :

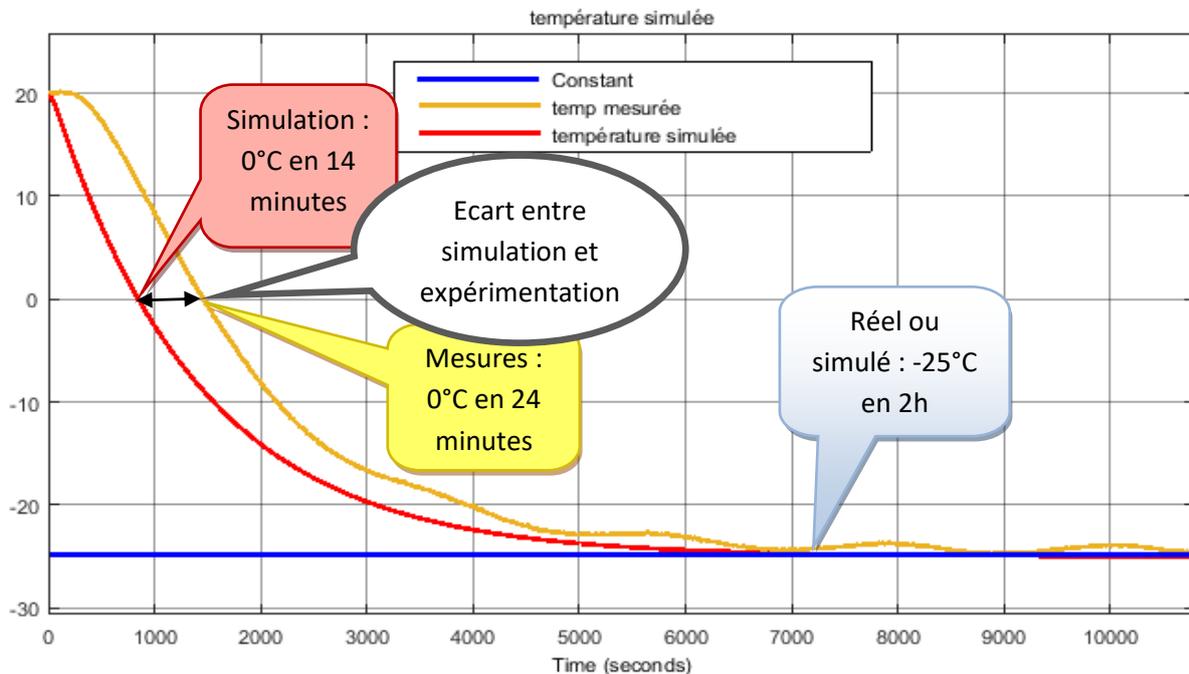
- une partie du flux thermique s'échappe par le couvercle,
- une autre (la plus grande) par les parois verticales,
- et une autre par le fond.



Le transfert thermique au travers des parois est décomposé comme dans les calculs précédents mais **l'inertie thermique est placée plus judicieusement : au milieu de la paroi**. Et cela change complètement le modèle :



Mais la simulation donne un passage par 0°C à 850s soit 14 minutes. Ce qui est quasiment 2 fois plus rapide que l'indiquent nos mesures. Le modèle n'est donc pas très concluant.

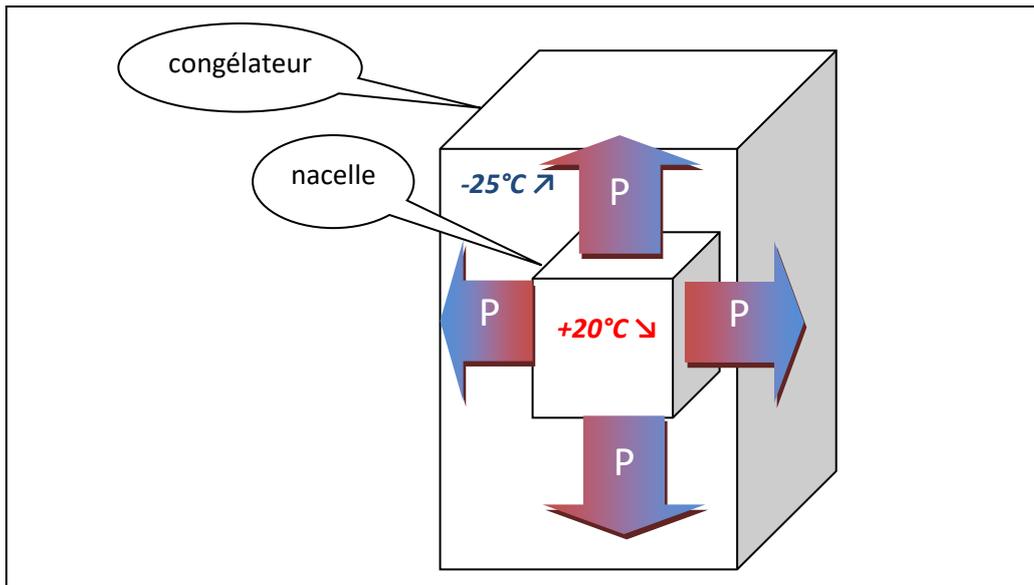


(Mathis et Glenn avaient oublié de multiplier par 4 le nombre de parois verticales ! Cet oubli a été corrigé dans cette simulation).

Plusieurs explications sont possibles :

- La **modélisation** n'est pas correcte. Soit parce que les paramètres du modèle ne sont pas corrects, ou bien les dimensions sont fausses, ou le modèle lui-même est erroné.
- Ou les **mesures** ne sont pas fiables. Parce qu'on a sous-estimé l'inertie thermique des sondes qui vient se rajouter à l'inertie thermique de la nacelle, ou bien le protocole de mesure n'est pas adapté.

Ce dernier point est crucial : le protocole d'expérimentation. On plonge la nacelle initialement à 20°C dans un petit congélateur à -25°C. Mais l'air à -25°C entourant la nacelle est soumis à l'influence thermique de la nacelle. Un échange thermique se crée entre la nacelle à 20°C et l'air du congélateur qui va donc se réchauffer. Exactement comme lorsqu'on plonge un gigot à 20°C dans un congélateur à -25°C. Le gigot se refroidit en même temps que la température dans le congélateur s'élève un peu.



Pour valider cette hypothèse, on pourrait placer une sonde de température dans le congélateur et attendre que la valeur mesurée se stabilise (on peut également s'intéresser à l'inertie de la sonde en observant l'évolution de la température donnée par la sonde lorsqu'on la plonge dans le congélateur). Une fois la température stabilisée à -25°C , on plonge la nacelle dans le congélateur et on observe la température mesurée par la sonde déjà en place dans le congélateur. Si notre hypothèse est correcte, **on devrait observer une augmentation de la température mesurée dans le congélateur** (puis une diminution et un retour à -25°C grâce à la régulation thermique du congélateur).

Si on éteignait le congélateur au moment où on plonge la nacelle à l'intérieur et si on suppose le congélateur parfaitement isolé, on pourrait calculer la température finale lorsque la nacelle et l'air du congélateur seraient en équilibre thermique. Ils seraient alors à la même température θ_f telle que :

$$m_{nacelle} \cdot c_{nacelle} \cdot (\theta_f - 20) + m_{air} \cdot c_{air} \cdot (\theta_f - (-25)) = 0$$

On pourrait ainsi déduire la température finale d'équilibre :

$$\theta_f = \frac{m_{nacelle} \cdot c_{nacelle} \cdot 20 + m_{air} \cdot c_{air} \cdot (-25)}{m_{nacelle} \cdot c_{nacelle} + m_{air} \cdot c_{air}}$$

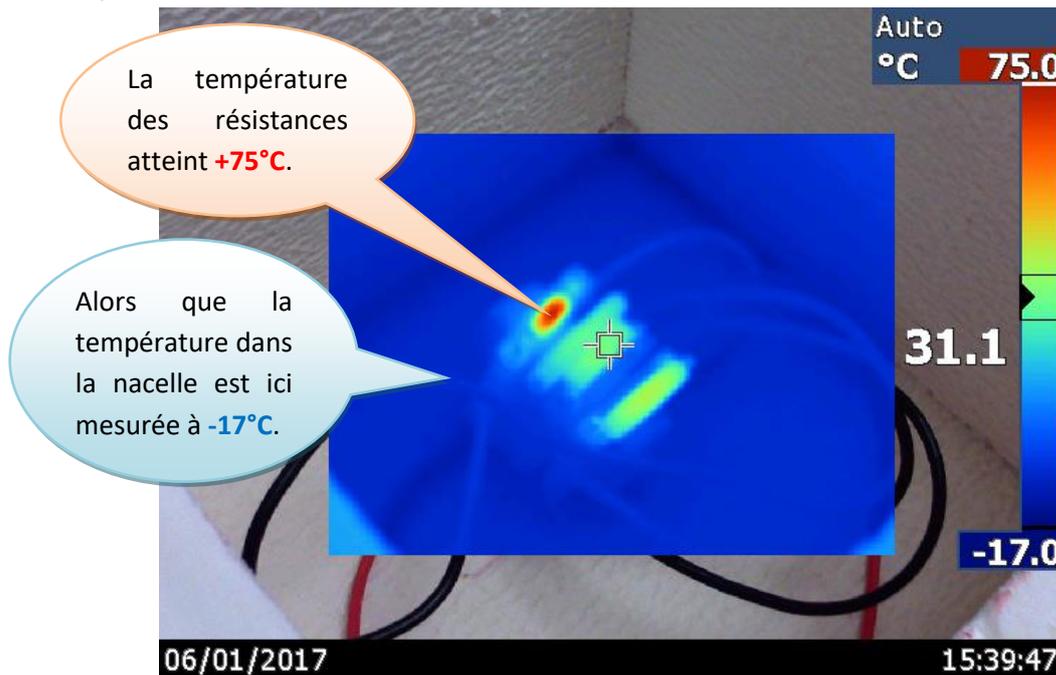
$$\theta_f = \frac{0,654 \cdot 1400 \cdot 20 + 0,6 \cdot 1000 \cdot (-25)}{0,654 \cdot 1400 + 0,6 \cdot 1000} \approx 0,6 \cdot 20 - 0,4 \cdot 25 = +2^{\circ}\text{C}$$

En supposant un volume d'air de $0,5 \text{ m}^3$ (et donc une masse de $0,6 \text{ kg}$) la température finale serait quasiment la moyenne des 2 températures initiales.

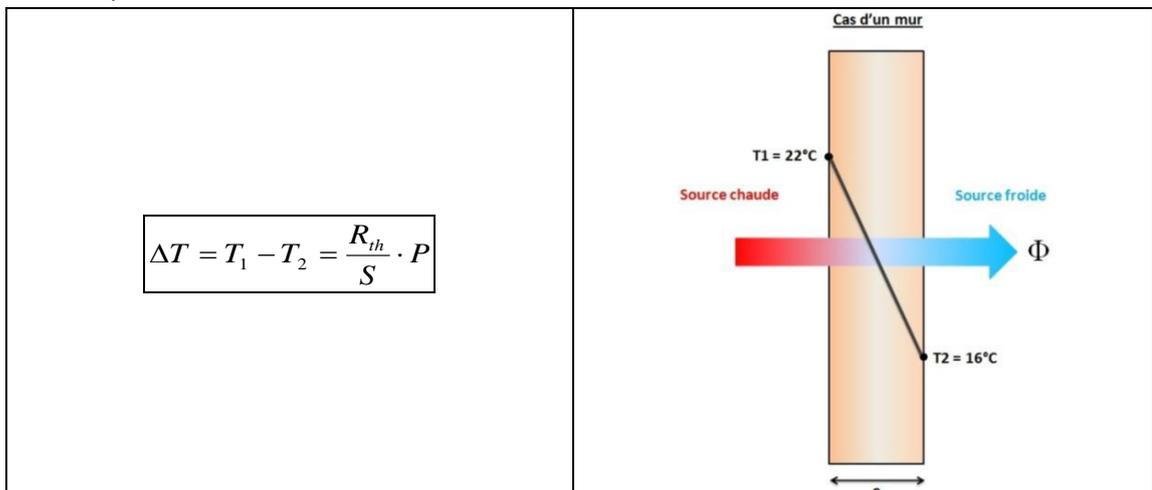
f) Influence des apports thermiques des circuits électriques

En réalité, nous avons sous-estimé la chaleur dégagée par les circuits électriques. Nous avons un petit chauffage à l'intérieur de la nacelle ! Modeste, mais dont l'influence est primordiale pour que la température ne descende pas trop bas à l'intérieur lorsqu'il fera -60°C à l'extérieur.

C'est l'essai de Théo et Ewen qui a attiré notre attention sur ce phénomène. Théo et Ewen désiraient réaliser un essai de leurs piles avec des températures négatives. Ils ont eu l'idée de placer leur circuit électrique dans la nacelle pendant un essai thermique de la nacelle dans le congélateur. Nous avons alors constaté des modifications importantes dans les courbes de température.

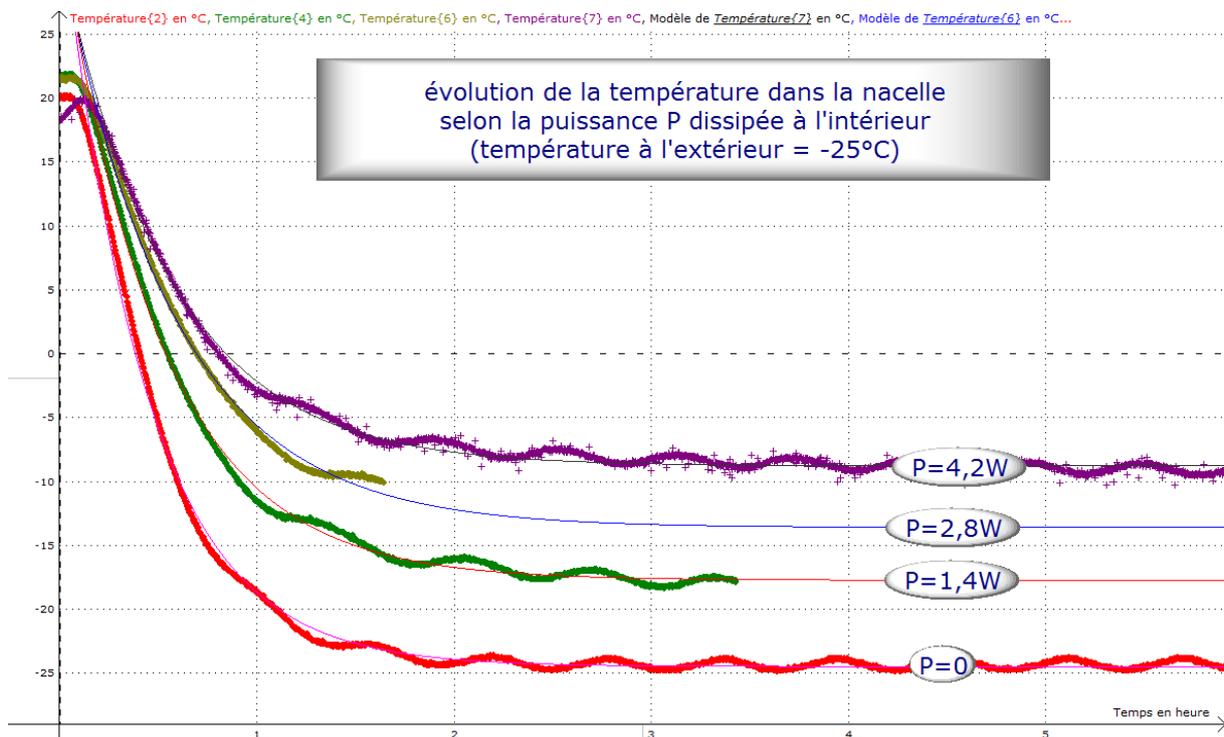


On sait qu'un flux de puissance thermique P dans une boîte isolée permet de maintenir une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur égale au produit de la puissance P par la résistance thermique des parois et divisé par la surface des parois. C'est la loi d'Ohm thermique :



- 1^{er} essai : Théo et Ewen ont placé dans la nacelle un circuit électrique composé d'une pile 4,5V débitant dans une association série de 2 résistances $10\Omega + 4,7\Omega = 14,7\Omega$. La nacelle ainsi équipée est plongée dans le congélateur à -25°C .
- La puissance dissipée par le circuit électrique est $P = \frac{U^2}{R} = \frac{4,5^2}{14,7} = 1,38\text{W}$.
- 2^{ème} essai : On décide de doubler la puissance. On utilise cette fois une alimentation stabilisée en dehors du congélateur. Cette alimentation est réglée à $U = \sqrt{2} \cdot 4,5 = 6,4\text{V}$ de manière à doubler la puissance dissipée par les résistances dans la nacelle.

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{6,4^2}{14,7} = 2,79\text{W}.$$
- 3^{ème} essai : On triple la puissance : $P = \frac{U^2}{R} = \frac{7,9^2}{14,7} = 4,2\text{W}$.



Conclusions :

- Sans apport de puissance ($P=0$), la température à l'intérieur de la nacelle se stabilise (au bout de 2 à 3h) à la valeur de la température extérieure (ici $-24,5^\circ\text{C}$).
- En modélisant le système comme un système du 1^{er} ordre (ce qui n'est pas correct, on l'a vu) la constante de temps est à peu près la même sur toutes les courbes, autour de $1800\text{s} = \mathbf{30 \text{ minutes}}$ (on a donc amélioré les performances thermiques).
- A chaque fois qu'on augmente la puissance dissipée dans la nacelle, la température se stabilise à une valeur de plus en plus élevée.
- Le temps mis par la température intérieure pour se stabiliser change peu : de l'ordre de 2 à 3 heures.

Puissance	Constante de temps	Température finale	$\Delta\theta$: Ecart de température avec l'extérieur	$\frac{\Delta\theta}{n}$	$\frac{\Delta\theta}{P}$
3*1,4W=4,2W	1990s	-8,8°C	+15,7°C	$\frac{\Delta\theta}{3} = 5,2^\circ\text{C}$	3,7°C/W
2*1,4W=2,8W	2070s	-13,6°C	+10,9°C	$\frac{\Delta\theta}{2} = 5,4^\circ\text{C}$	3,9 °C/W
1,4W	1840s	-17,7°C	+6,8°C	$\Delta\theta = 6,8^\circ\text{C}$	4,8 °C/W
0W	1340s	-24,5°C	0°C		

La mesure de la constante de temps donne 1800s=30min à peu près. La nacelle double paroi a donc de meilleures performances thermiques que la nacelle simple paroi (la constante de temps est passée de 20 à 30 minutes).

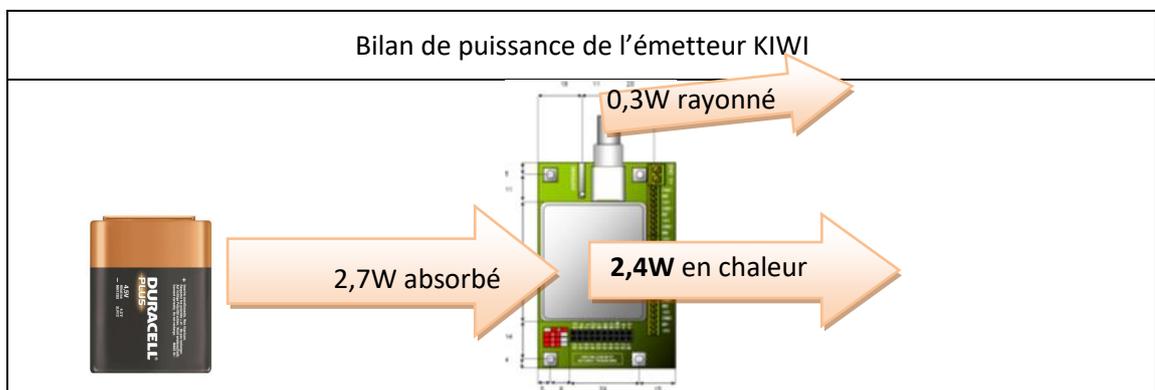
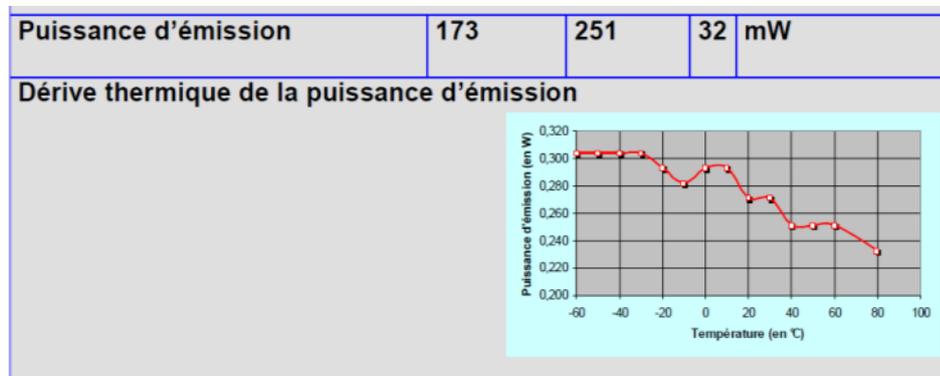
La valeur de 4,8 °C/W semble assez éloignée des autres valeurs et la courbe correspondante semble anormalement haute. La puissance P était sans doute mal réglée à 1,4W. Nous n'en tenons donc pas compte. On vérifie donc à peu près la loi d'Ohm thermique énoncée plus

haut avec une résistance thermique : $R_{th} = \frac{R}{S} = \frac{\Delta\theta}{P} \approx 3,8^\circ\text{C}/\text{W} \pm 0,5^\circ\text{C}/\text{W}$

Cette valeur est assez proche de celle obtenue précédemment par calcul de 3,45 °C/W.

g) Recensement des différents apports thermiques dans la nacelle

L'alimentation générale fournira un courant de l'ordre de 0,3A sous 9V (2*4,5V) à l'émetteur KIWI. L'émetteur absorbera donc une puissance de 2,7W. Sur la documentation du KIWI de 2009 on peut lire qu'une puissance comprise entre **0,25W et 0,3W sera rayonnée sous forme d'une onde radio**. Il reste donc **2,4W qui sera dissipé sous forme de chaleur dans la nacelle**.



Emetteur KIWI et capteurs connectés :

$U=2*4,5=9V$	$P = U*I-0,3 = 2,4W$
$I=0,2+0,1=0,3A$	



Essai n°1 : caméra seule Batterie caméra : 1000mAh	$U=3,7V$	$I = \frac{1,000}{1,2} = 0,83A$
	$t=1h12=1,2h$	
Essai n°2 : caméra + batterie	$U=3,7V$	$I = \frac{3,500}{4,67} = 0,75A$

auxiliaire Batterie caméra : 1000mAh Batterie auxiliaire : 2500mAh	t=4h40=4,67h	
Conclusion : en moyenne :		I=0,8A
Donc : $P = U \cdot I = 3,7 \cdot 0,8$		$P = 2,96W$



Essai n°1 : caméra seule Batterie caméra : 850mAh	U=3,7V	$I = \frac{0,850}{2} = 0,43A$
	t=2h	
Essai n°2 : caméra + batterie auxiliaire Batterie caméra : 850mAh Batterie auxiliaire : 2500mAh	U=3,7V	$I = \frac{3,350}{7,67} = 0,44A$
	t=7h40	
Conclusion : en moyenne :		I=0,44A
Donc : $P = U \cdot I = 3,7 \cdot 0,44$		$P = 1,62W$

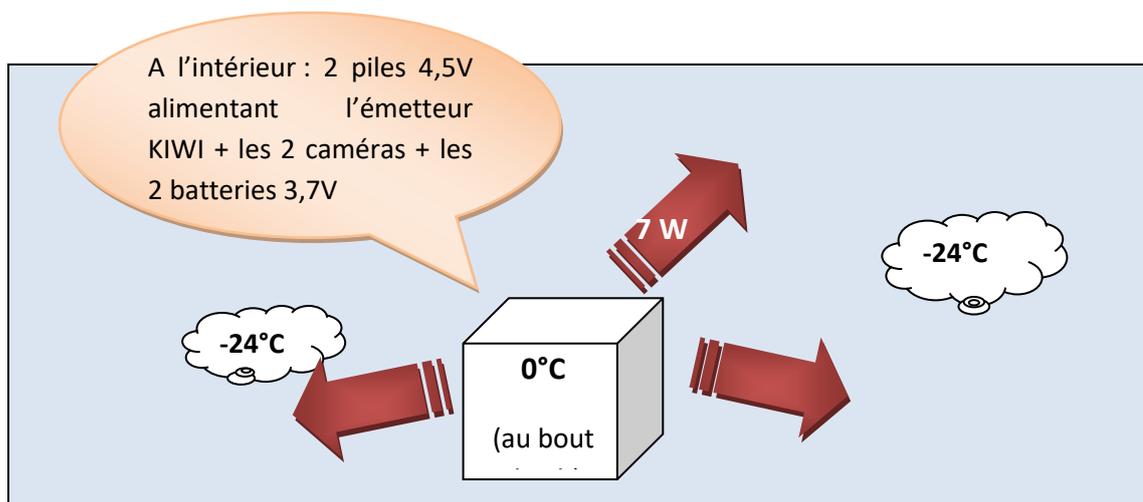
Sans tenir compte des cartes Arduino et des traceurs GPS, la puissance émise à l'intérieur de la nacelle est donc :

$$P = 2,4 + 2,96 + 1,62 = 7W.$$

Compte tenu de la résistance thermique calculée plus haut : $R = 3,45K/W$, l'écart de température en régime permanent entre l'intérieur de la nacelle et l'air extérieur serait donc de :

$$\Delta\theta = \frac{R_{th}}{S} \cdot P = 3,45 \cdot 7 = 24^{\circ}C$$

L'isolation de base de la nacelle maintient donc au moins 24°C d'écart entre l'intérieur et l'extérieur. Par exemple, si on place la nacelle dans un air à -24°C, la température restera positive à l'intérieur de la nacelle. Le 0°C ne sera atteint qu'au bout de 2 à 3 heures.



h) Conclusions de l'étude thermique

Pourquoi avons-nous étudié le comportement thermique de la nacelle ? Parce que nous voulons être sûrs que notre matériel électronique va pouvoir continuer à fonctionner là-haut, à plus de 10 000 m, quand la température de l'air descendra en-dessous de **-55°C**, peut-être même **-70°C**...

Nous avons donc réalisé des **expérimentations** pour mettre la nacelle dans des conditions se rapprochant des conditions prévues. Les premières mesures dans le congélateur nous ont inquiété. La température à l'intérieur de la nacelle descendait sous **0°C en moins de 30 minutes**.

Nous avons ensuite créé un **modèle thermique** de la nacelle sous Matlab en tenant compte des paramètres géométriques de la nacelle et des paramètres physique des matériaux (conductivité et capacité thermiques, masse volumique, etc...). Les résultats de la simulation nous ont encore plus inquiété. **Le 0°C était atteint en 15 minutes !** L'écart entre expérimentation et simulation est certainement dû à un protocole expérimental qui n'est pas pris en compte dans la simulation : la température réelle à laquelle est soumise la nacelle dans le congélateur n'est pas une brusque variation de température passant de **+20°C à -25°C**.

Puis nous avons réalisé que notre nacelle non seulement ne serait **pas vide** mais qu'en plus les circuits électriques à l'intérieur dégageraient une **chaleur** non négligeable. Nous avons estimé à **7W** l'apport des circuits principaux. En utilisant la valeur de la résistance thermique (**3,5 K/W**) obtenue par calcul puis dans la simulation et confirmée par l'expérimentation, nous avons pu déduire que notre isolation thermique maintiendrait un écart de température avec l'extérieur toujours supérieur à **24°C**.

Cet écart n'est pas suffisant. Bien sûr c'est l'écart minimum qui serait atteint au bout de 3 heures, donc on peut s'attendre à un écart plus important. De plus la température extérieure baissera très progressivement et non brutalement comme dans nos simulations. L'étape suivante de notre étude serait donc de simuler le comportement de la nacelle dans les conditions réelles de températures. A condition de valider définitivement le modèle thermique. Mais nous n'aurons pas le temps de faire cette étude avant le jour J. Celle-ci sera réalisée plus tard, une fois le vol réalisé et les données de température récupérées (voir au chapitre concerné).

2) L'alimentation

1) Cahier des charges

Ewen et Théo doivent réaliser un travail de recherche et de conception en se basant sur le document suivant :

Chaque alimentation sera placée dans un compartiment isolé thermiquement à l'intérieur de la nacelle, qu'il faudra concevoir et fabriquer.

- Cahier des charges de l'alimentation principale :
 - fournir une tension supérieure à 6,0V et inférieure à 9,0V à l'émetteur Kiwi
 - pendant une durée minimale de 4 heures (3h de vol + 1h entre mise sous tension et décollage).
 - À une température comprise entre 25°C et -20°C.
- Cahier des charges des alimentations secondaires (coordination nécessaire avec l'équipe « images »):
 - Alimentation de l'appareil photo Kodak :
 - Fournir une tension suffisante (de l'ordre de 3V, cette tension sera à déterminer précisément) à l'appareil pour garantir un fonctionnement correct de l'appareil
 - pendant une durée minimale de 4 heures.
 - À une température comprise entre 25°C et -20°C.
 - Alimentation de la caméra de sport
 - Fournir une tension suffisante (cette tension sera à déterminer précisément) à l'appareil pour garantir un fonctionnement correct de l'appareil
 - pendant une durée minimale de 4 heures.
 - À une température comprise entre 25°C et -20°C.
 - Autres alimentations :
 - Fournir une tension suffisante (cette tension sera à déterminer précisément) à l'appareil pour garantir un fonctionnement correct de l'appareil
 - pendant une durée minimale de 4 heures.
 - À une température comprise entre 25°C et -20°C.
- Particularités :
 - Coordination nécessaire avec toutes les équipes nécessitant une alimentation

Chaque élève devra contribuer à fournir un dossier contenant les pièces suivantes :

- 1) **Le cahier des charges** précis que vous avez défini
- 2) **Une feuille de présentation** : les différentes alimentations possibles (piles et batteries) avec leurs avantages et inconvénient, le choix retenu à justifier
- 3) **Schéma électrique** avec bornes de connexion accessibles pour les différents

systèmes à connecter.

- 4) **Schéma électrique du dispositif de test.** A justifier.
- 5) **Caractéristiques** des alimentations (données constructeur)
- 6) **Plan** réalisé sous Solidworks du compartiment batterie isolé thermiquement.
- 7) **Caractéristiques thermiques** des matériaux utilisés pour le compartiment
- 8) **Courbe de l'évolution réelle de la tension batterie et de la température de la batterie** dans des conditions thermiques se rapprochant le plus des conditions du vol (congélateur ?) : acquisition sous LATIS PRO, pendant une durée d'au moins 4h, voir plus si intéressant. Comparaison avec la courbe à température ambiante (avec température des piles).
- 9) **Etude thermique à l'aide de la caméra thermique**
- 10) **Simulation** sous matlab du comportement thermique de chaque alimentation pendant le vol.

2) Etude documentaire sur les piles

D'après Planète Sciences (brochure Kiwi Millénium 2009) : « A bord des ballons, les batteries sont à proscrire car on recherche généralement à minimiser la masse de la nacelle. En effet, les batteries possèdent un rapport capacité / masse plus faible que les piles. De plus, quelle que soit leur technologie (CdNi, NIMH, Li-Ion), les batteries voient leur capacité chuter dramatiquement aux faibles températures. On utilisera donc uniquement des piles. »

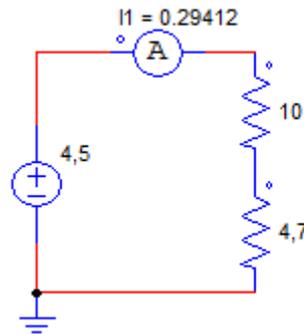
Le choix se porte sur 2 piles alcalines 4,5V en série.



3) Banc d'essai

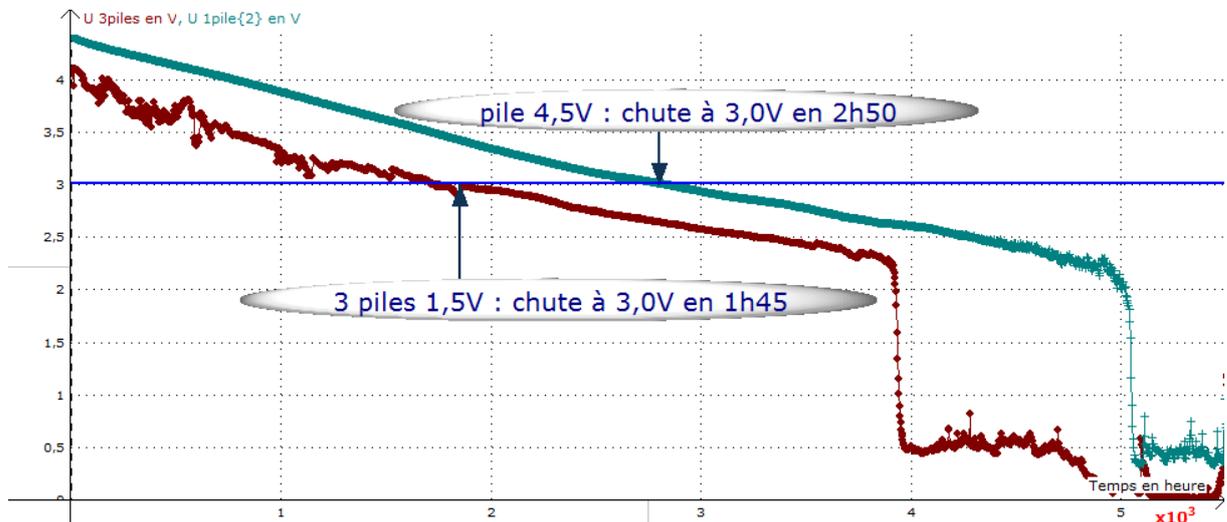
Pour simuler le fonctionnement de l'alimentation électrique, il faut la faire débiter un courant équivalent à celui qu'elle débitera pour alimenter l'émetteur Kiwi et les capteurs connectés. Ce courant est estimé à **0,3A** (0,2A pour l'émetteur Kiwi + 0,1A pour l'ensemble des capteurs connectés au Kiwi).

Pour tester **une pile 4,5V**, on lui connecte une association série de 2 résistances $10\Omega + 4,7\Omega = 14,7\Omega$. Le courant débité sera donc à peu près de 0,3A.



4) Comparaison d'une pile 4,5V avec 3 piles 1,5V en série à -25°C

Ewen et Théo ont d'abord comparé l'autonomie d'une pile 4,5V avec l'autonomie de l'association série de 3 piles 1,5V dans le congélateur à -25°C.

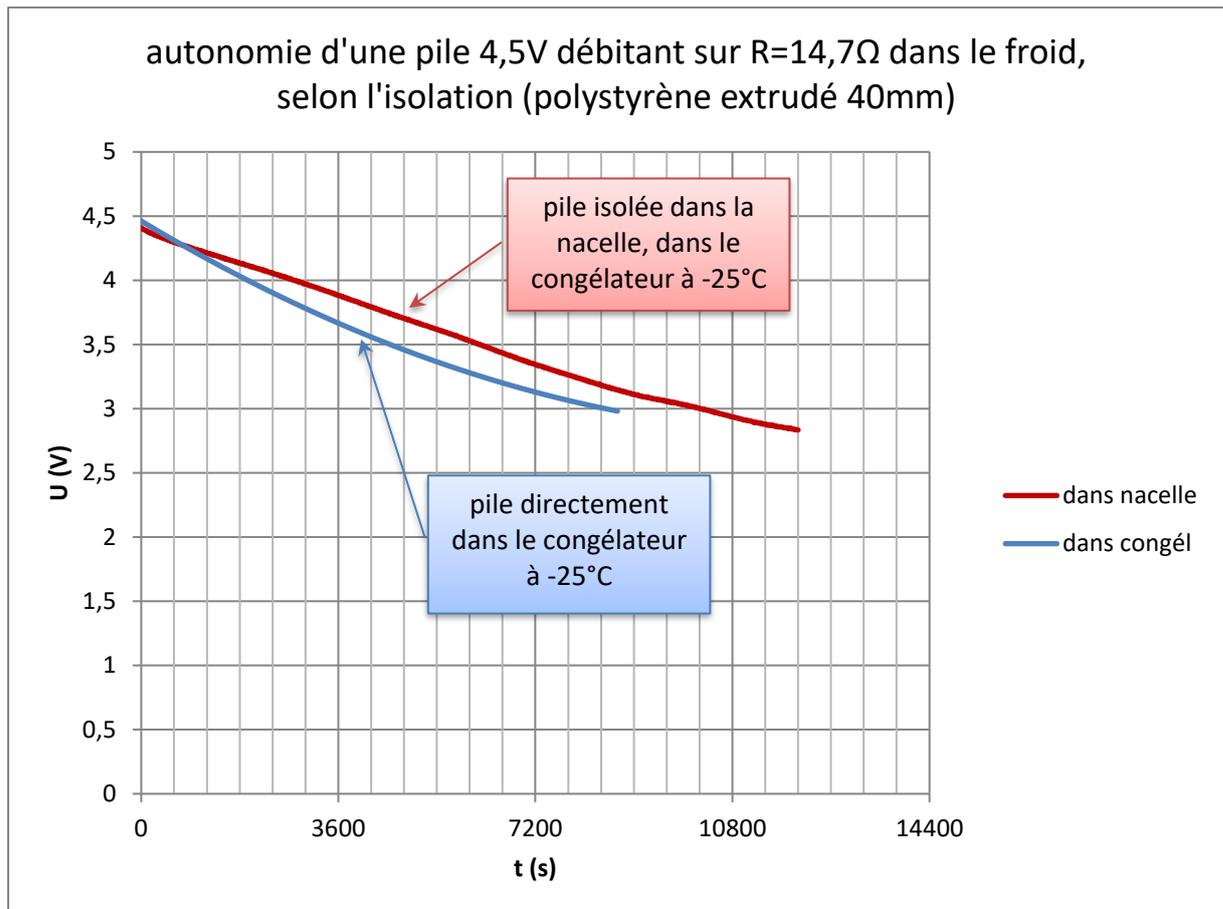


Conclusion : **l'autonomie d'une pile 4,5V est supérieure à l'autonomie de 3 piles 1,5V en série.**

5) Influence de l'isolation sur l'autonomie des piles

Ensuite, Ewen et Théo ont étudié l'influence de l'isolation sur l'autonomie des piles. 2 essais comparatifs ont été réalisés :

- 1^{er} essai : circuit « pile neuve 4,5V débitant dans $14,7\Omega$ » directement à l'intérieur du congélateur.
- 2^{ème} essai : circuit « pile neuve 4,5V débitant dans $14,7\Omega$ » isolé **dans la nacelle**, et nacelle dans le congélateur.



Conclusion :

Dans cet essai, le seuil fatidique de 3V est atteint en 8400s = 2h20 sans isolation contre 10200s = 2h50 avec une isolation. **L'isolation apporte seulement 30 minutes supplémentaires d'autonomie.**



Théo

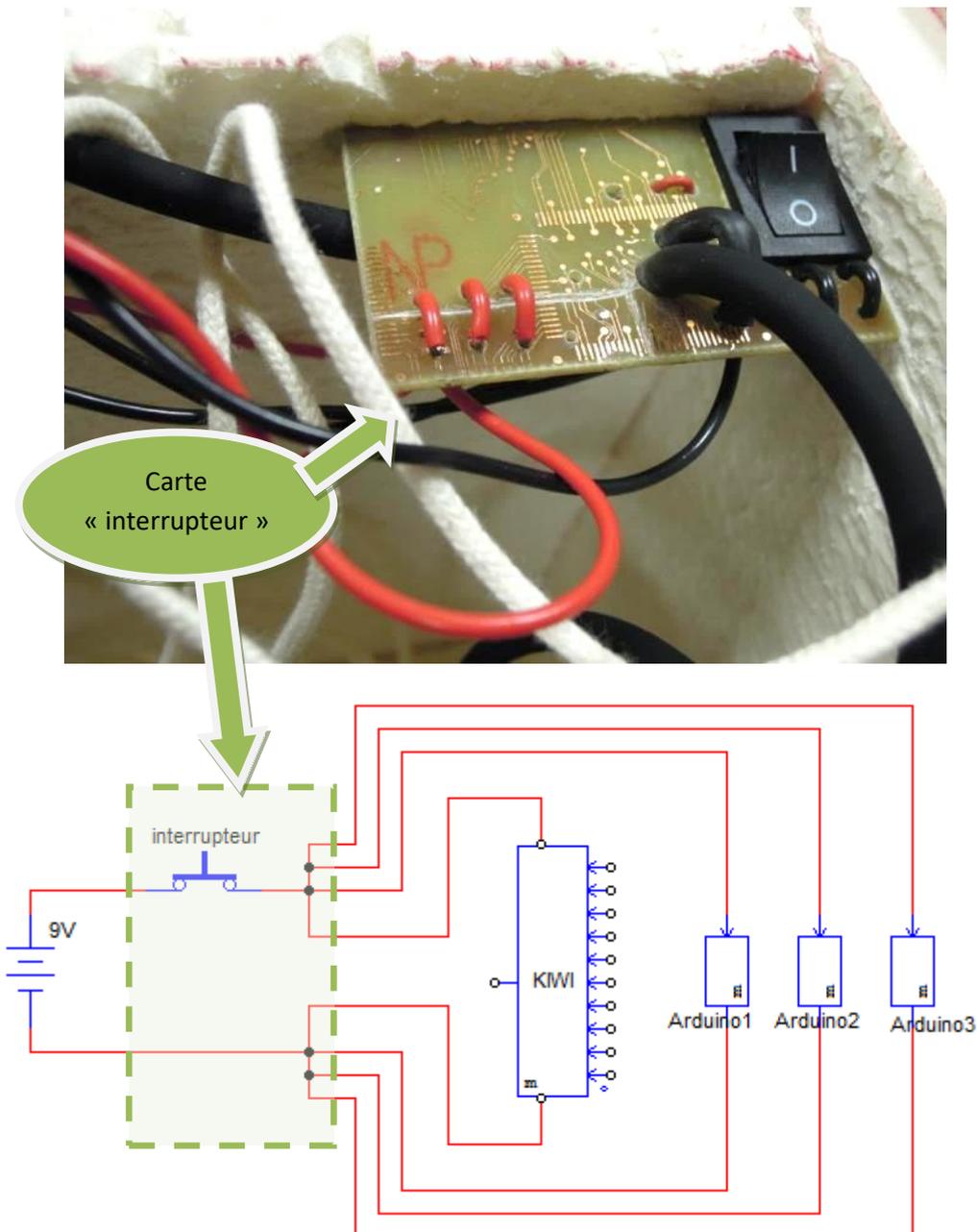
Ewen

La décision est prise de réaliser tout de même un **petit compartiment isolant pour les piles en polystyrène extrudé de 20 mm d'épaisseur**. Ce compartiment sera placé au centre de la nacelle

pour l'équilibrer. Il ne sera pas fermé pour permettre une évacuation de la chaleur à destination des autres éléments de la nacelle. C'est un compromis entre l'isolation thermique des piles (pour optimiser leur autonomie) et l'apport de chaleur à l'intérieur de la nacelle.

6) Câblage de l'alimentation et interrupteur général

Les 2 piles 4,5V en série devront alimenter l'émetteur KIWI et 3 cartes Arduino. Il faut prévoir un interrupteur général sur le + de l'alimentation. De cet interrupteur partiront 4 connexions vers les + des 4 modules (KIWI + 3 Arduino). On réalise une petite carte sur laquelle on fixe l'interrupteur et on y réalise les 4 connexions aux + les 4 connexions aux -.



En réalité l'alimentation de chaque module (KIWI et Arduino) est réalisée par un câble blindé à 2 conducteurs : 1 conducteur pour le + et 1 conducteur pour le - (le blindage étant relié au -).

7) Alimentations des autres appareils

5 autres appareils nécessitent une alimentation : les 2 traceurs GPS, les 2 caméras et l'appareil photo.

L'appareil photo est alimenté par 2 piles 1,5V au lithium.



Les caméras sont alimentées par leur batterie lithium interne 900 mAh et on leur connecte également une batterie auxiliaire au lithium 2500 mAh pour assurer une autonomie suffisante.



Les 2 traceurs GPS sont alimentés par une batterie lithium 3,7V – 1000 mAh.

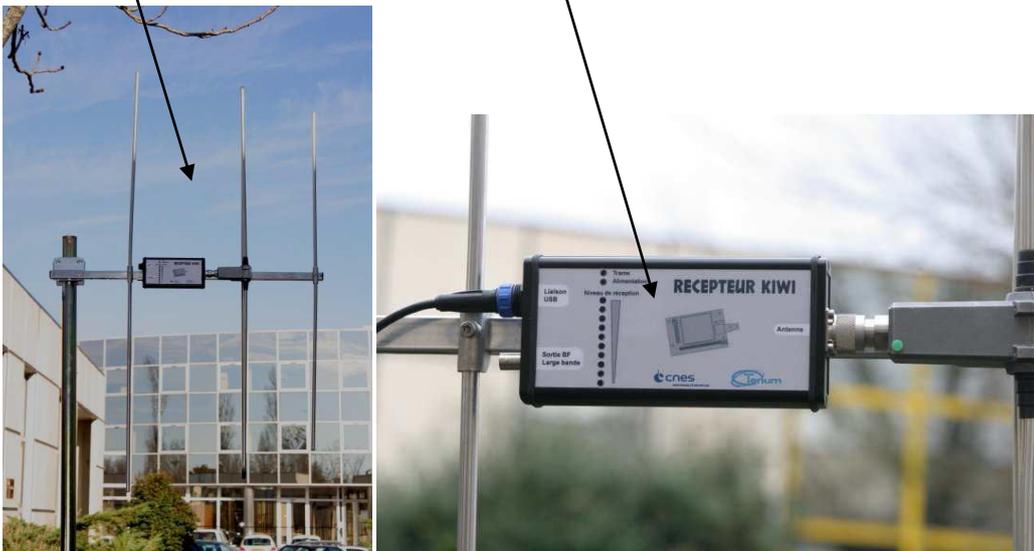
Bilan des alimentations				
Alimentation principale	4,5 + 4,5 = 9V	Alcaline non rechargeable	2 x 4000 mAh (à +20°C)	2 x 160 = 320 g
Appareil photo	1,5 + 1,5 = 3V	Lithium non rechargeable	?	35 g
Caméra Takara	3,7V	Li - Ion	900 mAh	65 g
+ batterie auxiliaire	3,7V	Li - Ion	2500 mAh	65 g
Caméra PNJ	3,7V	Li - Ion	850 mAh	75 g
+ batterie auxiliaire	3,7V	Li - Ion	2500 mAh	65 g
Traceur GPS n°1	3,7V	Li - Ion	1000 mAh	70 g
Traceur GPS n°2	3,7V	Li - Ion	800 mAh	70 g

3) La communication radio par l'émetteur KIWI

1) Le matériel fourni

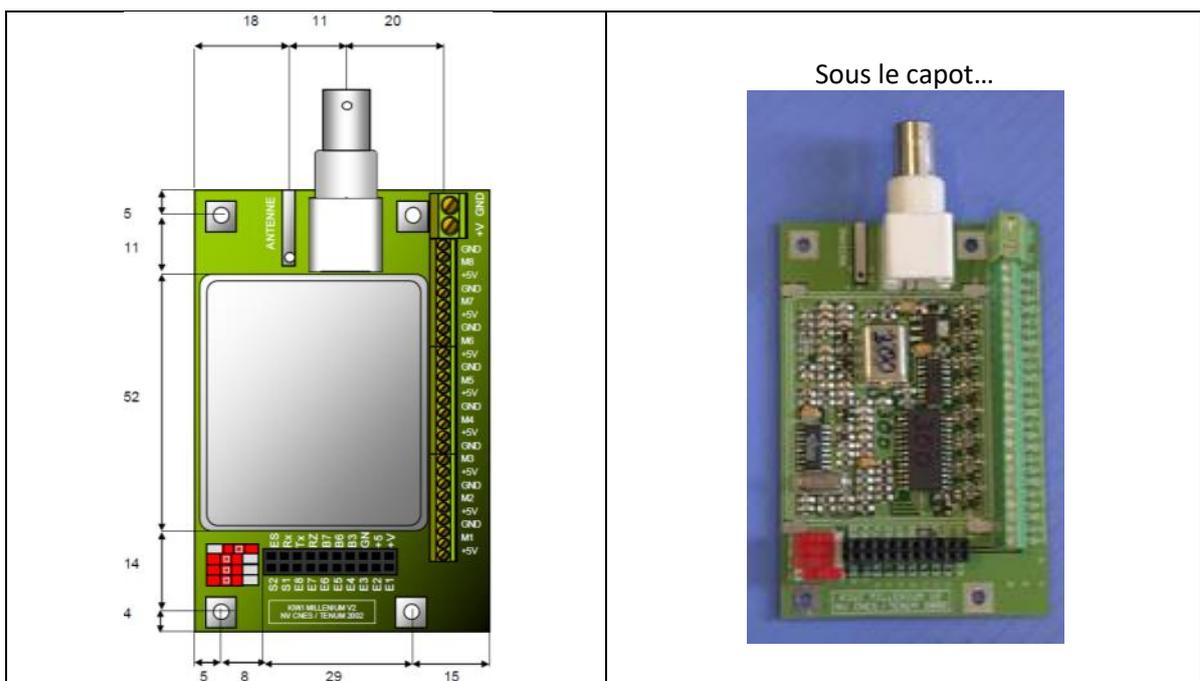
Le CNES met à notre disposition le matériel de communication comprenant :

- **L'émetteur radio KIWI** sur lequel nous pourrons connecter 8 capteurs.
- **Le logiciel KICAPT** (à télécharger).
- **L'antenne de réception** équipée d'un **démodulateur** à relier au port USB d'un ordinateur.



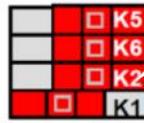
2) Mise en service

L'émetteur KIWI est un circuit électronique devant être alimenté par une **tension comprise entre 6V et 9V** (6V est la tension minimum que doivent nous garantir l'équipe « alimentation »). (La dernière documentation du KIWI de 2009 donne des valeurs de 5,6V à 12V).



Les switches permettent des réglages de l'émetteur.

Trames non répétées
Trames en continu
Fréquence 138.500 MHz
Modulation interne



Fréquences possibles :
138,500 ou 137,950 MHz

Trames répétées 3 fois
Trames toutes les 2 secondes
Fréquence 137.950 MHz
Modulation externe

La configuration de base (toujours d'après le document le plus récent de « Planète Sciences » disponible, celui de 2009) prévoit une fréquence de **137,950 MHz**.

Essai du 13/12/16.

Nous alimentons l'émetteur KIWI par une alimentation de laboratoire réglée à 9V et nous relierons l'antenne au port USB de l'ordinateur. Nous ouvrons le logiciel KICAPT. Le balayage fréquentiel permet de visualiser la fréquence émise. Aucune fréquence n'apparaît !

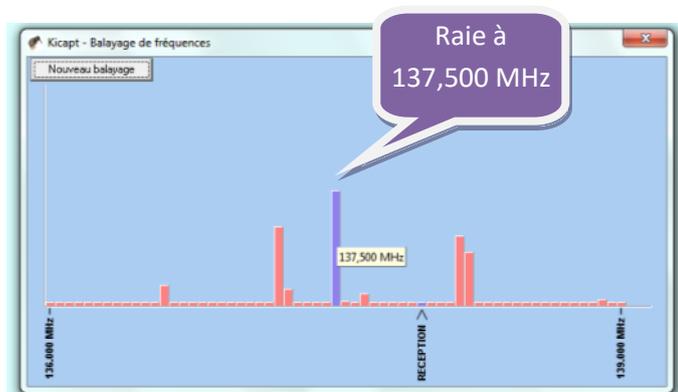
Après plusieurs vérifications, toujours rien : l'émetteur fourni n'émet pas sur la fréquence prévue. Nous décidons de glisser le switch K2 sur **138,500 MHz**.

Balayage fréquentiel :



2 raies apparaissent ! **137,500 MHz** et 137,950 MHz. Cette raie à 137,500 MHz n'est pas du tout prévue par le document de « Planète Sciences » !

Je débranche l'antenne, puis je la reconnecte et je relance Kicapt. Nouveau balayage :



La raie sur 137,95 MHz a disparu !

Sur le logiciel Kicapt, je demande à ce que la réception se fasse sur **137,500 MHz**. OK : on entend les bip-bip-bip caractéristiques de bonne réception et la LED Réception clignote 3 fois par seconde en jaune.

Les trames sont bien réceptionnées sur Kicapt toutes les secondes. La communication se fera donc sur cette fréquence **137,500 MHz** (non prévue par le document de « Planète Sciences »).

3) Connexions par fils blindés

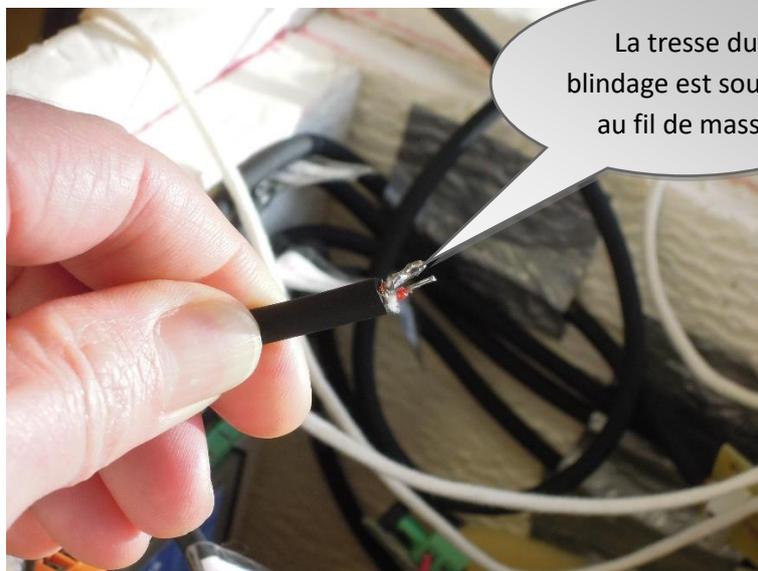
Pour éviter de parasiter les signaux en provenance des capteurs par le rayonnement de l'émetteur, nous décidons d'utiliser du fil blindé.



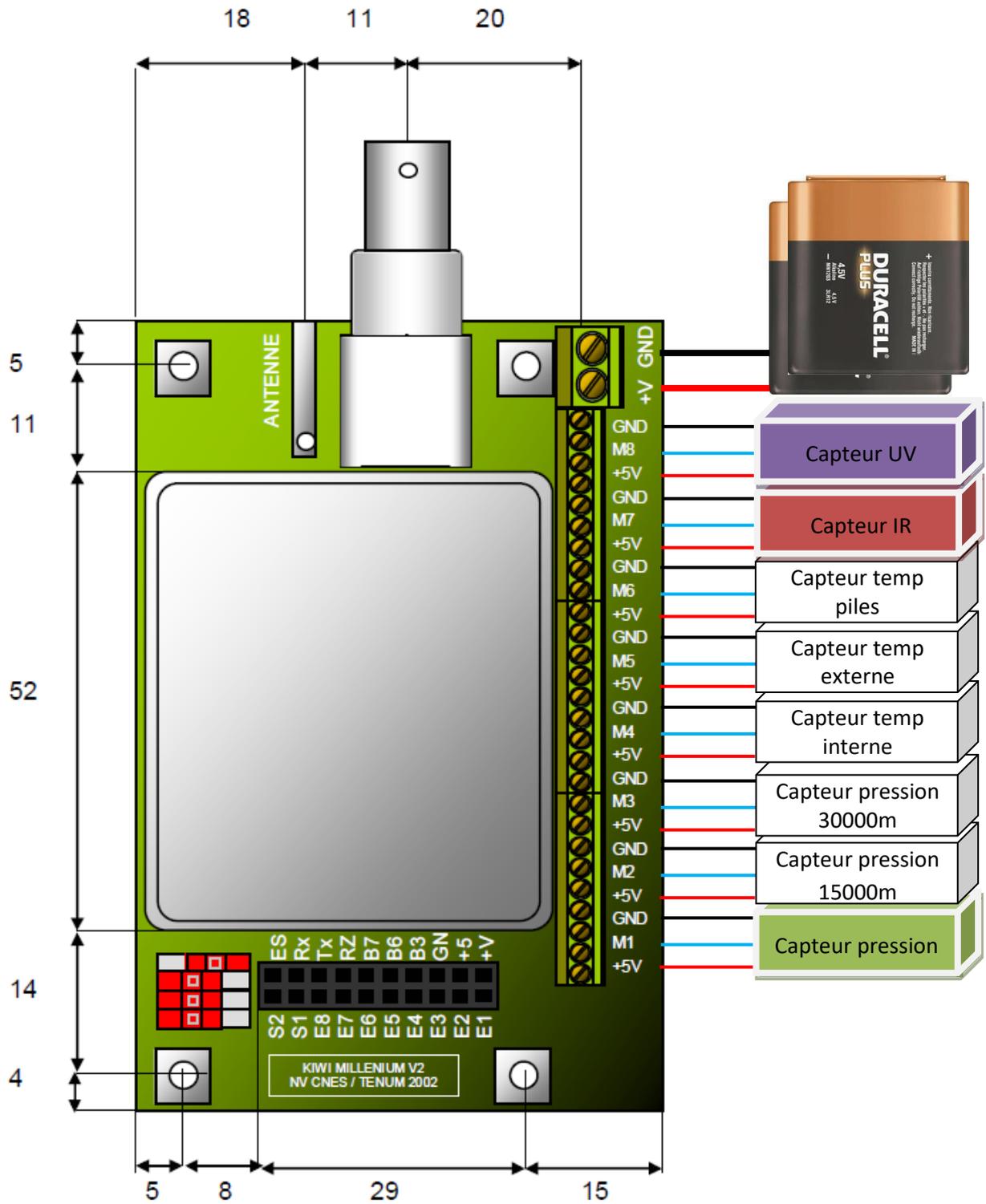
L'**avantage** est indéniable pour les **capteurs sensibles** comme les capteurs de pression et le capteur UV.

L'**inconvénient** est une mise en œuvre plus longue :

- Il faut d'abord dénuder en enlevant une partie de la gaine, ce qui laisse apparaître le blindage métallique en tresse tout autour des 2 conducteurs centraux.
- Ensuite on dénude les 2 conducteurs centraux.
- Puis on réunit la tresse du blindage en un seul conducteur qui sera soudé au fil de masse.
- On obtient finalement 2 conducteurs.



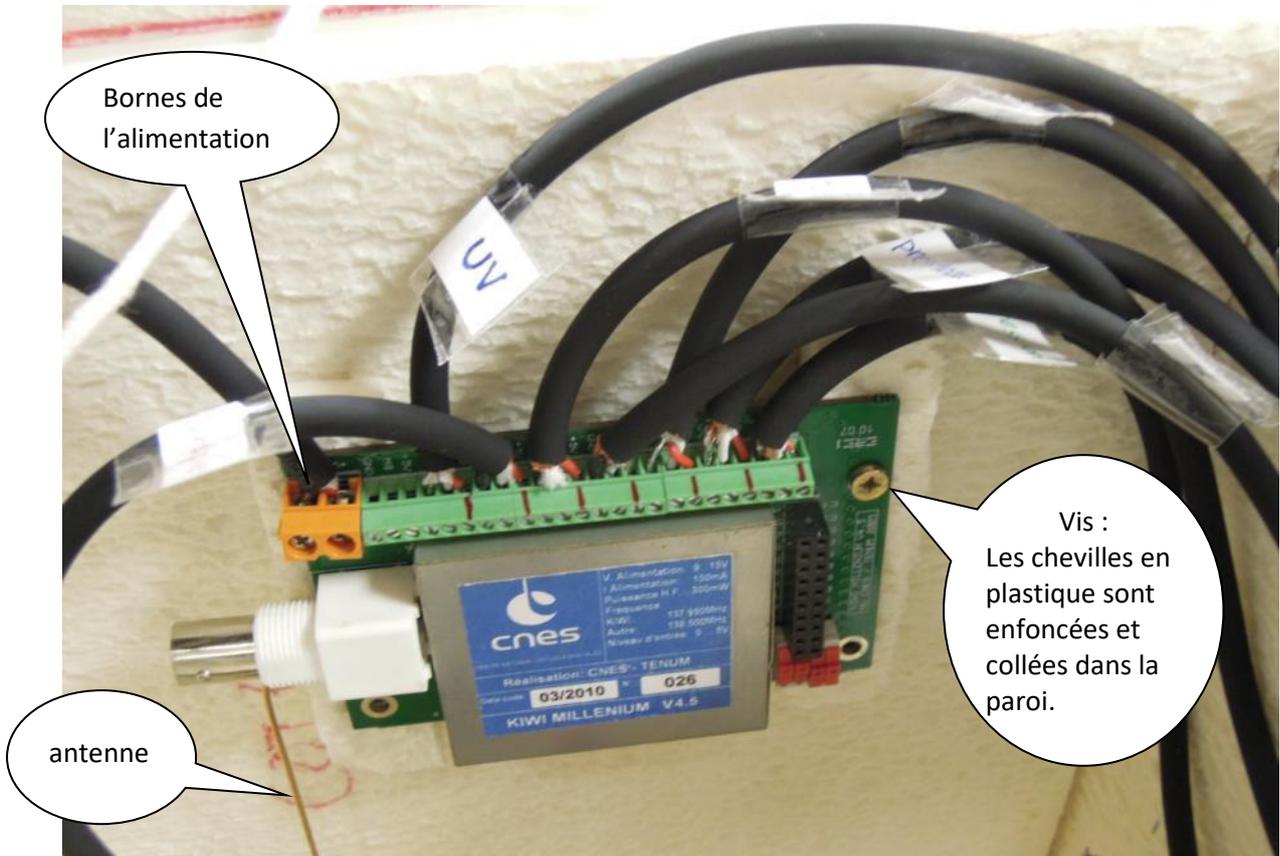
4) Connexion des capteurs



- Les capteurs sont tous alimentés par la tension régulée 5V fournie par l'émetteur.

5) Intégration dans la nacelle

Pour fixer l'émetteur KIWI en respectant un espace entre la paroi et le boîtier, on colle 2 bandes de polystyrènes de 1cm d'épaisseur sur la paroi et on y enfonce 4 chevilles en plastique. L'émetteur KIWI est donc vissé sur ce support.



L'antenne est coudée à 90° et dirigée vers le sol.

4) Les capteurs de pression

1) Cahier des charges

- 2 capteurs de pression :
 - 1 capteur de pression pour les pressions de 1100 hPa jusqu'à 50 hPa
 - 1 capteur de pression pour les très basses pressions entre 100 et 1 hPa
- Cahier des charges (à compléter) :
 - Alimentation : 5,00 V
 - Gamme de pression : à définir pour chaque capteur
 - Plage de variation de la tension du capteur la plus étendue possible entre 0 et 5V lorsque la pression varie dans la gamme de valeur prévue (exemple : $0,5V < U < 4,5V$ lorsque $1 \text{ hPa} < \text{pression} < 100 \text{ hPa}$)
 - Fonctionnement garanti et testé dans les conditions se rapprochant le plus des conditions réelles prévues pendant le vol :
 - Conditions de température
 - Conditions de rayonnement électromagnétique (fonctionnement testé en présence de l'émission radio du Kiwi)
 - Conditions de pression

Chaque élève devra contribuer à fournir un dossier contenant les pièces suivantes :

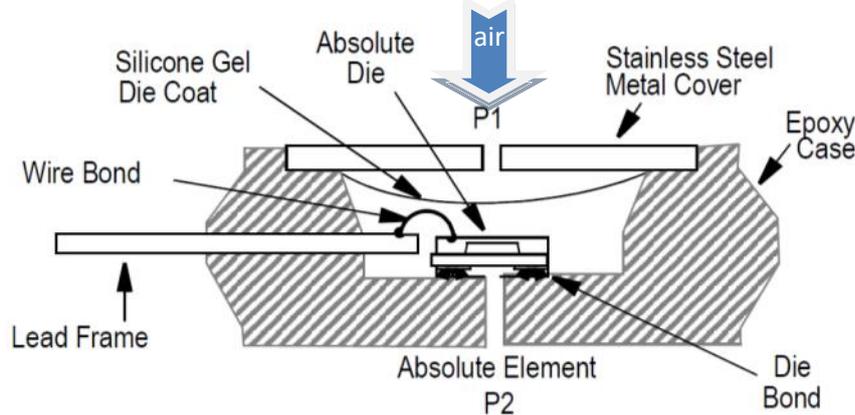
- 1) Une feuille de **présentation** : comment évolue la pression en altitude ? Pourquoi ? comment peut-on mesurer une pression ? Principe des différents capteurs. Quels sont les difficultés : très basse pression en altitude, ...Quels sont les capteurs que vous avez retenus et pourquoi ? etc...
- 2) **Le cahier des charges** précis que vous avez défini
- 3) **Schéma électrique** des capteurs avec toutes les références des composants
- 4) Datasheets des composants
- 5) **Courbe d'étalonnage** : tension U (en V) en fonction de la pression (en hPa). (Pour chaque capteur).
- 6) **Courbe donnant l'altitude** (en m) en fonction de la tension capteur (en V). (Pour chaque capteur).
- 7) **Simulation** sous matlab du comportement de chaque capteur pendant le vol. Courbe montrant l'évolution de la tension capteur pendant les 3 heures du vol.
- 8) **Plan d'implantation** des capteurs dans la nacelle. + masse (en g) du capteur.

2) Historique de la conception des capteurs

Timothé et Marin commencent leur travail par une recherche documentaire sur la variation de la pression avec l'altitude puis sur les différents moyens de mesurer la pression. Leur choix est progressivement dirigé vers un capteur de pression piézoélectrique type MPX 2200 AP.



Le principe est basé sur l'effet piézoélectrique : l'air entrant par l'orifice P1 va exercer une force (donc une pression) sur la surface sensible du capteur. Cette force va créer une tension aux bornes de cet élément sensible, proportionnel à la force, donc proportionnel à la pression.



Compte tenu des très faibles niveaux de tensions en sortie d'un capteur de ce type (10mV maximum à 100 kPa pour une alimentation 5V) un amplificateur est ajouté au capteur.

Lors des tests avec l'émetteur radio on constate des perturbations sur le fonctionnement du capteur qui donne des valeurs aléatoires. Un circuit imprimé sera réalisé avec **plan de masse** et une connexion à l'émetteur par **câble blindé**.

Un deuxième circuit sera réalisé pour des mesures fines des basses pressions en haute altitude, avec un capteur de pression et un amplificateur à fort coefficient d'amplification.

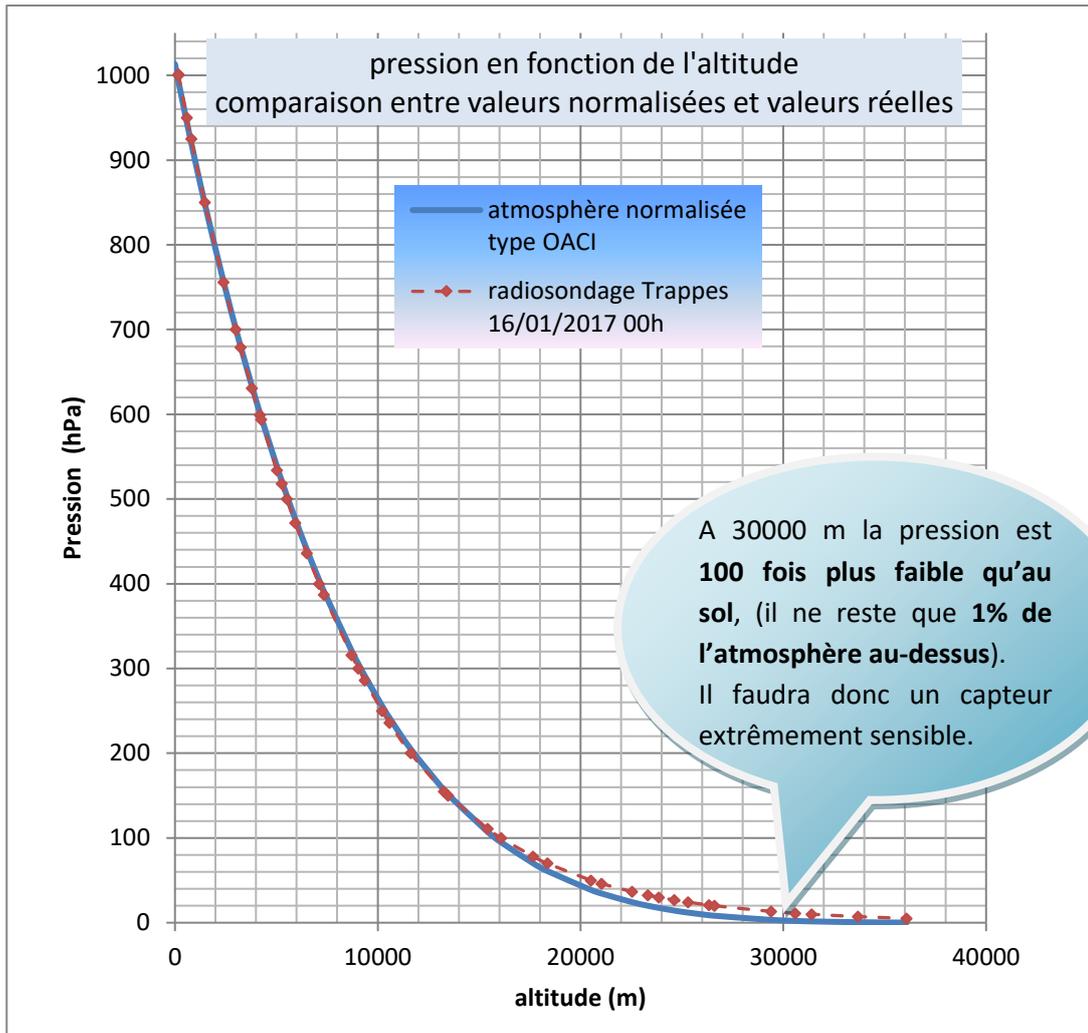
Enfin on ajoutera un capteur avec ampli intégré, limité à 150 hPa en valeurs basses, mais qui pourra servir à confirmer les valeurs des autres capteurs.

3) Pression en fonction de l'altitude

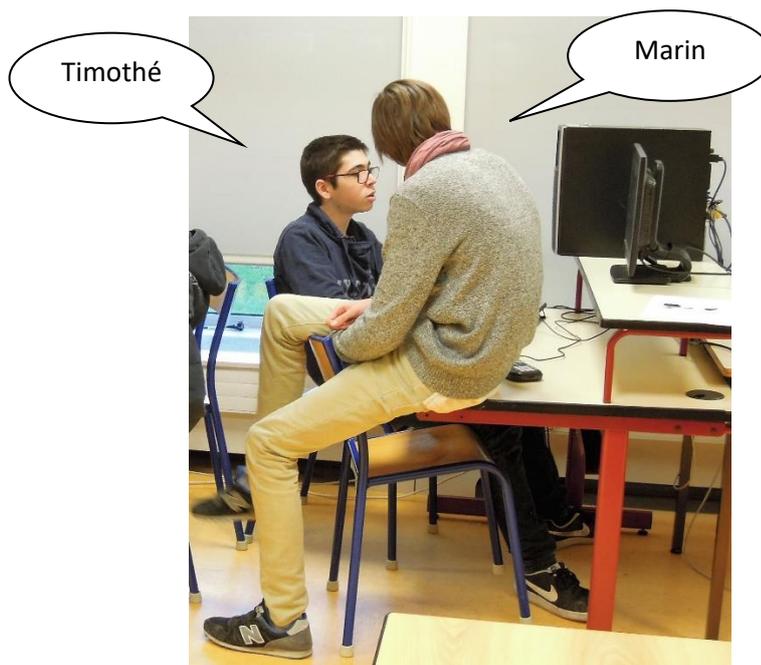
Dans la troposphère, jusqu'à 12 000 m, la formule internationale du nivellement barométrique de l'atmosphère normalisée type OACI donne des valeurs correspondant assez bien aux valeurs

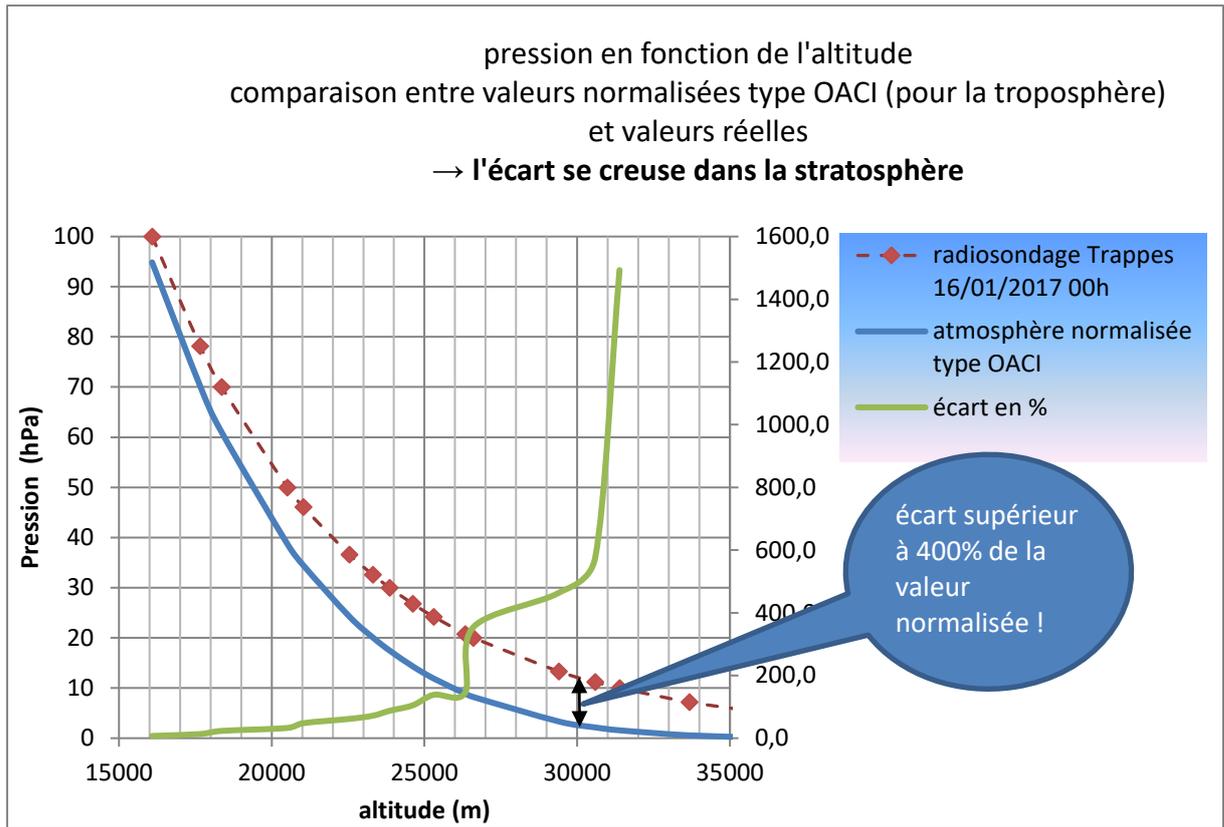
réelles :

$$p = 1013,25 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h}{288,15}\right)^{5,255}$$



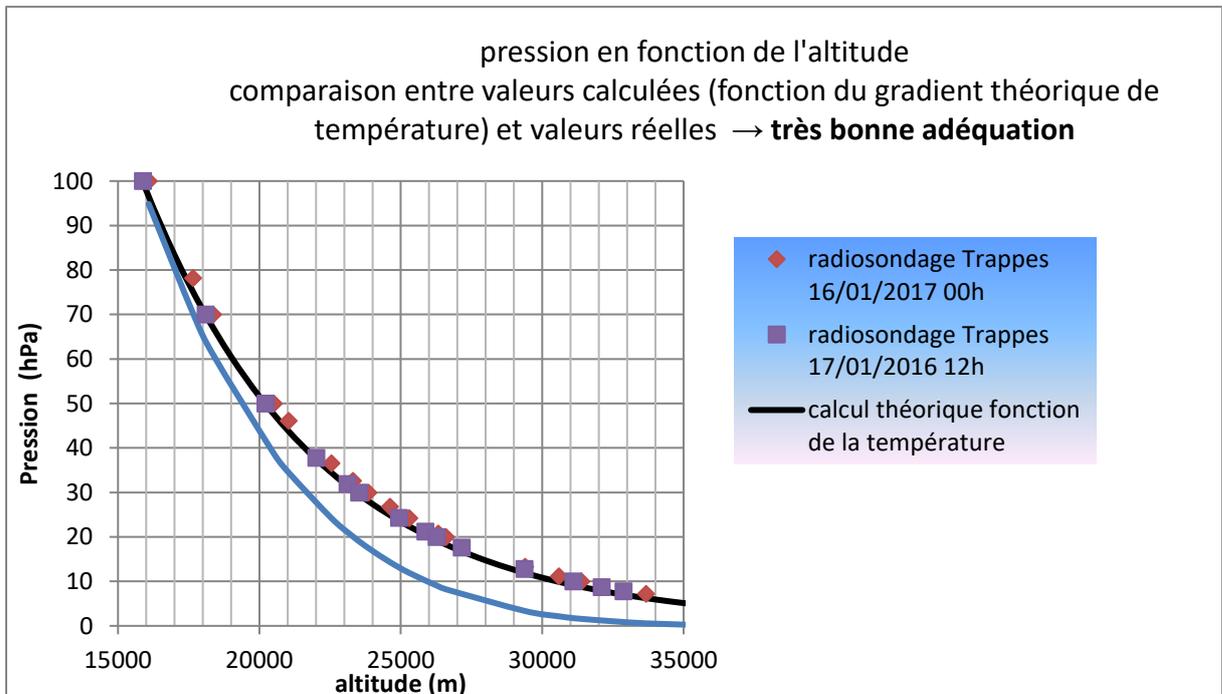
Au-delà de 15 000 m, dans la stratosphère, des différences apparaissent nettement entre les valeurs théoriques de la formule internationale du nivellement barométrique et les valeurs réelles. On le voit mieux en zoomant sur la partie de la courbe entre 15000 m et 35000 m.





Il faut donc utiliser une formule plus précise, tenant compte de la température T (en K) :

$$p_h = p_0 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \cdot (h - h_0)}{T}\right)^{5,255}$$



L'accord formule-réalité est à présent très bon.

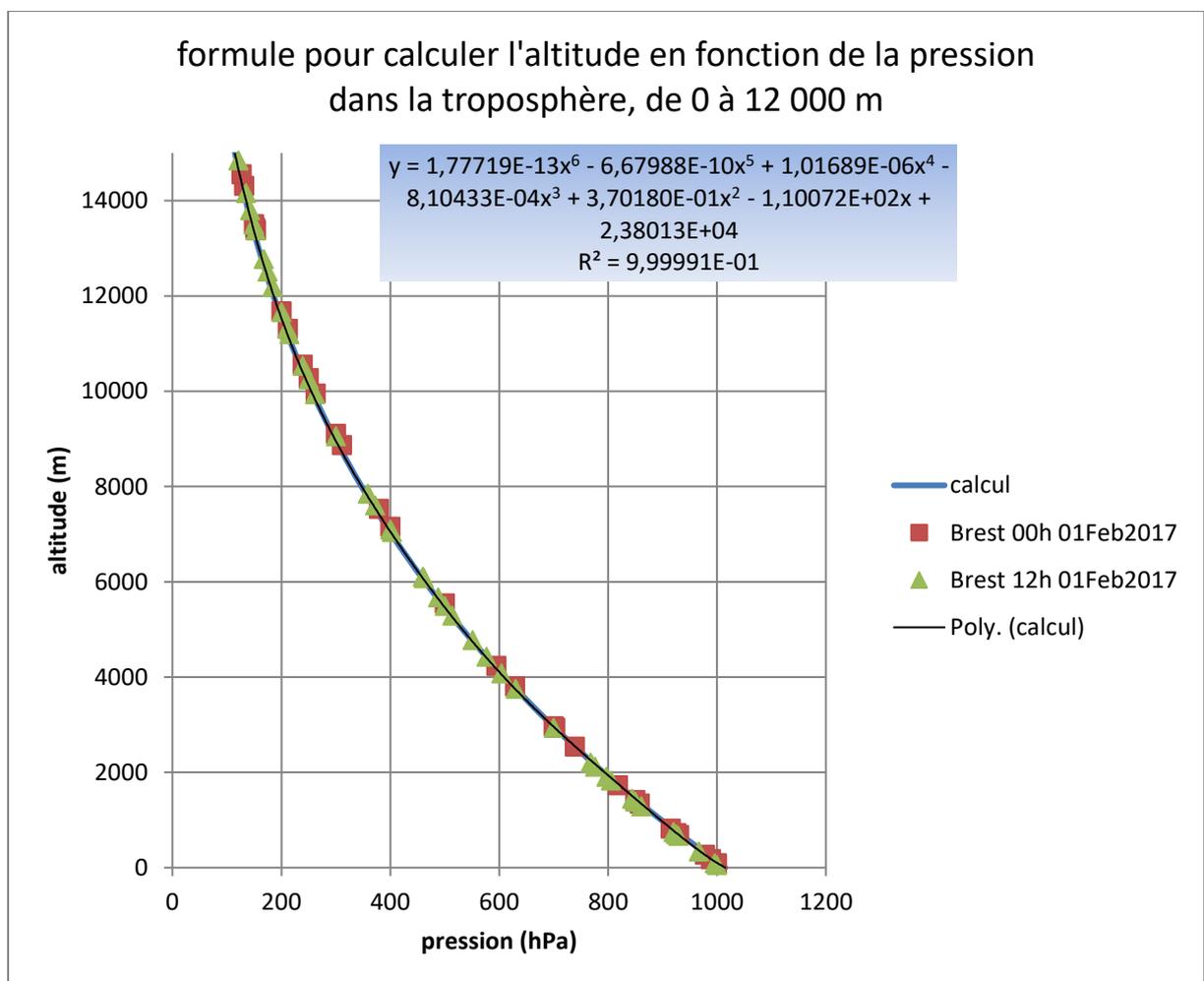
4) Altitude en fonction de la pression

Les capteurs nous donneront la pression. Il faut donc pouvoir passer de la pression à l'altitude. Or, autant on trouve facilement la formule donnant la pression en fonction de l'altitude, autant il est difficile de trouver la formule inverse. Nous allons donc nous baser sur des mesures réelles et utiliser EXCEL pour trouver une formule.

➤ Dans la troposphère, de 0 m à 12 000 m

On utilise la formule précédente donnant la pression en fonction de l'altitude, puis on trace l'altitude en fonction de la pression (la courbe inverse de la précédente).

EXCEL nous donne une courbe de tendance en polynôme d'ordre 6 très satisfaisante. Les données des radiosondages viennent enfin confirmer cette formule en se positionnant parfaitement sur la courbe de tendance, confondue elle-même avec notre courbe issue du calcul.



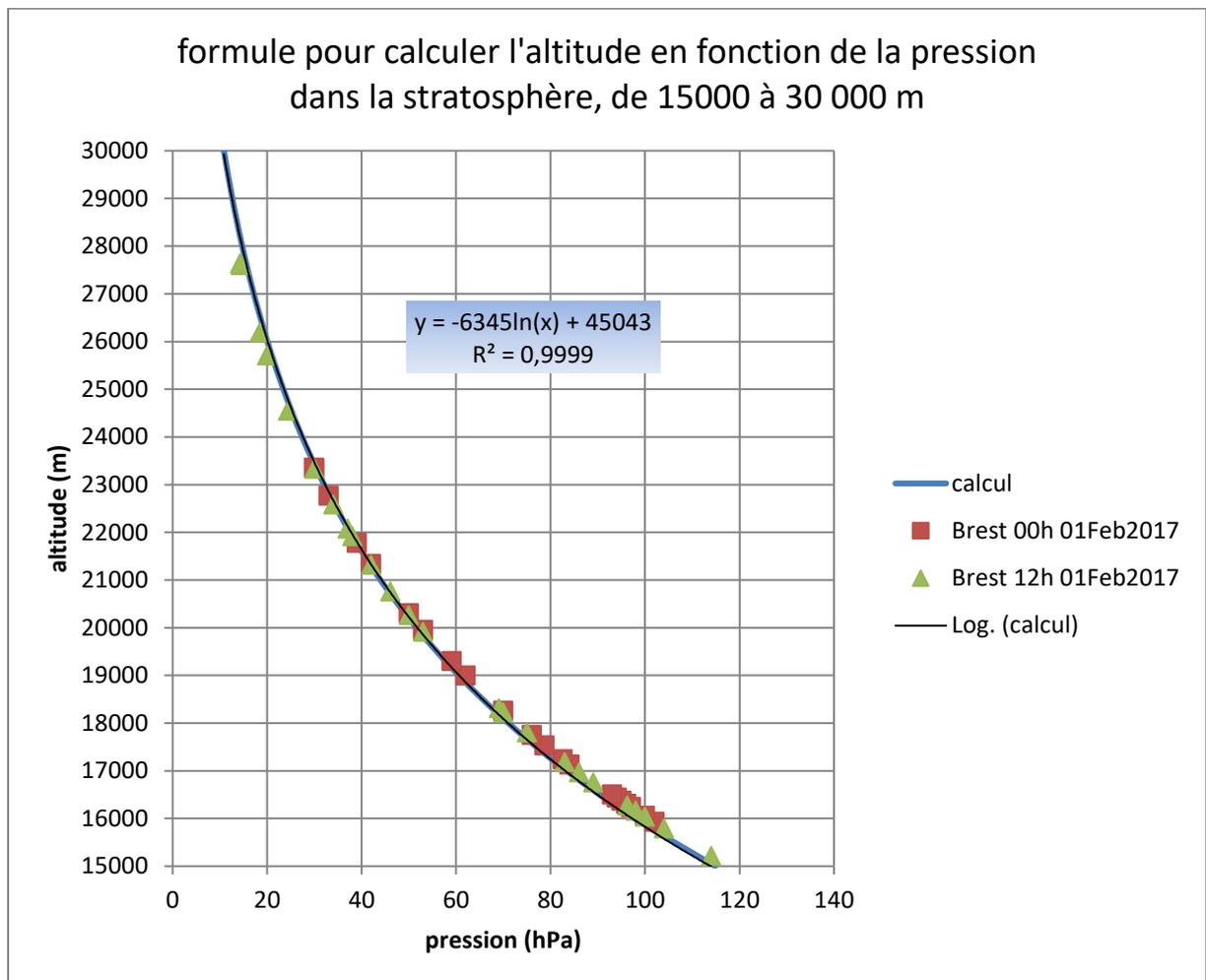
Lorsque nous aurons les valeurs de pression grâce à nos capteurs, il suffira d'entrer sous EXCEL la formule suivante :

```
=0,00000000000017772*PUISSANCE(I4;6)-  
0,000000000668*PUISSANCE(I4;5)+0,00001017*PUISSANCE(I4;4)-  
0,0008104*PUISSANCE(I4;3)+0,3702*PUISSANCE(I4;2)-110,1*I4+23800
```

➤ Dans la stratosphère, de 10 000 m à 30 000 m

Même méthode. Cette fois la formule appropriée est en logarithme.

Les deux formules restent valables de 10 000 m à 15 000 m.



$$y = -6370\ln(x) + 45192$$

5) Etalonnage des capteurs

Timothée et Marin procèdent d'abord à l'étalonnage du capteur proprement dit. Le capteur est relié à une seringue par un tuyau. En tirant sur la seringue, ils augmentent progressivement le volume d'air à l'intérieur de la seringue (+ le tuyau), ce qui diminue la pression.



La première étape consiste à connaître la relation entre le volume d'air dans la seringue et la pression (on utilise alors un pressiomètre étalonné).

La deuxième étape est l'étalonnage de notre capteur. On mesure la tension aux bornes du capteur pour chaque volume d'air dont on connaît la pression. On retrouve à peu près la courbe donnée par le constructeur à la tension d'offset près. La sensibilité, sous une alimentation de 5V, est bien de 10mV/1000hPa, soit 0,01mV/hPa.

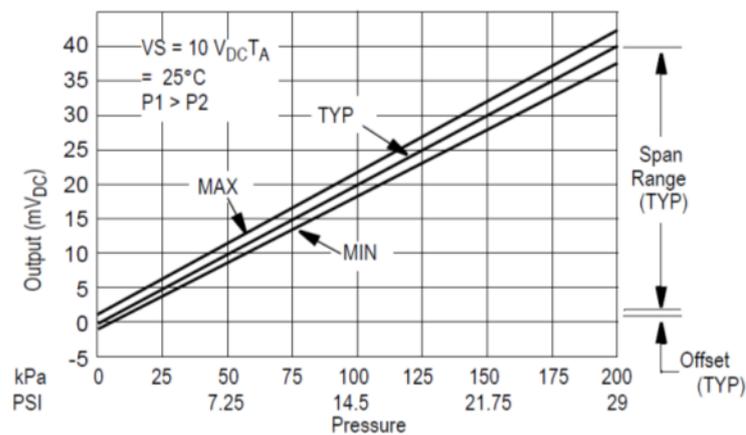


Figure 3. Output vs. Pressure Differential

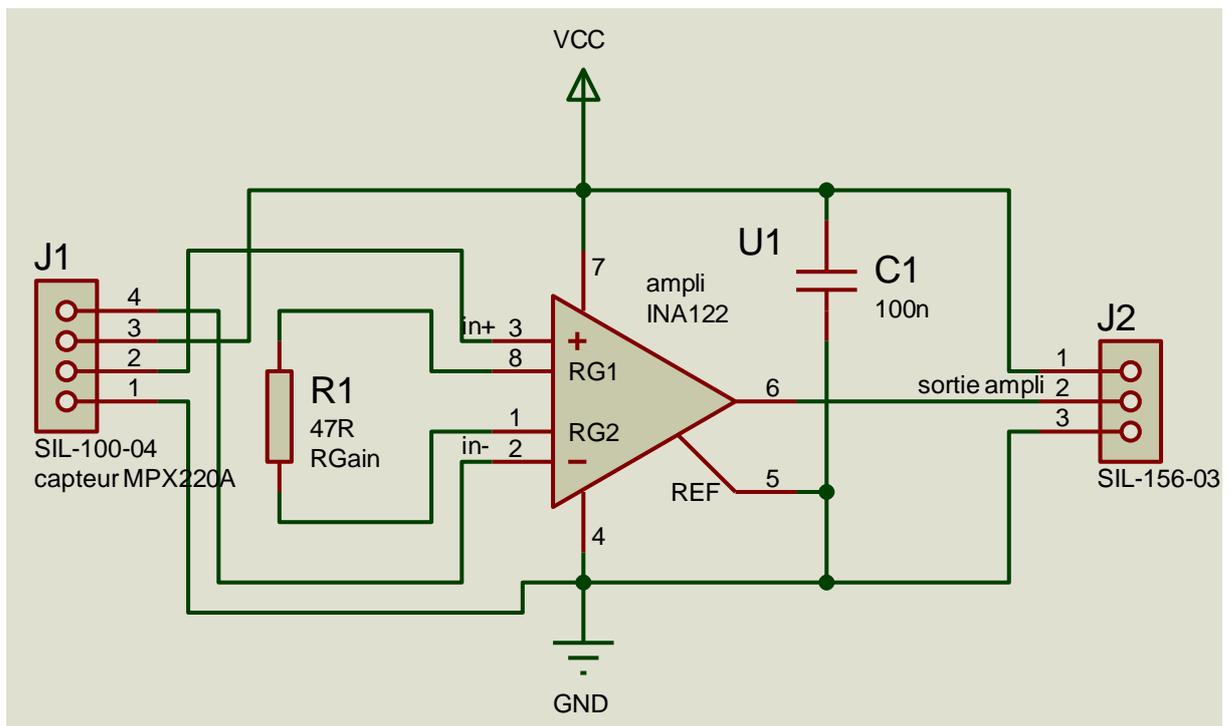
6) Réalisation des capteurs avec amplificateur d'instrumentation

Sous 5V, la tension maximum en sortie du capteur ne dépasse pas 10 mV pour 1000 hPa (au sol). C'est beaucoup trop faible. Surtout lorsque le ballon va monter, la pression allant diminuer

jusqu'à atteindre des valeurs de l'ordre de 10 hPa à 30 000 m, ce qui donnerait une tension de l'ordre de 0,1 mV=0,0001V !

En soi, cette valeur très faible pose problème quant à la fiabilité de la mesure. Quelle précision peut-on déjà avoir en laboratoire (type lycée) pour mesurer des variations autour de 0,1mV ? Mais il faut aussi prendre en compte la **conversion analogique-numérique** de l'émetteur radio. Avec 5V de pleine échelle sur 8 bits nous avons **256 niveaux espacés de 19,5 mV**. Le plus petit écart de tension mesurable est donc 0,02V (2 fois la valeur maximum de la pression). Nous sommes obligés d'amplifier.

Le circuit choisi est un amplificateur d'instrumentation INA 121 dont le coefficient d'amplification est ajustable par une résistance.



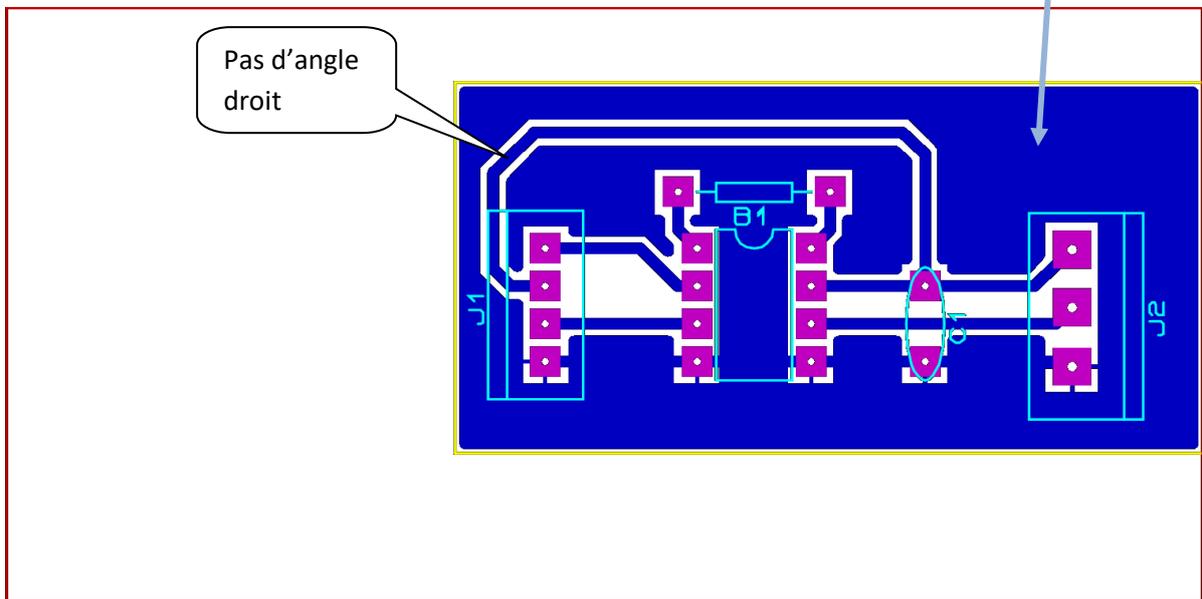
Circuit imprimé réalisé sous PROTEUS

Un premier circuit imprimé est réalisé avec une résistance $R1=270\Omega$, ce qui donne théoriquement un coefficient d'amplification de $1 + \frac{50000}{270} = 186$.

Cette valeur optimise le fonctionnement de l'amplificateur alimenté entre 0 et 5V. Compte tenu d'une « tension de déchet » de 2,5V, la valeur maximum de la tension en sortie atteint à peine 2,5V. Le capteur donnera donc la valeur maximum de tension possible au sol : avec une pression de l'ordre de 1000 hPa on prévoit à peu près 2V.

7) Compatibilité électromagnétique

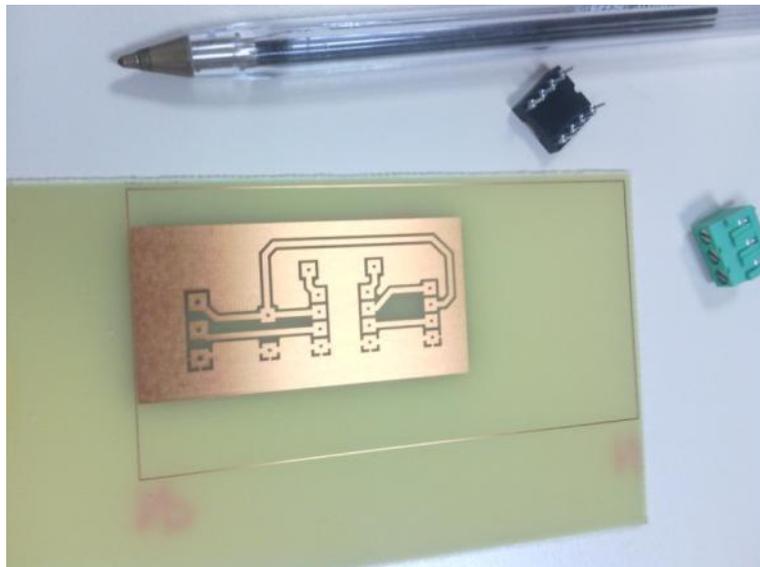
Pour se prémunir de l'influence du rayonnement de l'émetteur radio on réalise un plan de masse et on utilisera du câble blindé pour connecter les capteurs à l'émetteur.

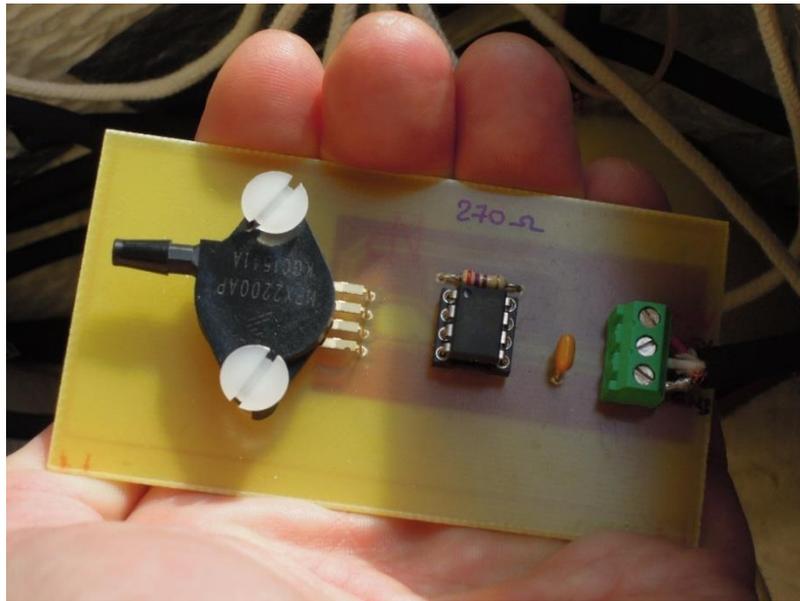


Les pistes sont les plus courtes possibles, sans angle droit.

Un condensateur de découplage de 1nF en céramique est placé le plus près possibles des bornes d'alimentation.

Les plaques époxy sont suffisamment grandes pour accueillir le capteur et le fixer solidement à la plaque.





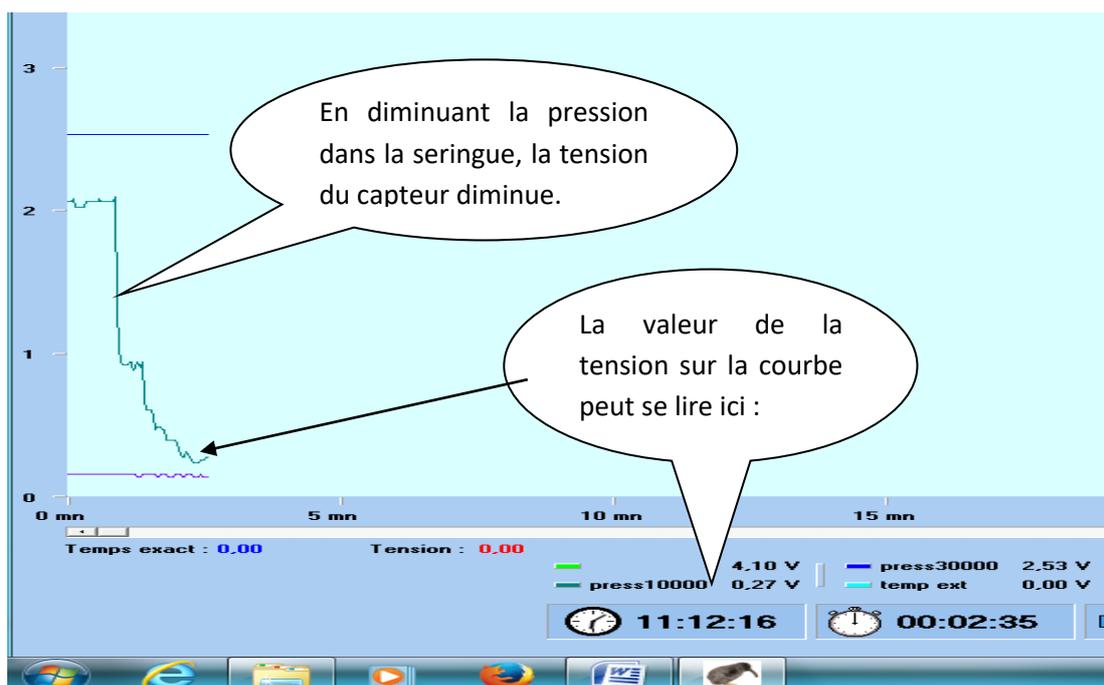
Malgré toutes ces précautions on verra que les capteurs restent très sensibles. Ils seront positionnés séparément dans la nacelle et le plus loin possible de l'émetteur radio et de l'antenne.

8) Etalonnage par télémesure

Timothée et Marin réalisent un premier essai du capteur avec amplificateur en « fils volants ». Cela leur permet de choisir la résistance optimale qui permet un compromis entre fort coefficient d'amplification et utilisation optimale de la gamme de tensions entre 0 et 5V.

Les circuits imprimés sont ensuite réalisés et les composants soudés.

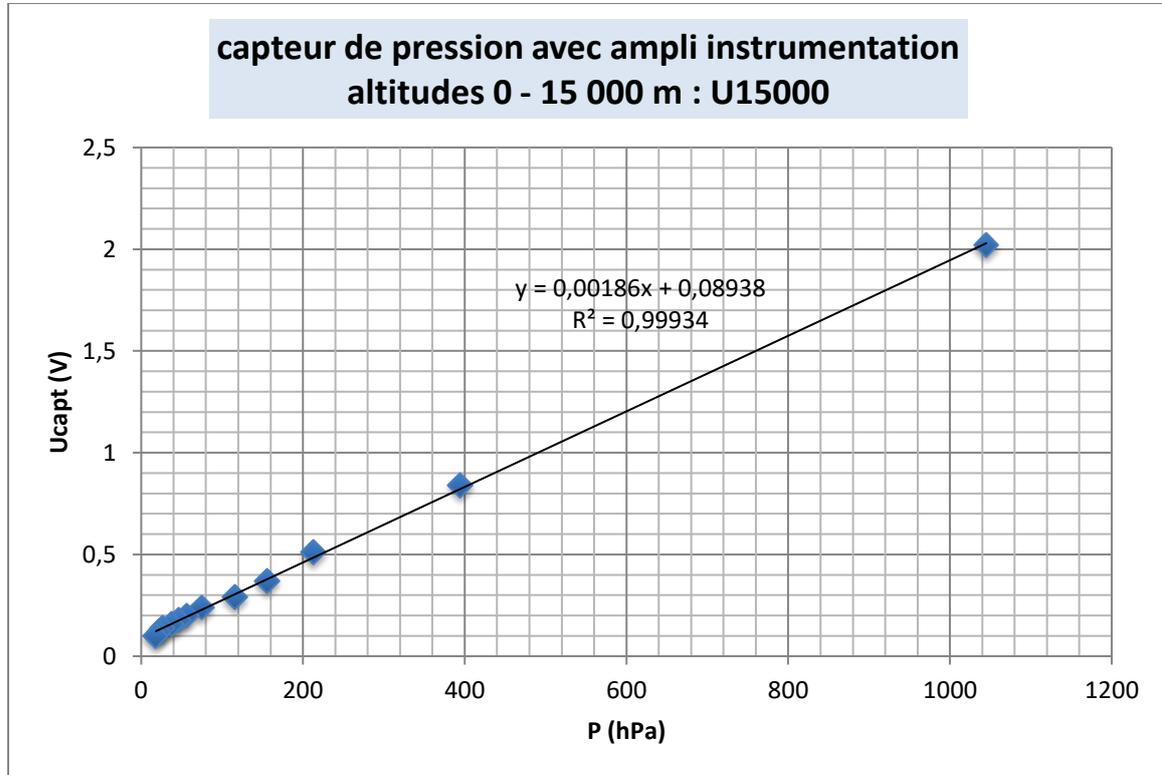
L'étalonnage est réalisé par télémesure avec les capteurs connectés à l'émetteur radio KIWI et mesure sur l'écran de l'ordinateur. Le logiciel KICAPT permet en effet la lecture des valeurs reçues par le récepteur radio (antenne + démodulateur).



a) Capteurs de pression MPX 2200 AP + ampli d'instrumentation INA 121

- Capteur basses altitudes (0 – 12000m) – RG=270Ω

Le 1^{er} circuit utilise une résistance R1=270Ω, ce qui donne théoriquement un coefficient d'amplification de $1+50000/270=186$.



La sensibilité annoncée par le constructeur est de **0,2mV/kPa sous 10V** d'alimentation. Donc 0,1mV/kPa sous 5V d'alimentation, donc 0,01mV/hPa, soit 0,00001 V/hPa.

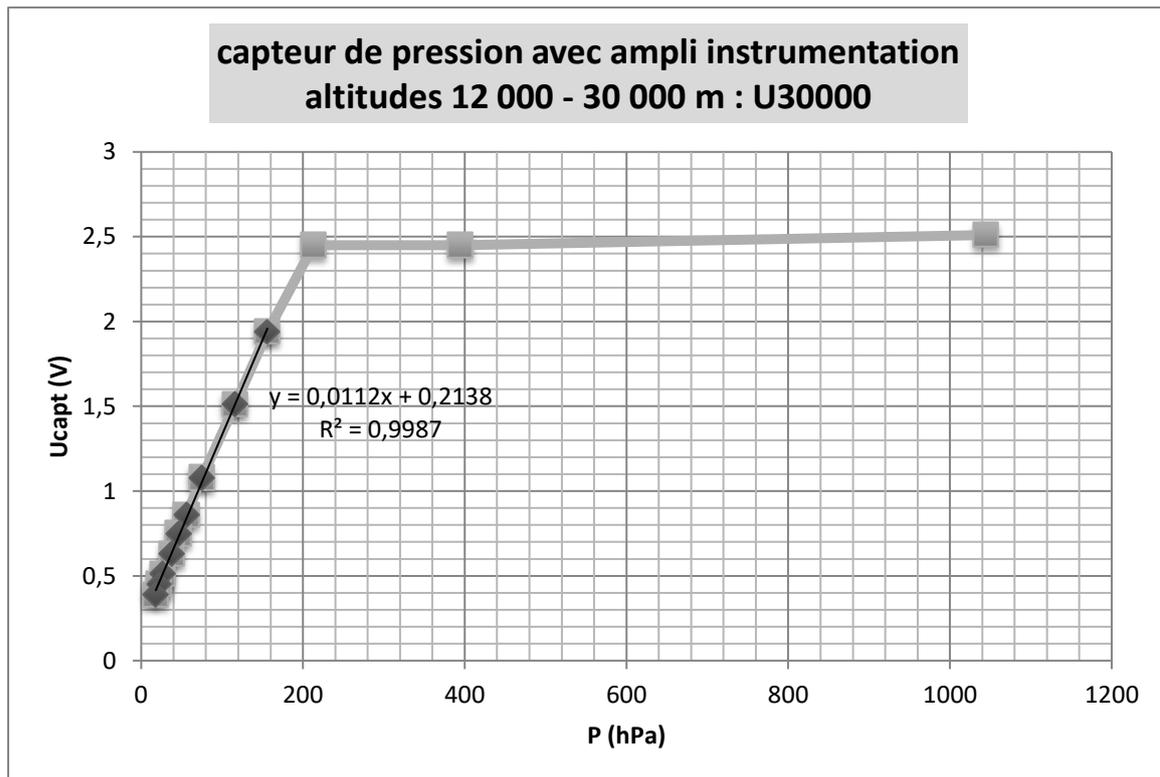
Avec l'ampli x186, on obtient bien **0,00186 V/hPa**. (ou 538 hPa/V)

$$(P = 537,6 \cdot U_{capt} - 48hPa)$$

- Capteur hautes altitudes (12000m – 30000m) – RG=47Ω

Le 2^{ème} circuit est monté avec une résistance R1=47Ω, pour avoir un coefficient d'amplification de $1+50000/47=1064$.

Ce circuit va saturer à 2,5V pour les pressions supérieures à 200 hPa. Mais il nous donnera des valeurs plus élevées et donc mieux exploitables aux basses pressions, c'est-à-dire aux altitudes élevées.



La sensibilité devrait donc être de $1064 \times 0,00001 \text{ V/hPa} = 0,01064 \text{ V/hPa}$. La courbe de tendance donne un coefficient directeur de **0,0112 V/hPa** (89,3hPa/V), soit un écart de 5%. Cette erreur peut être due en partie à la tolérance sur la valeur de la résistance 47Ω .

b) Capteur standard MPX 5100 AP

La relation entre la tension capteur U et la pression P obtenue par cet étalonnage est :

$$U = 0,00441 \cdot P - 0,447$$

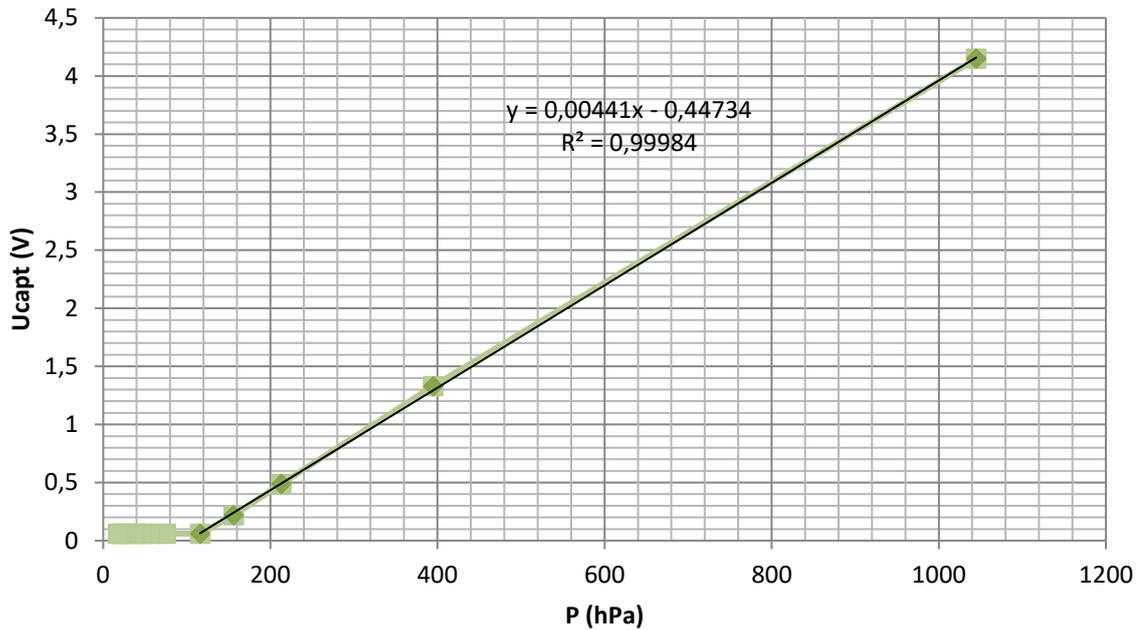
Soit une sensibilité de **0,00441 V/hPa** (227hPa/V).

La **documentation du constructeur** donne : $V_{OUT} = V_S (P \times 0.009 + 0.04) \pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Mult.} \times 0.009 \times V_S)$. Soit, en exprimant P en hPa (et non en kPa) et avec une alimentation $V_S=5V$:

$$V_{OUT} = 0,00450 \cdot P + 0,200 \quad (222\text{hPa/V}).$$

Comparaison : malgré une tension d'offset très différente on trouve seulement 2% de différence sur le coefficient multiplicateur.

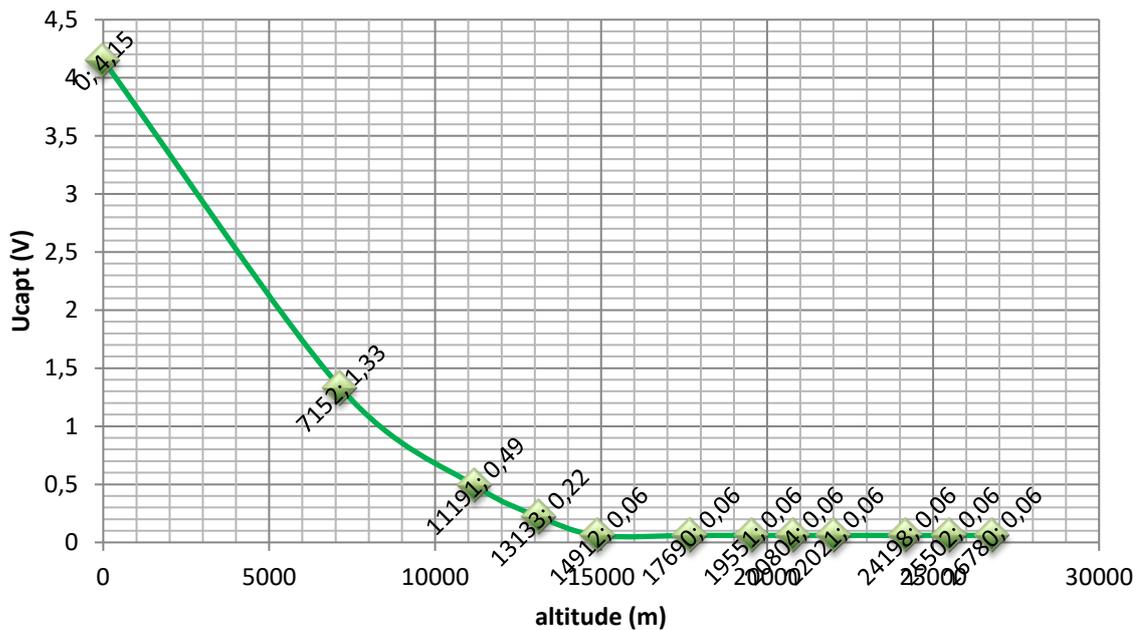
**capteur de pression standard
altitudes 0 - 15 000 m : MPX 5100 AP**

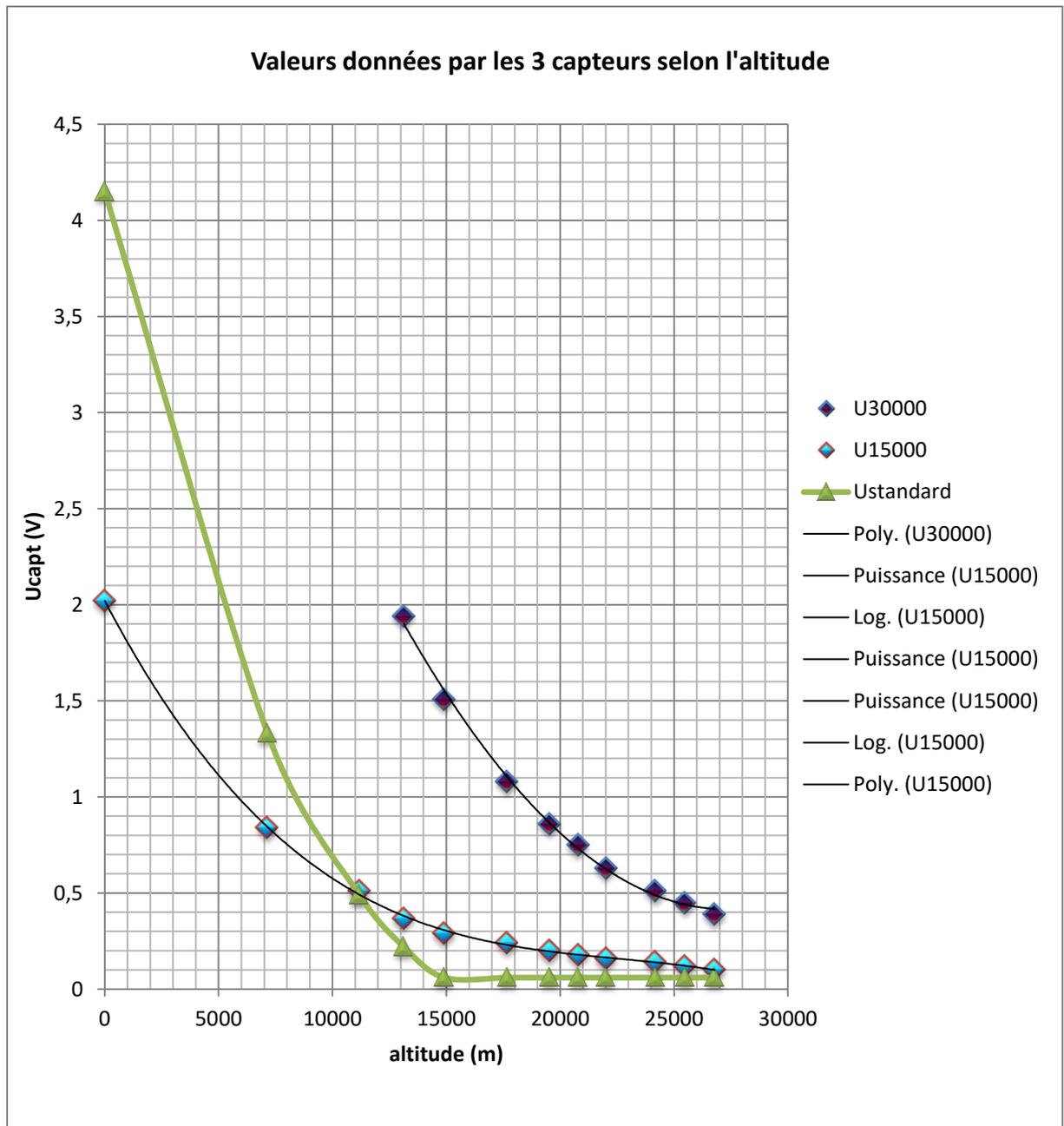


Ces trois courbes d'étalonnage seront disponibles le jour J pour permettre d'interpréter les valeurs en V reçues en temps réel.

En réalité on utilisera les courbes donnant directement l'altitude en fonction de la tension transmise par chaque capteur de pression.

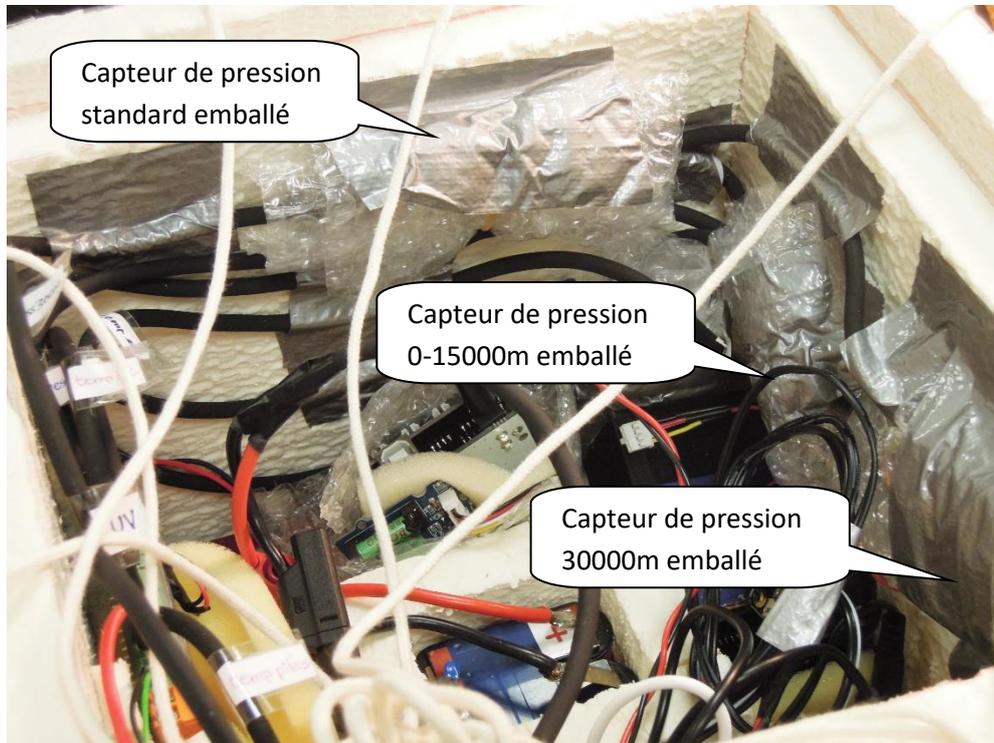
**capteur de pression standard
altitudes 0 - 15 000 m : MPX 5100 AP**





9) Implantation des capteurs de pression dans la nacelle

Chaque capteur est emballé dans une feuille en papier bulle maintenue avec un élastique. Puis on fixe chaque capteur sur une paroi intérieure de la nacelle avec du scotch large, en évitant qu'ils soient proches l'un de l'autre et en les éloignant au maximum de l'émetteur radio Kiwi.



5) Les capteurs de température

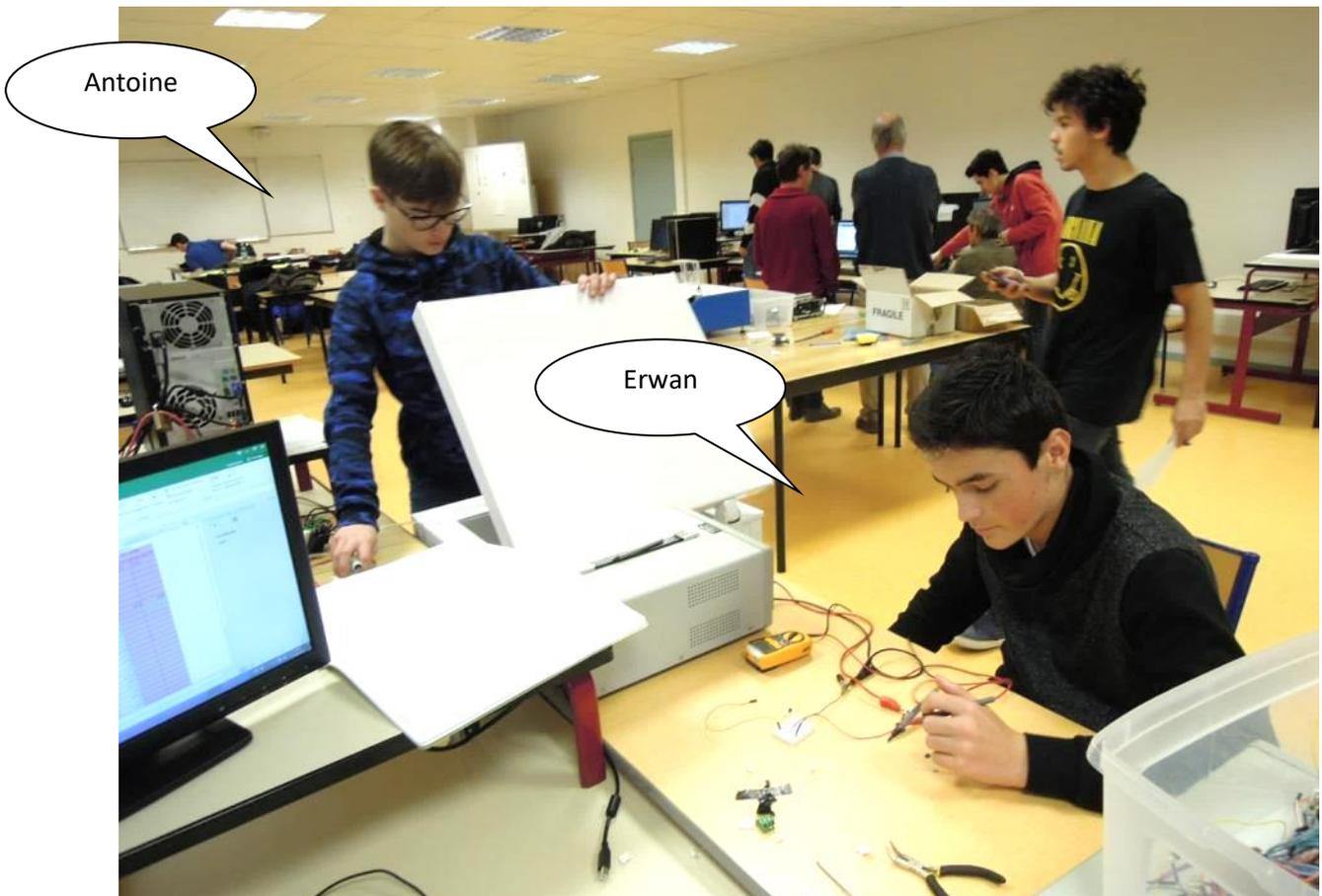
1) Cahier des charges

- 3 capteurs de température :
 - 1 capteur de température de l'air extérieur
 - 1 capteur de température interne
 - 1 capteur de température des piles (alimentation principale)
- Cahier des charges (à compléter) :
 - Alimentation : 5,00 V
 - Gamme de température : à définir pour chaque capteur
 - Plage de variation de la tension du capteur la plus étendue possible entre 0 et 5V lorsque la température varie dans la gamme de valeur prévue (exemple : $0,5V < U < 4,5V$ lorsque $-55^{\circ}C < \text{température} < +20^{\circ}C$)
 - Fonctionnement garanti et testé dans les conditions se rapprochant le plus des conditions réelles prévues pendant le vol :
 - Conditions de température
 - Conditions de rayonnement électromagnétique (fonctionnement testé en présence de l'émission radio du Kiwi)
 - Conditions de pression
- **Chaque élève devra contribuer à fournir un dossier** contenant les pièces suivantes :
 - 1) Une feuille de **présentation** : comment évolue la température en altitude ? Pourquoi ? comment peut-on mesurer une température ? Principe des différents capteurs. Quels sont les difficultés : influence du soleil direct, influence de l'air raréfié, ...Quels sont les capteurs que vous avez retenu et pourquoi ? etc...
 - 2) **Le cahier des charges** précis que vous avez défini
 - 3) **Schéma électrique** du capteur avec toutes les références des composants (Pour chaque capteur).
 - 4) Datasheets des composants
 - 5) **Courbe d'étalonnage** : tension U (en V) en fonction de la température (en °C). (Pour chaque capteur).
 - 6) **Simulation** sous matlab du comportement de chaque capteur pendant le vol. Courbe montrant l'évolution de la tension capteur pendant les 3 heures du vol.
 - 7) **Plan d'implantation** des capteurs dans la nacelle (sous Solidworks). + masse (en g) du capteur.

2) La CTN comme capteur de température

Antoine et Erwan font un tour d'horizon des différents capteurs de température et se décident pour un capteur à thermistance CTN. Une CTN est une résistance à Coefficient de Température Négatif (NTC en anglais), c'est-à-dire que sa résistance diminue quand la température augmente.

Ils commencent donc par mesurer la résistance d'une CTN 2,2k à différentes températures en la plongeant dans un congélateur dont ils modifient le réglage du thermostat (jusqu'à éteindre le congélateur).



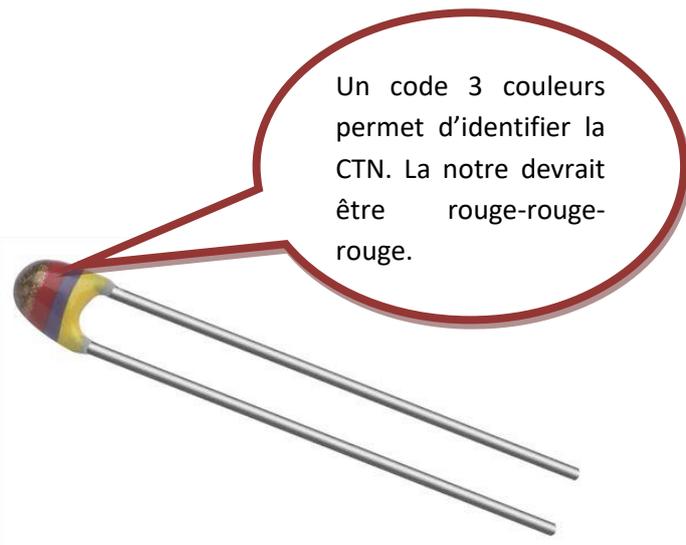
Deux problèmes se posent :

1^{er} problème : la fiabilité de la mesure de la température à un instant t avec une sonde de température dont l'inertie thermique n'est pas négligeable (le constructeur HANNA indique un temps de réponse de « quelques secondes »).

2^{ème} problème : l'inertie thermique de la CTN. Le constructeur VISHAY de la NTCLE100E3 indique un temps de réponse dans l'huile de 1,2s et une constante de temps thermique de 15s. Cela semble peu compatible.

QUICK REFERENCE DATA			RESISTANCE VALUES			ELECTRICAL DATA		
PARAMETER	VALUE	UNIT	T _{OPER} (°C)	PART NUMBER NTCLE100E322***	PART NTCLE	R ₂₅ (Ω)	B _{25/85} -VALUE (K)	(± %)
Resistance value at 25 °C	3.3 to 470K	Ω	-40	73 061	81	470	3560	1.5
Tolerance on R ₂₅ -value	± 2; ± 3; ± 5	%	-35	52 778	61	680	3560	1.5
B _{25/85} -value	2880 to 4570	K	-30	38 544	41	1000	3528	0.5
Tolerance on B _{25/85} -value	± 0.5 to ± 3	%	-25	28 443	31	1500	3528	0.5
Operating temperature range:			-20	21 199	21	2000	3528	0.5
At zero power dissipation; continuously	- 40 to + 125	°C	-15	15 950	11	2200	3977	0.75
At zero power dissipation; for short periods	≤ 150		-10	12 110	11	2700	3977	0.75
Response time (in oil)	≈ 1.2	s	-5	9275	11	3300	3977	0.75
Thermal time constant τ (for information only)	15	s	0	7162	11	4700	3977	0.75
Dissipation factor α (for information only)	7 8.5 (for R ₂₅ -value ≤ 680 Ω)	mW/K	5	5574	11	5000	3977	0.75
Maximum power dissipation at 55 °C	500	mW	10	4372	11	6800	3977	0.75
Climatic category (LCT/UCT/days)	40/125/56	-	15	3454	11	10 000	3977	0.75
Weight	≈ 0.3	g	20	2747	11	12 000	3740	2
			25	2200	11	15 000	3740	2
			30	1773	11	22 000	3740	2
						33 000	4090	1.5

<http://www.vishay.com/docs/29049/ntcle100.pdf>



Si les deux ont la même inertie thermique, alors ils sont soumis à la même température.

La courbe expérimentale est comparée à la courbe théorique. Cette courbe théorique est issue du tableau de valeurs fourni par le constructeur Vishay.

Ces valeurs peuvent être obtenues par la formule de Steinhart-Hart : $R = R_{25} \cdot e^{B_{25/85} \cdot (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{25}})}$

Cette formule est fonction de 2 paramètres : R₂₅, la valeur de R à 25°C et le coefficient B_{25/85} donnés par le constructeur :

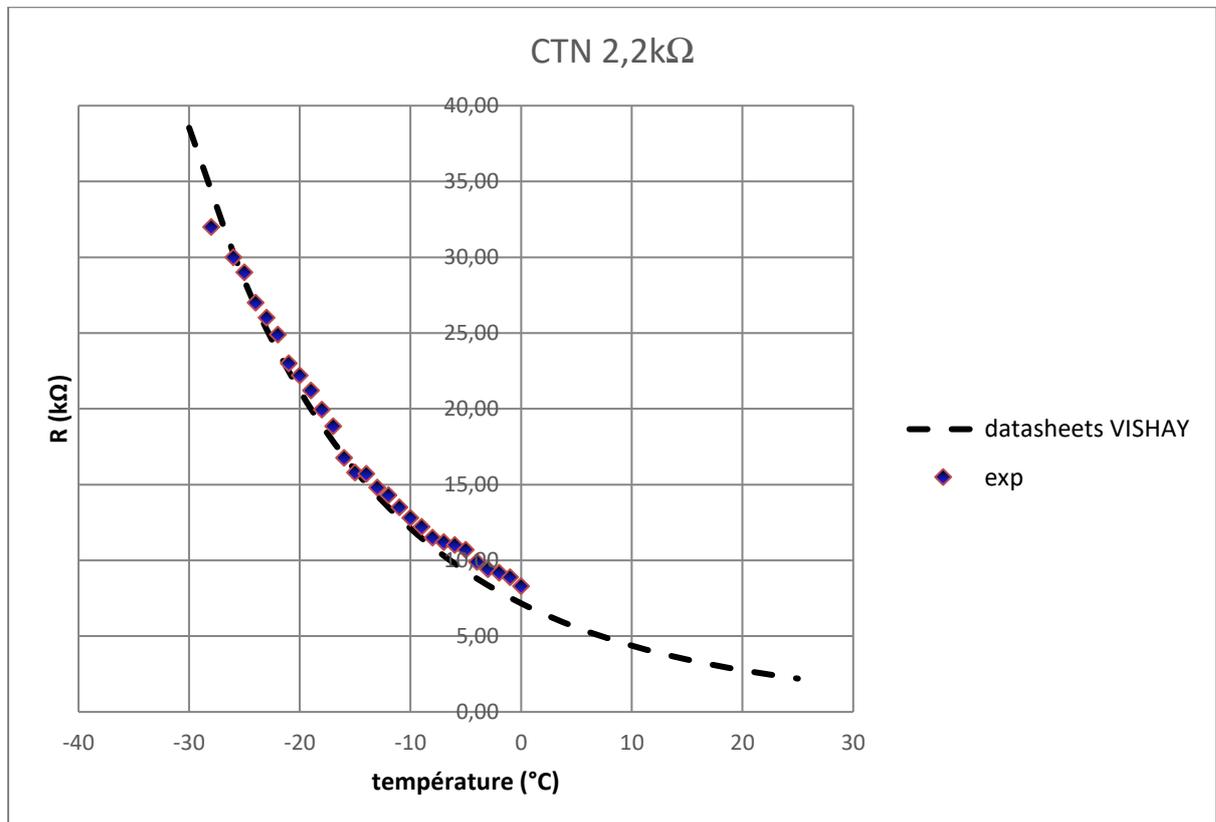
- R₂₅= 2200 Ω
- B_{25/85}= 3977 K
- (T₂₅ est une température de référence, ici 25°C, exprimée en K : T₂₅=25+273,15=298,15 K)

Compte tenu de la valeur de B, le constructeur donne également les valeurs des coefficients A, B, C et D pour calculer R d'une façon plus précise avec une seconde formule :

$$R = R_{25} \cdot e^{\left(A + \frac{B}{T} + \frac{C}{T^2} + \frac{D}{T^3}\right)}$$

PARAMETER FOR DETERMINING NOMINAL RESISTANCE VALUES											
NUMBER	B _{25/95} (K)	NAME	TOL. B (%)	A	B (K)	C (K ²)	D (K ³)	A ₁	B ₁ (K ⁻¹)	C ₁ (K ⁻²)	D ₁ (K ⁻³)
1	2880	Mat O. with Bn = 2880K	3	-9.094	2251.74	229098	-2.744820E+07	3.354016E-03	3.495020E-04	2.095959E-06	4.260615E-07
2	2990	Mat P. with Bn = 3990K	3	-10.2296	2887.62	132336	-2.502510E+07	3.354016E-03	3.415560E-04	4.955455E-06	4.364236E-07
3	3041	Mat Q. with Bn = 3041K	3	-11.1334	3658.73	-102895	5.166520E+05	3.354016E-03	3.349290E-04	3.683843E-06	7.050455E-07
4	3136	Mat R. with Bn = 3136K	3	-12.4493	4702.74	-402687	3.196830E+07	3.354016E-03	3.243880E-04	2.658012E-06	-2.701560E-07
5	3390	Mat S. with Bn = 3390K	3	-12.6814	4391.97	-232807	1.509643E+07	3.354016E-03	2.993410E-04	2.135133E-06	-5.672000E-09
6	3528 (1)	Mat I. with Bn = 3528K	0.5	-12.0596	3687.667	-7617.13	-5.914730E+06	3.354016E-03	2.909670E-04	1.632136E-06	7.192200E-08
7	3528 (2)	Mat J. with Bn = 3528K	0.5	-21.0704	11903.95	-2504699	2.470338E+08	3.354016E-03	2.933908E-04	3.494314E-06	-7.712690E-07
8	3560	Mat H. with Bn = 3560K	1.5	-13.0723	4190.574	-47158.4	-1.199256E+07	3.354016E-03	2.884193E-04	4.118032E-06	1.786790E-07
9	3740	Mat B. with Bn = 3740K	2	-13.8922	4567.226	-98275	-7.522357E+06	3.354016E-03	2.744032E-04	3.666944E-06	1.375492E-07
10	3977	Mat A. with Bn = 3977K	0.75	-14.6337	4791.842	-115334	-3.730535E+06	3.354016E-03	2.569850E-04	2.620131E-06	6.383091E-08
10	4090	Mat C. with Bn = 4090K	1.5	-15.5322	5229.973	-160451	-5.414091E+06	3.354016E-03	2.519107E-04	3.510939E-06	1.105179E-07

Nous avons utilisé cette formule et trouvé les mêmes résultats que dans le tableau de valeurs fourni par le constructeur. Cela donne la courbe en pointillés :

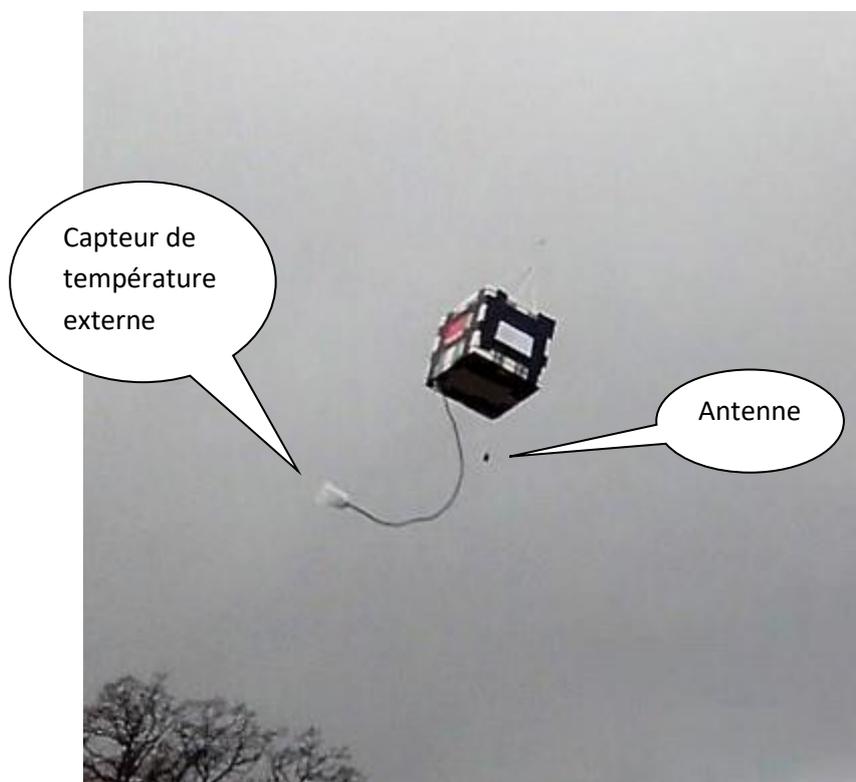


Les mesures ayant été effectuées dans le congélateur, elles sont situées dans la gamme des températures négatives de 0°C à -25°C. La corrélation entre valeurs mesurées, malgré le biais induit par l'inertie thermique de la sonde et celle du composant, semble assez bonne.

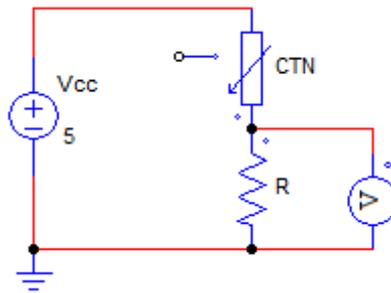
Remarque : on découvre (tardivement) que la CTN utilisée aurait été achetée chez un fournisseur qui référence le composant sous le nom TDC220. On trouve sur internet la documentation du constructeur TDC (Chinois sans doute) :

Part No.	Nominal Resistance at 25°C(Ohms)	Beta Value(± 7%) (°K)	Max. Permissible Current at 25°C(mA)	Thermal Dissipation Constant(mW/°C)	Thermal Time Constant (Sec.)	UL
TDC05C150 -5	500	3800	100	6	16	•
TDC05C180 -5	800	3700	80	6	18	•
TDC05C210 -5	1000	3700	80	6	17	•
TDC05C215 -5	1500	3700	60	6	14	•
TDC05C220 -5	2000	4000	60	6	14	•
TDC05C222 -5	2200	4000	60	6	14	•
TDC05C225 -5	2500	4000	60	6	13	•
TDC05C230 -5	3000	4000	50	6	14	•
TDC05C233 -5	3300	4100	45	6	21	•

La TDC05C220 est un composant bleu de diamètre 5 mm. C'est en effet le cas de notre composant. Le coefficient Beta est probablement le coefficient B. Le constructeur annonce ici une valeur B=4000 (et non 3977). Une meilleure adéquation de la courbe théorique aurait sans doute été obtenue avec cette valeur de B. (Différence tout de même très faible, de l'ordre de 0,6%). Cela n'a pas été fait faute de temps.



3) Schéma et principe des capteurs de température



- La valeur de l'alimentation est de 5V, valeur dont nous disposerons dans la nacelle fournie par l'émetteur radio KIWI.
- Principe :

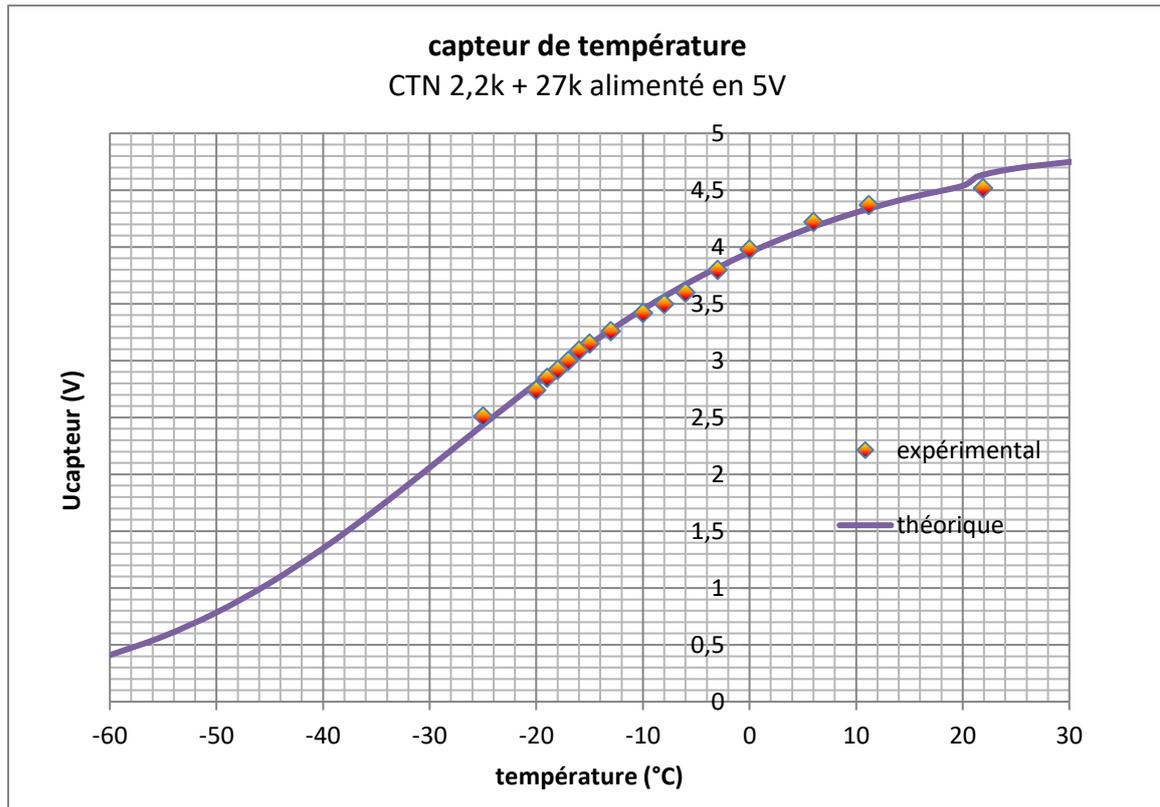
Lorsque la température diminue, la résistance de la CTN augmente, donc le courant I diminue et la tension $U=RI$ aux bornes de R va diminuer.
- Choix de la résistance R :

On choisit comme valeur pour R (la résistance fixe) la valeur que prend R_{CTN} lorsqu'on se situe au milieu de la gamme de température à mesurer, soit à peu près $27\text{ k}\Omega$. En effet la gamme de températures auxquelles sera soumis le ballon va de $+10^\circ\text{C}$ à -60°C , soit une valeur médiane de -25°C à peu près, température pour laquelle la résistance vaut à peu près $27\text{ k}\Omega$. Ce choix permettra une excursion maximale dans la plage de tension autorisée, de 0 à 5V.
- Choix de R pour chacun des 3 capteurs de température :

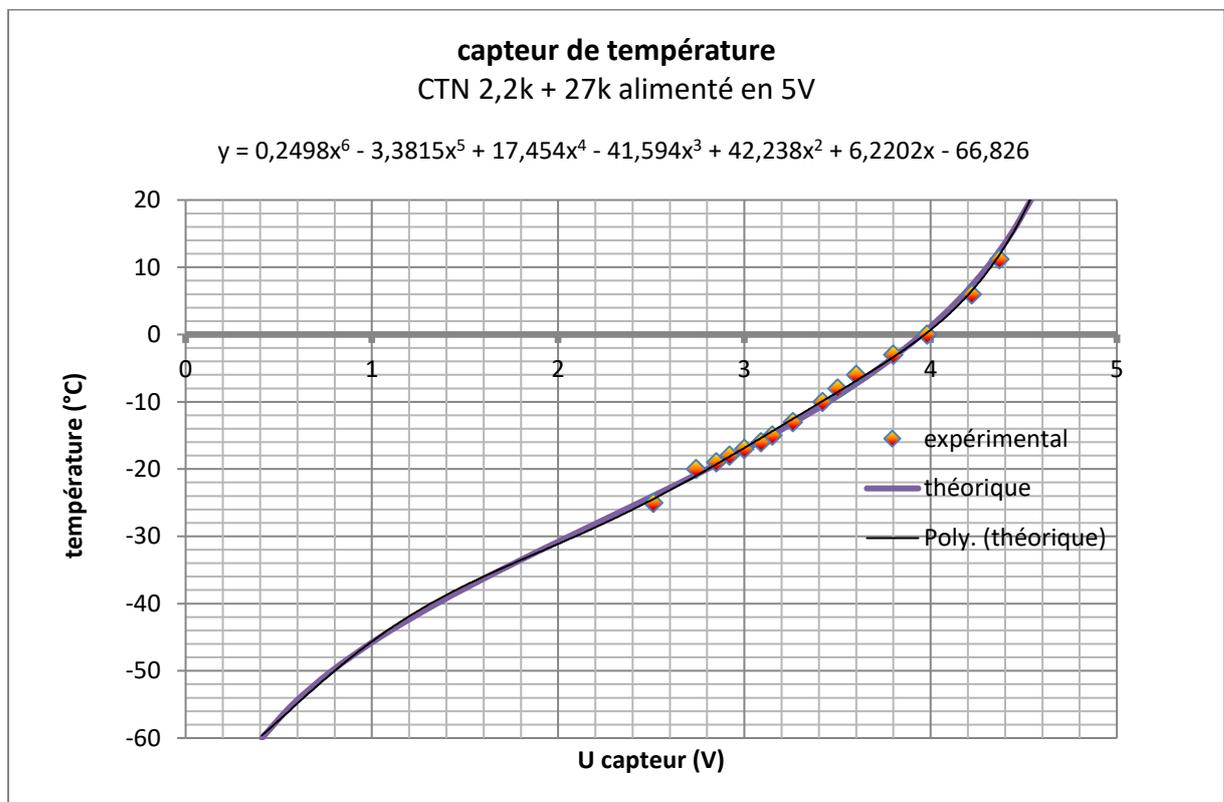
On choisit la même valeur de R pour chaque capteur pour simplifier la lecture et l'interprétation des valeurs. On aura ainsi une unique courbe d'étalonnage. (L'inconvénient est que la sensibilité ne sera pas optimale pour le capteur de température interne et surtout pour le capteur de température des piles, car la gamme de température est centrée sur $+10^\circ\text{C}$ et non -25°C).

4) Courbe d'étalonnage

Pour étalonner le capteur, Erwan et Antoine utilisent à nouveau le congélateur. Le montage est placé à l'intérieur avec la sonde de température et le thermostat est progressivement ramené à 0 (ce qui est très long). Pour avoir des températures positives, une autre série de mesures est réalisée à proximité de la porte ouverte du congélateur.



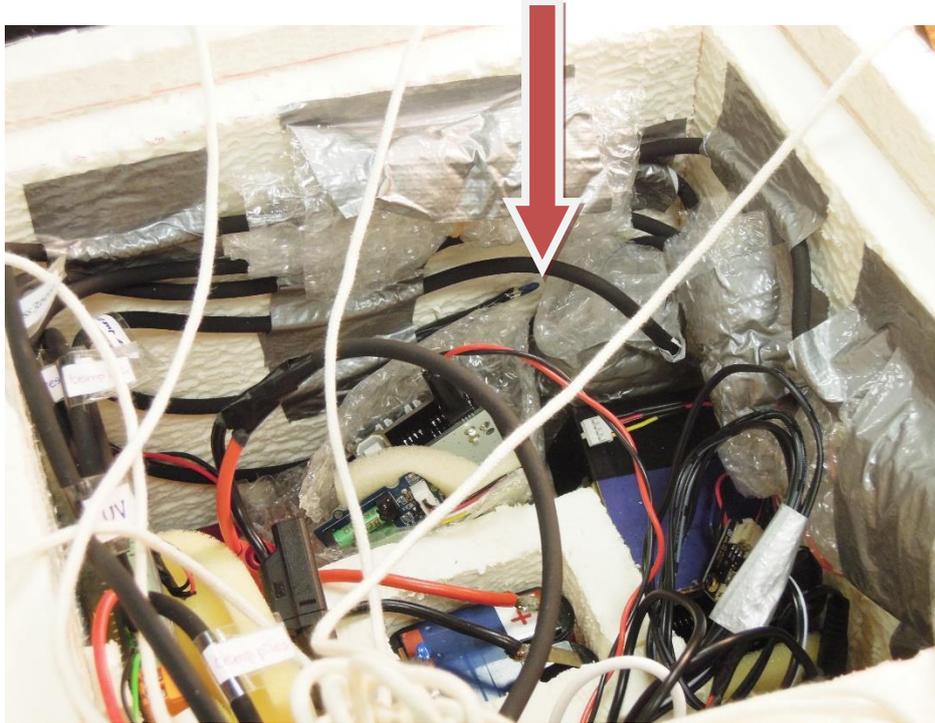
Le graphe inverse permet de trouver la formule donnant la température en fonction de la tension du capteur.



C'est cette formule qui sera utilisée avec les données reçues au sol le jour J.

5) Mise en place des capteurs

Le capteur de **température interne** est fixé contre la paroi interne de la nacelle.



Le capteur de **température des piles** est fixé sur la parois du compartiment piles.



Le capteur de **température externe** pend au bout d'un long câble (1,50 m à peu près). Il est protégé du rayonnement solaire par un gobelet en plastique blanc. On espère que le long câble va se balancer suffisamment sous l'effet de la rotation de la nacelle pour favoriser un meilleur brassage de l'air. L'an passé, nous nous étions rendu compte que nos mesures de température extérieure sous-évaluaient la valeur réelle. On sait que l'air se raréfie en altitude et il devient alors plus difficile de mettre le capteur en équilibre thermique avec l'air. Pour compenser la diminution du nombre de molécules d'air, l'idée est de brasser l'air dans le gobelet.

6) Les capteurs UV et infrarouge

Il reste 2 places pour des capteurs sur l'émetteur KIWI. Il serait dommage ne pas en profiter. Nous décidons d'y connecter 2 capteurs utilisés dans le projet de l'an passé.

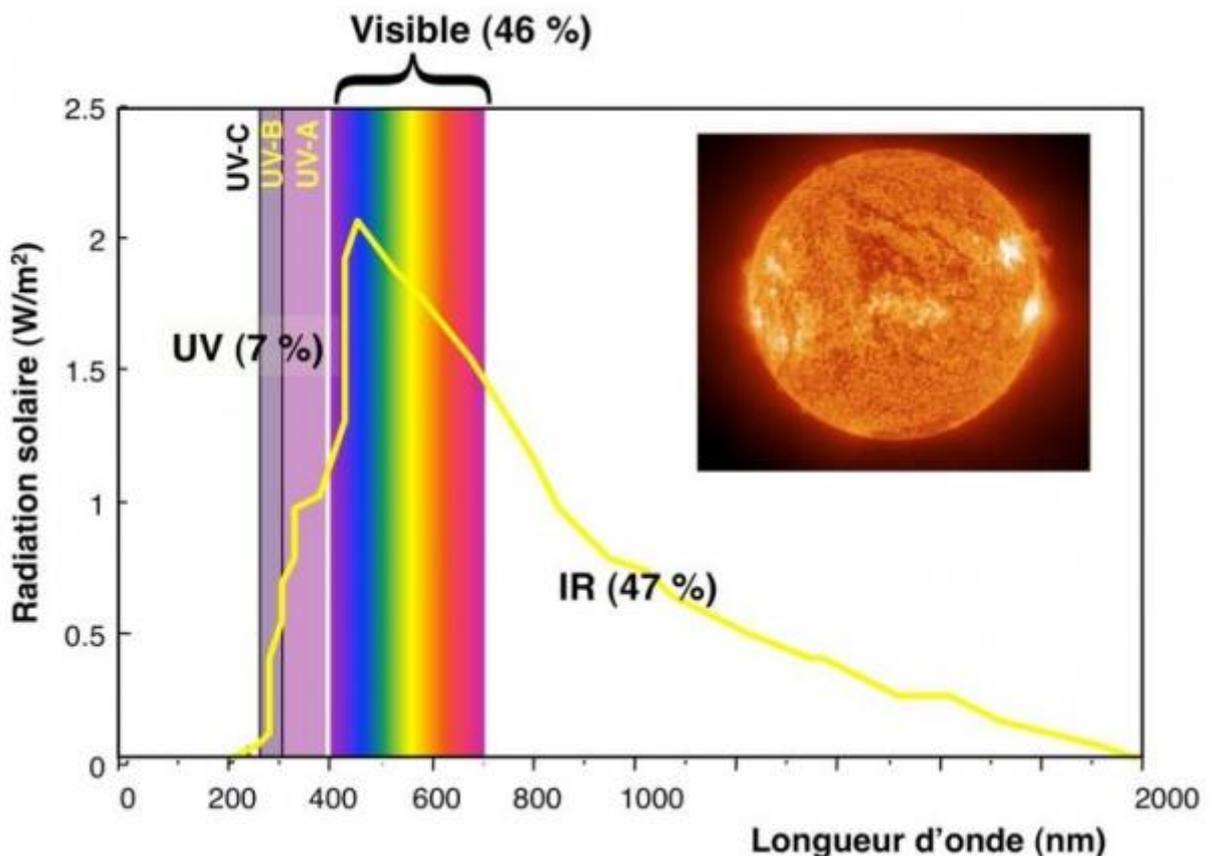
Le capteur UV n'avait pas bien fonctionné. Nous n'avions pas résolu le problème du parasitage par l'émetteur radio. Nous allons donc essayer de résoudre ce problème.

Le capteur infrarouge avait bien fonctionné. Nous décidons au dernier moment de le connecter.

1) Intérêt de mesurer les UV en altitude

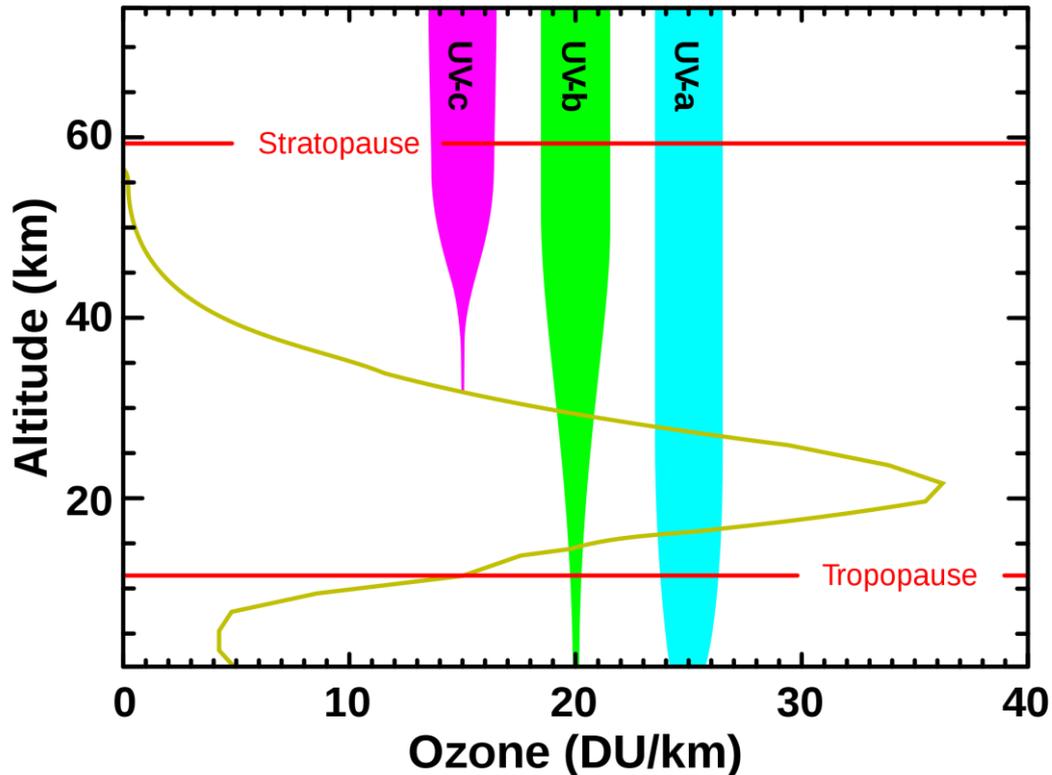
L'intérêt principal de placer un capteur UV sur notre nacelle est d'aller voir comment varie le rayonnement UV en haute altitude. Surtout au-dessus de 12 000 m, dans la stratosphère, et en particulier dans ce qu'on appelle la **couche d'ozone**.

La Terre reçoit un rayonnement en provenance du soleil dans un large spectre. Une partie de ce rayonnement est constitué d'UV. Mais l'atmosphère en filtre la plus grande partie. Au niveau du **sol**, le rayonnement n'est plus constitué que de **7% d'UV**, presque exclusivement des **UVA**, les moins nocifs pour la santé de l'être humain.



<http://www.insu.cnrs.fr/images/7249>

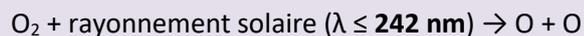
On voit que les **UV C ont été totalement filtrés par l'atmosphère** grâce à l'ozone présente dans une couche autour de 20000m. Il est donc particulièrement intéressant d'aller mesurer la quantité d'UV dans cette zone.



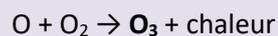
Source : wikipédia <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet>

Le mécanisme de filtrage des UV par l’ozone :

En haute altitude (vers 20000m–30000m), les **UVC du rayonnement solaire ont suffisamment d’énergie** pour casser une partie des molécules d’oxygène (la liaison de covalence entre les deux atomes d’oxygène est cassée) :

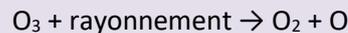


Ces atomes d’oxygène vont se lier à des molécules d’oxygène pour **former l’ozone** :

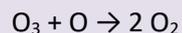


(Cette chaleur libérée par la formation d’une nouvelle liaison O–O est responsable de la remontée de la température à cette altitude).

L’ozone est instable : sa demi-vie à -50°C est de 3 mois (3 jours à 20°C). Il se dissocie sous l’effet du rayonnement solaire :



Et la nuit :



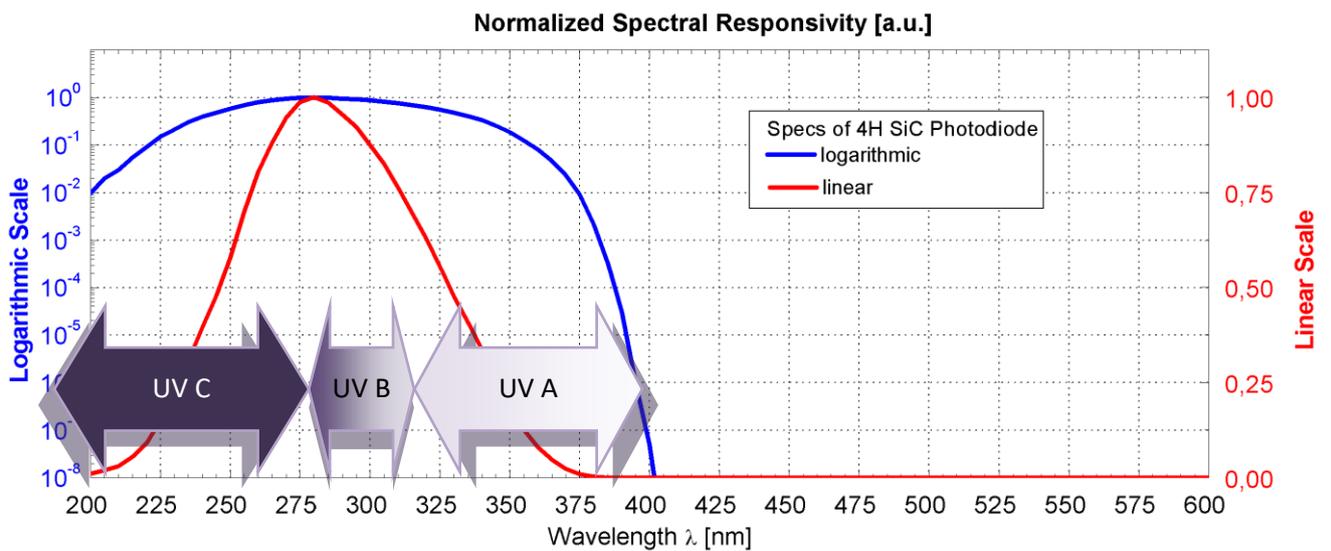
On a ainsi un cycle dynamique de création et destruction de l’ozone. On sait que ce cycle est perturbé par les composés chlorés (CFC) qui concourent à diminuer la quantité d’ozone dans la stratosphère.

2) Réalisation du capteur UV

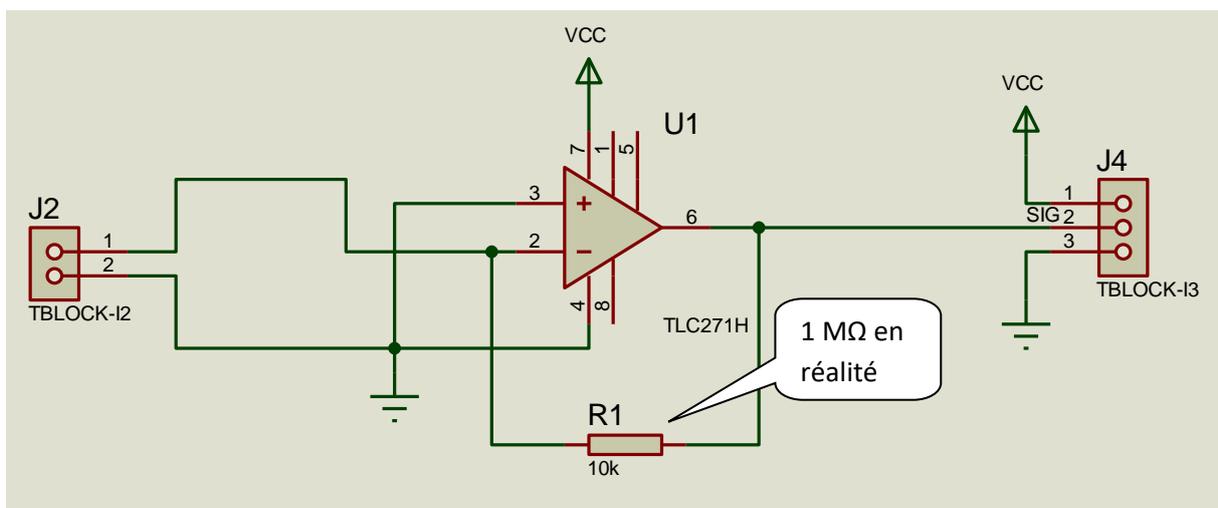
La partie sensible du capteur est la photodiode UV SG01S-18.



Cette photodiode est sensible aux UV A, B et C comme le montre sa courbe de sensibilité spectrale :



Le courant émis par la diode en mode photovoltaïque étant très faible et l'impédance d'entrée de l'émetteur Kiwi n'étant pas suffisamment grande (1 MΩ), nous avons opté l'an passé pour une électronique permettant la conversion du courant de court-circuit I_{cc} de la photodiode (directement proportionnel à l'éclairement UV) en une tension exploitable : $U_{capt} = R_1 \cdot I_{cc}$





Les essais de l'an dernier nous avaient permis de tracer une courbe d'étalonnage sommaire. Plusieurs mesures ont été effectuées en extérieur pendant des journées ensoleillées avec un indice UV donné par Météo France entre 1 et 3. La photodiode était maintenue face au soleil pour obtenir une puissance d'irradiation maximale et une tension lue au voltmètre maximale.



L'indice UV (https://fr.wikipedia.org/wiki/Indice_UV)

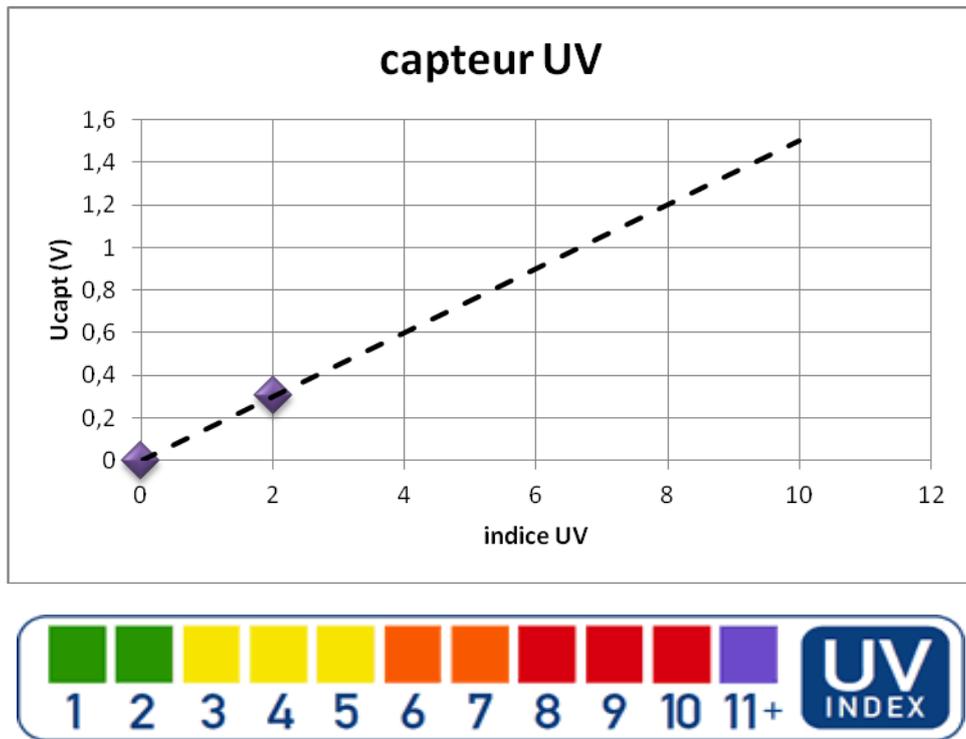
Indice UV (sans unité) = intégrale *selon la longueur d'onde* de la (puissance lumineuse au sol en $\text{watt/m}^2/\text{unité de longueur d'onde}$) * 40 (en m^2/W) * indice d'action érythémateux.

L'indice d'action érythémateux vaut **1 pour les longueurs d'onde inférieures à 300 nm**, 0,1 pour 310 nm, 0,01 pour 320 nm et 0,001 pour 330 nm³.

Exemple : **un indice UV de 10** correspond à une puissance pondérée de **0,25 watt/m²** de rayonnement UV de longueur d'onde inférieure à 300 nm.

Notre capteur donne une tension proportionnelle à la puissance des UV dans la gamme 240nm–330nm. Il ne mesure donc pas réellement l'indice UV tel qu'il est défini par l'OMS. Mais pour

simplifier la lecture de nos courbes nous avons indiqué « indice UV » à la place de « grandeur proportionnelle à la puissance surfacique des UV dans la gamme 240nm–330nm).

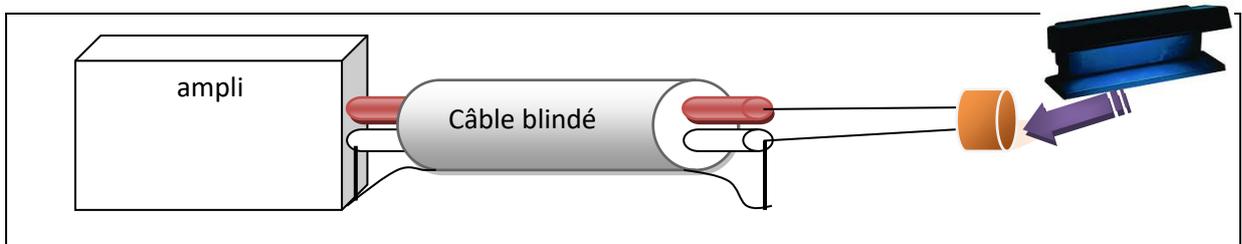


3) Capteur UV – résolution des problèmes de parasites HF

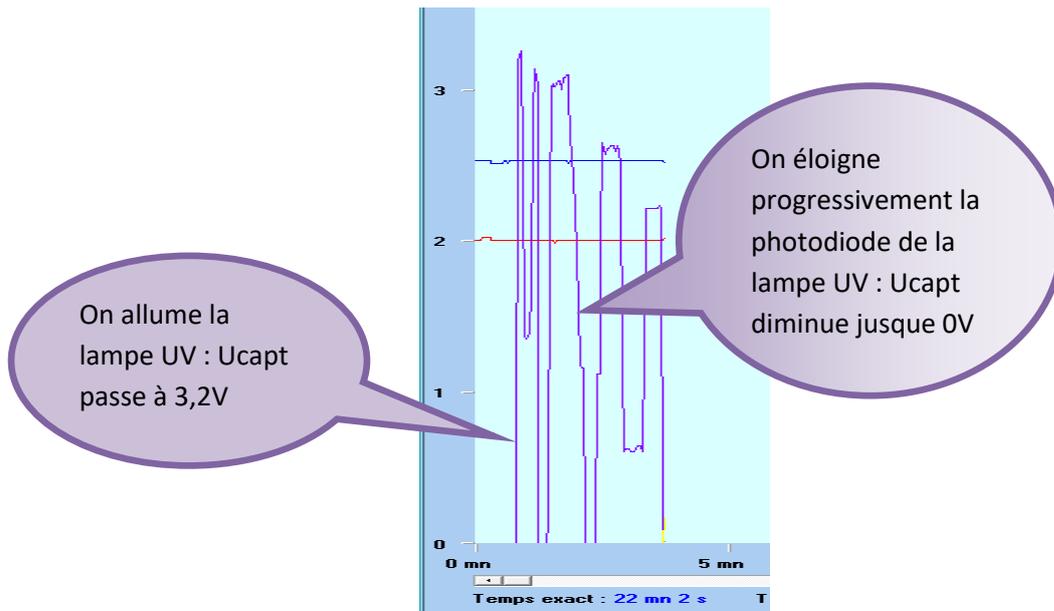
Ce capteur UV (ainsi câblé avec son électronique) fonctionne bien seul, sans l'émetteur radio KIWI. Des essais ont déjà été effectués en extérieur l'an passé et la tension de sortie varie bien avec l'indice UV. Ces essais sont confirmés par des essais cette année avec la lampe UV 250 nm. **Mais dès qu'on met en service l'émetteur KIWI, le capteur UV ne réagit plus aux UV.**

La liaison photodiode – ampli avec 2 fils torsadés n'a pas fonctionné l'an dernier Cette fois, nous décidons d'utiliser du câble blindé. Plusieurs essais sont réalisés et seul l'essai n°3 fonctionne :

- 1) avec le blindage non connecté des 2 côtés : ça ne fonctionne pas.
- 2) avec le blindage relié à la masse côté ampli : ça ne fonctionne pas.
- 3) avec le blindage relié à la masse des 2 côtés : miracle ! ça fonctionne !
 - côté photodiode : masse et blindage reliés à l'anode
 - et côté entrée de l'ampli : masse et blindages reliés à la masse de l'ampli).



Ces essais sont réalisés en télémessure, donc dans les conditions réelles de fonctionnement. C'est l'émetteur radio KIWI qui nous transmet les valeurs du capteur.



4) Capteur Infrarouge

On utilise le même capteur que l'an passé, basé sur la photodiode BPW34. Cette photodiode est sensible au proche infrarouge et au rayonnement visible.

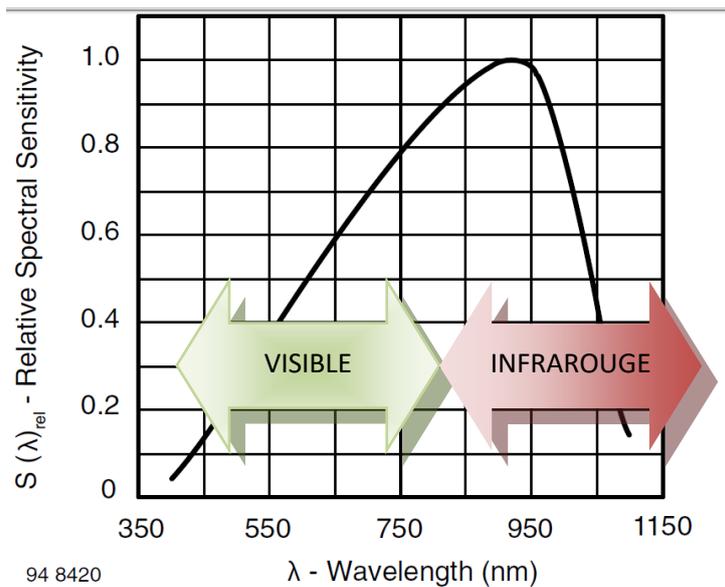
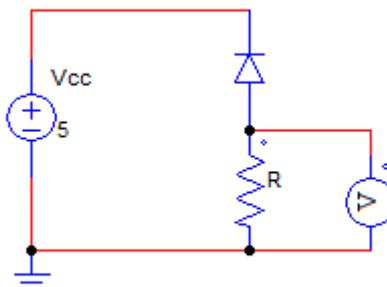
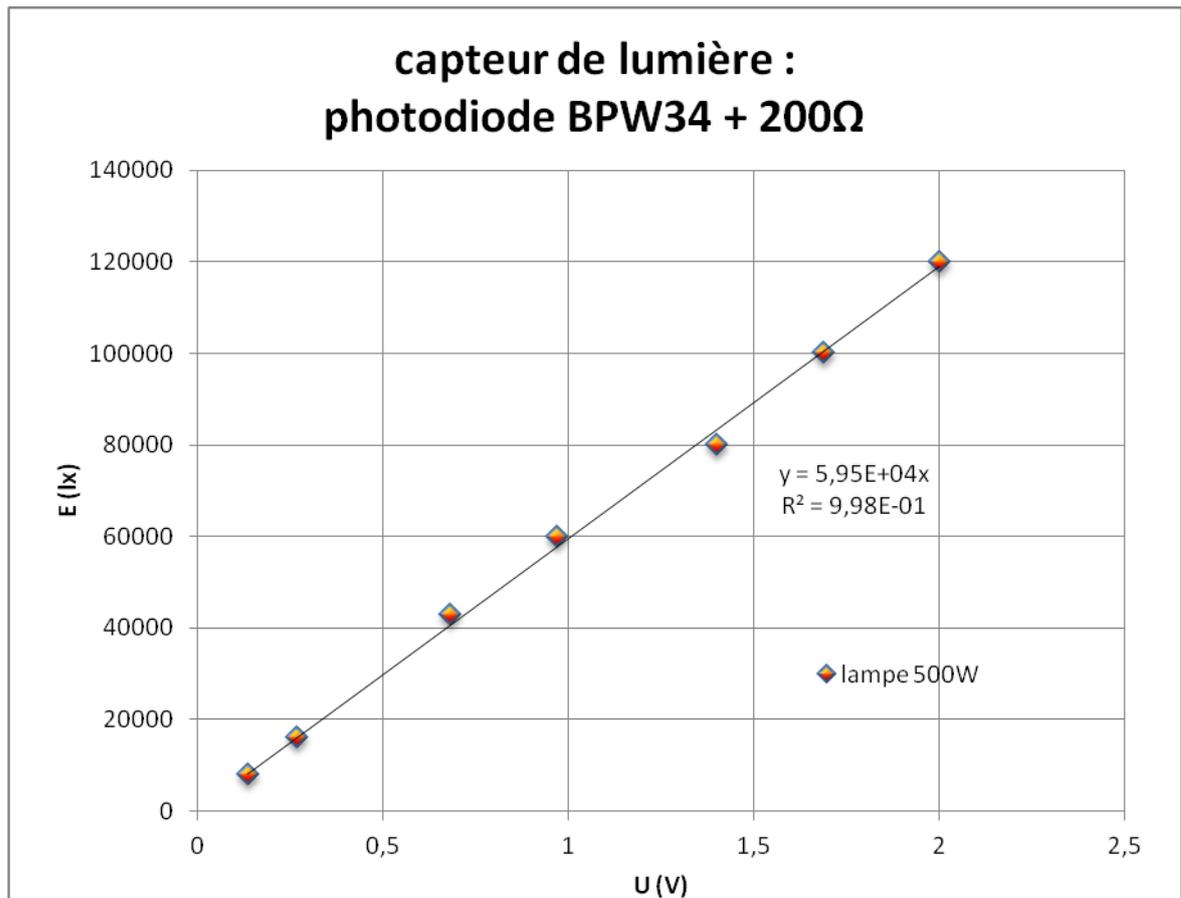


Fig. 7 - Relative Spectral Sensitivity vs. Wavelength

Le montage est le même que celui utilisé l'an dernier.



La courbe d'étalonnage est reproduite ici.

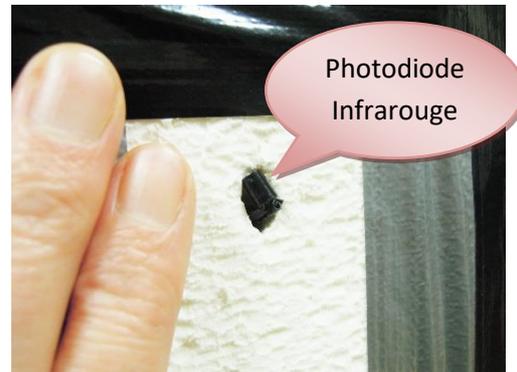
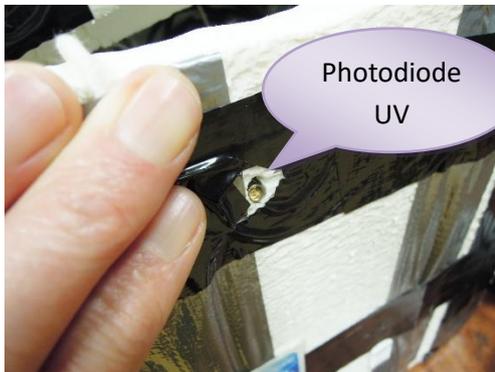


Attention, nous avons vu que l'éclairage était sous-estimé dans cette manipulation car on utilisait un luxmètre, donc un appareil sensible uniquement au rayonnement visible. La sensibilité du capteur en extérieur (où la moitié du rayonnement solaire se situe dans l'infrarouge) est donc supérieure à celle obtenue par cette courbe.

Pour exploiter les données de manière plus simple et lisible, nous verrons plus loin que nous avons « inventé » un indice IR (Infrarouge) qui n'est autre qu'une grandeur proportionnelle à la puissance du rayonnement capté par notre capteur dans la gamme 600nm – 1050nm.

5) Mise en place des capteurs de rayonnement

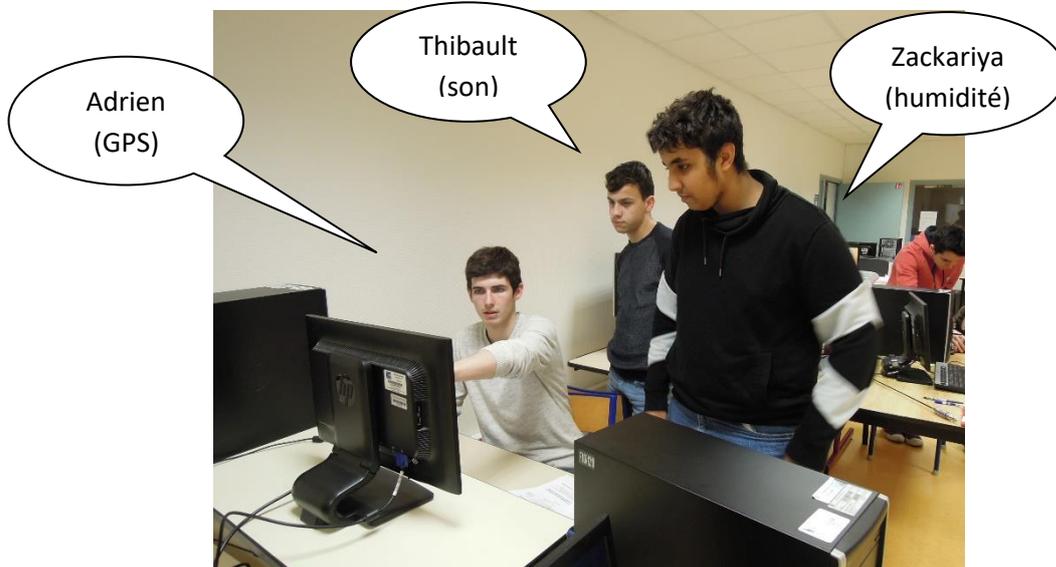
L'élévation du soleil un 1^{er} février sous nos latitudes n'excède pas 25° au plus haut. Le vol étant prévu entre 13h et 16h, soit 12hUTC et 15hUTC, on prévoit une élévation moyenne de 20°. Les capteurs seront donc orientés à 20° par rapport à l'horizontale. Un simple trou percé avec une inclinaison approximative de 20° permet de faire ressortir l'extrémité de chaque capteur à l'extrémité de la nacelle avec la bonne orientation.



7) Les capteurs Arduino : humidité – vitesse du son – GPS

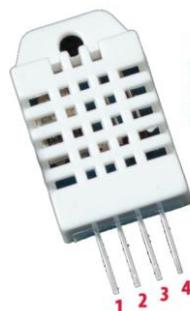
1) Capteur humidité

Zackariya compare 3 capteurs et se décide pour le DHT-22.



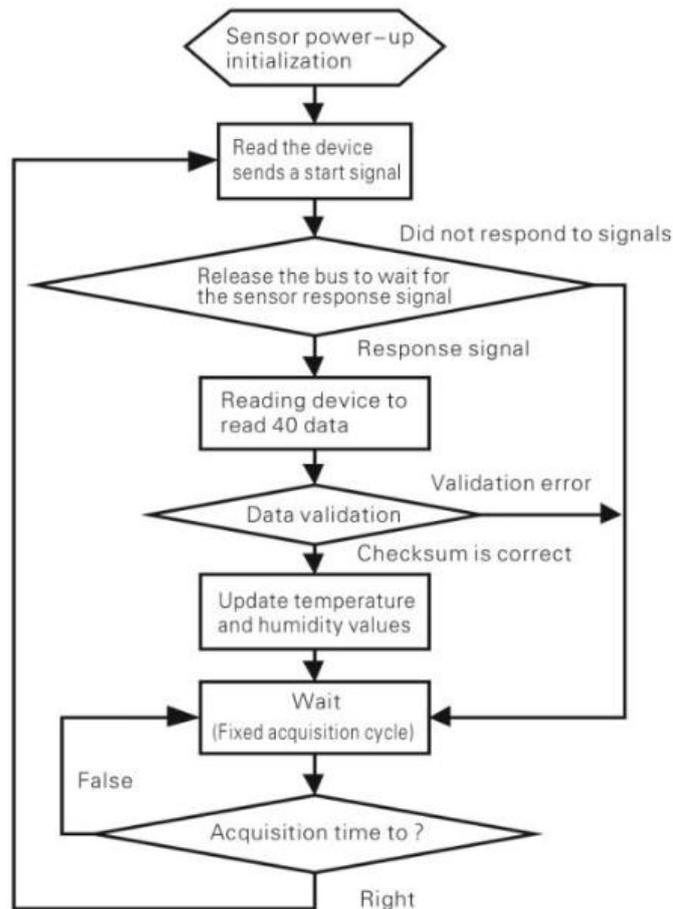
Ce capteur mesure le taux d'humidité mais aussi la température et il en déduit une température ressentie tenant compte du taux d'humidité (mais non du vent).

	DHT-11	DHT-21	DHT-22
Alimentation	De 3 à 5V	De 3,5 à 5,5V	De 3,3 à 6 V
Consommation (lors d'une mesure, au repos)	2,5mA		1,5mA 50 μ A
Plage de mesure d'humidité	de 20 à 80% (précision 5%)	de 0 à 100% (précision 2 à 5%)	de 0 à 100% (précision 2 à 5%)
Plage de mesure de température	de 0 à 50°C ($\pm 2^\circ\text{C}$)	de -40 to 80°C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$)	de -40 to 80°C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$)
Fréquence de mesure	1 par seconde	4 par seconde	4 par seconde
Poids et dimensions	15.5mm x 12mm x 5.5mm	59 mm x 26 mm x 14 mm 14 g	25 x 15 x 9 mm
Connexion	4 broches ou 3 si monté sur module	3 câbles	4 broches ou 3 si monté sur module ou boîtier à visser



DHT22 Pinout
Pin 1: VCC (3V to 5.5V)
Pin 2: Data
Pin 3: Not Connected
Pin 4: Ground

Algorithme de mesure :



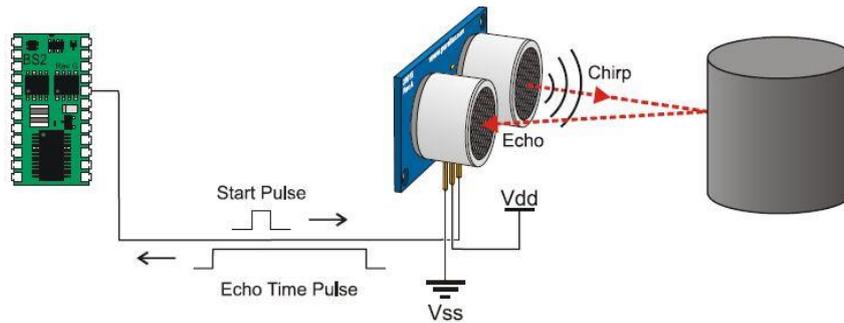
Pic9: Single-bus to read the flow chart

Le capteur est positionné sur une paroi verticale extérieure de la nacelle. En forçant un peu, on parvient à l'encastrer dans le polystyrène.

2) Capteur vitesse du son

Ce capteur est réalisé à partir d'un télémètre à ultrasons. Une petite boîte est construite avec un émetteur et un récepteur ultrasons alignés à une extrémité et une paroi réfléchissante à l'autre extrémité distante de 5 cm environ. L'émetteur envoie une salve d'ultrasons. Le récepteur en reçoit l'écho après un temps t dépendant de la vitesse du son.



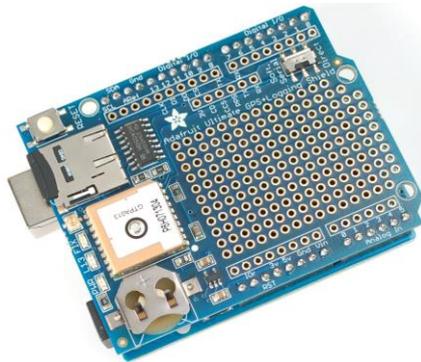


Autant le dire tout de suite, le programme réalisé ici n'est pas des plus simples. Il déduit et affiche la valeur de la distance d calculée à partir d'une vitesse $v=300\text{m/s}$. Ainsi quand la vitesse du son, sous l'effet d'une température suffisamment basse, sera réellement de 300m/s , le programme affichera la valeur réelle de la distance d . Au sol au contraire, avec une température de 20°C , la valeur réelle de la vitesse du son est de 340m/s et le programme affiche une valeur d plus faible, 2cm dans notre cas. (Cette valeur nous paraît anormalement faible mais Thibault n'a plus le temps de modifier quoi que ce soit).

On prévoit une évolution croissante de la valeur d quand le ballon va monter dans des températures de plus en plus froides.

3) Capteur GPS

Il s'agit du même capteur que l'an passé : un module GPS Ada 1272 (55 € chez Gotronic) connecté à une carte Arduino qui stockera les coordonnées GPS pendant le vol sur une carte micro SD. On espère qu'il fonctionnera mieux que l'an passé. **Nous n'avions pas compris pourquoi les mesures GPS avaient cessé à partir d'une altitude de 10000 m** alors que l'horloge continuait à enregistrer l'heure.



La sensibilité du capteur GPS est de 165 dBm . Mais une antenne peut être connectée si besoin (par exemple si on juge qu'un revêtement alu sur la nacelle pourrait atténuer le signal satellite reçu).

Consommation : 20 mA selon le constructeur.

Une pile CR1220 assure la sauvegarde de l'heure UTC dès le premier relevé satellite.

8) Mesurer la pollution en altitude

Avertissement au lecteur patient : ce projet de mesure de la pollution n'a pas pu aboutir en raison d'un délai trop court entre la décision de mettre au point un capteur et l'échéance du 1^{er} février. Mais il peut être intéressant de lire l'avancement des recherches pour cette mise au point.

1) Pourquoi mesurer la pollution ?

Selon un rapport de « Santé Publique France » (INVS) de 2016, la **pollution** atmosphérique serait responsable de **48000 décès prématurés par an** en France (1 décès sur 12 !)

Arnaud et Vincent, deux élèves du projet de l'an dernier, s'intéressaient à la mesure de la pollution. Ils voulaient placer des capteurs de polluants dans la nacelle pour effectuer des mesures en altitude. Pour les aider dans leurs recherches sur les polluants intéressants à cibler et les capteurs adaptés j'avais contacté la société Air Breizh. Air Breizh, association de type loi de 1901 à but non lucratif, est l'organisme agréé par le ministère chargé de l'Environnement pour la surveillance de la qualité de l'air en Bretagne. Leurs bureaux sont implantés à Rennes, dans la tour Alma, à deux pas du lycée.

Sur le site : « *Les missions d'Air Breizh sont de mesurer en continu les polluants urbains nocifs (SO₂, NO_x, HC, CO, O₃ et Poussières) dans l'air ambiant de la Bretagne et d'informer les services de l'Etat, les élus, les industriels et le public, notamment en cas de pic de pollution. Air Breizh étudie aussi l'évolution de la qualité de l'air et vérifie la conformité des résultats par rapport à la réglementation.* »

La question était de savoir quels polluants seraient intéressants à mesurer en altitude. Je suis donc allé directement frapper à la porte des bureaux d'Air Breizh, en voisin. Las, on m'a répondu qu'il valait mieux les contacter par mail.

Le 11 déc. 2015 à 11:14, Lion Pascal <Pascal.Lion@ac-rennes.fr> a écrit :

Objet: Projet "lancer d'un ballon sonde" au lycée Bréquigny

Bonjour Magali Corron

Je suis passé ce matin à vos bureaux de la tour Alma et on m'a conseillé de vous contacter de préférence par mail.

Je suis prof de physique au lycée Bréquigny (nous sommes voisins) et j'encadre avec mes collègues Philippe Roca et Patrick Lamé un projet en classe de première S option Sciences de l'Ingénieur. Il s'agit de lancer un ballon sonde jusqu'à une altitude de 40 000 m, ce ballon portant une nacelle de 2,5kg embarquant des expériences scientifiques dont les données nous seront transmises au sol par un émetteur radio. Le projet se fait en partenariat avec l'association "Planète Sciences" et le Centre National d'Etudes Spatiales. Le CNES nous fournit le ballon et l'émetteur.

Parmi les expériences embarquées, des élèves s'intéressent à la mesure des polluants de l'air. Je souhaite savoir si ce projet vous intéresse et si nous pouvons envisager une collaboration. En particulier avez-vous des capteurs à nous conseiller ? Quelles mesures seraient particulièrement intéressantes à réaliser au-dessus de Rennes et sa région ? Etc ... Je suis disposé à vous rencontrer quand vous voudrez et nous serions aussi très heureux de vous accueillir chez nous au lycée Bréquigny pour un échange avec nos élèves.

Cordialement

Pascal Lion

<http://www.planete-sciences.org/espace/Activites/Ballon/>
<https://jeunes.cnes.fr/fr/web/CNES-Jeunes-fr/8115-le-ballon.php>

Date : 19/12/15 09 :16 De : Astreinte AIR BREZIH

Bonjour M. Lion

Votre projet semble très intéressant mais pris par de nombreux projets actuellement, nous ne pourrions malheureusement pas y participer.

Peut-être sur un prochain projet.

Très cordialement

Bon week end

Magali Corron

Arnaud et Vincent ont fini par réorienter leurs recherches sur un autre sujet. Ce sont eux qui ont conçu et réalisé les capteurs de pression et de température pour le projet de l'an dernier.

2) L'opération de mesure participative de la pollution à Rennes

J'ai relancé Air Breizh l'année suivante et cette fois ils m'ont orienté vers la Maison de la Consommation et de l'Environnement à Rennes. La M.C.E. pilote un projet participatif de mesure des polluants en ville. Sur la base du bénévolat, des habitants (dont j'ai fait partie après m'être inscrit) sont invités à mesurer des polluants sur leur balcon, dans leur jardin ou dans n'importe quel lieu public ou privé. Un capteur leur est fourni avec un smartphone connecté en Bluetooth avec le capteur. Les données peuvent ensuite être transférées par internet sur le serveur de l'association Air Casting, basée aux Etats-Unis.

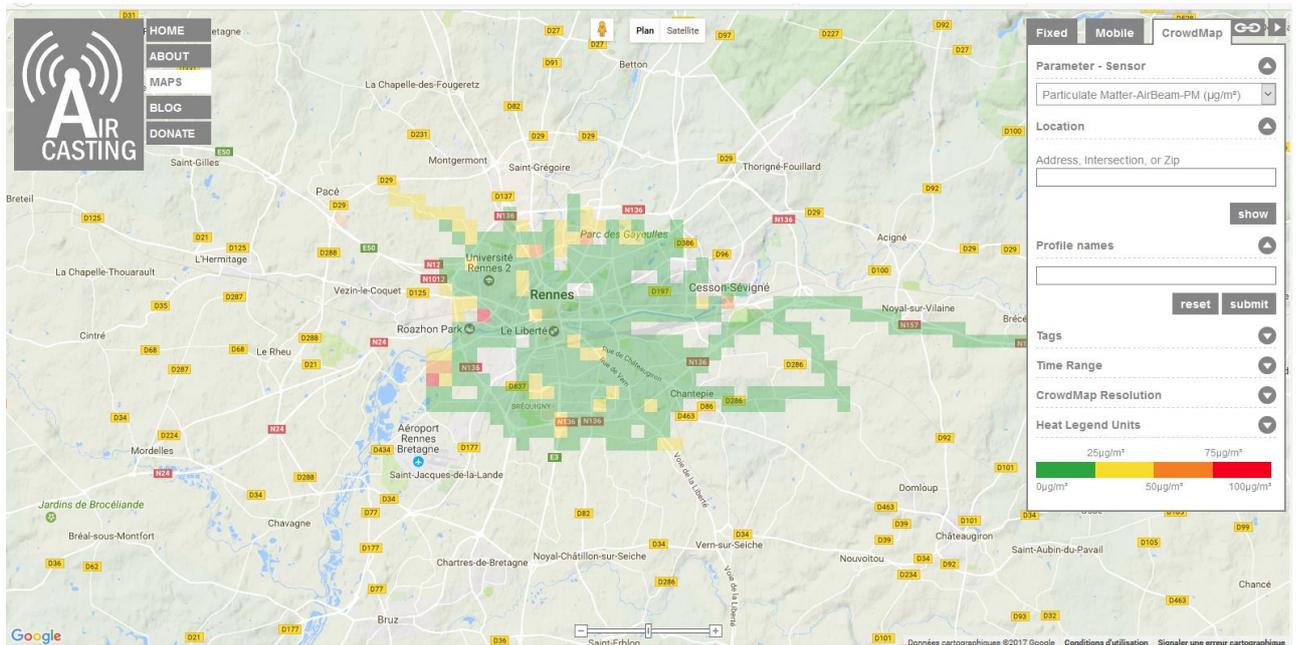
« AirCasting is a platform for recording, mapping, and sharing health and environmental data using your smartphone. »

« AirCasting is an open-source, end-to-end solution for collecting, displaying, and sharing health and environmental data using your smartphone. The platform consists of wearable sensors that detect changes in your environment and physiology, including a palm-sized air quality monitor called the AirBeam, the AirCasting Android app, the AirCasting website, and wearable LED accessories. »

Le capteur *AirBeam* (\$249 each *AirBeam* !) mesure un polluant jugé très important pour révéler la qualité de l'air que l'on respire : les particules PM 2.5, c'est-à-dire les particules de diamètre inférieur à 2,5µm.



On peut ensuite visualiser les résultats de ses mesures ainsi que les mesures des autres participants sur le site d'Air Casting sous la forme d'une courbe d'évolution au cours du temps ou bien sous la forme d'une carte.



3) Quels polluants mesurer ?

Notre projet vise à effectuer des mesures en altitude. Quels polluants seraient donc intéressants à mesurer en altitude ? Le rapport de l'INVS affirme : « Plus de 48 000 décès par an pourraient être attribués aux $PM_{2.5}$, dont plus de la moitié dans les agglomérations de plus de 100000 habitants. Si toutes les communes françaises respectaient la valeur recommandée par l'Organisation mondiale de la santé ($10\mu g/m^3$), ce sont plus de 17000 décès qui pourraient être évités chaque année en France. Le gain moyen en espérance de vie à 30 ans serait alors de 4 mois en France, mais pourrait atteindre plus d'un an dans les communes les plus polluées. »



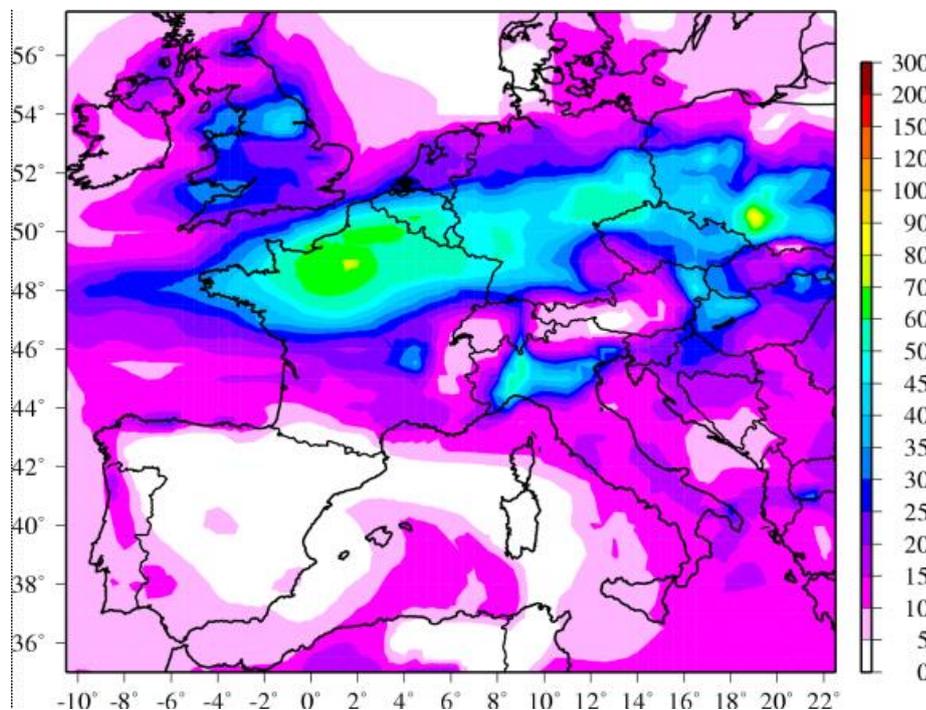
Paris, le 9 décembre 2016 | BERTRAND GUAY / AFP

Les particules fines (dites PM) sont classées selon leur taille. Les PM 10 ont des dimensions inférieures à 10 μm . Les PM 2.5, inférieures à 2.5 μm , de la taille d'une bactérie, sont les plus nocives pour la santé car elles peuvent pénétrer et se loger profondément dans les ramifications des voies respiratoires (alvéoles).

Ces particules fines peuvent être d'origine naturelle (comme les éruptions volcaniques, les feux de forêts) ou humaine (comme le trafic routier, le chauffage par combustion et les industries). Les PM 2.5 sont principalement composées d'espèces carbonées issues d'une combustion ainsi que d'espèces secondaires non carbonées issues de réactions chimiques et ayant souvent parcouru de longues distances.

On distingue les polluants primaires, émis directement dans l'atmosphère, des polluants secondaires qui résultent d'une transformation par réaction chimique.

Les poussières peuvent être transportées sur de longues distances et remises en suspension une fois déposées au sol. Il serait intéressant de mieux comprendre comment ces particules fines circulent dans l'atmosphère. Le rapport d'Air Parif de 2011 estime qu'en région parisienne **les 2/3 des PM 2.5 proviennent d'autres régions de France et d'Europe** (voir l'extrait du rapport en annexe). Wikipédia cite l'étude d'Air Parif et évoque l'importance du bassin houiller de la Ruhr en Allemagne, ses mines de lignite ainsi que les vieilles centrales à charbon de Pologne... Cette étude se base sur des mesures effectuées quotidiennement pendant une année. Il est étonnant que ces résultats ne soient pas plus commentés dans les médias. La pollution ne s'arrête pas aux frontières. Les particules fines voyagent sur des distances considérables. Quelles sont les trajectoires suivies ? A quelles altitudes voyagent les poussières ? Notre projet de mesurer la concentration en PM en fonction de l'altitude prend ici tout son intérêt.



<http://www.prevoir.org/en/episode-pm10.php>

Ci-dessus une carte du site PREVAIR illustrant la circulation des particules fines lors d'un épisode de pollution en mars 2004.

« The maps display the isoconcentrations of PM10 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) calculated by the CHIMERE model during a wintertime episode of particulate pollution. This episode last from March 26 to March 31, 2004 (maps refer to the 30th of March 2004, 0 a.m.). They highlight the largely continental origin of this episode of particulate pollution : the areas concerned extend on a broad band, from East Germany to Cotentin. All the North of France is touched.

Such winter episodes of particulate pollution are often associated to anticyclonic systems localised on Scandinavia or the North Sea. The conditions of strong atmospheric stability as well as the light flow of the North-East which prevails over Europe in these situations limit the dispersion of the atmospheric pollutants and support their transport from areas of strong emissions (cities, industries) towards places remote from large emission centers. »

Ainsi les polluants voyagent avec les masses d'air. Les spécialistes de PREVAIR utilisent un modèle appelé CHIMERE pour prévoir les déplacements des particules PM 2.5 sur de très longues distances. Ce modèle prend en compte les données météo et les mouvements horizontaux et verticaux des masses d'air. Donc les polluants sont aussi à étudier là-haut.

4) Le capteur de polluant utilisé

Cette année j'ai lancé l'idée « mesure de la pollution » à la nouvelle équipe mais aucun élève n'a semblé intéressé. Finalement j'ai mené des recherches personnelles sur les capteurs de polluants bon marché. Après avoir hésité sur un détecteur d'ozone MQ-131 (basé sur la variation de conductivité de SnO_2 en présence de O_3), j'ai décidé de m'orienter vers un capteur de particules du type PM 10 ou 2.5 réalisant une mesure basée sur le même principe que le capteur AirBeam mais bien moins cher (et forcément moins fiable). Le Sharp GP2Y1010AU0F (vendu 13,50€) est décrit sur le site du vendeur gotronic comme « permettant de détecter de très petites particules comme par exemple la fumée de cigarette. Une led infrarouge et un photo-transistor sont disposés en diagonale et permettent la détection des particules. »

<https://www.gotronic.fr/art-detecteur-de-particules-gp2y1010au0f-20603.htm>



Alimentation : 5 à 7 Vcc
Consommation : 20 mA maxi
T° de service : -10 à +65 °C
Dimensions : **47 x 35 x 20 mm**

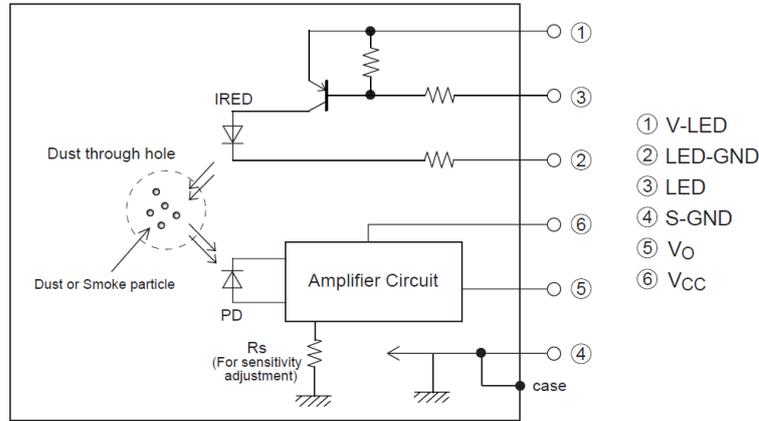
Des impulsions lumineuses sont envoyées périodiquement et le signal reçu par le phototransistor est plus ou moins atténué en fonction de la quantité de poussière qui va couper le faisceau. Comme l'émission est périodique (pour réduire la consommation électrique sans doute) la mesure doit être effectuée au synchronisme de l'émission. Cela

s'effectuera de manière simple en programmant une carte Arduino qui viendra lire périodiquement la valeur mesurée.



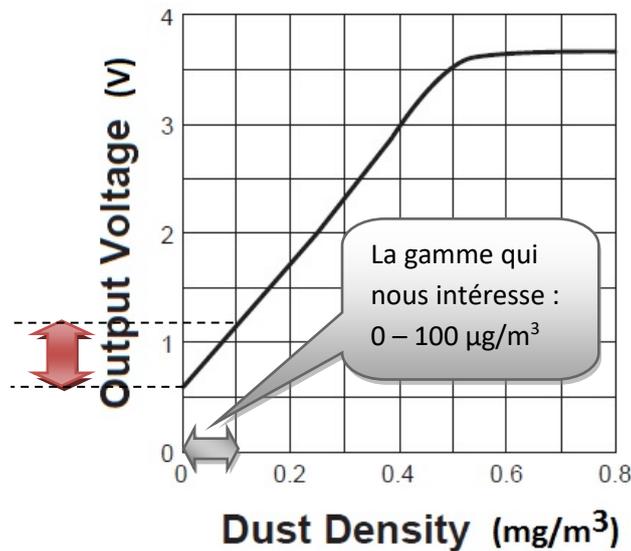
GP2Y1010AU0F

■ Internal schematic



Un circuit électrique est nécessaire pour moyenner la valeur mesurée. C'est cette valeur moyenne que la carte Arduino pourra lire et mémoriser.

La plage linéaire pour les valeurs mesurées n'est pas très adaptée aux valeurs qui nous intéressent. Elle s'étend jusqu'à 0,5 mg/m³, alors qu'on cherche à mesurer des valeurs entre 10 et 100 µg/m³ donc au maximum de 0,1 mg/m³ (mais ce capteur n'est pas cher ...).



On trouve à l'adresse https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Sharp_GP2Y1010AU sur internet un programme pour effectuer cette mesure avec une carte Arduino :

```

/*
  Standalone Sketch to use with a Arduino UNO and a
  Sharp Optical Dust Sensor GP2Y1010AU0F
*/

int measurePin = 0; //Connect dust sensor to Arduino A0 pin
int ledPower = 2;   //Connect 3 led driver pins of dust sensor to
                    //Arduino D2
    
```

```

int samplingTime = 280;
int deltaTime = 40;
int sleepTime = 9680;

float voMeasured = 0;
float calcVoltage = 0;
float dustDensity = 0;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPower,OUTPUT);
}

void loop(){
  digitalWrite(ledPower,LOW); // power on the LED
  delayMicroseconds(samplingTime);

  voMeasured = analogRead(measurePin); // read the dust value

  delayMicroseconds(deltaTime);
  digitalWrite(ledPower,HIGH); // turn the LED off
  delayMicroseconds(sleepTime);

  // 0 - 5V mapped to 0 - 1023 integer values
  // recover voltage
  calcVoltage = voMeasured * (5.0 / 1024.0);

  // linear equation taken from
http://www.howmuchsnow.com/arduino/airquality/
  // Chris Nafis (c) 2012
  dustDensity = 0.17 * calcVoltage - 0.1;

  Serial.print("Raw Signal Value (0-1023): ");
  Serial.print(voMeasured);

  Serial.print(" - Voltage: ");
  Serial.print(calcVoltage);

  Serial.print(" - Dust Density: ");
  Serial.println(dustDensity); // unit: mg/m3

  delay(1000);
}

```

Malheureusement, la veille du lancement, une défaillance (sans doute dans les contacts) a fait avorter notre projet de mesurer la pollution aux particules en altitude...

9) La prévision et le suivi de la trajectoire

1) Le cahier des charges

Théo est chargé des prévisions de trajectoire.

Adrien traitera les données GPS des traceurs et du capteur GPS Arduino pour tracer la trajectoire réelle.

- Cahier des charges

- Etre capable de prévoir la trajectoire de la nacelle en fonction de la météo à J-8, J-5, J-3, J-1 et le jour J à H-1.
- Assurer la récupération de la nacelle par localisation GPS : vous êtes **responsable du succès** de cette mission récupération
- Exploiter les données GPS stockées pendant le vol pour reconstituer la trajectoire du ballon en 3D

Travail à effectuer

- Prévision de la trajectoire

- Ascension

- Faire le bilan des forces exercées sur la nacelle (détailler et expliquer chaque force).
- Montrer que la force ascensionnelle est constante.
- Détermination de la vitesse ascensionnelle moyenne.
- Simulation sous matlab de l'ascension de la nacelle : altitude h en fonction du temps. + déplacement horizontal x en fonction du temps (si c'est faisable)

- Descente

- Etudier la trajectoire de descente

- Déplacement horizontal

- Etude des vents en altitude (on utilisera à bon escient les sites internet météo officiels et affiliés). Exemples :

- Emagrammes de Brest disponible sur le site canadien UQAM :

http://meteocentre.com/upperair/get_sounding_map.php?lang=fr&show=1&hist=1®ion=fr&yyyy=2016&mm=10&dd=17&run=00

- Ou sur le site américain de l'Université du Wyoming : <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

- Ou directement par meteo france :

https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=97&id_rubrique=33

- Site américain NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration : <http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php>

- Animation réalisée par Cameron Beccario à partir des données de la NOAA :
<http://earth.nullschool.net/#2016/03/03/1500Z/wind/surface/level/orthographic=-347.92,35.47,267/loc=-0.855,47.987>
- Animation réalisée par un fan de kite-surf utilisant les données de NOAA et les météoigrammes de Meteoblue :
<https://www.windytv.com/LFRN?48.367,0.912,7>
- Etude d'un cas : prévision d'une trajectoire en utilisant des données météo (prévisions de vents en altitude).
- Application : étude du cas réel à J-8, J-5, J-3, J-1 et le **jour J à H-1**
- Trajectoire :
 - Comparaison avec les trajectoires données par le site anglais de prévisions de vol de ballon sonde : CUSF (Université de Cambridge) :
<http://predict.habhub.org/>
(Ne pas manquer de visionner et enregistrer les trajectoires en fichier KML sur Google Earth)

(Prévoir un élève devant un ordinateur avec une connexion internet au moment du lâcher).
- Localisation GPS
 - Système GPS
 - Qu'est-ce que le système GPS ? Pourquoi ? Comment ? Limites ? Autres systèmes de géo-localisation ?
 - Trames GPS : signification.
 - Exemple : exploitation d'une série de trames GPS pour reconstituer une trajectoire (sur Google Map par exemple)
 - Capteur GPS + Arduino
 - Adapter le programme de base pour recueillir et exploiter facilement les renseignements qui nous intéressent
 - Expliquer le programme
 - Schéma – connexions
 - Limites de fonctionnement (portée, altitude max, ...)
- Traceur GPS
 - Expliquer simplement son fonctionnement et les instructions de base
 - Tester les instructions de base dans un environnement se rapprochant le plus des conditions réelles (température, rayonnement de l'émetteur KIWI, ...)
 - Etudier l'autonomie de la batterie

Chaque élève devra contribuer à fournir un dossier contenant les pièces suivantes :

- 1) **Le cahier des charges** qui vous a été attribué

- 2) Un dossier de **présentation** : vous y mettrez les principaux résultats de votre étude
- 3) **Simulation** sous matlab de la trajectoire du ballon pendant les 3 heures du vol.
- 4) **Prévision argumentée de la trajectoire du ballon** (la prévision qui vous semble la plus intéressante au moment où vous remettez votre dossier)
- 5) **Schéma électrique** du capteur GPS avec toutes les références des composants
- 6) Datasheets des composants
- 7) **Programme** commenté

2) Les traceurs GPS

a) Historique

Malgré notre demande, « Planète Sciences » ne nous a pas dotés cette année encore d'un émetteur KIWI intégrant un capteur GPS (KIKIWI). Nous devons donc assurer par nous-mêmes la géo-localisation de la nacelle pour espérer pouvoir la récupérer après le vol.

Pour le projet de l'an passé j'avais acheté un traceur GPS, une copie du TK102 achetée sur internet. Nous avons eu quelques inquiétudes lors de l'atterrissage car le traceur n'avait pas répondu immédiatement. De plus, l'autonomie de la batterie était relativement faible (moins d'une demi-journée). Enfin, le compartiment batterie commençait à laisser un peu de jeu dans le contact de la batterie : il fallait dorénavant glisser un mince morceau de papier pour caler la batterie et assurer le contact. J'ai donc décidé d'acheter la version soi-disant originale du traceur TK102 vantée comme telle par le revendeur français Geotraceur.

b) Comparaison des 2 traceurs GPS

traceur	n°2 : copie du TK102	n°1 : TK102-2 « original »
vendeur	Priceminister	Geotraceur
prix	30€	120€
Fabricant annoncé	?	XEXUN TECHNOLOGY (HK) CO., LIMITED
Module GSM/GPRS	Tribande : 900/1800/1900 Mhz.	Quadribande : 850/900/1800/1900Mhz
Puce GPRS	Siemens MC56	
Module GPS	GPRS Siemens MC56	SIRF Star 3
Sensibilité GPS		-159 dBm
Précision GPS		5m

Batterie	Li-ion 3.7 V - 800 mAh	Li-Ion 3.7V - 1000 mAh
Autonomie en veille	?	5 jours (au lieu de 48h pour le TK102)
Température d'utilisation	-20 à + 55°C.	-20 à + 55°C
Mode micro espion	Oui	Oui
Dimensions (mm)	64mm x 46mm x 17mm.	64*46*17 mm
Poids(g)	50 g	60 g
Format de sms envoyé par le traceur	lat: 48.084935 (latitude) lon: -1.687577 (longitude) speed:0.39 (vitesse de déplacement en km/h) T:17/02/01 14:10 (position prise le 01/02/2017 à 13h10 en heure française) bat:100% (niveau de batterie) http://maps.google.com/maps?f=q&q=48.084935,-1.687577&z=16 (lien internet sur Google Map pour localiser le lieu)	lat: 50.633065N (latitude) long: 3.020442E (longitude) speed: 110.00 (vitesse de déplacement en km/h) 31/12/13 10:48 (position prise le 31/12/2013 à 10h48 en heure française) F:3.93V : Niveau de batterie - F pour batterie pleine : Full, L pour Batterie Faible : Low Signal : F (F pour signal GPS maxi, L pour signal GPS faible) imei: 123456789012345 (n° d'identification de votre traceur GPS) 03 (Nombre de satellites captés) 47.3 (Altitude) 20801 1306 3A39 (Cell id : référence du relais GSM d'émission)
Avantages	❖ Stockage sur carte SD	❖ Autonomie ❖ Donne l'altitude
Inconvénients	- Ne donne pas l'altitude	- Pas de stockage sur carte SD

Je décide d'**utiliser les 2 traceurs GPS le jour J**. Deux précautions valent mieux qu'une.

J'achète une carte SIM prépayée à La Poste à 10€. Problème :

- Le traceur GPS n'accepte que des cartes SIM de format normal.
- Mon smartphone (comme tous les smartphones actuels) n'accepte que les cartes microSIM.

Or il faut d'abord introduire cette carte SIM dans un téléphone pour pouvoir désactiver le code PIN. In extrémis, je finis par trouver un collègue (merci Laurent !) qui possède un vieux téléphone acceptant les cartes SIM de format normal. Nous effectuons donc la manipulation sur son téléphone.

J'oublie qu'il me faut également le numéro de téléphone correspondant à cette carte SIM. D'après « La Poste », ce numéro doit m'être envoyé sous la forme d'un SMS à la première connexion au réseau téléphonique (une fois la carte SIM activée sur un téléphone). Je dois donc rappeler mon collègue pour lui emprunter à nouveau son téléphone (merci encore !). Nous insérons donc à nouveau la carte SIM dans son téléphone. Pas de SMS. Zut ! Un collègue a une idée : « appelle-moi avec ton téléphone ! Ton numéro s'affichera. » En effet, nous obtenons donc le numéro de téléphone correspondant à la carte SIM que je peux à présent insérer dans le traceur GPS.

c) Instructions le jour J

Après moult réflexions, je décide de placer la carte SIM La Poste dans le TK102-2 « original ».

La carte pré-payée ne permet d'envoyer que 100 SMS. J'achète un crédit supplémentaire de 15€ qui me donne théoriquement droit à un nombre illimité de SMS pendant 15 jours (jusqu'au 10/02/2017). Mais l'opération est réalisée avec un robot par téléphone, y compris la transaction par carte bleue. Je n'ai aucune preuve et donc aucune garantie que le nombre de SMS est à présent illimité...

traceur	N°2	N°1
	copie du TK102	TK102-2 « original »
Carte SIM	Free (celle du lycée)	La Poste (la mienne)
Nombre max de SMS	Illimité	10€/0,10€=100 SMS + illimité si...
Action prévue	Stockage sur carte SD	Tracking (suivi)
instruction	save180s030n123456	t180s080n123456
ce qui veut dire :	Stocke sur la carte microSD 30 positions toutes les 180s (3min)	Envoie par SMS les positions toutes les 3min (80 fois)
commentaire	Théoriquement 30 positions vont être stockées pendant 90min=1h30. En réalité (par expérience) beaucoup plus...	Rapidement, en altitude, le traceur ne pourra plus envoyer de SMS. On espère qu'il pourra stocker sur carte SD...

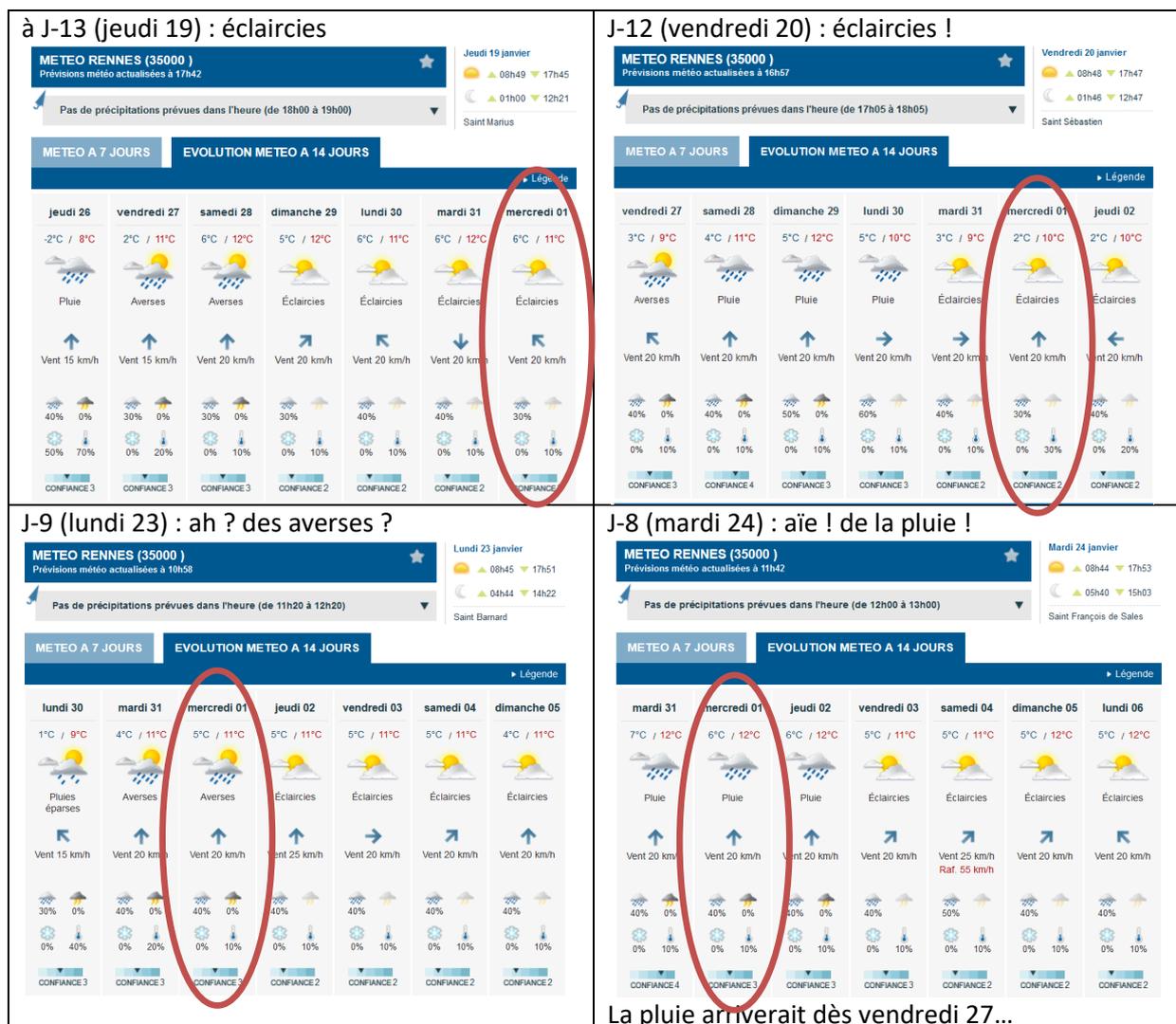
3) La prévision de trajectoire

a) Prévisions météo

La météo : le point noir du projet. Incontrôlable.

Heureusement il y a les prévisions ! Je surveille les prévisions de Météo-France tous les jours depuis le premier jour où le site publie des prévisions pour mercredi 1^{er} février. Je surveille les prévisions également sur d'autres sites. Toutes les données proviennent exclusivement des relevés de Météo-France, grâce en particulier aux radiosondages des ballons lancés à Brest, Bordeaux, Trappes, ... Mais ces données sont disponibles et n'importe qui peut les utiliser pour faire des prévisions.

Météo-France prévoyait des **éclaircies ce mercredi 1^{er} février à partir de 13h** et jusqu'à 19h. Ces prévisions étaient annoncées depuis 2 semaines comme on peut le constater sur ces vues d'écrans prises quotidiennement depuis le jeudi 19 janvier.

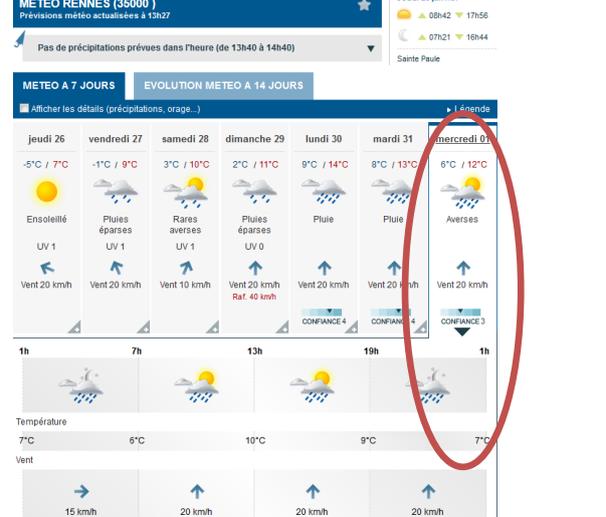


La pluie arriverait dès vendredi 27...

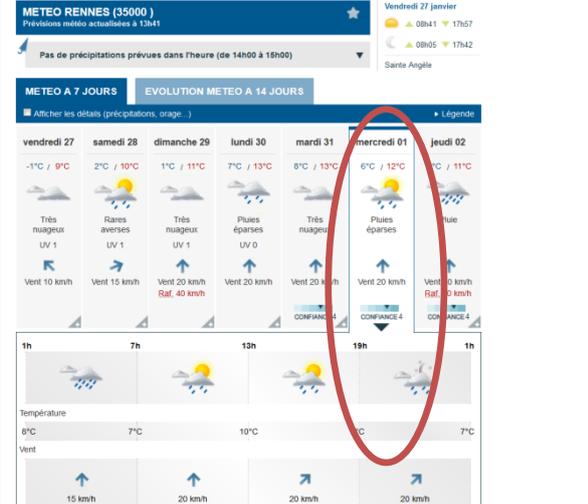
J-7 (mercredi 25) : pluies...éparses ?



J-6 (jeudi 26) : averses ?



J-5 (vendredi 27) : juste quelques pluies éparses..

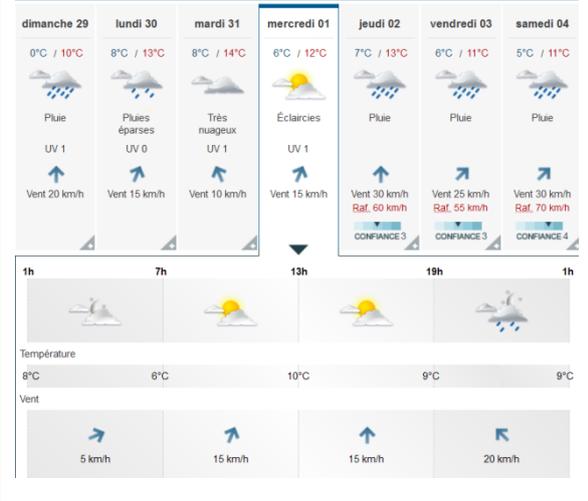


J-4 (samedi 28) : re-averses !

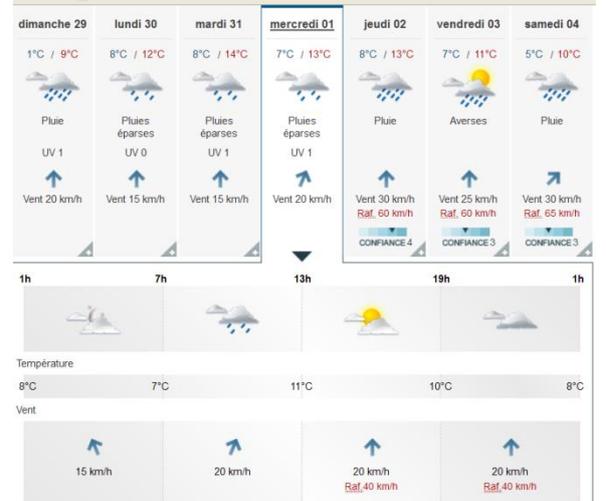


Après 6 jours d'inquiétudes, les prévisions redeviennent meilleures et confirment l'éclaircie :

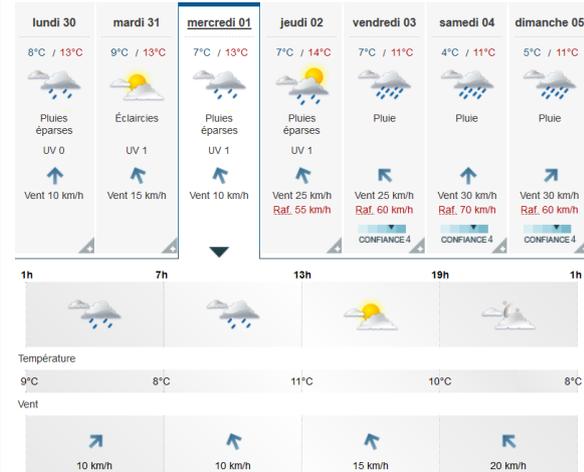
J-3 (dimanche 29) : éclaircies dès 7h !



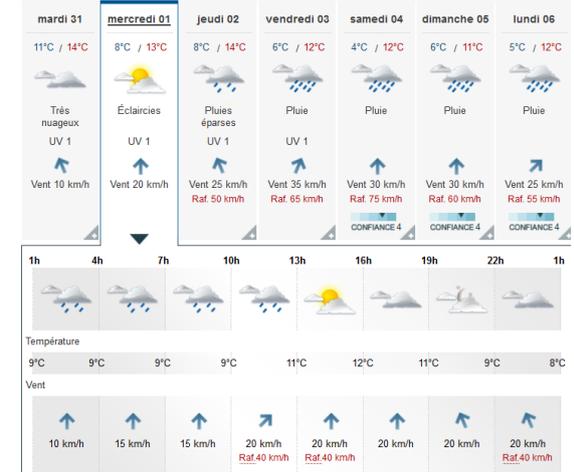
J-3 (dimanche 29, 2h plus tard, 11h27) : hem...



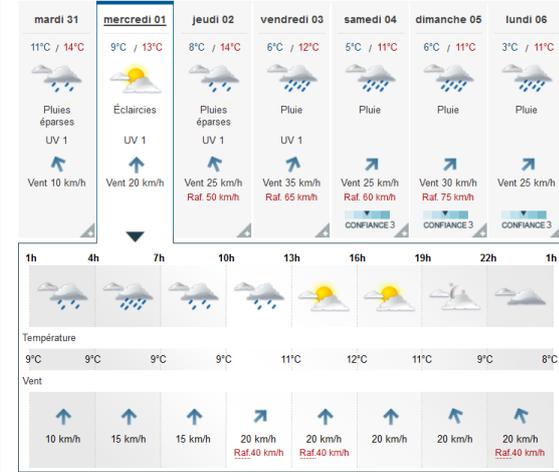
J-2 (lundi 30) : des éclaircies à 13 h !



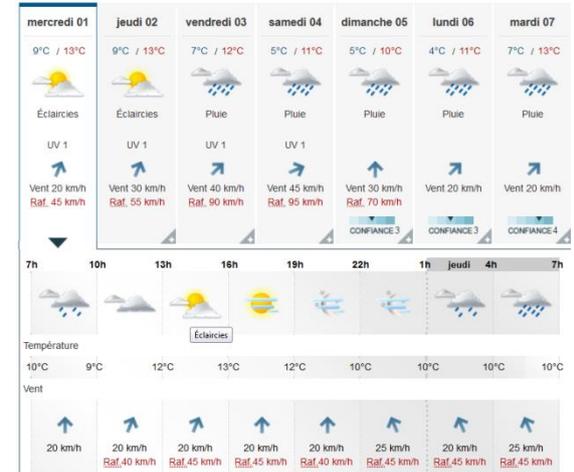
J-1 (mardi 31, 10h27) : éclaircies confirmées



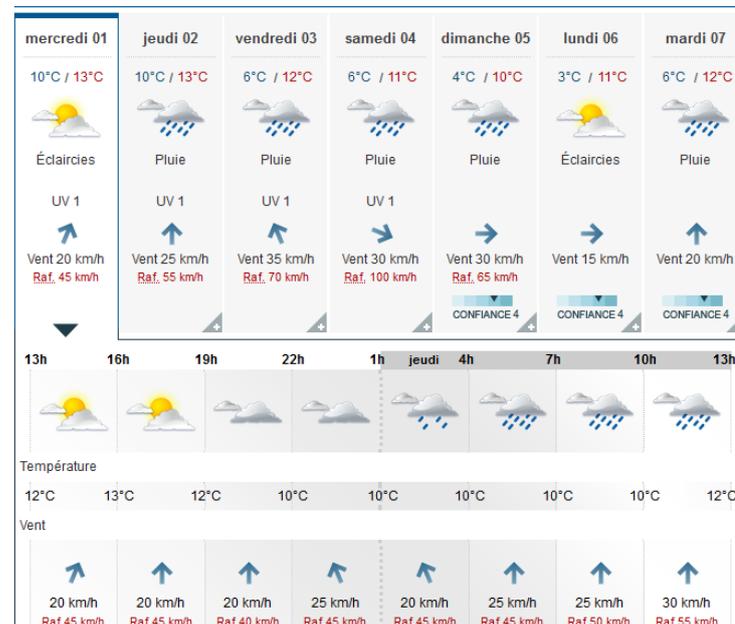
J-1 à 10h57 : encore plus d'éclaircies !



Jour J, mercredi 1^{er} Février 2017, 8h27 : On y croit...



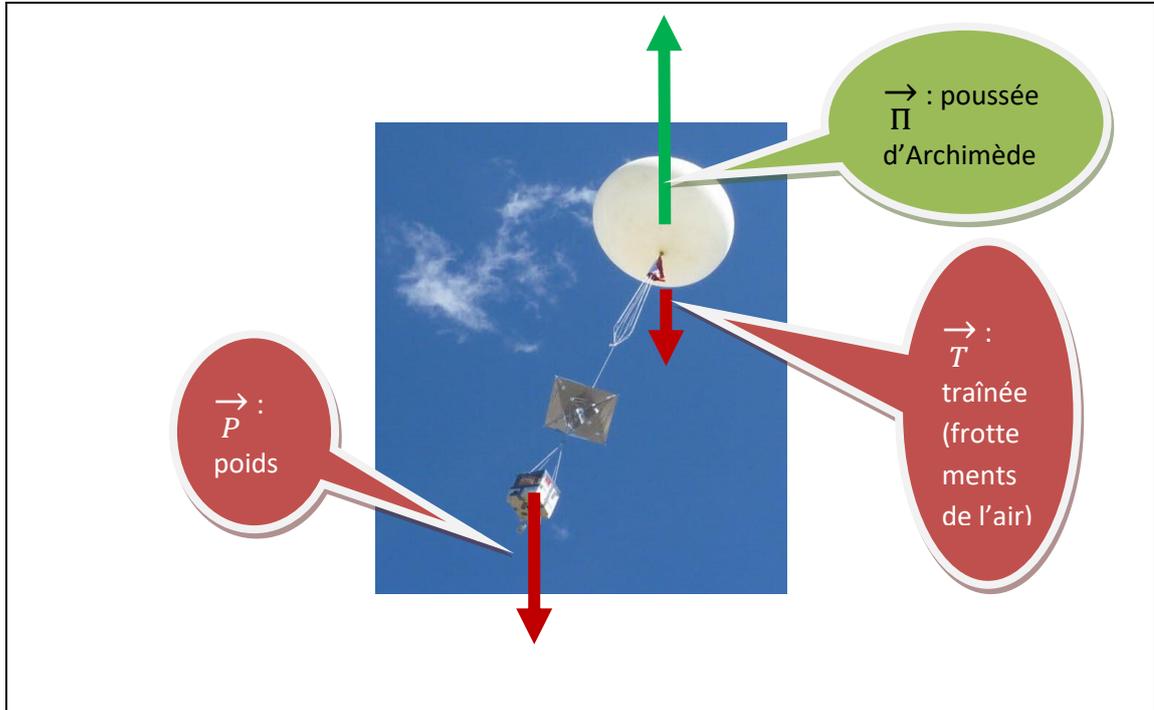
Les dernières prévisions sont encourageantes. La toute dernière date de 12h07, 1 heure et demie avant le lancement. Météo-France ne peut pas se tromper avec une échéance si courte ! Et bien si...



b) Prévision de trajectoire

Pour prévoir la trajectoire Théo utilise le site « CUSF Landing Predictor 2.5 » conçu par des universitaires de Cambridge. La simulation est basée sur l'hypothèse d'une vitesse ascensionnelle constante (par défaut 5m/s) et utilise les prévisions météo de vents en altitude.

➤ Les forces en présence



La poussée d'Archimède est égale au poids du volume d'air déplacé : $\Pi = \rho_{air} \cdot V_{bal} \cdot g$

- Or la masse de ce volume d'air est égale à $m_{air} = n_{He} \cdot M_{air}$
- n_{He} est le nombre de moles d'hélium injectées dans le ballon au gonflage (dans un volume donné, le nombre de moles de gaz est le même quelque soit le gaz).
- M_{air} est la masse molaire de l'air.
- Donc la **poussée d'Archimède est constante** : $\Pi = n_{He} \cdot M_{air} \cdot g$

La poussée d'Archimède est donc constante. Ce qui paraitre surprenant quand on sait que le volume du ballon va augmenter sous l'effet de la diminution de la pression en altitude. On pourrait croire que si le volume V_{bal} augmente, la poussée d'Archimède augmente aussi. Oui mais la densité de l'air ρ_{air} diminue dans les mêmes proportions. Donc $\rho_{air} \cdot V_{bal}$ reste constant.

En fait la poussée d'Archimède ne dépend que du nombre n_{He} de moles d'Hélium insufflées dans le ballon.

Le poids est celui de la nacelle + le réflecteur radar + le ballon.

La traînée est essentiellement due aux frottements de l'air sur le ballon et vaut :

- $T = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$

- S est le maître couple et correspond à la surface opposée par le ballon à l'air : $S = \pi \cdot R_{bal}^2$
- Le coefficient de traînée vaut pour une sphère : $C_x = 0,45 N \cdot m \cdot kg^{-1}$

La Force Ascensionnelle Libre (FAL) est égale à $FAL = \Pi - P$

➤ **La vitesse ascensionnelle est constante**

Au décollage, cette force entraîne le ballon vers le haut. La vitesse augmente et du même coup la traînée aussi. La vitesse se stabilise quand la traînée équilibre la Force Ascensionnelle Libre. La somme des forces est alors égale à 0.

$$FAL = \Pi - P = T$$

$$FAL = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot S \cdot C_x \cdot v^2$$

On peut donc en déduire la vitesse ascensionnelle (constante) : $v = \sqrt{\frac{FAL}{\frac{1}{2} \rho_{air} \cdot S \cdot C_x}}$

➤ **Altitude à l'éclatement**

Le ballon éclate quand il atteint un volume critique $V_{MAX} = 395m^3$ (données du CNES pour un ballon de 1,200 kg). La pression est alors égale à la pression minimum que le ballon peut supporter. On obtient cette pression en supposant l'air comme un gaz parfait :

$$P_{min} \cdot V_{MAX} = P_{initiale} \cdot V_{initial} = n_{He} \cdot R \cdot T$$

$$P_{min} = \frac{V_{initial}}{V_{MAX}} \cdot P_{initiale}$$

On peut ainsi déduire l'altitude d'éclatement. Avec un rayon de 1m au gonflage, le volume initial du ballon serait : $V_{initial} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 = 4,2m^3$. Donc :

$$P_{min} = \frac{4,2}{395} \cdot P_{initiale} = 0,0106 \cdot P_{initiale} \approx 10hPa$$

Ce qui correspond à une altitude d'environ 30000 m.

➤ **Principe de calcul de la trajectoire**

Les hypothèses de base sont donc :

- Vitesse ascensionnelle constante : $v = 5m/s$
- Altitude d'éclatement connue : $v = 30000m$

Au besoin on peut ajuster ces paramètres.

On utilise les prévisions de vent par tranches d'altitude et on considère que le ballon se déplace horizontalement à la vitesse du vent.

Par exemple, les prévisions de la NOAA (National Ocean Atmospheric Agency, l'agence météo américaine) donnent la vitesse et la direction du vent toutes les 3 heures (pendant 240h) à 23 altitudes différentes correspondant aux pressions suivantes : Pression au sol, 1000 hPa, 975 hPa, 925 hPa, ... , 200 hPa, 150 hPa, 100 hPa, 50 hPa et 25 hPa. Ces prévisions sont publiées gratuitement pour tous les sites météos du monde entier sous la forme d'un windgram.

Exemple de windgram obtenu pour les coordonnées GPS de Rennes, le 3 Mars 2016 (voir compte-rendu projet de l'an dernier) :

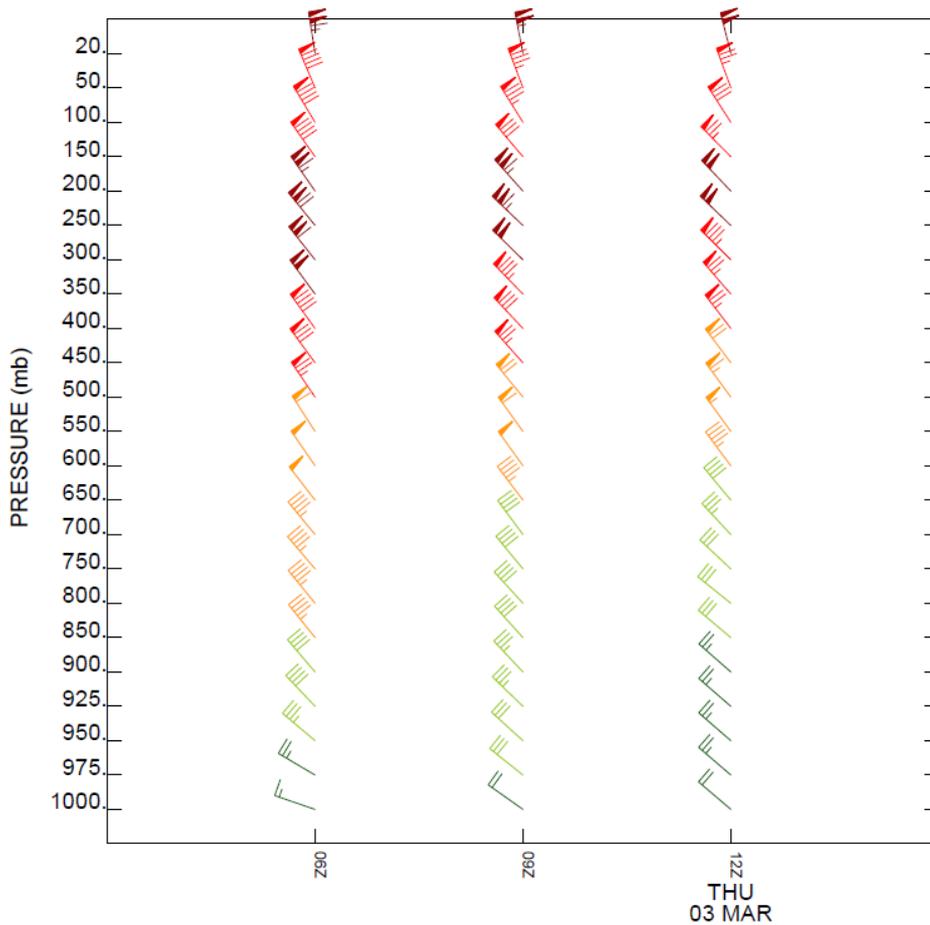
<http://www.ready.noaa.gov/READYcmet.php>

hysplit.t06z.gfsf WINDGRAM

Latitude: 48.09 Longitude: -1.69

DATA INITIAL TIME: 03 MAR 2016 06Z CALCULATION STARTED AT: 03 MAR 2016 06Z
 CALCULATION ENDED AT: 03 MAR 2016 12Z

NOAA AIR RESOURCES LABORATORY
 READY Web Server

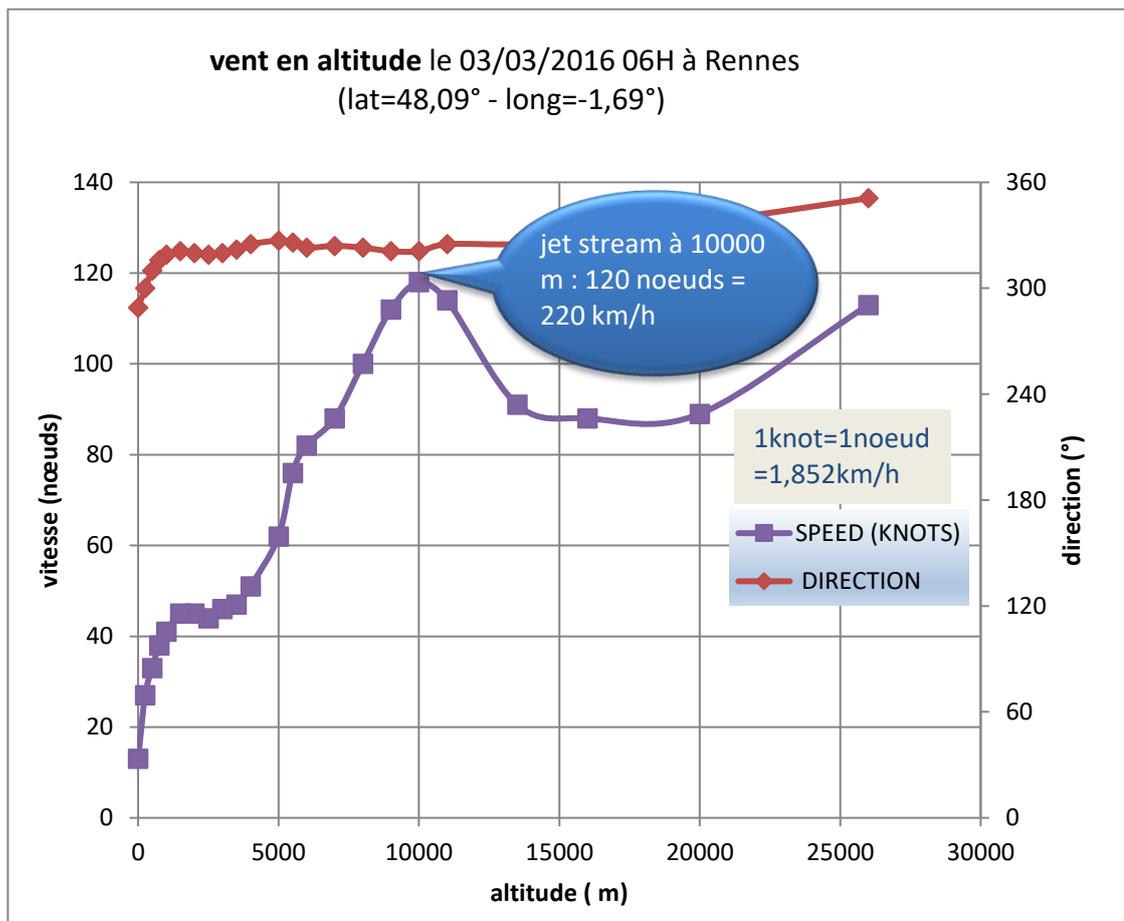


On peut récupérer le fichier texte correspondant à ces données puis le convertir en tableau :

H	0		3		6	
P (mb)	DIRECTION	SPEED (KNOTS)	DIRECTION	SPEED (KNOTS)	DIRECTION	SPEED (KNOTS)
20	351	113	349	106	345	99
50	337	89	339	85	340	77
100	329	88	328	86	327	81
150	325	91	320	81	315	77
200	325	114	318	112	316	99
250	321	118	313	113	314	101

300	321	112	314	97	314	84
350	323	100	316	85	319	76
400	324	88	317	77	322	73
450	323	82	318	74	323	69
500	326	76	321	69	324	65
550	327	62	324	59	324	57
600	325	51	324	48	323	47
650	322	47	323	43	320	39
700	320	46	323	41	317	35
750	319	44	320	38	313	31
800	320	45	317	38	309	30
850	321	45	318	38	310	29
900	319	41	316	35	311	27
925	316	38	314	33	311	26
950	310	33	312	31	311	25
975	300	27	308	27	310	23
1000,00	289	13	305	18	310	19

Puis on convertit la pression en altitude. Voici le graphe de la prévision de vent à H=6h UTC :



Enfin on calcule la distance horizontale parcourue au cours de la traversée de chaque tranche d'altitude :

altitude (m)	P mb)	DIRECTION	km/h	Distance D parcourue (km)
26000	20	351	209,276	
20000	50	337	164,828	54,9
16000	100	329	162,976	36,2
13500	150	325	168,532	23,4
11000	200	325	211,128	29,3
10000	250	321	218,536	12,1
9000	300	321	207,424	11,5
8000	350	323	185,2	10,3
7000	400	324	162,976	9,1
6000	450	323	151,864	8,4
5500	500	326	140,752	3,9
5000	550	327	114,824	3,2
4000	600	325	94,452	5,2
3500	650	322	87,044	2,4
3000	700	320	85,192	2,4
2500	750	319	81,488	2,3
2000	800	320	83,34	2,3
1500	850	321	83,34	2,3
1000	900	319	75,932	2,1
750	925	316	70,376	1,0
500	950	310	61,116	0,8
250	975	300	50,004	0,7
0	1000,00	289	24,076	0,3

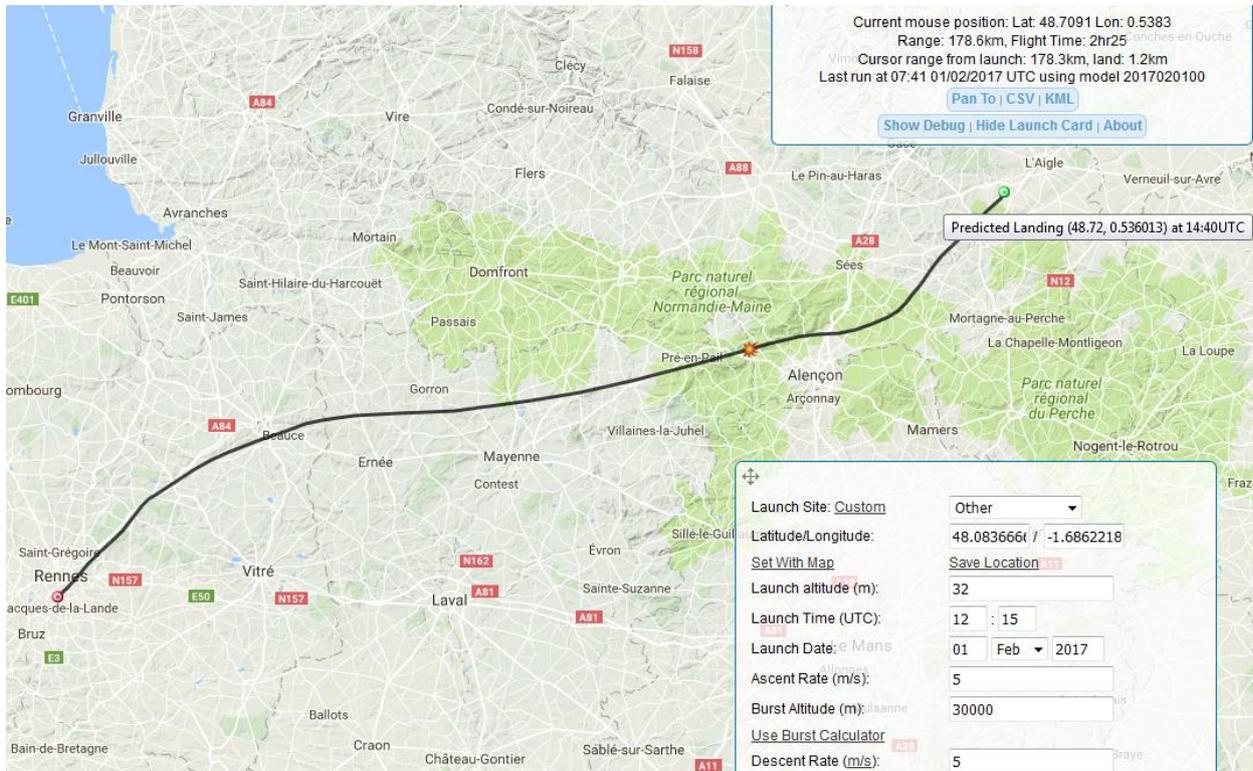
On peut ainsi tracer la trajectoire par segments de longueur D orientés selon la direction correspondant à chaque tranche.

Théo
prévisionniste
trajectoire

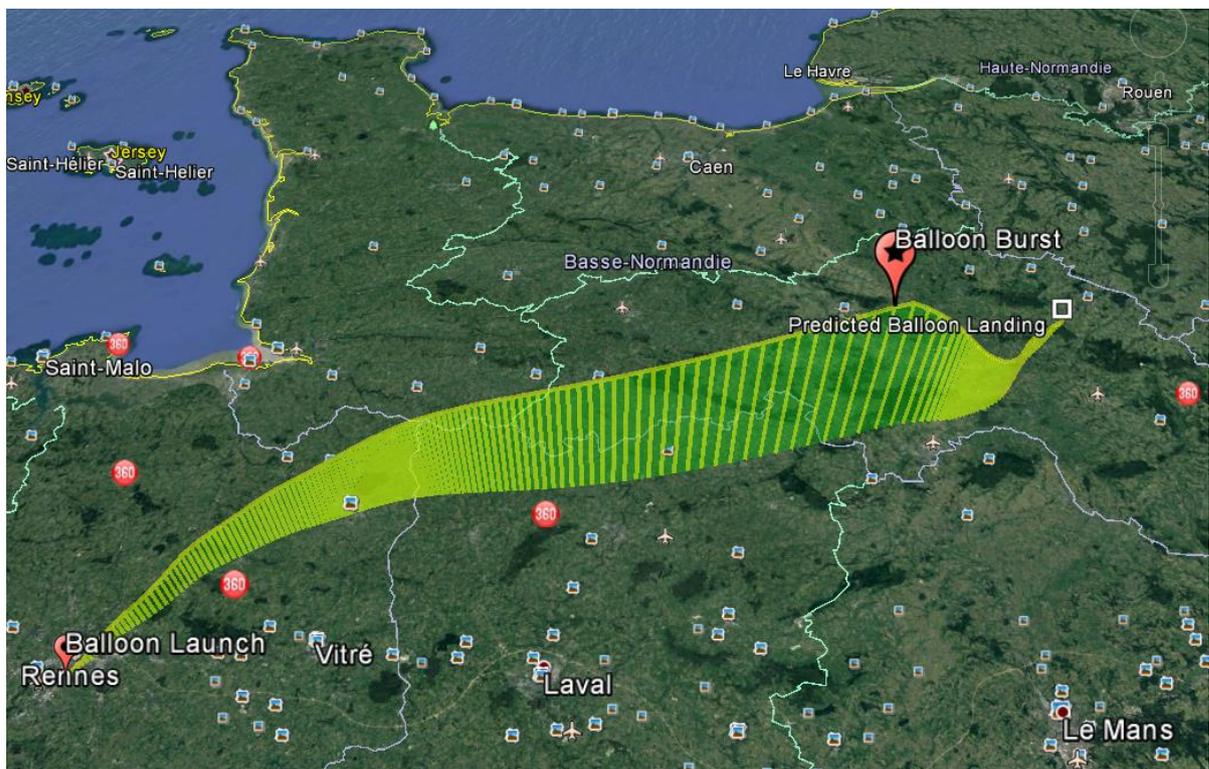


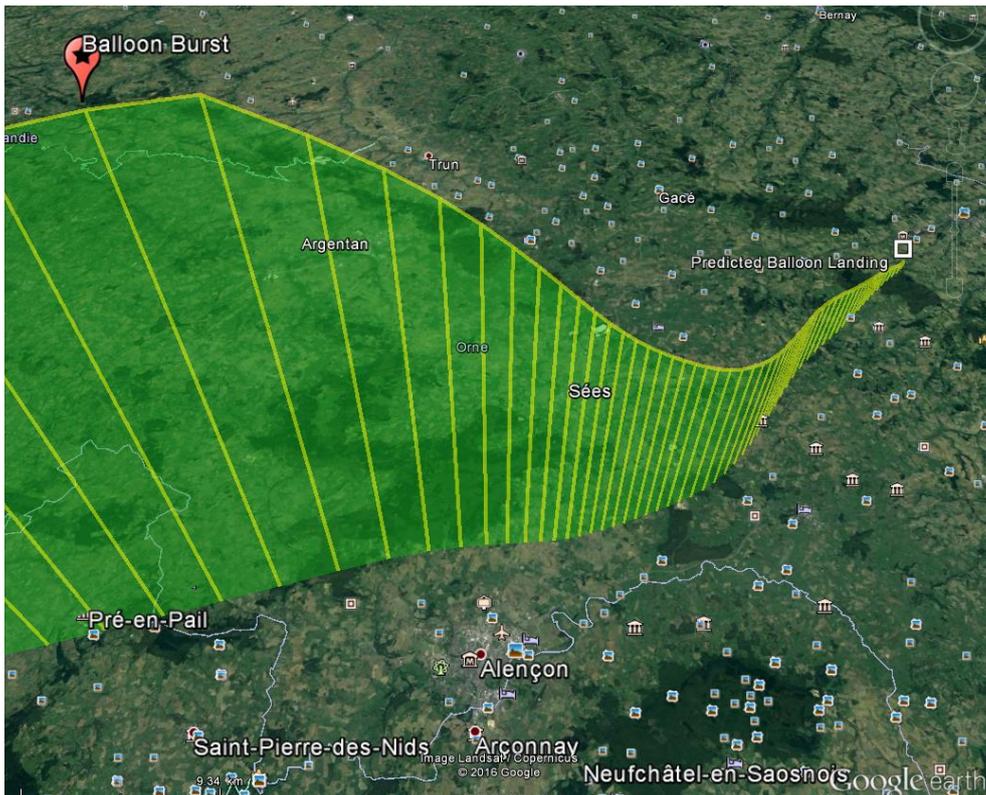
c) Prévisions pour le jour J

Mercredi 1^{er} février, jour J, à 8h41, avec une vitesse ascensionnelle de 5m/s, le site CUSF prévoit la trajectoire suivante pour un vol à 12h15 UTC (13h15 heure locale) :

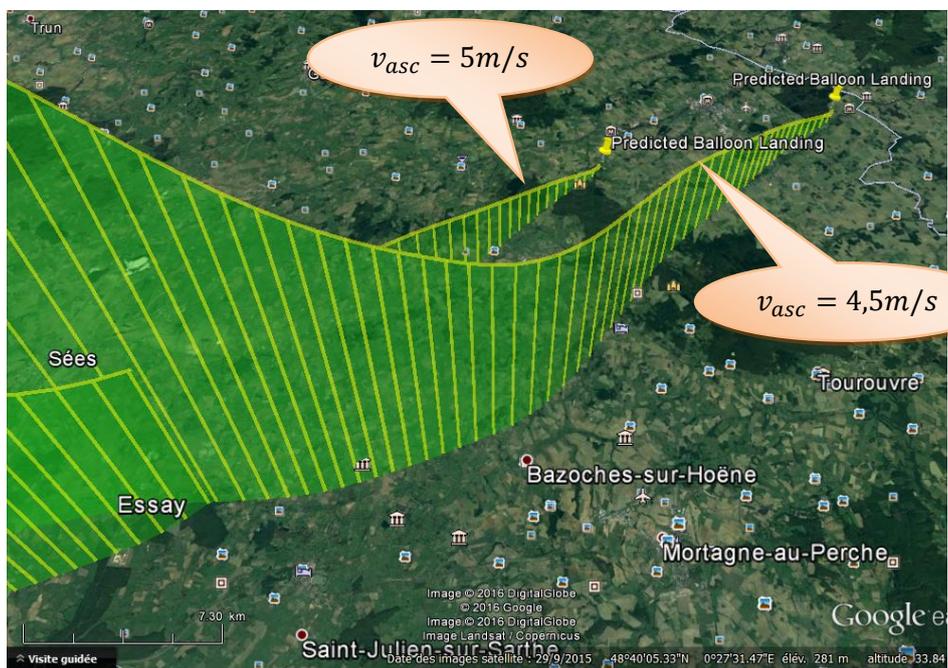


Google Earth a développé un standard libre de fichiers KML (Keyhole Markup Language) pour permettre la visualisation de trajectoires en 3D.





Si on modifie le paramètre vitesse ascensionnelle dans les paramètres, la trajectoire prévue est modifiée :



2 prévisions : en diminuant la vitesse d'ascension de 5m/s à 4,5m/s, l'atterrissage aurait lieu plus loin (50km) au nord-est

d) Conclusion : les paramètres influant sur la trajectoire

En conclusion voici, en dehors de la météo, les principaux paramètres sur lesquels nous pouvons agir et qui vont influencer sur la trajectoire du ballon :

Paramètre	Influence	Conséquence
Masse : m	Plus la masse augmente Moins forte est la poussée d'Archimède	Le ballon monte moins vite L'ascension dure plus longtemps La nacelle va plus loin
Gonflage du ballon : $P_{initiale}$, $V_{initial}$, n_{He}	Plus on gonfle le ballon Plus la poussée d'Archimède est forte	Le ballon monte plus vite L'ascension dure moins longtemps La nacelle va moins loin
	Plus on gonfle le ballon Moins haut il éclatera	Le ballon éclate moins haut La nacelle va moins loin

D'autres paramètres plus aléatoires pourront avoir une influence :

Une **fuite d'hélium** à cause d'une mauvaise ligature du ballon ou un défaut dans l'enveloppe de latex aura pour conséquence de freiner progressivement l'ascension, en raison d'une poussée d'Archimède décroissante, mais aussi de retarder l'éclatement voire d'éviter l'éclatement. On aurait alors un **ballon plafonnant** comme ceux utilisés parfois par le CNES ou Météo-France. Mais, dans notre cas, involontairement. Le vol peut alors durer très longtemps et emmener le ballon (qui se dégonfle progressivement) **très loin...**

Une **fragilité dans le latex** peut entraîner **trop tôt** un **éclatement**. Le ballon se dilate, l'enveloppe s'étire et c'est l'éclatement avant d'atteindre le volume maximum prévu. L'ascension dure alors moins longtemps et le ballon va **moins loin**.

10) Les caméras et l'appareil photo

Que serait notre projet sans image à rapporter de notre voyage dans la stratosphère ? Puisque nous ne pouvons pas monter à bord, plaçons-y un appareil photo, il sera notre œil. Et avec deux yeux c'est encore mieux : ajoutons une caméra ! Oui mais il y a tant à regarder : devant, sur les côtés, en-dessous, ... Ajoutons une deuxième caméra et si avec ça on ne fait pas un bon film ! (On espère faire mieux que notre référence « ballon sonde Horizon 1 » (sur youtube), le film qui nous avait donné envie l'an passé...)

1) Appareil photo et déclencheur

Nous reprenons l'appareil photo de l'an passé : Kodak Easyshare C140 rouge acheté au « bon coin » (moins de 50 €)



Caractéristiques :

- Capteur CCD 8,2 M pixels
- Ouverture : f/2.7 - 4.8
- Vitesse d'obturation : 4 sec. / 1/1400
- Alimentation : 2 piles AA Ni-MH, Lithium ou Alcaline
- Poids : 130 g

Carte mémoire SD : 8 Mo

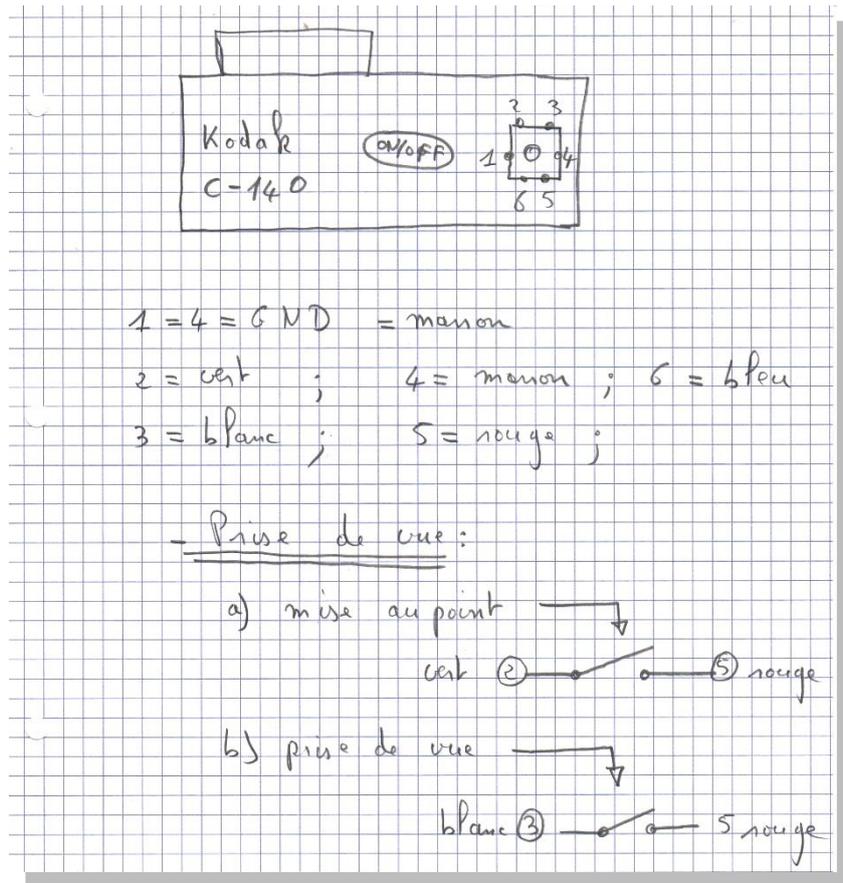
Réglages :

- Date et heure : sont réinitialisés après chaque déconnexion de l'alimentation.
- Mode paysage : netteté à l'infini.

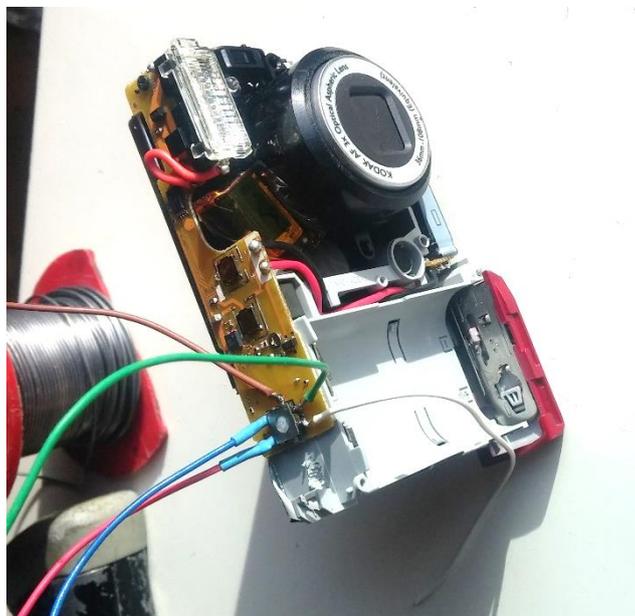
Déclencheur automatique (réalisé par Maël sous Arduino)

⇒ La prise de vue s'effectue en 2 temps :

- * Léger appui sur le déclencheur : mise au point autofocus
- * Appui sur le déclencheur : prise de vue

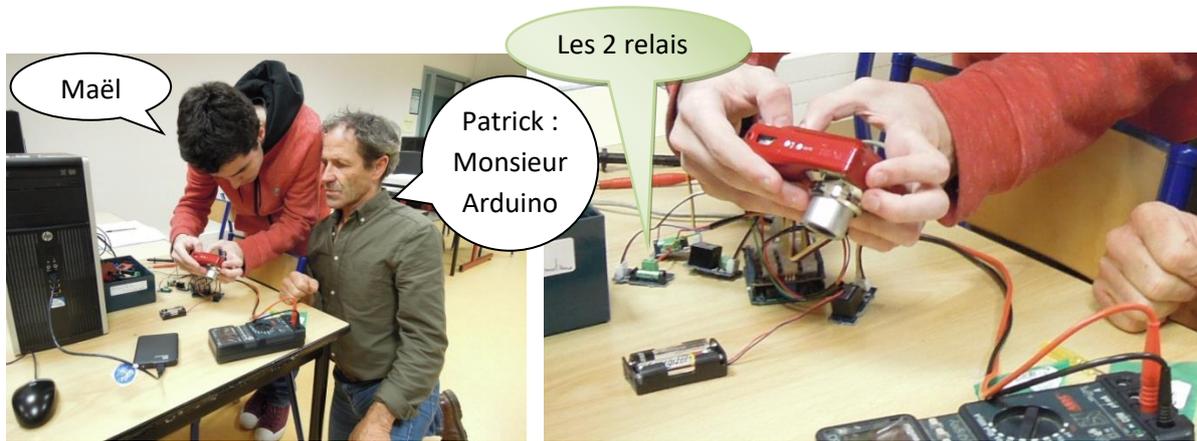


⇒ Le déclencheur devra donc commander la fermeture de 2 interrupteurs successifs. Il faut d'abord identifier ces interrupteurs en démontant l'appareil.



Maël réalise un programme qui sera implanté sur une carte Arduino pour commander 2 relais. Ces 2 relais actionneront successivement les 2 interrupteurs.

La programmation permet de faire varier le délai entre deux prises de vues : 5 secondes pendant la première heure, puis 30 s pendant les 2 heures suivantes par exemple.



L'alimentation de l'appareil photo est réalisée par 2 piles 1,5V au lithium comme l'an passé. Nous avons déporté le boîtier piles hors de l'appareil photo pour pouvoir l'habiller d'un isolant thermique. Mais cette fois le boîtier plastique extérieur n'est pas inséré dans un compartiment isolant en polystyrène.

2) Caméras

Nous utiliserons les 2 caméras de l'an passé. La caméra PNJ jaune appartenant au lycée sera placée au fond de la nacelle, dirigée vers le bas.

La caméra Takara CS10 que j'ai achetée l'an dernier pour notre projet sera à nouveau du voyage. Elle filmera à l'horizontale.

L'an passé, j'avais équipé la caméra Takara d'une batterie auxiliaire pour augmenter l'autonomie et nous avons pu filmer tout le vol jusqu'à l'atterrissage. Cette année j'achète une deuxième batterie auxiliaire pour équiper aussi la caméra PNJ.

a) Caméra PNJ jaune



⇒ Caractéristiques : full HD 720P (1280 x 720 pixels) 30 im/s, capteur CMOS 5 M pixels (photo), étanche à 20m, grand angle 100°, batterie Li 3,7V – 850 mAh, 70g.

⇒ On équipe la caméra d'une carte microSD 8 Go.

⇒ L'autonomie de la batterie à l'intérieur de la caméra est testée en laboratoire. Donnée pour 2 heures par le constructeur (à 20°C) on mesure une valeur légèrement inférieure.

⇒ Avec la batterie auxiliaire l'autonomie passe à **7h40min** ! (Essai réalisé dans mon freezer à 0°C). Largement de quoi filmer tout le vol et plus.

b) Caméra TAKARA

⇒ Achat du 26 mars 2016 à la fnac : une caméra de sport Takara CS 10 à 80€ .



La caméra dans son boîtier



La caméra nue

⇒ Caractéristiques :

- ◆ Capteur CMOS 2 M pixels en vidéo (12MP en photo)
- ◆ Mode full HD 1080P à 30 im/s (on utilisera la résolution 720P, soit 1280x720 à 60 im/s, pour son angle de vue un peu moins fish eye qu'en 1080P)
- ◆ Batterie Li-Ion 3,7V autonomie annoncée : 1h en 1080P.
- ◆ Poids : 65g avec la batterie, 158g avec le caisson étanche.
- ◆ Étanche à 30 m avec son boîtier.

⇒ Cet achat est complété par celui d'une carte SD rapide à 16 € :

- ◆ Carte Mémoire Sandisk ultra PLUS MicroSDHC 16 Go 80 Mo/seconde UHS-I avec adaptateur SD

⇒ L'autonomie est testée à +20°C puis à -25°C. Rappel des essais de mars 2016 :

- ◆ essai n°1 à +20°C : 1h29
- ◆ essai n°2 à +20°C : 1h32
- ◆ essai n°3 dans le congélateur à -25°C : 1h12

⇒ Conclusion : si on veut filmer la totalité du vol, il faut une batterie auxiliaire. La capacité de la batterie actuelle de 900 mAh donne une autonomie de 1h15, il faut donc au moins doubler ce temps. Je décide d'acheter une batterie de 2500 mAh.



- ⇒ Test de la caméra équipée de la batterie auxiliaire le 13 avril 2016. La caméra filme non-stop jusqu'à remplir totalement la carte mémoire de 16 Go, soit presque 2h55 de film. La batterie auxiliaire est complètement déchargée mais la batterie de la caméra est encore chargée. Une fois la carte mémoire vidée, la caméra peut encore filmer 1h47. Soit au total **4h42min d'autonomie** de batterie. Il est presque tentant d'acheter une carte mémoire de 32 Go pour exploiter au maximum la nouvelle autonomie du système caméra+batterie.

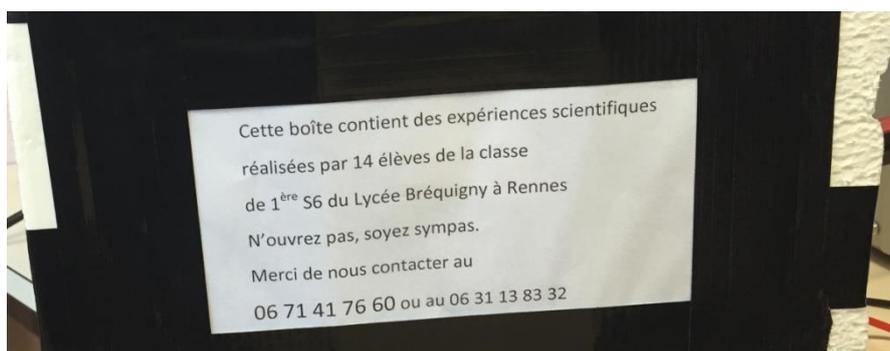
Le jour J

1) Organisation du jour J - Logistique

1) Préparation de la nacelle



Consolidation de la nacelle par scotch large. Etiquettes avec nos coordonnées.





2) Hélium

Objet : Réservation d'hélium

Monsieur,

Suite à mon appel téléphonique, je vous confirme la réservation auprès de vos services de 4 bouteilles d'hélium

4 bouteilles d'Hélium de 2.7 m³ (B15), pour une récupération le **vendredi 25 janvier 2017**

Voici le numéro de la carte chantier Air Liquide CNES - Planète Sciences sur laquelle il faudra enregistrer la commande :

CNES Planète Sciences
Région National
N° carte 126 11 782
N° DO 10812404



Je vous remercie par avance et vous prie d'agréer, Monsieur, l'expression de mes salutations les meilleures.

Elodie Francillette
Pour le secteur Espace
Tél. 01 69 02 23 90

Planète Sciences
16 Place Jacques Brel
91130 Ris-Orangis
Tél: 01.69.02.76.10-Fax: 01.69.43.21.43
www.planete-sciences.org

3) Préparation de la chaîne de vol : parachute – anneau anti-torche

SR 1 : Le parachute pré-déployé CNES est un parachute hémisphérique, disposé entre le ballon et le réflecteur-radar. Le parachute, l'anneau et la ficelle sont fournis. Il est nécessaire de monter l'ensemble en respectant le schéma suivant :

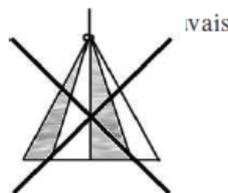
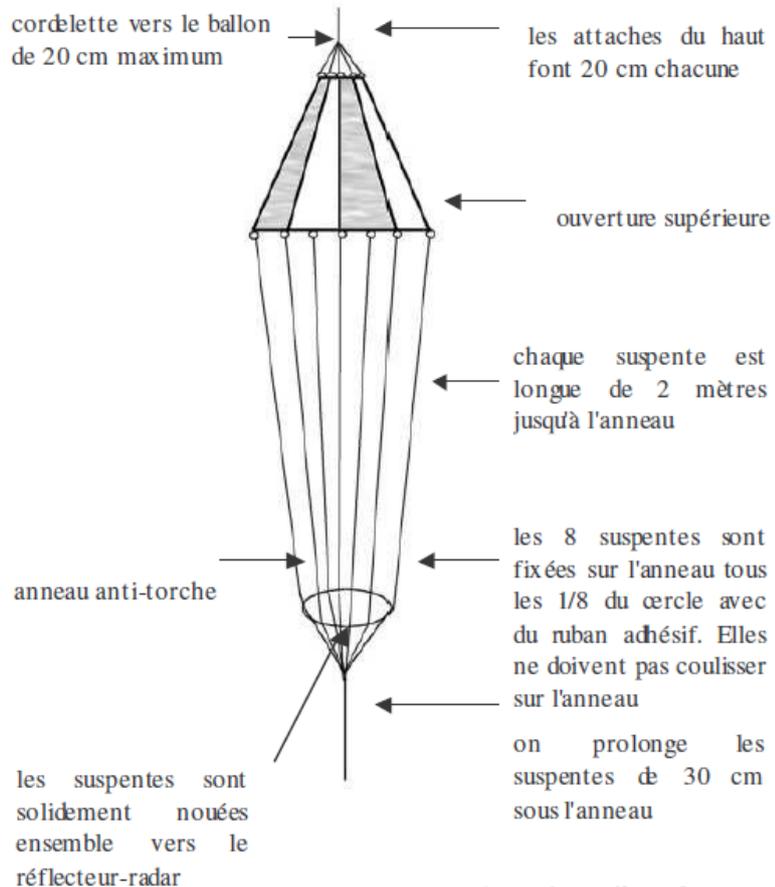
N'utilisez que de la cordelette cassant à 230 N
type cordeau de maçon non torsadé

La liaison entre le parachute et le ballon doit être courte : 20 cm.

La liaison entre le parachute et le réflecteur-radar doit au moins faire 2 m.

ASTUCES

- Ne découpez pas la corde aux dimensions annoncées sur le schéma. Pensez à rajouter la marge nécessaire aux nœuds.
- Prévoir 25 mètres de cordelette par parachute.
- Evitez d'utiliser de la cordelette torsadée.



Attention : il ne faut pas nouer les anneaux de tissu du haut ensemble par une cordelette unique. Cela aurait comme effet de fermer l'ouverture du parachute et d'altérer son fonctionnement

SR 2 : Les parachutes type météo fournis par le CNES et seuls autorisés (règle SR3), sont conçus pour des masses inférieures au kg, d'où l'origine de la limitation en masse imposée. Ils sont couramment utilisés pour faire atterrir, des sondes météorologiques professionnelles qui pèsent environ 1 kg.

4) Pesée

Equipe	Prénom	NOM	activités	matériel	masse (g)
Equipe nacelle	Florian	Rigal	organisation – logistique		
	Mathis	Convers-Gourhant	conception de nacelle – étude thermique	nacelle	545
	Glenn	Desmons		couvercle	108
	Ewen	Menuge	alimentation électrique	1 pile 4,5V	162
	Théo	Argans		1 pile 4,5V	162
Equipe capteurs	Antoine	Le gendre	capteurs de température	temp int	2
	Erwan	Hautbois		temp piles	2
				temp ext	10
	Marin	Boiteau	capteurs de pression	capt standard	4
	Timothé	Fournier		capt 10000	25
				capt 30000	25
	Laabid	Zackariya	capteur humidité	module Arduino	93
Thibaut	Blanchais	propagation du son	module Arduino	50	
Equipe images	Maël	Pereira	photo	Kodak	130
				piles	35
			caméra 1	caméra PNJ jaune	74
				batterie 2500mAh	65
				caméra 2	65
			batterie 2500mAh	65	
Equipe trajectoire	Théo	Simon	prévision de trajectoire	module GPS	43
	Adrien	Lecomte	suivi GPS du ballon	traceur GPS 1	70
				traceur GPS 2	70
capteurs supplémentaires			capteur UV	capteur UV	30
			capteur PM10	capteur PM10	40
			m de câble blindé (40g/m)	3	120
				émetteur KIWI	65
				ficelle + scotch	50
				TOTAL =	2110

5) Préparation de la logistique du jour J



17 janvier : Florian fait le point et répartit les équipes pour le jour J

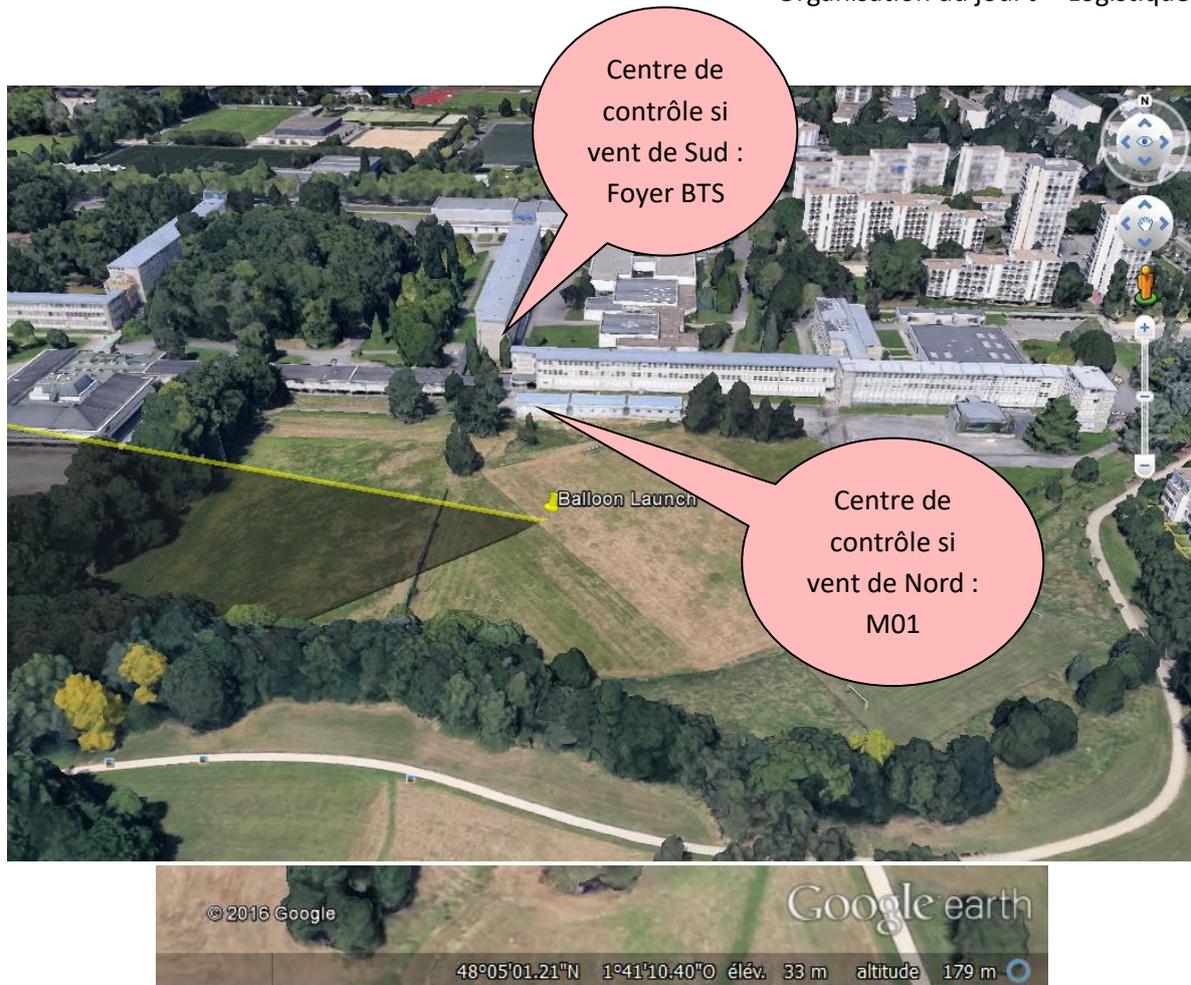
- Rappeler l'évènement au proviseur et à l'administration du lycée.
 - Message sur les écrans du lycée.
 - Contacter la presse.
 - Prendre des photos, filmer les élèves décrivant le projet avant le lâcher.
 - Acheter des provisions pour grignoter : boissons, barres de céréales, clémentines, ...
 - Faire le plein de carburant pour la voiture qui partira rechercher la nacelle.
 - Faire la liste de répartition des tâches par élève.
 - Aller chercher les 2 ordinateurs portables.
 - Tester la réception avec les ordinateurs portables.
 - Consulter régulièrement les prévisions :
 - Météo
 - Prévision de trajectoire sur le site du CUSF : <http://predict.habhub.org/>
 - latitude : 48,083666
 - longitude : -1,686221888
 - Altitude : 32m
 - Enregistrer le fichier KML
- ⇒ Visualiser la trajectoire et noter les coordonnées GPS du site d'atterrissage
- Préparer le dossier du projet contenant :
 - ⇒ Les courbes d'étalonnage des capteurs de pression
 - ⇒ Les courbes d'étalonnage des capteurs de température
 - ⇒ Les courbes de variation de pression et température en fonction de l'altitude (atmosphère standard)
 - ⇒ Les fiches de validation de Planète Sciences

6) Matériel nécessaire le jour J

- 2 ordinateurs portables en mode administrateur (login et mot de passe) équipés du logiciel « kicapt ».
- Antennes de réception sur son pied.
- Nacelle et son équipement.
- Réflecteur radar et parachute arrimés
- Ficelle supplémentaire pour l'arrimage de la chaîne de vol.
- Enveloppe du ballon.
- Gants en latex pour manipuler le ballon.
- Bouteilles d'hélium.
- Valise « aérotechnicien ».
- 1 abri : voiture de Patrick ? pour abriter les ordinateurs
- câbles rallonges étanches (extérieur) pour alimentation électrique des ordinateurs si on a besoin de sortir
- 1 ou 2 multiprises
- 1 bâche 10m x 10m
- Balance 5kg
- Outils : fer à souder, fils, tournevis (un petit pour le Kiwi un plus gros), ...
- Gros rouleau de ruban adhésif
- Colle
- Jumelles
- Téléphones
- Dossier contenant les courbes d'étalonnage et de validation
- Appareil photo pour filmer
- ? Caméraman (Christine Boisseau, Erwan Blanchard ?)

7) Planning prévisionnel

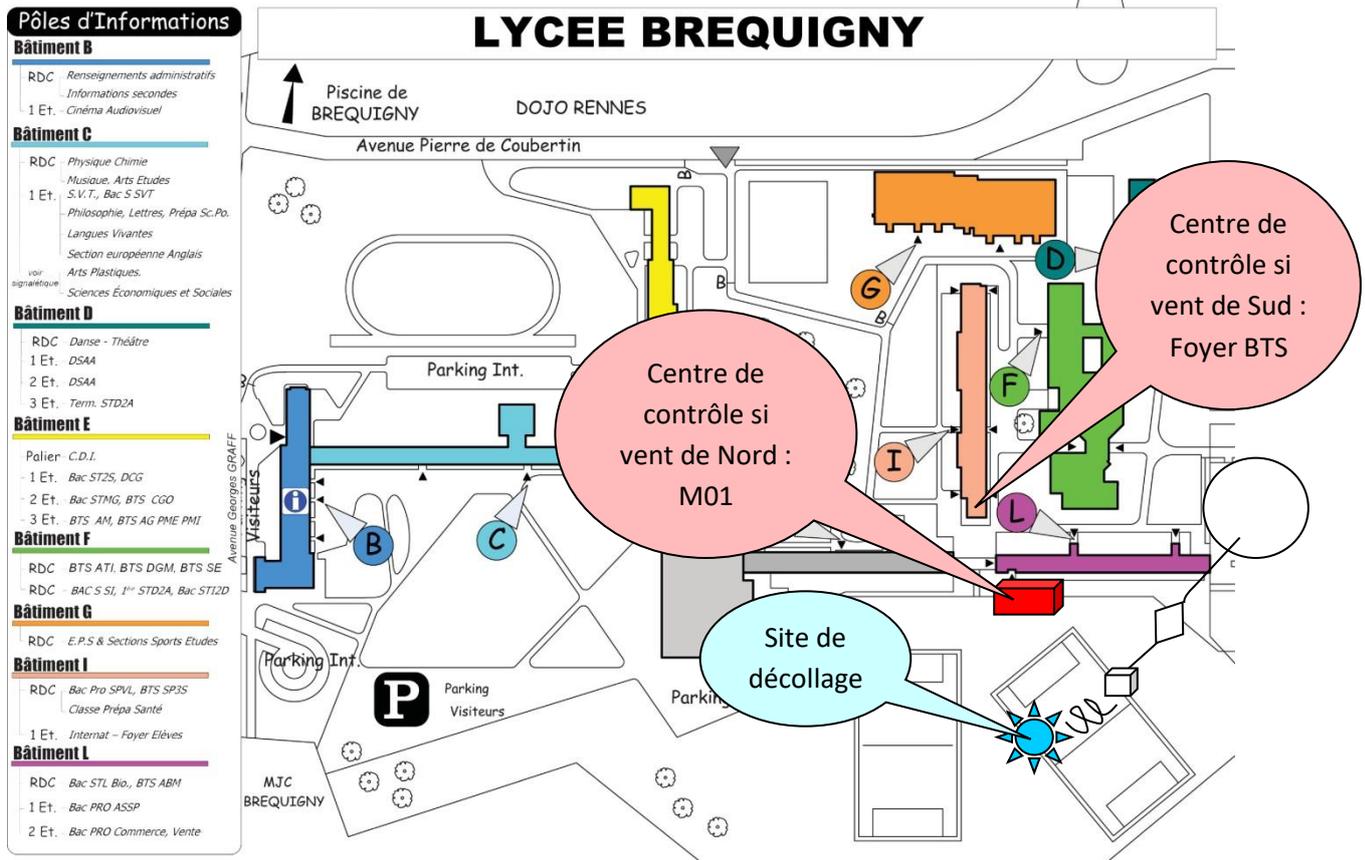
- **H-5 : 08h00** : Prévisions de vol :
 - bulletin météo : <http://www.meteofrance.com/previsions-meteo-france/rennes/35000#!>
 - prédiction sur le site du CUSF de Cambridge : <http://predict.habhub.org/>
 - latitude : 48,0836666
 - longitude : -1,686221888
 - Altitude : 32m
 - Enregistrer le fichier KML
 - Visualiser la trajectoire et noter les coordonnées GPS du site d'atterrissage.

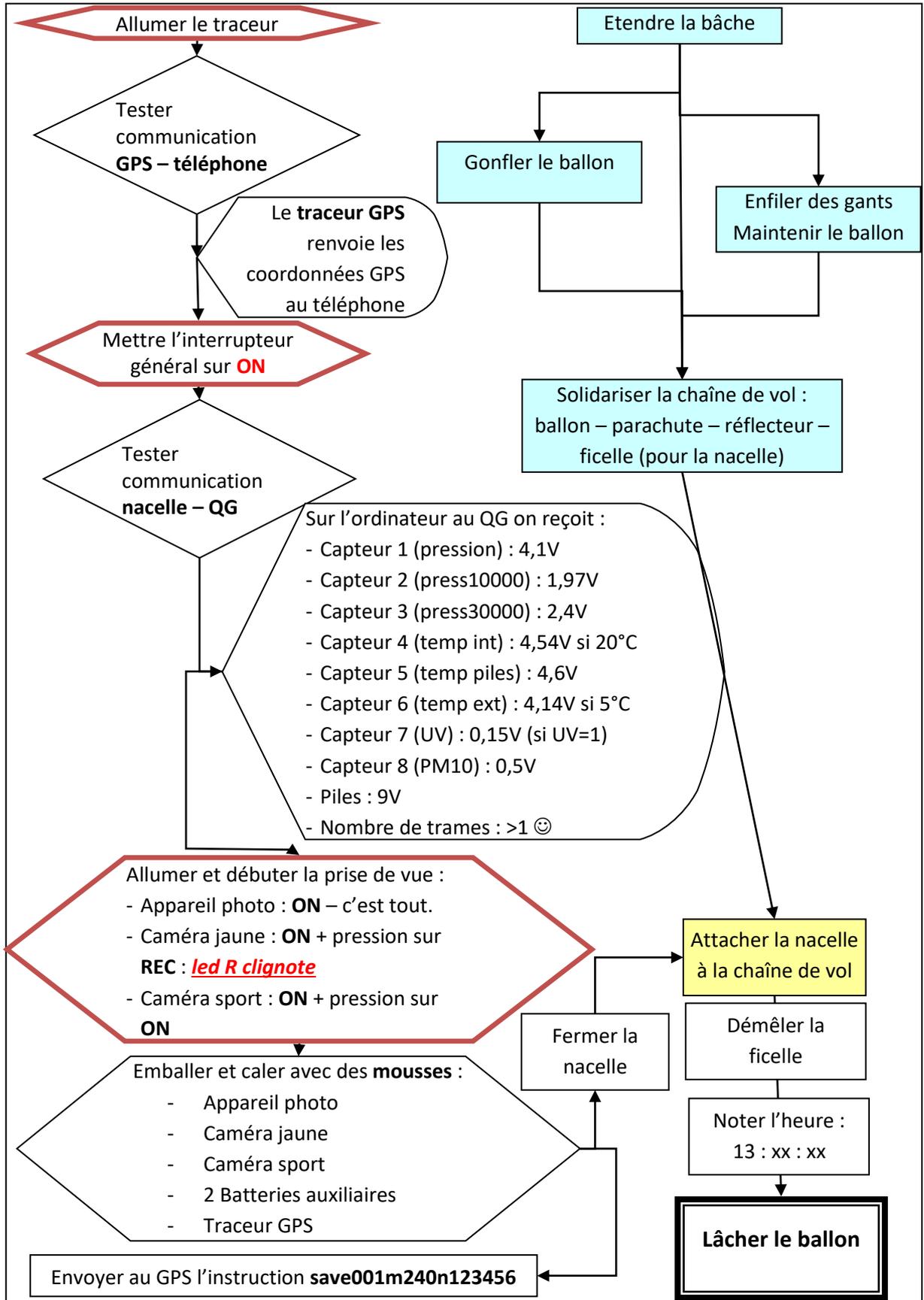


- **H-3 : 10h00** : transport du matériel
- 10h15 : installation et branchements
 - ordinateurs
 - test de réception avec alimentation de labo à la place des piles
 - toutes les batteries en charge
 - batterie du traceur GPS
 - batterie de la caméra Takara
 - batterie de la caméra PNJ jaune
 - les 2 batteries auxiliaires pour les caméras
- 11h30 : repas
- 11h40 : mise en place du matériel pour le lâcher du ballon
 - bâche à étaler
 - matériel pour gonfler le ballon : ballon, hélium, valise « aérotechnicien ».
- **H-1 : 12h00** : séparation des 2 équipes : équipe « nacelle » + équipe « ballon » (voir détail plus bas)
- **12h30** : dernière prévision météo et prévision de vol actualisée sur le site du CUSF : : <http://predict.habhub.org/>
 - latitude : 48,0836666
 - longitude : -1,686221888
 - Altitude : 32m
 - Enregistrer le fichier KML
 - Visualiser la trajectoire et noter les coordonnées GPS du site d'atterrissage

- **H : 13h00 : lâcher**
- 13h – 16h : vol du ballon et suivi sur l'ordinateur sur le site du lâcher
- 14h : rangement
- 15h50 : 1^{er} appel du traceur GPS (le traceur répondra s'il est suffisamment bas et s'il est à proximité d'une antenne relais).
- H + 3 : 16h00 : interroger le traceur GPS pour localiser le site d'atterrissage.
- 16h30 : départ pour récupération de la nacelle

8) H-1 : Planning des opérations sur la nacelle et du gonflage du ballon





2) Déroulement du jour J

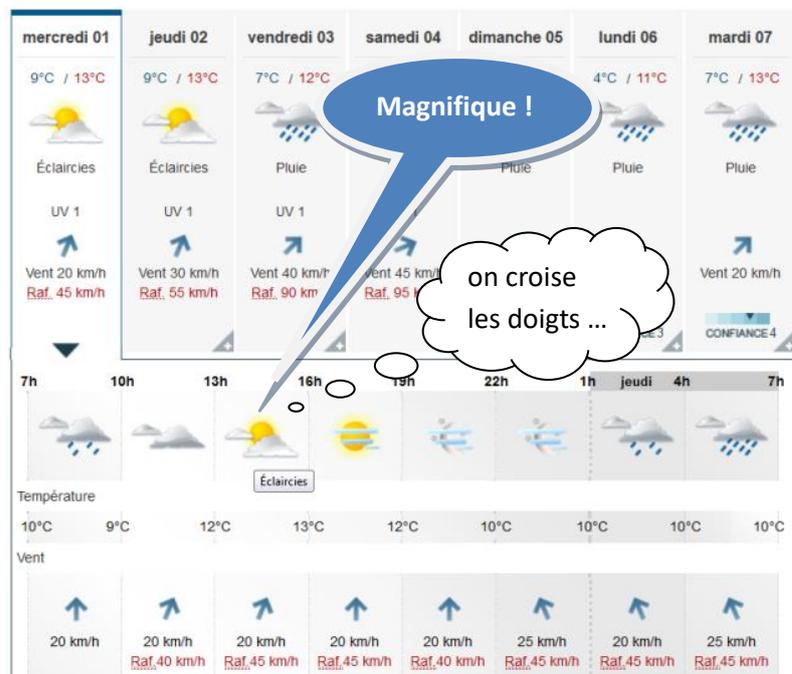
1) Préparation et installation du matériel au Quartier Général

- **8h00** : j'arrive au lycée. Derniers préparatifs sur la nacelle

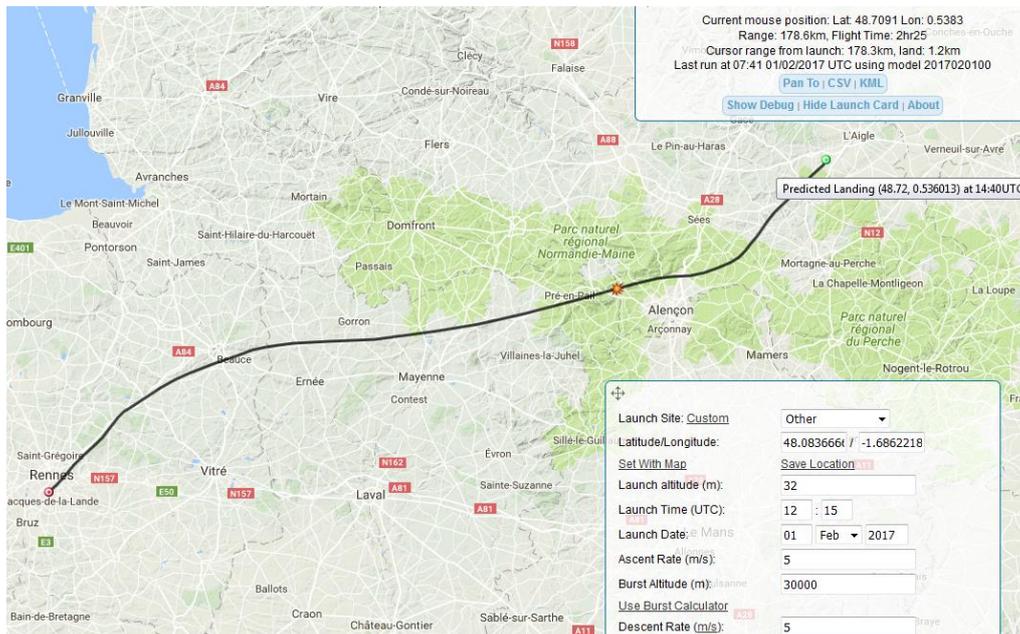


10h20 : accueil des élèves

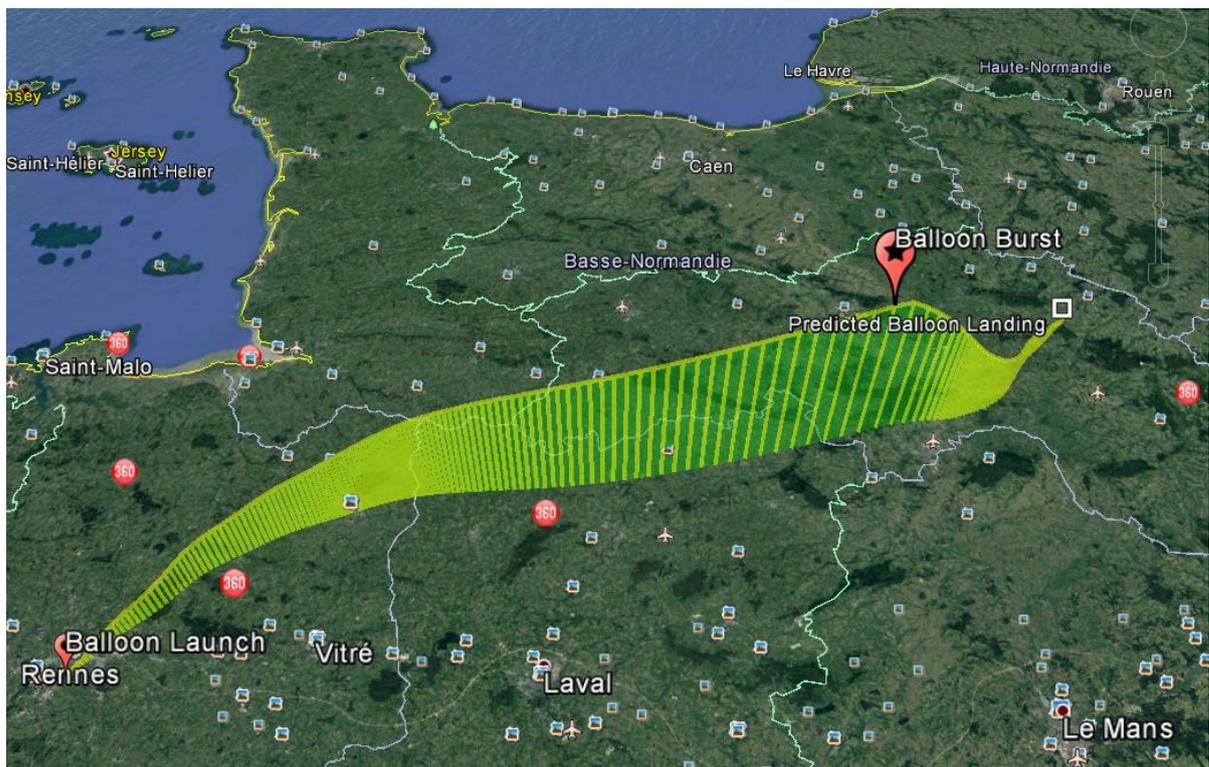
- **10h30** : Briefing de Florian qui rappelle aux équipes l'organisation de la matinée.
- **10h40** : Théo nous donne les **prévisions météo** de ce matin et la dernière **prévision de trajectoire** prévue par le sire CUSF.



A 8h41, avec une vitesse ascensionnelle de 5m/s et un éclatement à 30000m, le site CUSF prévoit la trajectoire suivante :



Prévision de trajectoire visualisée sur Google Earth :





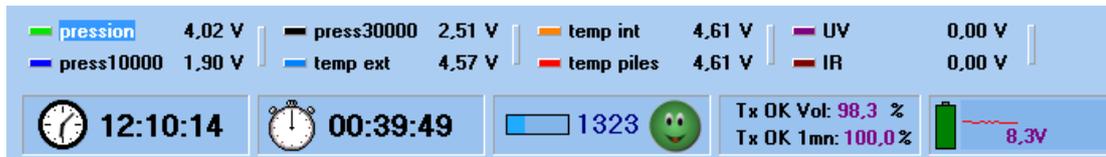
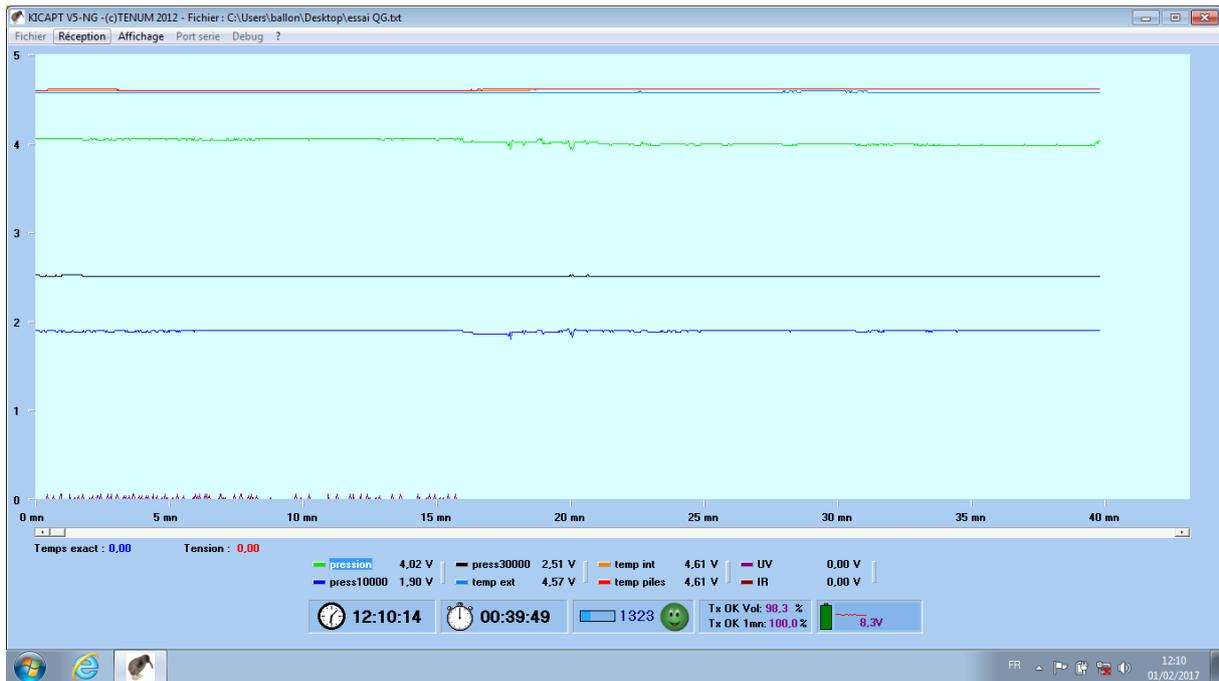
10h50 : Florian pointe le matériel à transporter du labo au foyer des BTS

- **11h** : Installation du QG au foyer des BTS.
- Incident : un des blocs alimentation (composé de 2 piles 4,5V en série) est brûlant. Il a dû subir un court-circuit par un instrument métallique pendant le transport. Heureusement nous avons prévu un bloc supplémentaire avec des piles neuves.



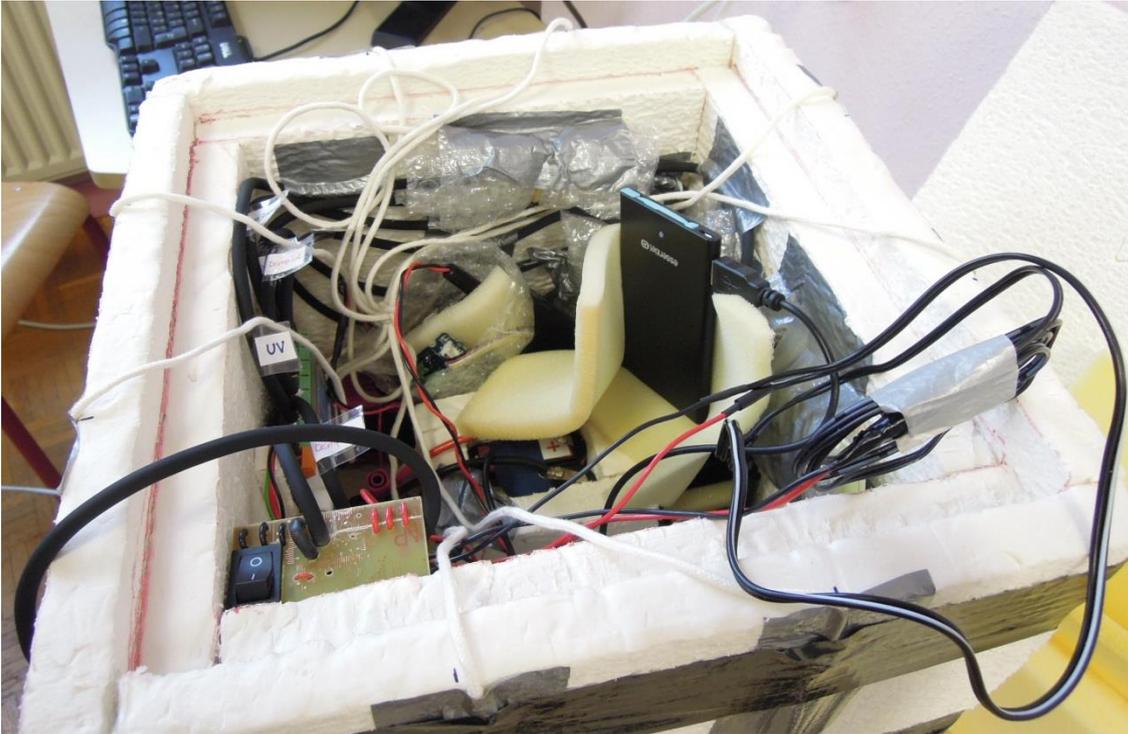
Antoine présente sa courbe d'étalonnage des capteurs de température

- **11h15** : Vérification de la télémessure, nacelle alimentée par une alimentation externe (pour économiser les piles). Vérification de l'heure du PC utilisé pour la télémessure (heure d'une horloge atomique obtenue sur internet).



- **12h45** : arrivée d'Erwan Vapreau, notre suiveur à Planète Sciences. Validation du cahier des charges :
 - ✓ Respect des contraintes imposées par Planète Sciences.
 - ✓ Courbes d'étalonnage des capteurs.
 - ✓ Pesée de la nacelle équipée : 2,2 kg.





- **13h03** : Erwan appelle la DGAC pour confirmer le vol.

2) Gonflage du ballon

- **13h05** : départ de l'équipe « gonflage » pour le site du décollage. Préparation de la nacelle au QG pendant ce temps.





- **13h15** : début du gonflage



Le ballon est posé sur une bâche propre. Une seconde bâche le recouvre pour le protéger de la pluie fine qui tombe par intermittences. On attend avec impatience les éclaircies « promises » par Météo France.

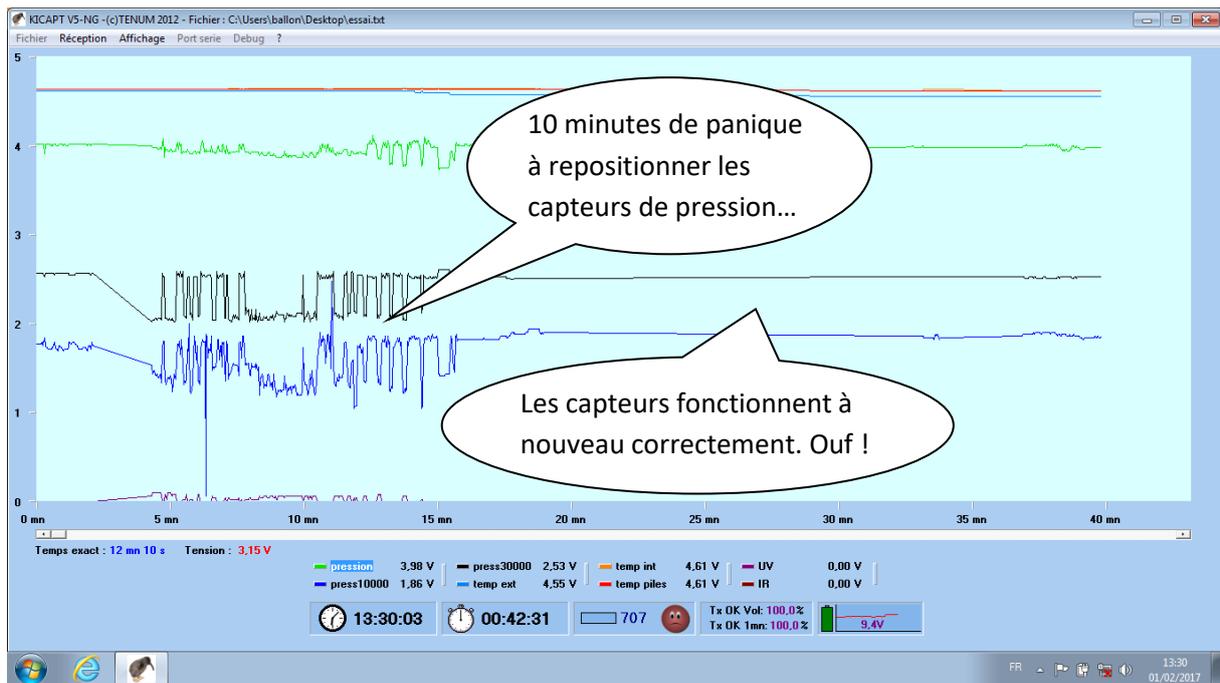


- **13h32** : fin du gonflage

3) Préparation de la nacelle

Au 1^{er} test de la télémétrie au Q.G nous avons vérifié que tous les capteurs sont opérationnels.

Petit moment de panique suite à une manipulation malencontreuse dans la nacelle (recherche d'une carte SD tombée au fond) qui a perturbé les capteurs de pression.



- **13h10** : essai et appel du traceur GPS n°2. 13h11 : réponse du traceur : 14h10 (décalage 1h)
Lat : 48,084935. Lon : -1,6687577. Bat : 100%.
- **13h16** : mise sous tension de la caméra Takara – connexion de la batterie auxiliaire – **début du film.**
- **13h20** : fin de l'installation des 2 caméra avec leurs batteries auxiliaires et de l'appareil photo. Interrupteur principal sur **ON**. Réception des données : OK. « **Tout est nickel !** »
- **13h21** : difficultés à allumer l'appareil photo en place dans la nacelle.
- **13h23** : on parvient à allumer l'appareil photo.
- **13h25** : mise en place des 2 traceurs GPS dans la nacelle.
- **13h26** : fermeture de la nacelle (couvercle).
- **13h27** : appel de Philippe qui transmet un message d'Erwan : ne pas mettre en énergie tout de suite. On ré-ouvre le couvercle pour mettre l'interrupteur sur **OFF**. Fin de la réception.
- **13h28** : l'objectif de l'appareil photo se rétracte ! L'appareil s'est éteint. Il n'y aura pas de photos !
- **13h32** : appel de Philippe : il faut apporter la nacelle. Je remets l'interrupteur général sur **ON**. Problème à la réception suite à l'interruption. Il faut relancer le logiciel Kicapt.
- **13h33** : Patrick et Laurence emmènent la nacelle fermée mais non scotchée pendant que je résous le problème de réception.
- **13h34** : j'envoie le sms d'instruction au traceur GPS n°2 : **save180s030n123456**. 13h35 : réception du sms de confirmation : **save ok**.
- **13h35** : j'envoie le sms d'instruction au traceur GPS n°1 : **t180s080n123456**. Suivi de la réception du sms de confirmation : **t180s080n ok !**
- **13h37** : j'arrive sur le site de lancement.
- **13h39** : réception du 1^{er} sms de localisation GPS : **lat : 48,083700N long : 1,668650W F 4,28V alt : 30m.**

Remarques :

Tous les appareils nécessitant une alimentation autonome (différente de l'alimentation principale) doivent être mis successivement sous tension avec leur batterie chargée à 100% :

- ✓ Les 2 traceurs GPS.
- ✓ L'appareil photo.
- ✓ Les 2 caméras connectées à leur batterie auxiliaire.

Les cartes Arduino sont mises sous tension lors du basculement de l'interrupteur général sur ON grâce à la connexion des 3 câbles d'alimentation Arduino à cet interrupteur. L'heure de la première mesure pour toutes les données est donc l'heure de la mise sous tension définitive :

- **13h33m07s** : Mise sous tension définitive de l'alimentation principale : instantanément l'émetteur Kiwi et les 8 capteurs sont mis sous tension (ainsi que probablement 2 cartes Arduino).
- **13h35m10s** ? mise sous tension de la carte Arduino reliée au capteur GPS ? On verra que la 1^{ère} valeur est datée de 13h35m10s (heure captée par le module GPS de la carte Arduino) et non 13h33m07s.

L'appareil photo et les caméras sont installés et calés dans la nacelle avec des mousses ainsi que les batteries auxiliaires et les traceurs GPS. Les piles sont calées avec une plaque en polystyrène préalablement coupée à la bonne dimension. L'espace vide restant est comblé avec des mousses souples.

4) Lancement (*Launch*) du ballon

- **13h42** : 2^{ème} sms reçu du traceur GPS n°2.



13h39 : Erwan rappelle la tour de contrôle pour confirmer le vol



Le couvercle a été solidement scotché à la nacelle. La chaîne de vol est assemblée. Tout est prêt.



13h41 : on enlève la bâche du ballon



13h42 : décollage



Le ballon s'élève dans la direction NE et s'enfonce dans la couche nuageuse

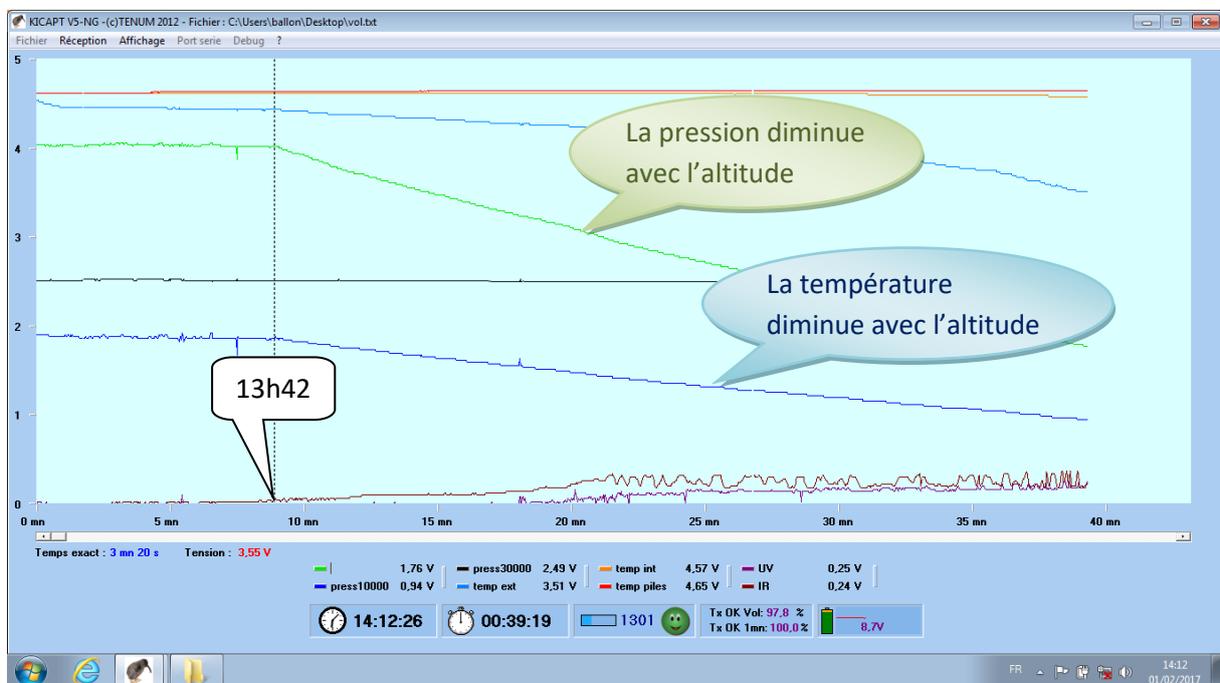


5) Suivi des valeurs par télémétrie

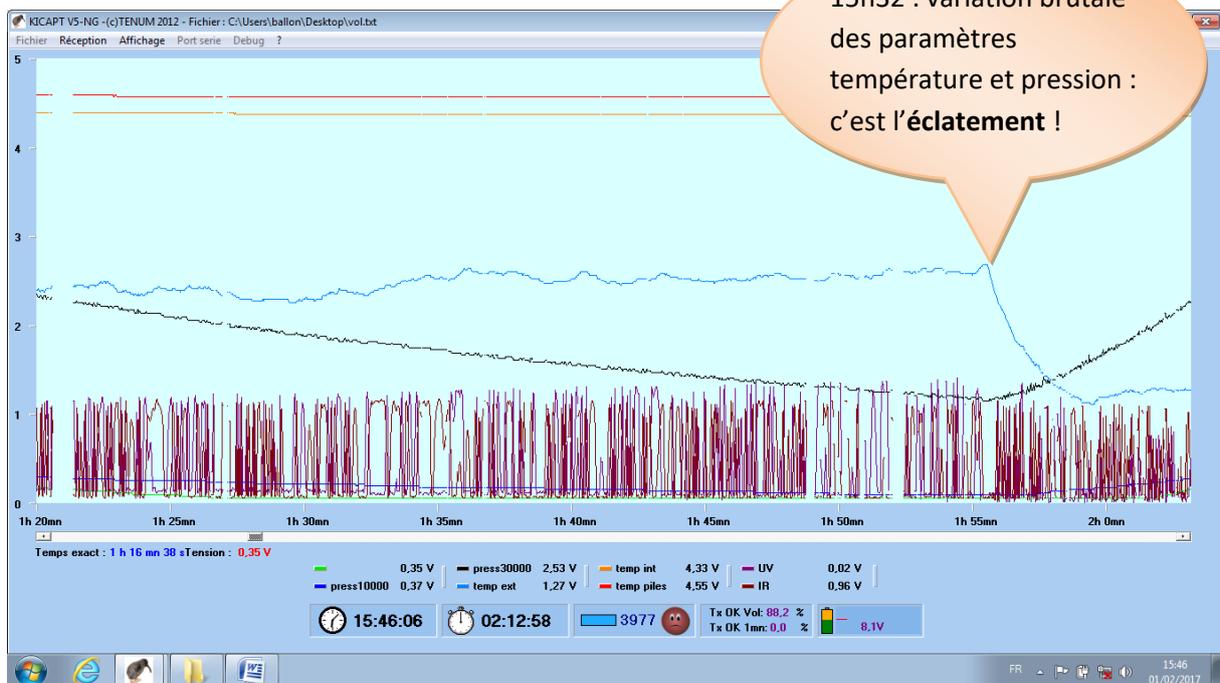
Les premières valeurs lues en direct sur l'écran de contrôle sont suivies avec attention par l'équipe.



13h51 : 3^{ème} et dernier sms reçu du traceur GPS n°2 : **alt : 1539m**. Ensuite nous perdons le contact avec le traceur : le ballon est trop haut pour nous envoyer des sms, au-dessus de la portée du réseau téléphonique GSM.



Les valeurs sont transmises sans interruption jusqu'à 15h30.



A partir de 15h30 il faut réajuster de plus en plus souvent l'orientation de l'antenne pour récupérer une réception toujours plus faible. Le ballon est à plus de 100 km vers l'est nord-est. A 15h40 nous perdons définitivement la réception.



On pointe l'antenne vers le ballon et on ajuste l'orientation au fur et à mesure que le ballon s'éloigne



A partir de la perte de contact à 15h40 nous attendons 16h pour commencer à interroger les traceurs GPS dans la nacelle, ce qui fera 30 minutes de descente. L'idéal serait de capter le signal juste avant l'atterrissage. Nous ne voulons pas risquer de perdre la nacelle dans une zone non couverte au sol par le réseau téléphonique GSM...

6) La chasse au ballon

16h05 : le traceur GPS n°1 répond. lat : **48,652283N** lon : **0,146705W** F : 3,96V
alt : 191m. (Ensuite le traceur se réactive et envoie toutes les 3 minutes les coordonnées GPS conformément aux instructions - reçues à 13h35 - qu'il n'avait pu exécuter).

16h06 : le traceur GPS n°2 répond. lat : **48,652312** lon : **-0,146783** bat : 75%.
Le lien sur google maps donne l'écran suivant :



Le ballon est tombé dans un champ (ouf !) en Normandie, dans un petit village de l'Orne : Vieux-Pont.



16h16 : départ



Il faut plus de 2 heures pour atteindre Vieux-Pont. La nuit tombe tôt en Février...



18h40 : 163 km plus loin, Vieux-Pont, dans l'Orne. On chausse les bottes et les frontales.





Le ballon est bien là, dans le champ, sous la Lune et les étoiles, et Vénus...



19h : on ouvre la nacelle au cutter. Tous les circuits sont encore sous tension. Des leds bleues témoignent de l'activité d'une carte Arduino... On mesure la tension batterie : 7,2V !

Le traitement et l'analyse des données

1) Débriefing

Le mardi 7 février nous nous retrouvons avec les élèves pour une séance de débriefing.



Bilan sur les données collectées :

- Données transmises par télémesure : les 8 capteurs connectés à l'émetteur Kiwi ont parfaitement fonctionnés. Chaque capteur a transmis près de 4000 valeurs sur la totalité du vol (32000 valeurs à exploiter).
- Données stockées sur les cartes SD des cartes Arduino : les valeurs sont maintenant à exploiter et interpréter.
- Données stockées sur la carte micro SD du traceur GPS n°2 : à exploiter.

Bilan sur les prises de vue :

- L'appareil photo n'a pas fonctionné. La mise sous tension a posé problème, peut-être à cause d'un mauvais contact dans le boîtier piles. Nous avons finalement réussi à mettre l'appareil sous tension mais il s'est éteint une fois le couvercle de la nacelle refermé.
- La caméra PNJ jaune qui devait filmer vers le bas a été malencontreusement recouverte d'un scotch au dernier moment. Dans la précipitation des derniers moments, la nacelle a été amenée sur le site de lancement alors qu'on n'avait pas terminé de scotcher le couvercle. Cette opération a donc été effectuée sur le terrain de foot, sans support pour la poser sur le terrain mouillé, et un long ruban de scotch s'est retrouvé en plein milieu du champ de la

caméra. Cela est d'autant plus rageant que cette caméra a filmé tout le vol et même davantage (jusqu'à près d'une heure après l'atterrissage) car nous l'avions équipé cette année d'une batterie auxiliaire. Nous disposons donc d'une vidéo où on peut admirer pendant 4 heures un scotch occupant 90 % de l'écran dans différents environnements : nuages, soleil, pluie, herbe ...

- La caméra Takara CS10 a heureusement parfaitement fonctionné et elle a aussi filmé tout le vol (mais sans scotch !). Seul bémol, suite à un ajustement un peu trop approximatif des ficelles pour arrimer la nacelle à la chaîne de vol, la nacelle, une fois suspendue, était un peu inclinée par rapport à l'horizontale. Cette légère inclinaison a remonté la direction de l'objectif de la caméra de quelques degrés vers le haut. Ainsi, les images du décollage présentent une plus grande proportion de ciel que prévu. Malgré ce léger défaut et surtout malgré une météo capricieuse, la vidéo est de grande qualité. Elle nous présente peu de vues dégagées de Rennes et quasiment aucune vue de la campagne et des terres survolées à cause des nuages. Mais nous avons de très belles séquences dans la haute atmosphère.

Séquence émotion : je présente des extraits choisis de la vidéo. Les élèves attendent ce moment avec impatience. Les quelques adultes ayant participé au projet de près ou de loin sont aussi présents au fond de la salle et le moment tant attendu commence...

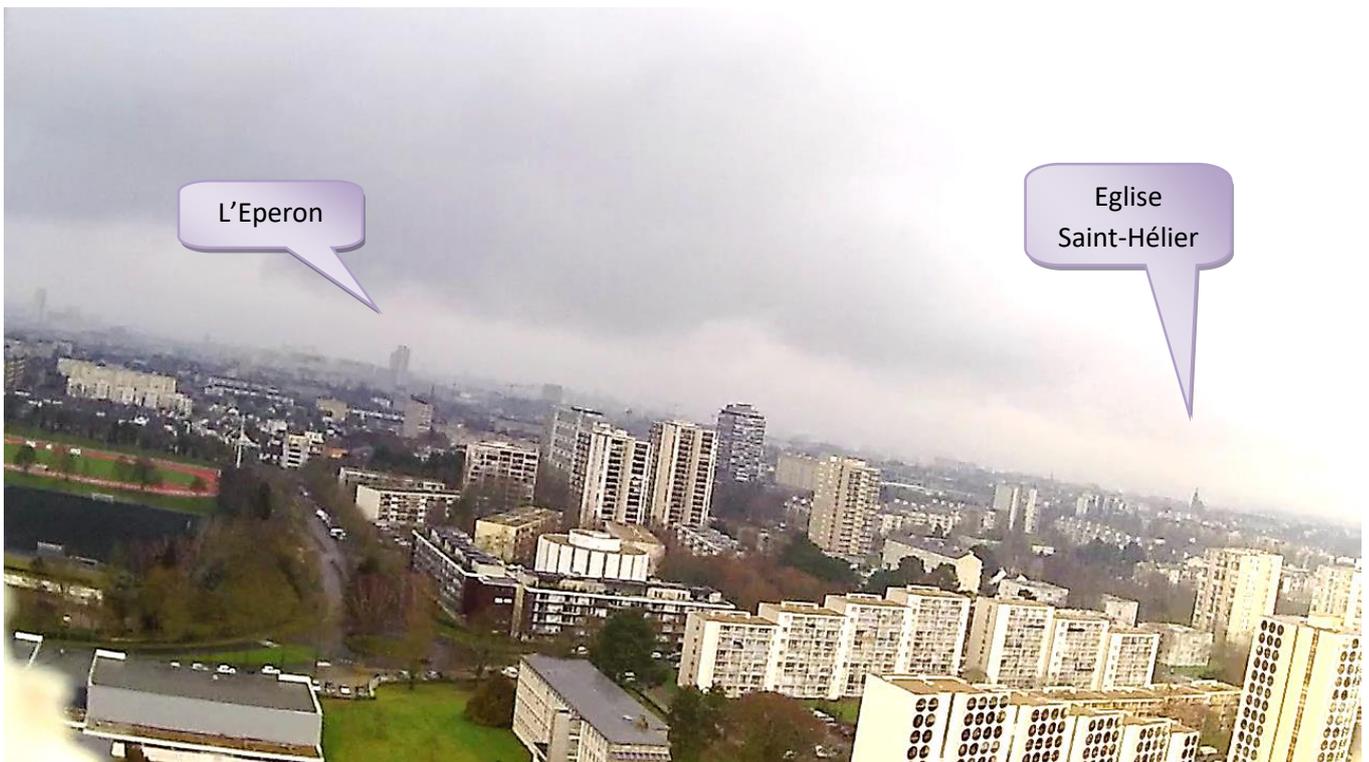
On voit les premières images tournées au QG quand la caméra a été mise sous tension. L'installation dans la nacelle. Puis la nacelle est amenée sur le site de décollage. La caméra dans la nacelle filme à son insu l'équipe s'affairant autour du ballon. Enfin c'est le moment du décollage.



13h42 : le ballon décolle. La caméra filme le regard attentif des élèves assistant à l'envol de leur projet.



Le ballon survole le lycée.



Rennes vue du sud.

Puis le ballon s'engouffre dans les nuages sous une faible pluie. On entend l'eau s'égoutter sur la nacelle. Au fur et à mesure de l'ascension les nuages s'éclaircissent un peu.

A 13h55, après 13 minutes de vol, vers 2500m, une déchirure dans la couche nuageuse laisse entrevoir le premier morceau de ciel bleu.



13h55 : alt = 2500m / temp = -4°C / indice UV = 0,7

Puis le ballon poursuit son ascension dans une nouvelle couche de nuages.



14h07 : alt = 5000m / temp = -18°C / indice UV = 1

14h12 : enfin c'est la sortie définitive des nuages.



14h59 : soleil ! alt = 15500m / temp = -60°C / indice UV = 8,2



15h23 : notre planète vue d'en-haut. Alt = 20000m / temp = -66°C / indice UV = 9

15h29 : éclatement du ballon (burst). Aucun bruit. Mais la nacelle entame une farandole qui amène la caméra tantôt face au soleil, tantôt vers la Terre ou bien l'espace.

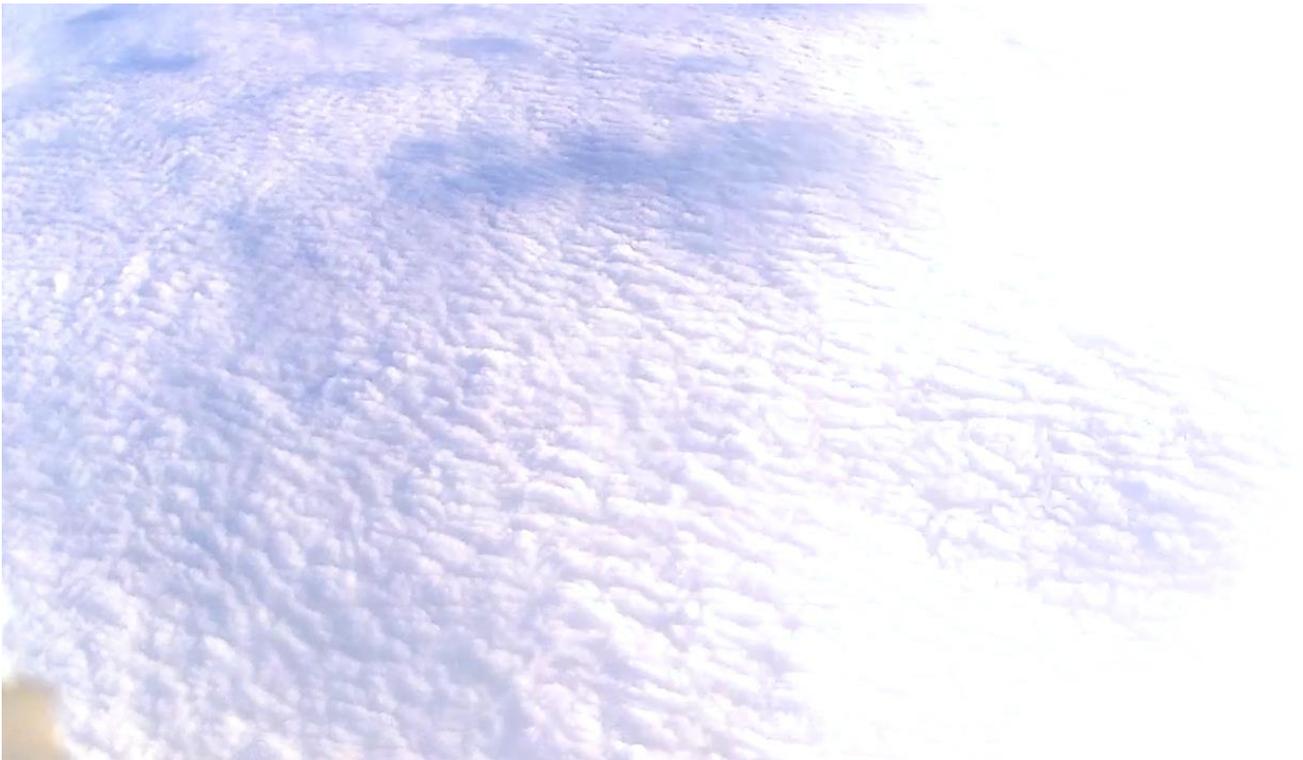


15h30:00



15h31:28

Plongée vers la mer de nuages.



15h33



15h58 : 3200m.



16h01 : 1800m. *Un rayon de soleil se glisse entre deux couches nuageuses horizontales*



16h04 : le village de Vieux-Pont, 15 secondes avant atterrissage. *Attachez vos ceintures !*



Le champ d'atterrissage et l'église de Vieux-Pont.

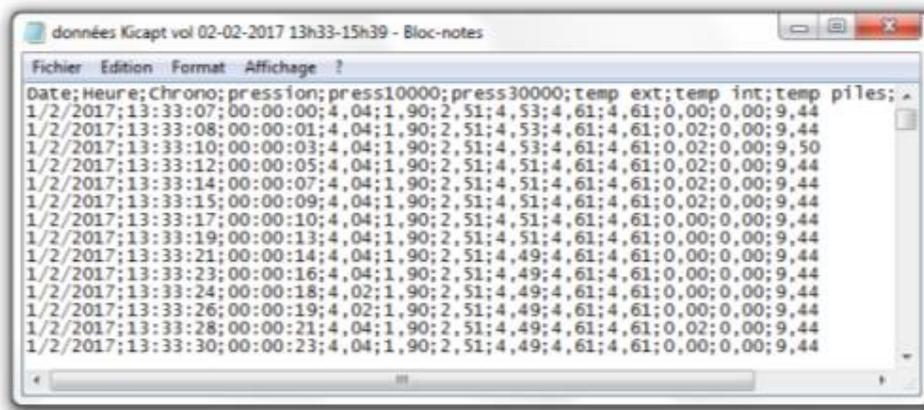


16h04 : atterrissage : Vlan ! (On distingue le capteur de température externe au bout de son long câble, entouré de son gobelet en plastique blanc.)

2) Les données transmises par télémesure

1) Le fichier brut

Le fichier enregistré automatiquement lors de la télémesure est un fichier texte de 284 ko représentant 3977 valeurs pour chacun des 8 capteurs = **31816 valeurs**.



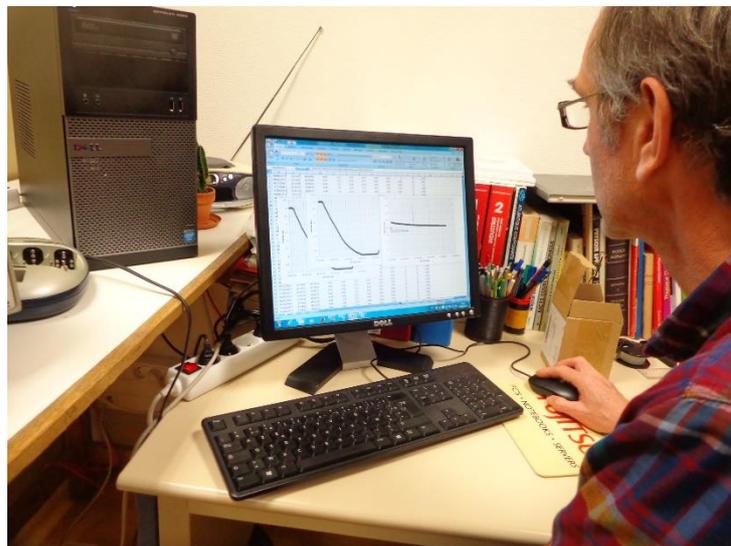
2) Exportation sous EXCEL

Dans données/convertir, les données sont séparées en colonnes par le signe « ; ».

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Date	Heure	Chrono	pression	press10000	press30000	temp ext	temp int	temp piles	UV	IR	Piles
2	01/02/2017	13:33:07	00:00:00	4,04	1,9	2,51	4,53	4,61	4,61	0	0	9,44
3	01/02/2017	13:33:08	00:00:01	4,04	1,9	2,51	4,53	4,61	4,61	0,02	0	9,44
4	01/02/2017	13:33:10	00:00:03	4,04	1,9	2,51	4,53	4,61	4,61	0,02	0	9,5
5	01/02/2017	13:33:12	00:00:05	4,04	1,9	2,51	4,51	4,61	4,61	0,02	0	9,44
6	01/02/2017	13:33:14	00:00:07	4,04	1,9	2,51	4,51	4,61	4,61	0,02	0	9,44
7	01/02/2017	13:33:15	00:00:09	4,04	1,9	2,51	4,51	4,61	4,61	0,02	0	9,44

3) Tracé des courbes

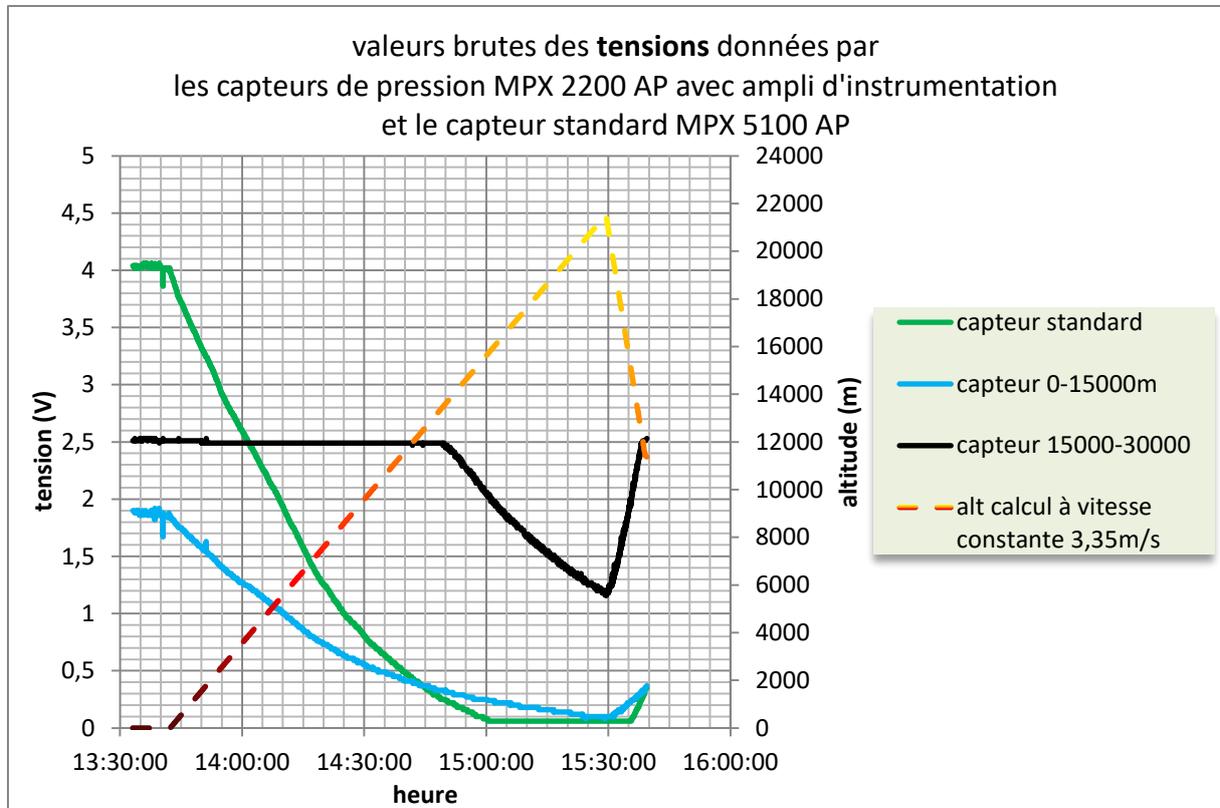
Les données sont des tensions en Volts qu'il faut convertir en grandeurs physiques (pression, température, ...) grâce aux courbes d'étalonnages.



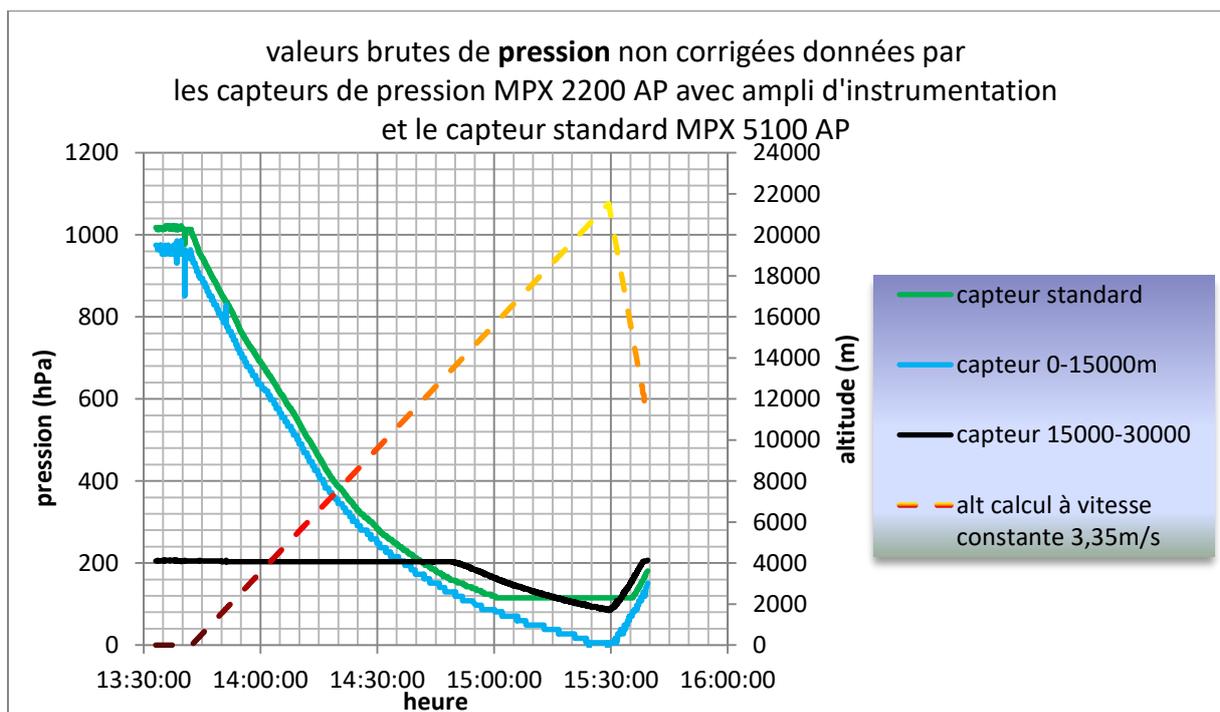
3) Les données du capteur de pression – l'altitude

1) Les valeurs brutes de pression sans correction d'offset

Les capteurs de pression donnent des valeurs de tension en Volts.



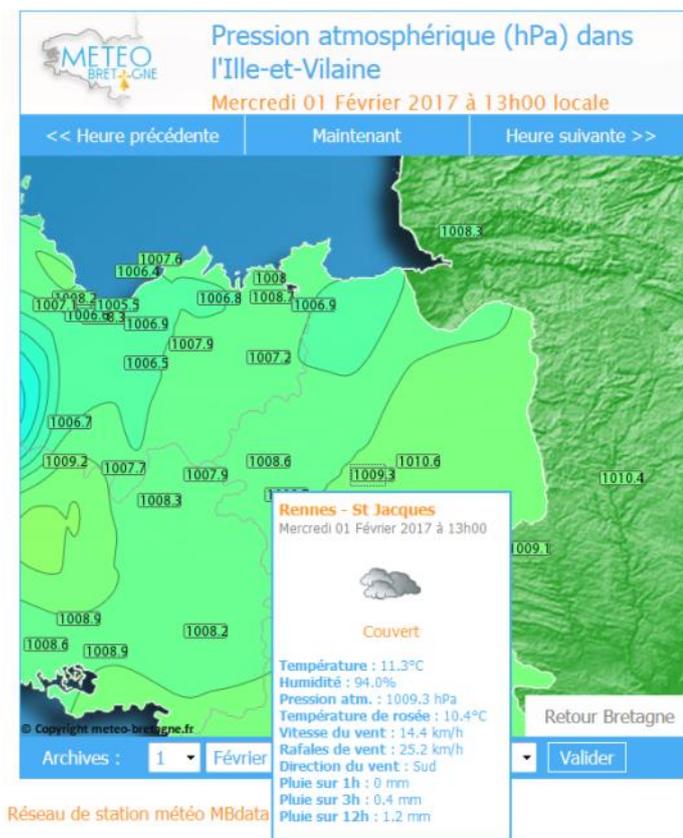
On utilise les formules de conversion obtenues à l'étalonnage pour avoir les valeurs de pression. Voici ce qu'on obtient alors :



Ignorons pour l'instant la courbe noire du capteur « basses pressions » (altitudes 15000m–30000m). Les courbes des 2 capteurs « basses pressions » sont décalées. **Une tension d'offset s'est superposée aux valeurs.** Nous avons déjà observé ce phénomène lors des mesures en présence de l'émetteur radio. Une tension d'offset pouvait s'ajouter aux valeurs mesurées mais la sensibilité restait quasiment identique. Cela est confirmé en observant les 2 courbes qui restent décalées avec un écart constant.

2) Valeurs corrigées

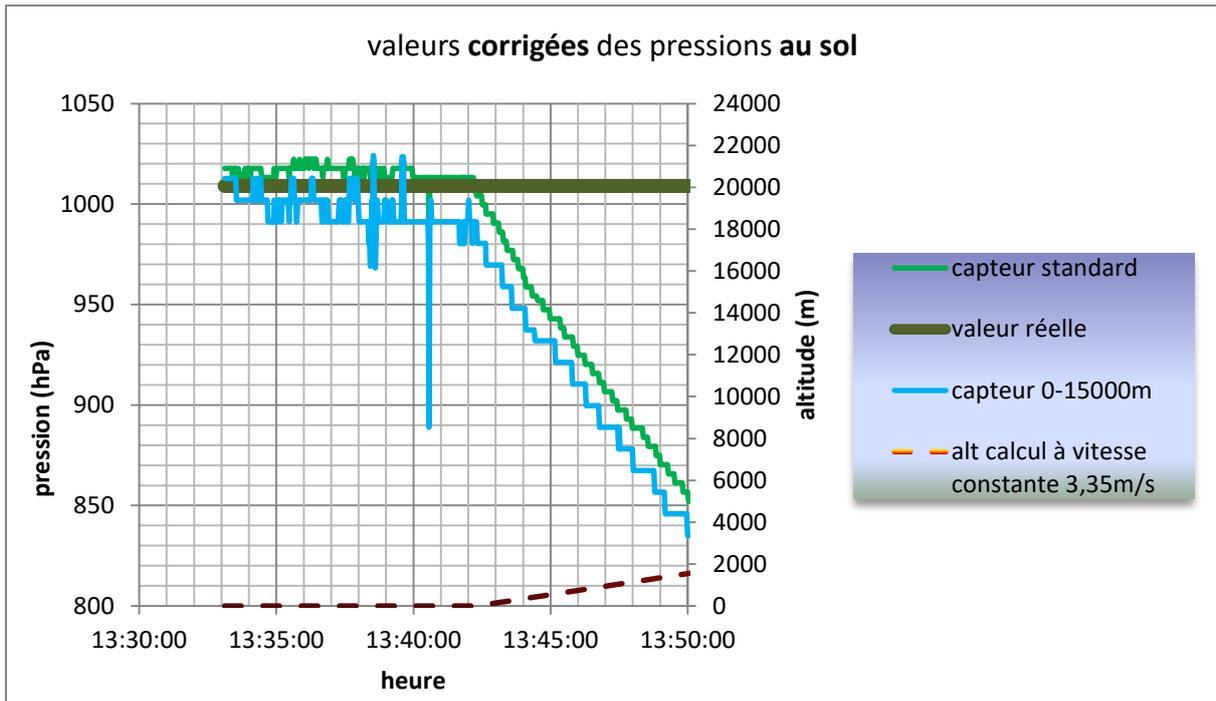
Pour corriger cette tension d'offset on va se caler sur la valeur mesurée au sol par la station météo de l'aéroport Rennes Saint-Jacques ce mercredi 1^{er} février : **1009hPa** à 13h.



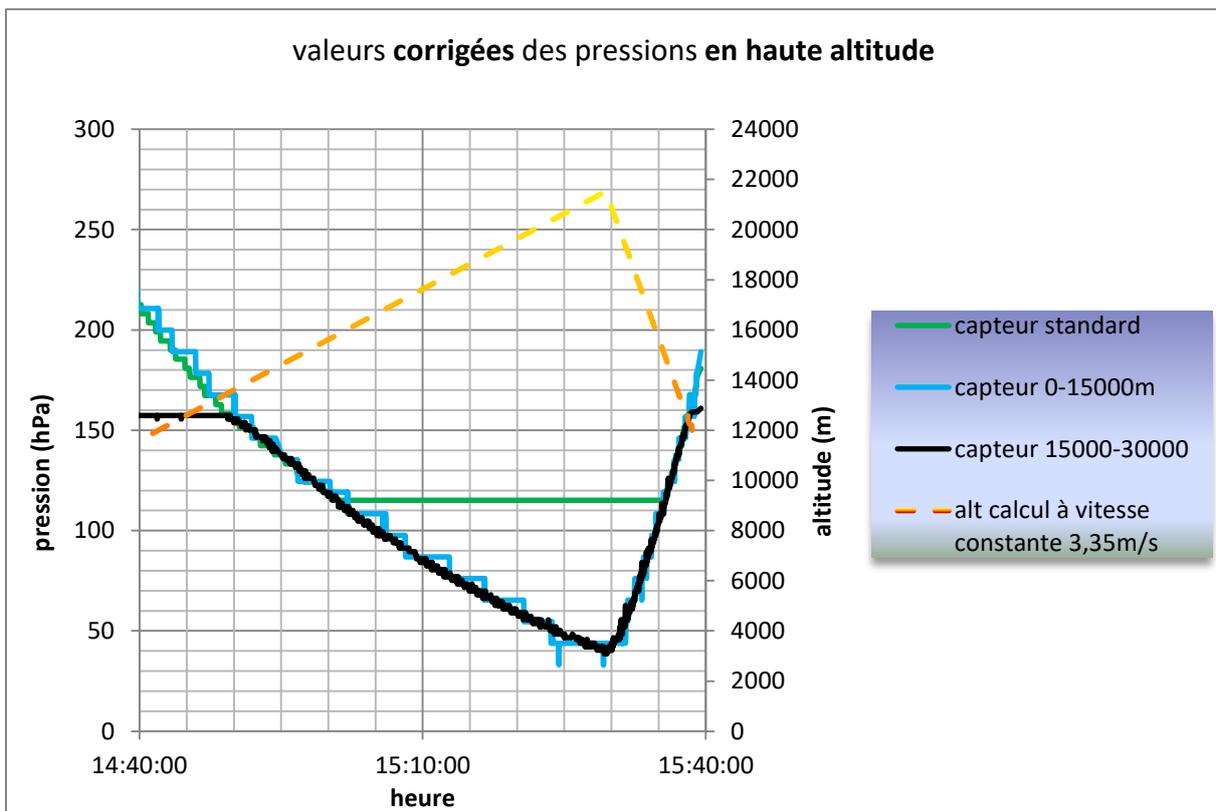
<http://www.meteo-bretagne.fr/observations/pression-atmospherique/35-ille-et-vilaine/2017020112>

Au sol, sans correction, le capteur standard MPX 5500 donne en moyenne **1015 hPa ± 5hPa** et le capteur 0-15000 m (MPX 2200 + ampli x186) donne **955hPa ± 10hPa** (moyenne prise sur 150 valeurs prises toutes les secondes, juste avant 13h42, heure du décollage).

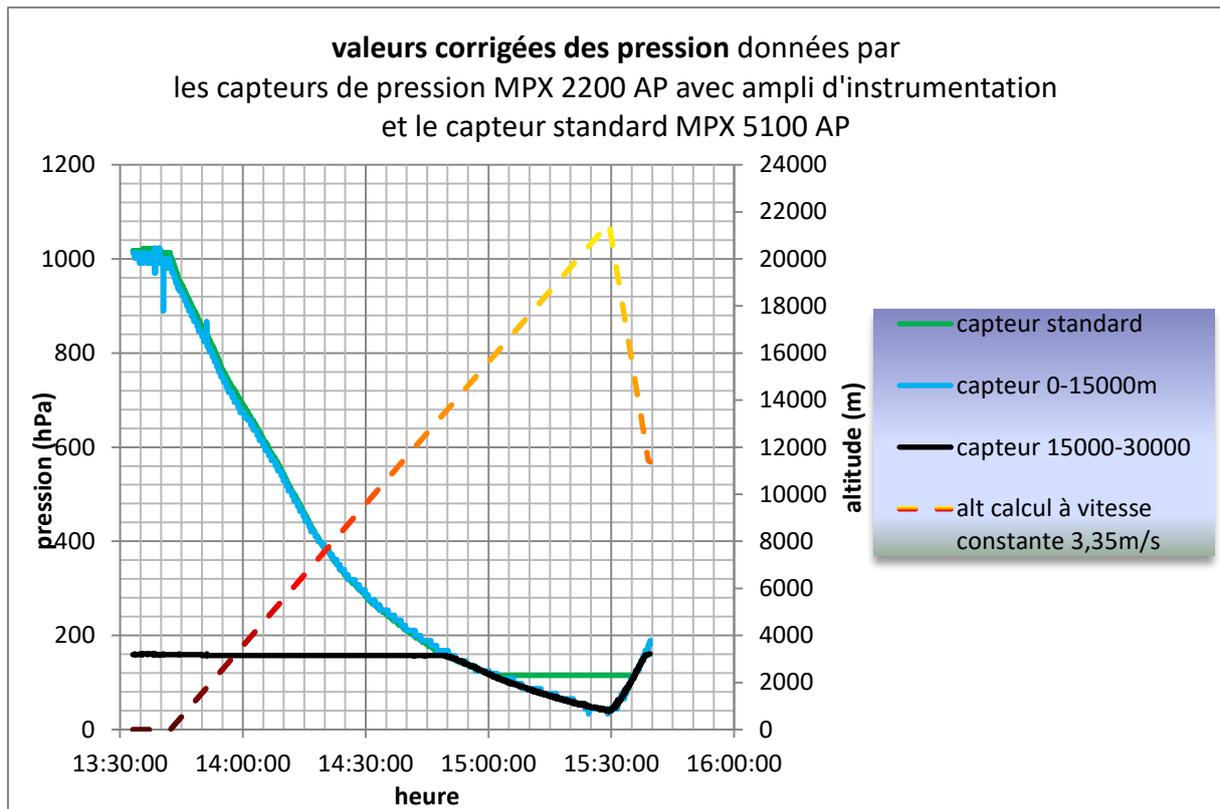
On effectue donc une seule correction au capteur 0-15000m en ajoutant un offset de 38 hPa, ce qui donne 993hPa ± 10hPa. (On arrive à cette valeur satisfaisante par tâtonnements successifs en observant les modifications sur la totalité de la courbe, donc pas uniquement la valeur au sol).



On ajoute également un offset de -46 hPa aux valeurs données par le capteur « basses pressions » 15000m–30000m. Les valeurs données par les 3 capteurs coïncident alors entre 14000m et 16000m.



Les valeurs sont maintenant cohérentes entre elles. Les capteurs donnent les mêmes valeurs de pression à chaque instant, chacun dans sa gamme de pression.



3) Comparaisons des valeurs de pression donnée par les 3 capteurs

➤ Aux basses altitudes (hautes pressions) :

Les valeurs du capteur 0-15000 m (MPX 2200 + ampli x186) corrigées avec un offset de +38 hPa suivent bien celles du capteur standard MPX 5500.

altitude	heure	Capteur standard	capteur 0-15000m	écart
Au sol	13h42	1015hPa ± 5hPa	993hPa ± 10hPa	-18hPa
3150m	14h00	689hPa ± 5hPa	993hPa ± 10hPa	-15hPa
7330m	14h20	385hPa ± 5hPa	383hPa ± 10hPa	-2hPa
11170m	14h40	213hPa ± 5hPa	211hPa ± 10hPa	-2hPa
15000m	15h00	115hPa ± 5hPa	119hPa ± 10hPa	+4hPa

➤ 115hPa – 15000m : valeur limite atteinte par le capteur standard

A partir de 15h00, vers 15000m, le capteur standard est bloqué à sa valeur minimum : 115hPa ± 5hPa et le capteur 0-15000m donne 119hPa ± 10hPa. Soit un écart de 4 hPa.

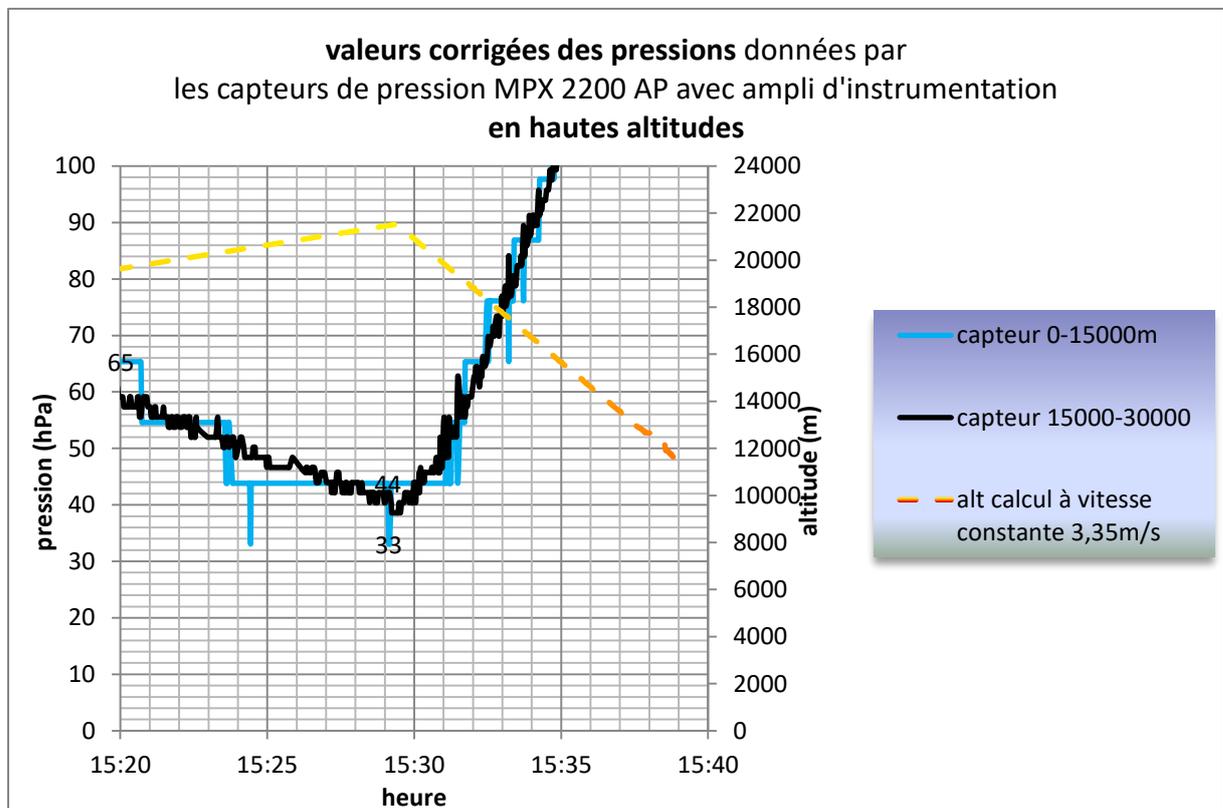
Le capteur 15000-30000m prend le relais à partir de 13000m (157hPa) vers 14h50.

➤ Hautes altitudes (basses pressions) :

altitude	heure	Capteur standard	capteur 0-15000m	capteur 15000m-30000m
13000m	14h50	156 ± 5hPa	157 ± 10hPa	156 ± 2hPa
15000m	15h00	115hPa ± 5hPa	119hPa ± 10hPa	117 ± 2hPa
19000m	15h20	Valeur limite	65hPa ± 10hPa	59 ± 2hPa
22000m	15h29:27	Valeur limite	44hPa ± 10hPa	39 ± 2hPa

Les valeurs des 2 capteurs 0-15000m et 15000-30000m sont cohérentes.

Grâce à notre capteur 15000m-30000m équipé de son amplificateur x1064 nous avons une précision 5 fois meilleure, de l'ordre de 2hPa.



4) Altitude

On va pouvoir à présent appliquer les formules obtenues précédemment pour calculer l'altitude à partir de la pression donnée par chaque capteur. On décompose l'atmosphère en 2 gammes d'altitude :

- Pour les basses altitudes (hautes pressions > 115hPa), dans la troposphère, de 0 à 15000m (la limite de la tropopause est souvent donnée pour 11000m à nos latitudes) :

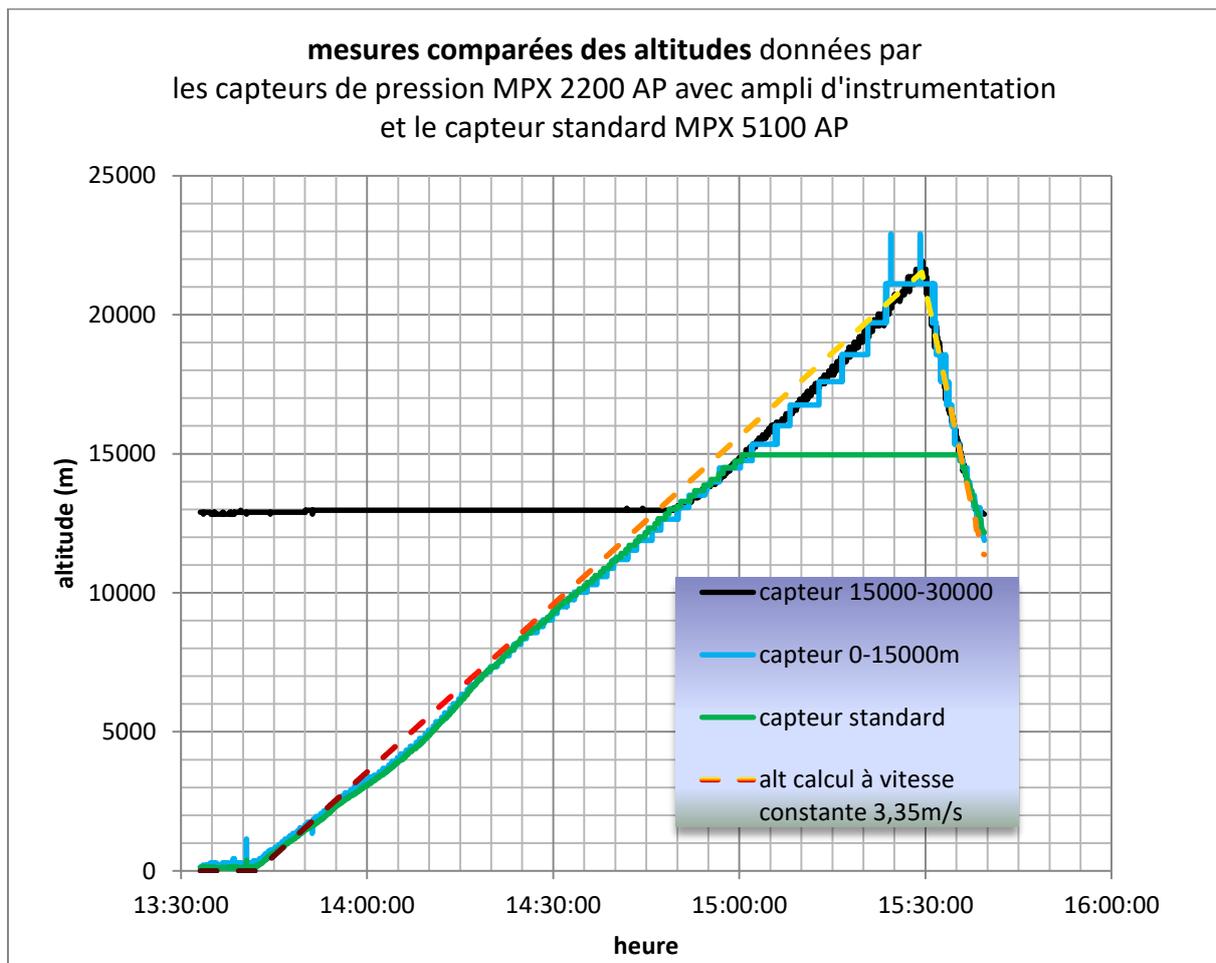
$$y = 1,77719E-13x^6 - 6,67988E-10x^5 + 1,01689E-06x^4 - 8,10433E-04x^3 + 3,70180E-01x^2 - 1,10072E+02x + 2,38013E+04$$

- Pour les hautes altitudes (basses pressions), dans la stratosphère, de 15000m à 30000m :

$$y = -6345\ln(x) + 45043$$

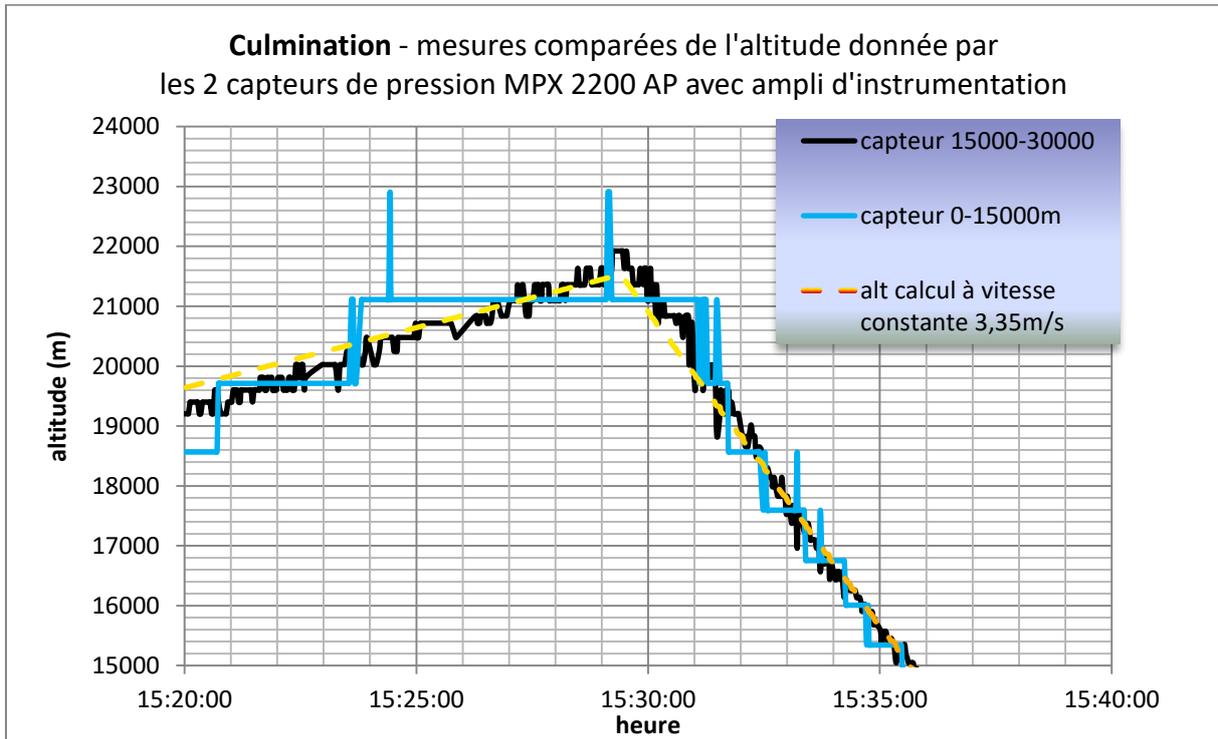
En fait les deux formules restent valables entre 11000m et 15000m avec moins de 1% d'écart.

On obtient alors les courbes suivantes :



On observe une bonne corrélation entre les 3 courbes relatives aux 3 capteurs.

Le ballon culmine à **15h29:27**. La pression est alors de $38,6 \pm 2\text{hPa}$ (selon le capteur le plus précis dans cette gamme). L'altitude est alors de **21900m \pm 300m**.



Sur la courbe (bleue) donnée par le capteur 0-15000m on voit nettement les paliers dus à la quantification du **convertisseur analogique numérique** (de l'émetteur KIWI). Chaque palier correspond à un incrément de 0,02V qui se traduit par un incrément de pression de 10 hPa. A cette altitude cela se traduit par des paliers de plus en plus grands : 1300m puis 1800m.

Sur la courbe (noire) du capteur 15000-30000m en revanche, les paliers d'altitude sont beaucoup plus petits car le même incrément de 0,02V correspond à un incrément de 2hPa. La **précision** passe alors de 1800m à **300m**.



5) Vitesse ascensionnelle

A partir des valeurs de l'altitude, on va pouvoir calculer la vitesse ascensionnelle en utilisant la formule :

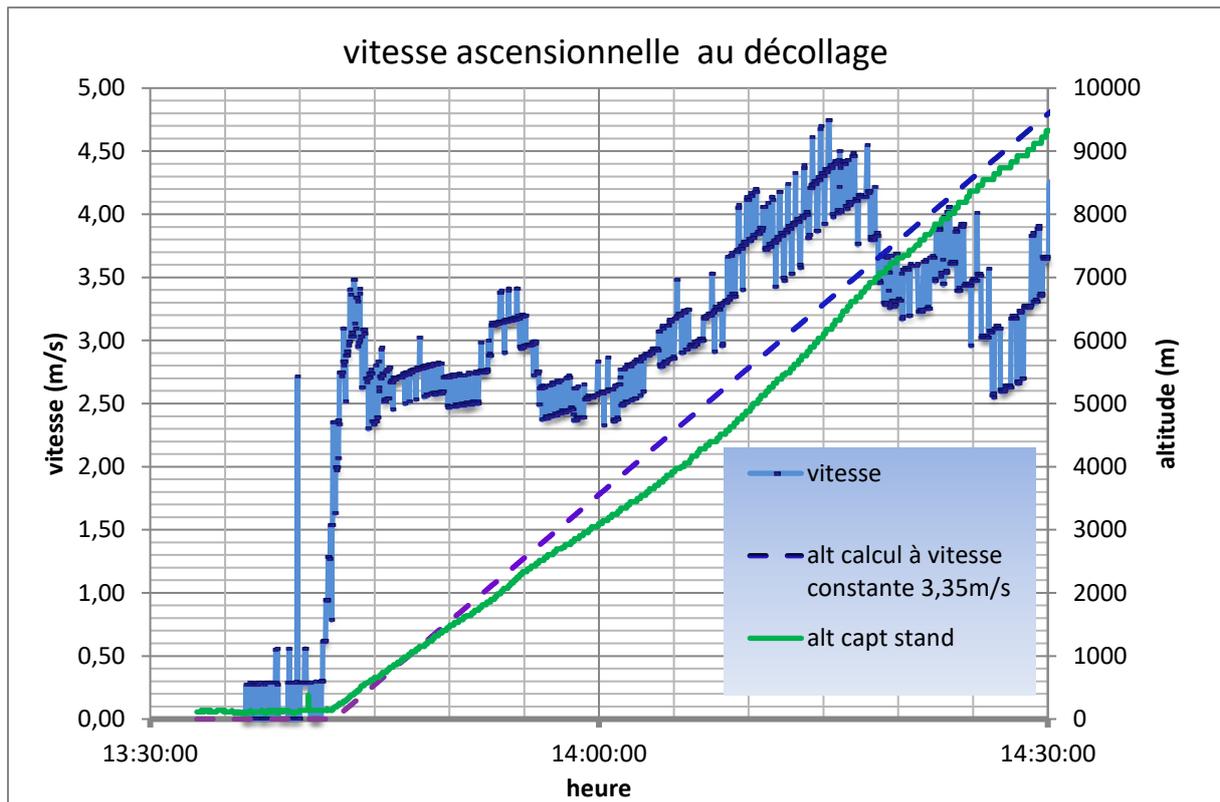
$$v(t) = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x(t + \Delta t) - x(t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t}$$

Nous avons un relevé toutes les 2 secondes en moyenne, donc on pourrait penser effectuer un calcul sur une durée $2\Delta t$ égale à 2 secondes. Mais la précision sur l'altitude x n'est pas suffisante. Les capteurs de pression changent de valeurs par paliers à cause de la conversion analogique-numérique.

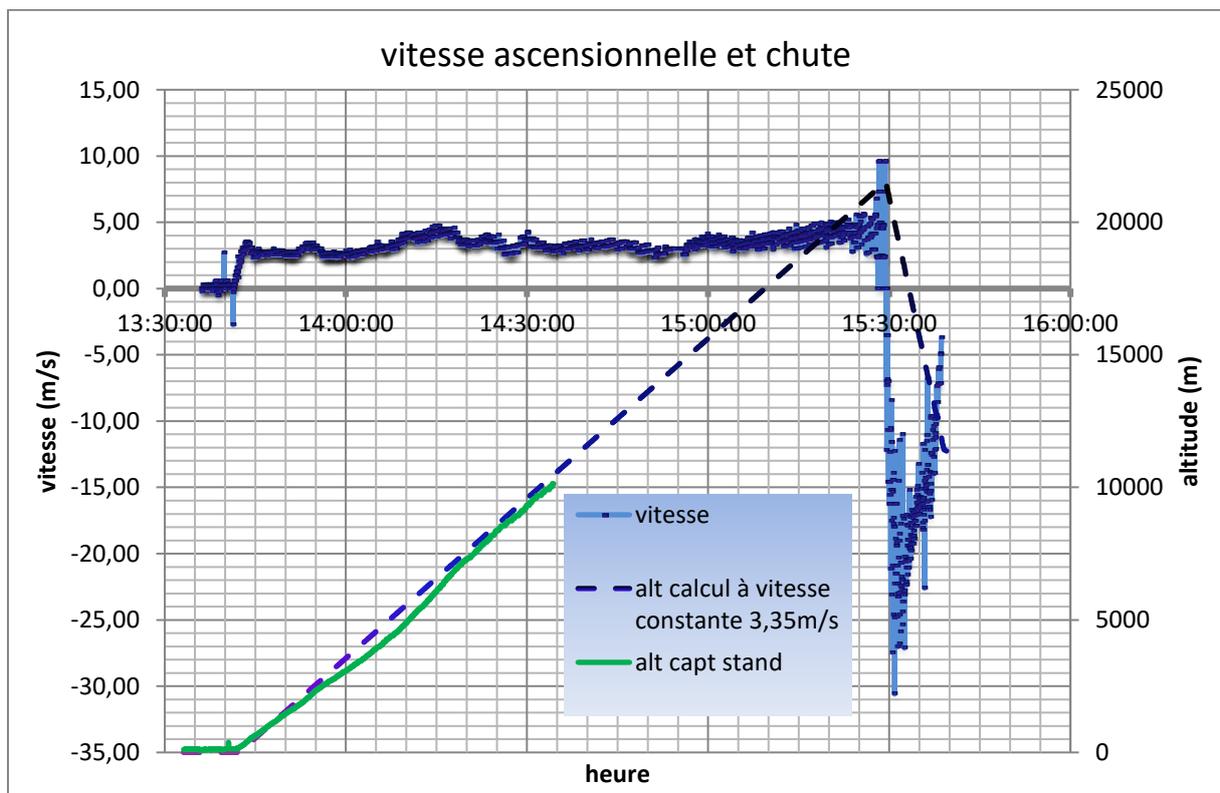
De	A	Vitesse moyenne calculée sur		Capteur utilisé	Altitude donnée par le capteur	élévation	Vitesse moyenne (m/s)
		n valeurs	2Δt				
13h42m03s	13h42m20s	20	36s	standard	140-190	50m en 17s	2,94
13h42m22s	13h45m20s	50	91s=1,5min	standard	190-660	470m en 3min	2,60
13h45	14h31	100	184s=3min	standard	660-9700	9000m en 46min	3,26
14h31	14h56	200	390s=6,5min	standard	9700-14080	4380m en 25min	2,92
14h56	15h23	200	390s=6,5min	15000-30000	14080-20000	6000m en 27min	3,70
15h23	15h29m06s	100		15000-30000	20000-21360	1400m en 6min	3,89
15h29m08s	15h32m49s	40		15000-30000	21360-17980	-3400m en 3min40	-15,5
15h32m51s	15h35m28s	100		15000-30000	17980-15150	-2800m en 2min30	-18,7
15h35m30s	15h38m39s	20		15000-30000	15150-12900	-2250m en 3min	-12,5

Au décollage, le ballon atteint une vitesse moyenne de 3m/s en moins d'une minute. Cette vitesse est stable pendant 20 minutes.

Puis entre 3000m et 6000m le ballon accélère régulièrement jusqu'à 4m/s. La vitesse décroît ensuite légèrement.



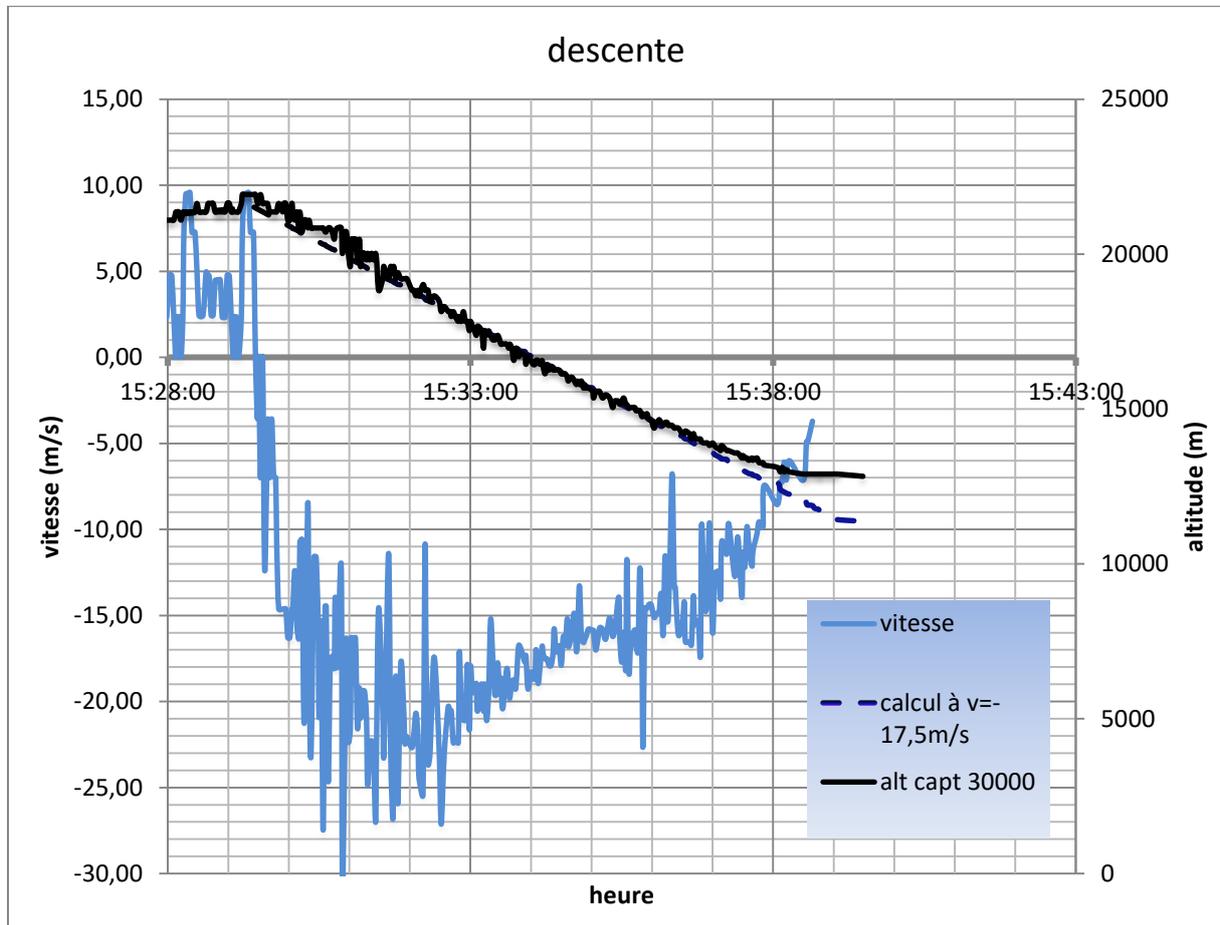
La vitesse se stabilise ensuite autour d'une valeur moyenne de 3,35m/s.



A partir de 15000m, vers 15h, après 1h20 d'ascension, la vitesse augmente jusqu'à atteindre la valeur de 5m/s. Cette vitesse était attendue beaucoup plus tôt. On suppose que le ballon a été ralenti par le poids de l'eau accumulée pendant la pluie à basse altitude.

A 14h20, le ballon franchit la dernière couche de nuages vers 7000m. Le ballon est désormais en plein soleil et l'eau s'évapore. La chaîne de vol va s'alléger progressivement. Il faudra atteindre encore une demi-heure pour que la vitesse ascensionnelle augmente.

A 15h29m27s le ballon culmine à 21900m. Il éclate. La pression de l'air est de 40hPa, 50 fois moins d'air qu'au sol. Donc le parachute n'a quasiment aucun effet. La nacelle tombe en chute libre. La vitesse atteint rapidement près de 25m/s soit 90km/h.

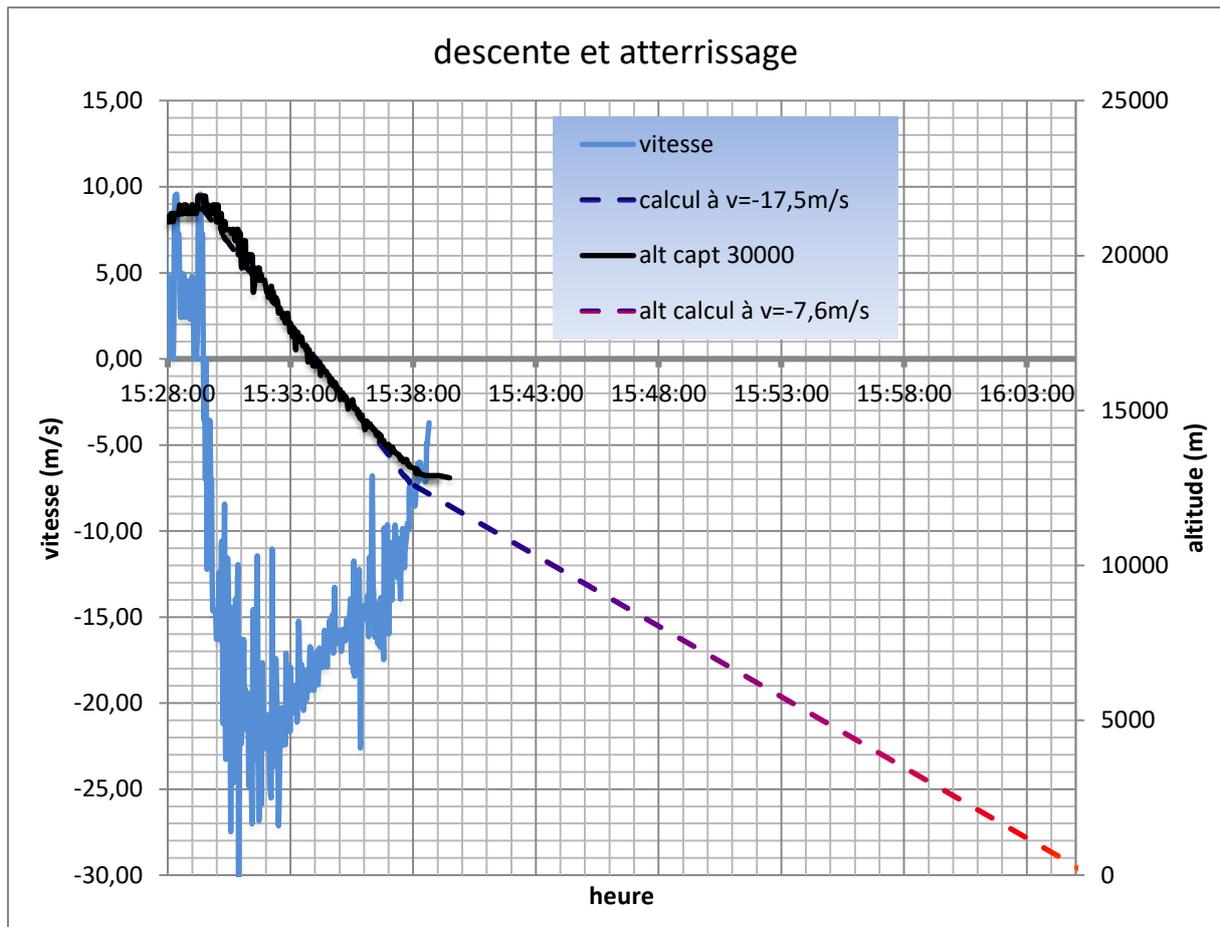


2 minutes plus tard, vers 20000m, le parachute commence à freiner doucement la chute. De 15h32 à 15h38, pendant 6 minutes, la nacelle va chuter de 18000m à 13000m, la vitesse passant de 25m/s à 10m/s.

A 15h39 nous perdons le contact radio, donc nous n'avons pas de données après cette heure. Nous savons par déduction que la nacelle a atterri vers 16h05.

En moyenne, sur les 8 premières minutes de chute, la vitesse moyenne a été de 17,5m/s (65km/h) : on a tracé en pointillé l'altitude de la nacelle si elle avait chuté à cette vitesse constante.

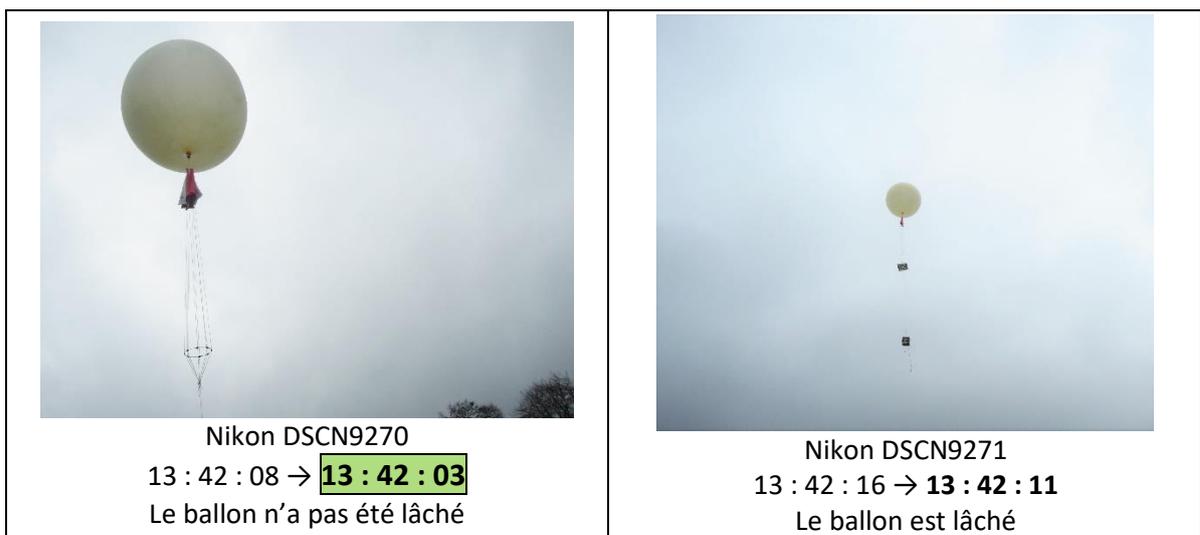
Vers 15h38, la nacelle a ralenti sa chute. Nous n'avons plus de données après 15h39 mais on a tracé (en pointillés) l'évolution globale de l'altitude du ballon jusqu'à l'atterrissage en supposant une vitesse constante de 7,6 m/s. Cette vitesse moyenne a été calculée en tenant compte de l'heure d'atterrissage 16h05.



6) Atterrissage

a) Datation au décollage

La datation des séquences vidéo a pu être obtenue par plusieurs sources dont l'une est mon appareil photo Nikon avec lequel j'ai pris ces 2 photos lors du décollage.



J'avais pris la précaution la veille de mettre l'appareil à l'heure de l'horloge atomique prise sur le site <http://www.heure.com/>. Mais cette manipulation est délicate car l'affichage est à la minute près et non à la seconde près. Lors d'une vérification ultérieure au vol, j'ai pu observer une

avance de 5 secondes dans le passage d'une minute à l'autre sur l'appareil photo par rapport à l'horloge atomique. J'ai donc retranché ces 5 secondes aux heures affichées dans les propriétés des fichiers.

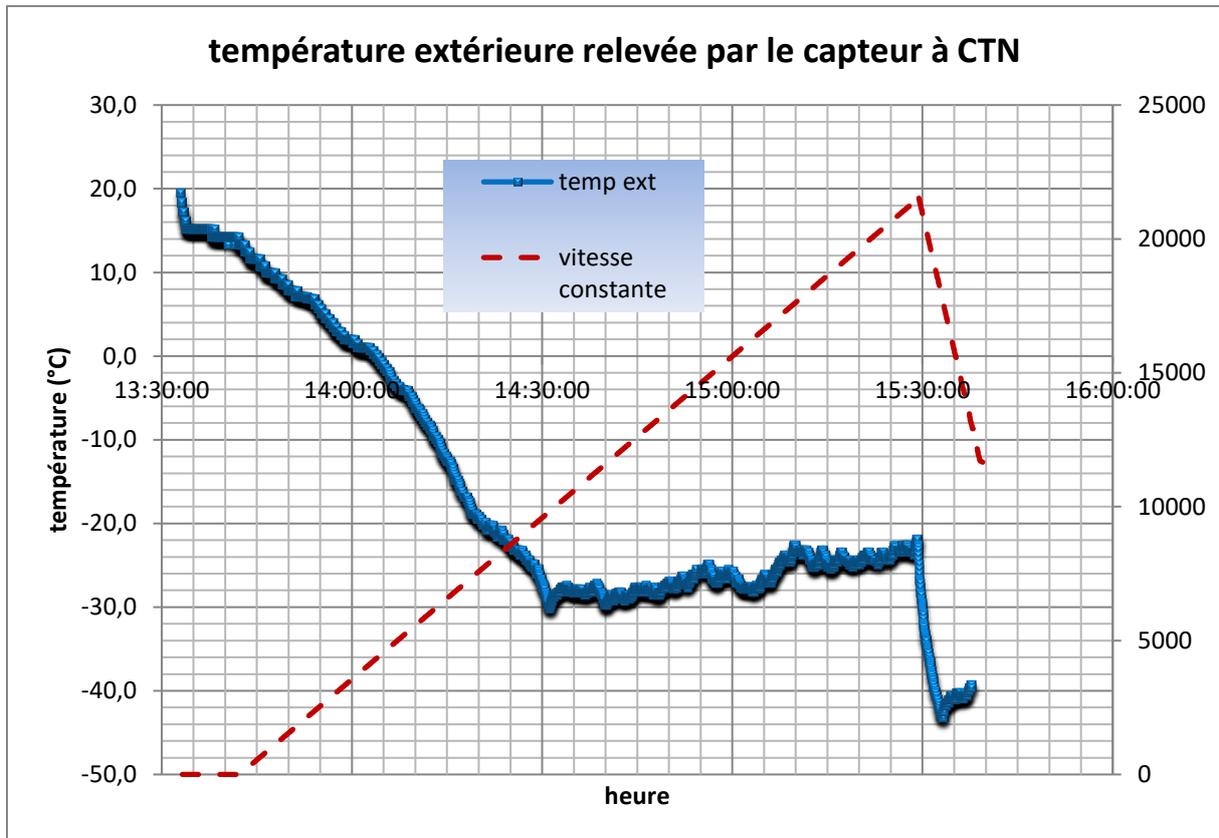
b) Atterrissage

Le contact radio a été perdu à 15h40. Nous ne disposons donc pas des données d'atterrissage. Mais nous avons le film de l'atterrissage par la caméra Takara et la caméra PNJ (même avec le scotch on peut « voir » l'atterrissage). Sachant que le décollage a eu lieu à 13h42 nous pouvons dater chacune des séquences vidéos de 30 minutes prises successivement par la caméra Takara (et de même pour les séquences de 25 minutes prises par la caméra PNJ).

Fichier vidéo Takara	Heure (vidéo)	Heure (locale)	Evénement
HD0002.MOV	00 : 00 : 00	= 13 : 16 : 10	Début du film
	00 : 25 : 53	= 13 : 42 : 03	Décollage
	00 : 30 : 00	= 13 : 46 : 10	Fin de la séquence
HD0003.MOV	00 : 00 : 00	= 13 : 46 : 10	Début de la séquence
	00 : 30 : 00	= 14 : 16 : 10	Fin de la séquence
HD0004.MOV	00 : 00 : 00	= 14 : 16 : 10	Début de la séquence
	00 : 30 : 00	= 14 : 46 : 10	Fin de la séquence
HD0005.MOV	00 : 00 : 00	= 14 : 46 : 10	Début de la séquence
	00 : 30 : 00	= 15 : 16 : 10	Fin de la séquence
HD0006.MOV	00 : 00 : 00	= 15 : 16 : 10	Début de la séquence
	00 : 30 : 00	= 15 : 46 : 10	Fin de la séquence
HD0007.MOV	00 : 00 : 00	= 15 : 46 : 10	Début du film
	00 : 18 : 14	= 16 : 04 : 24	Atterrissage
	00 : 21 : 04	= 16 : 07 : 14	Fin de la séquence

4) Les données des capteurs de température

1) Température extérieure

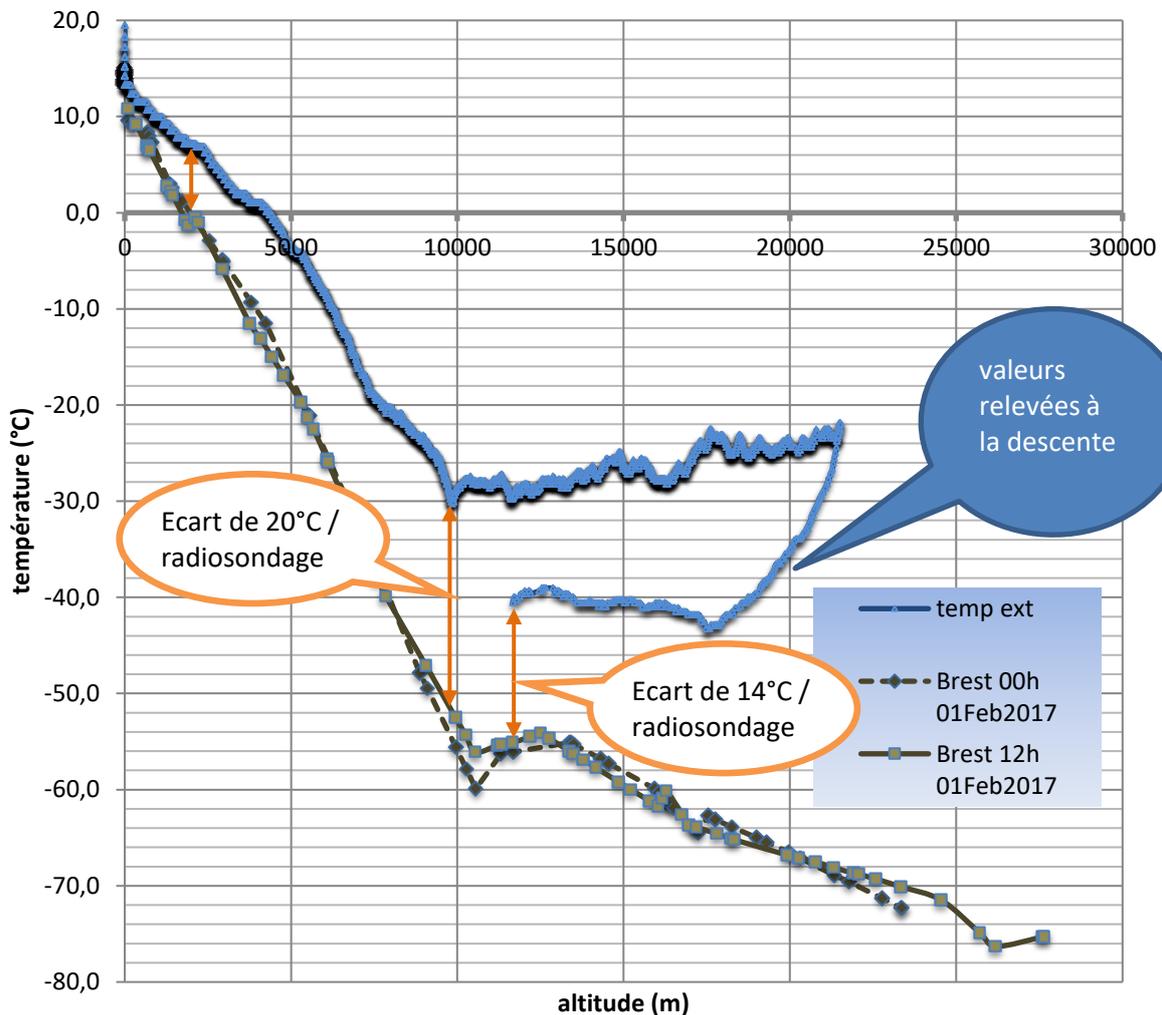


La température décroît pendant l'ascension : elle passe de 20°C dans la salle du QG pendant la préparation de la nacelle à 14°C en extérieur sur le site de lancement, puis elle entame une décroissance régulière pendant près d'une heure jusqu'à atteindre -30°C vers 10000m.

Puis le capteur nous donne une valeur qui stagne autour de -30°C. Ce n'est pas conforme aux valeurs attendues : la température devrait continuer à descendre jusqu'à -60°C !

Croisons les données de température avec celles d'altitude pour tracer la courbe de température en fonction de l'altitude. Nous allons comparer nos valeurs et celle obtenues par le radiosondage de Brest le même jour.

Température de l'air en fonction de l'altitude : comparaison entre les valeurs mesurées et les valeurs données par les radiosondages de Brest le 1er Février 2017

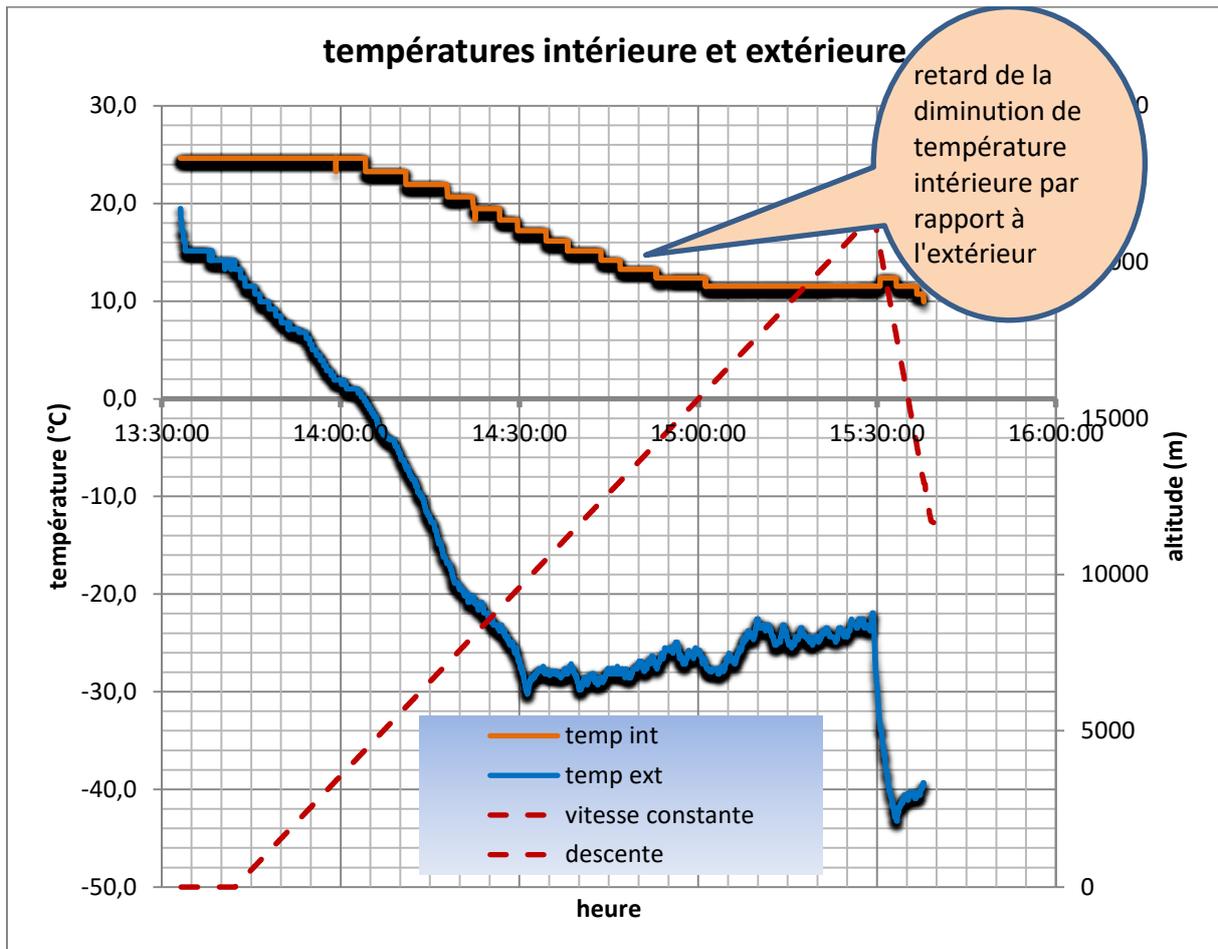


Au sol, notre capteur mesure une valeur de 14°C : cette valeur est cohérente.

Mais pendant l'ascension, un écart se creuse entre nos valeurs mesurées et celles des radiosondages. L'écart est de 14°C à 5000m (-4°C au lieu de -18°C) et atteint 22°C à 10000m (-30°C au lieu de -52°C). Le pire étant la valeur mesurée à la culmination à 22000m : -23°C au lieu de -68°C ! Un écart de 45°C !

Les précautions prises pour protéger le capteur du rayonnement (dans un gobelet de plastique blanc) et favoriser le brassage de l'air (long fil qui oscille sous la nacelle) n'auront donc pas suffi. Notre capteur n'est visiblement pas en équilibre thermique avec l'air extérieur.

Les mesures effectuées à la descente sont plus proches de la réalité. En raison sans doute d'un meilleur brassage de l'air grâce à une vitesse de la nacelle beaucoup plus élevée, surtout au début de la descente (quasiment une chute libre). On atteint alors la valeur minimum mesurée par le capteur : -44°C vers 17500m (température mesurée par les radiosondages : -62°C).

2) Température intérieure

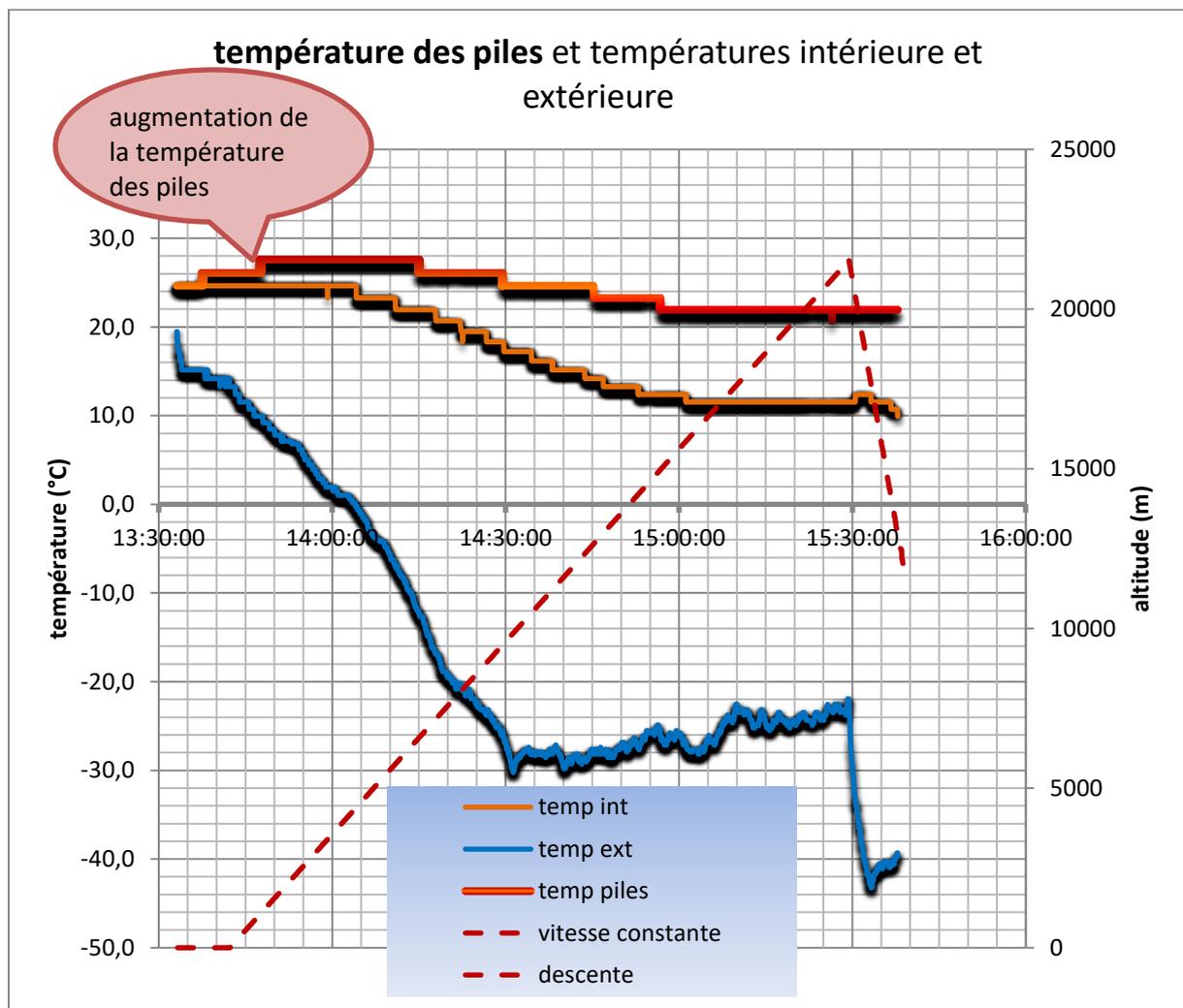
La question est de savoir si ces mesures sont fiables. Nous venons de voir que les mesures de température extérieure sous-estimaient les valeurs réelles. Nous sommes dans les mêmes conditions de pression en intérieur et en extérieur, donc un air qui se raréfie en altitude. Mais le capteur de température interne est complètement à l'abri du rayonnement solaire.

Il est étonnant de voir que le capteur affiche une température interne de 24°C stable jusqu'à 4500m. Une faible décroissance s'amorce alors pour atteindre un minimum de +10°C à 15000m.

Ce minimum reste alors stable jusqu'à la culmination à 22000m. L'air intérieur serait alors de +10°C quand à l'extérieur l'air est de -68°C ! (d'après les radiosondages de Brest à 0h et 12h).

Malgré ces défauts dans nos mesures, on peut constater une baisse régulière de la température à l'intérieur de la nacelle quand la température extérieure diminue et, chose intéressante, cette diminution est en retard sur la diminution de la température extérieure. On met ainsi en évidence l'**inertie thermique** de la nacelle.

3) Température des piles



Fait remarquable (s'il est bien avéré) : la température des piles commence par augmenter légèrement de 24°C à 28°C, au sol et pendant la première demi-heure d'ascension.

Le minimum de température mesuré dans le compartiment des piles est de 20°C ! à 22000m, par -68°C en extérieur !

4) Tension aux bornes de l'alimentation (les 2 piles 4,5V)

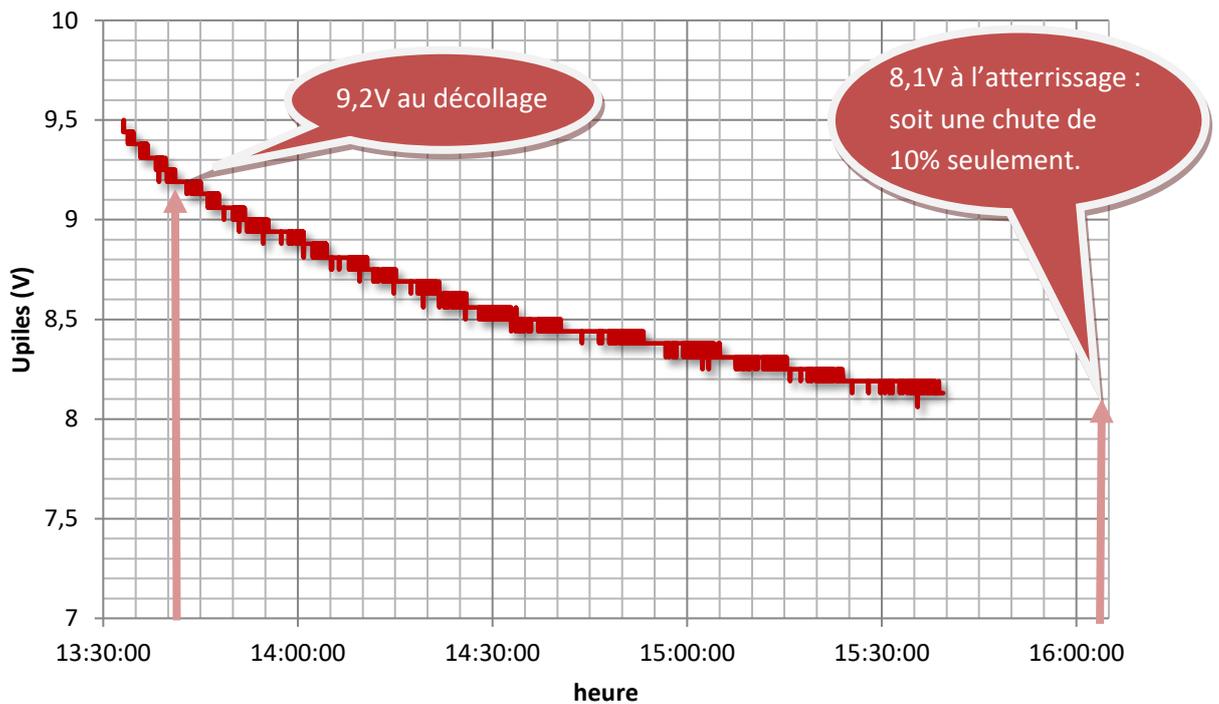
La télémessure enregistre également une valeur (approchée) de la tension aux bornes de l'alimentation. Sur la courbe ci-dessous, la valeur de la tension mesurée au Q.G. à la mise sous tension à 13h32 serait donc de 9,5V. Au décollage, 10 minutes plus tard, cette valeur a légèrement chuté à 9,2V. En extrapolant la courbe, la valeur de la tension à l'atterrissage à 16h04 serait de 8,1V. **On aurait donc perdu 0,9V pendant le vol, soit 10% de la valeur au décollage.**

Si l'on veut comparer ces valeurs avec celles des essais dans le congélateur il faut relever la valeur de la tension mesurée dans le congélateur au bout de 2h22, car c'est la durée du vol. Lors des essais **dans le congélateur à -25°C**, en 2h20, la tension aux bornes d'une pile chutait de 4,5V à 3,2V lorsqu'elle débitait un courant de l'ordre de 0,3A, le courant que nous avons estimé pour

simuler la situation du vol. Avec 2 piles en série nous aurions donc eu une tension passant de 9,0V à 6,4V, soit une chute de 2,6V ce qui représente presque 30% de la valeur initiale.

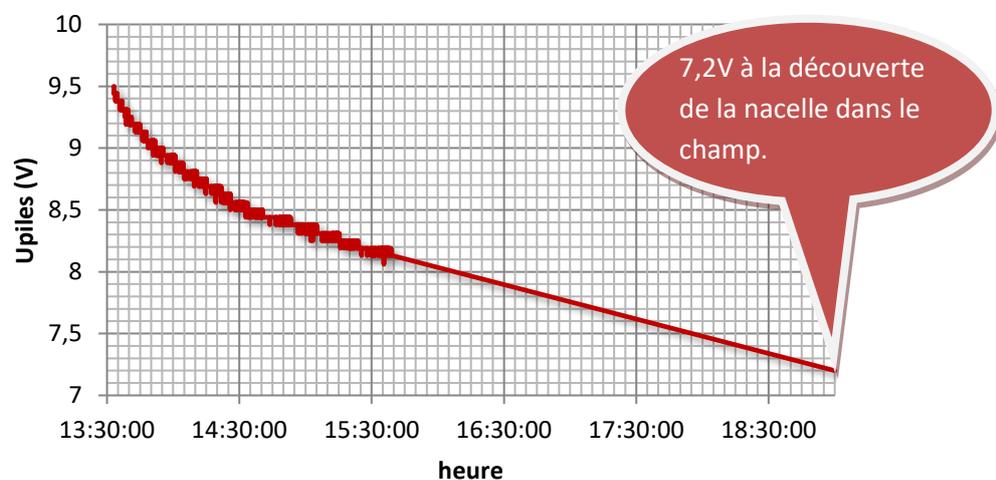
Il apparaît donc de manière évidente que **la température du compartiment pile n'est jamais descendue aussi bas que -25°C**. La chute de tension aurait été bien plus importante. Notre capteur a sans doute surestimé la température des piles, mais les valeurs mesurées ne sont probablement pas si éloignées des valeurs réelles.

Tension aux bornes des piles pendant le vol



Nous avons mesuré la tension des piles lors de l'ouverture de la nacelle lorsque nous l'avons récupérée dans le champ à Vieux-Pont vers 19h. Nous pouvons ajouter cette valeur de 7,2V à 19h à la courbe.

Tension aux bornes des piles de 13h30 à 19h

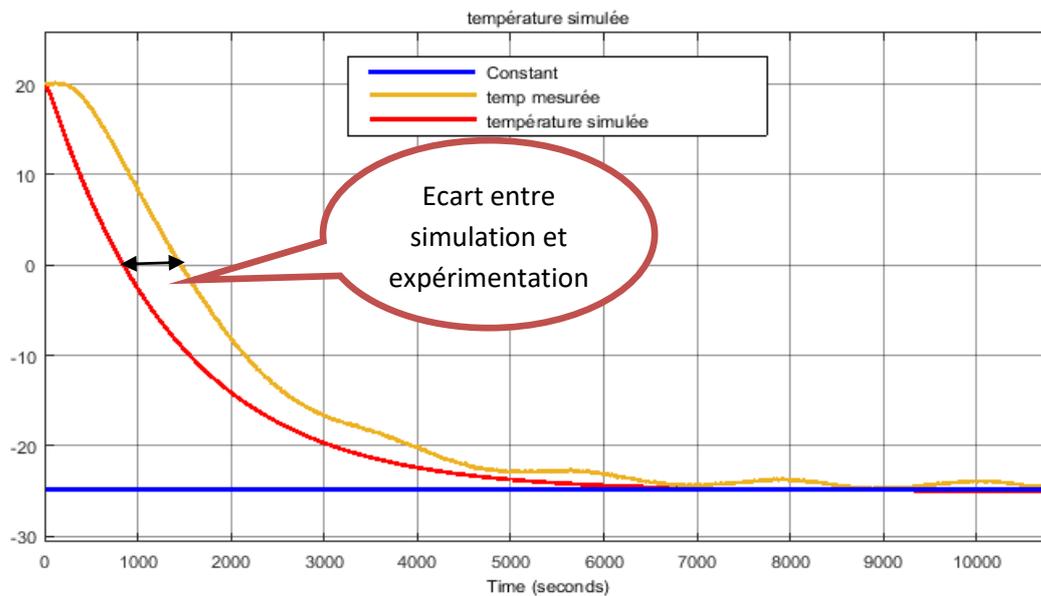


5) Simulation thermique améliorée sous Matlab

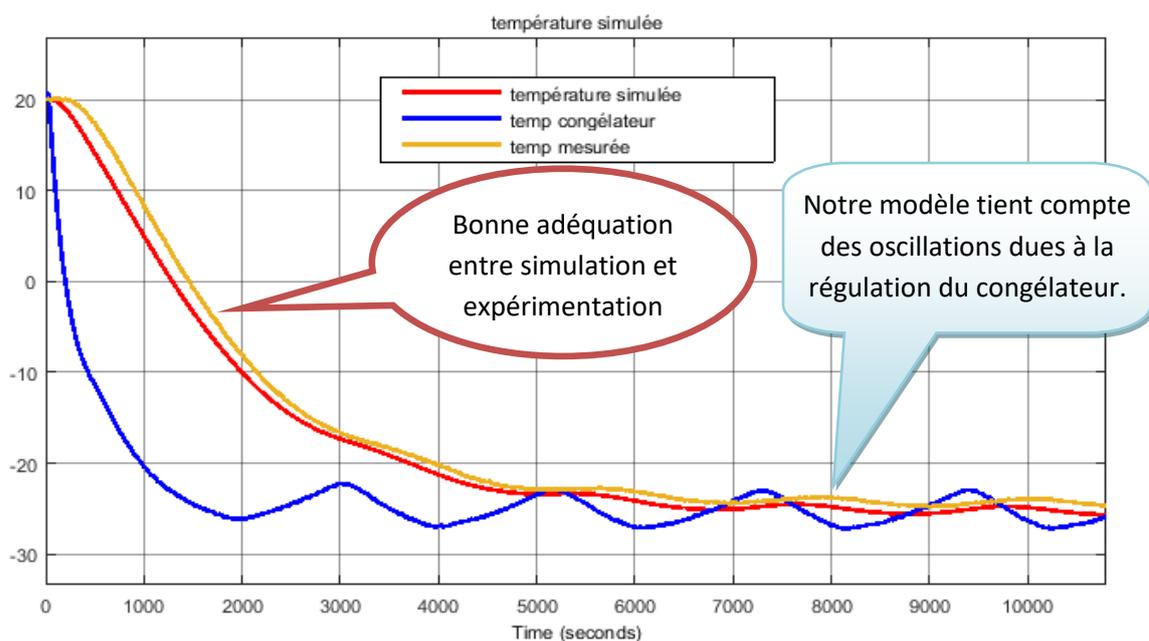
Pour mieux comprendre le comportement thermique de la nacelle, nous avons décidé après le vol, d'affiner la simulation réalisée sous Matlab.

a) Validation du modèle thermique

Le **premier modèle** simulait le comportement de la nacelle vide en réponse à un **échelon de température** faisant passer la température extérieure de 20°C à -25°C instantanément. La température à l'intérieur de la nacelle chutait alors à 0°C en 850s, soit 14 minutes.



Nous avons émis des réserves sur cette simulation. Dans la réalité de l'expérience, la nacelle est plongée dans le congélateur à -25°C. Cette température était supposée constante. Nous avons expliqué pourquoi, sous l'effet de la chaleur dégagée par la nacelle (initialement à +20°C), cette température ne pouvait pas rester constante. Nous avons donc décidé de soumettre le modèle de la nacelle, non pas à un échelon de température -25°C, mais à la **courbe de température réellement mesurée sur la paroi extérieure de la nacelle**.

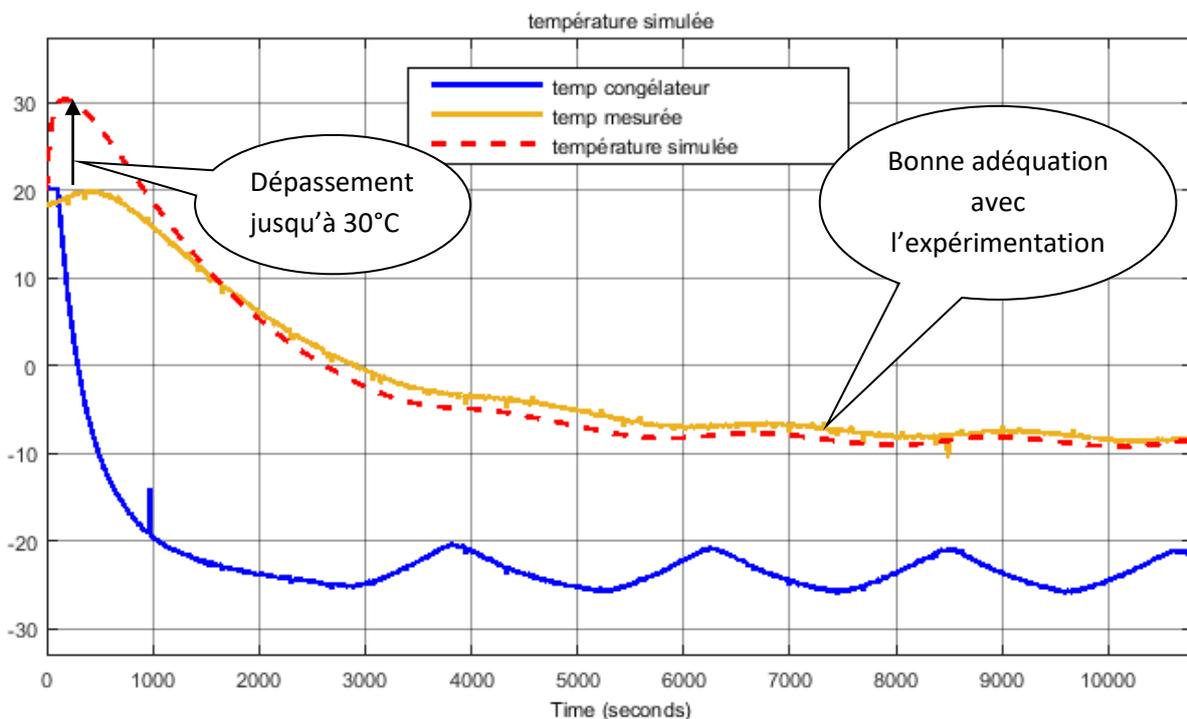
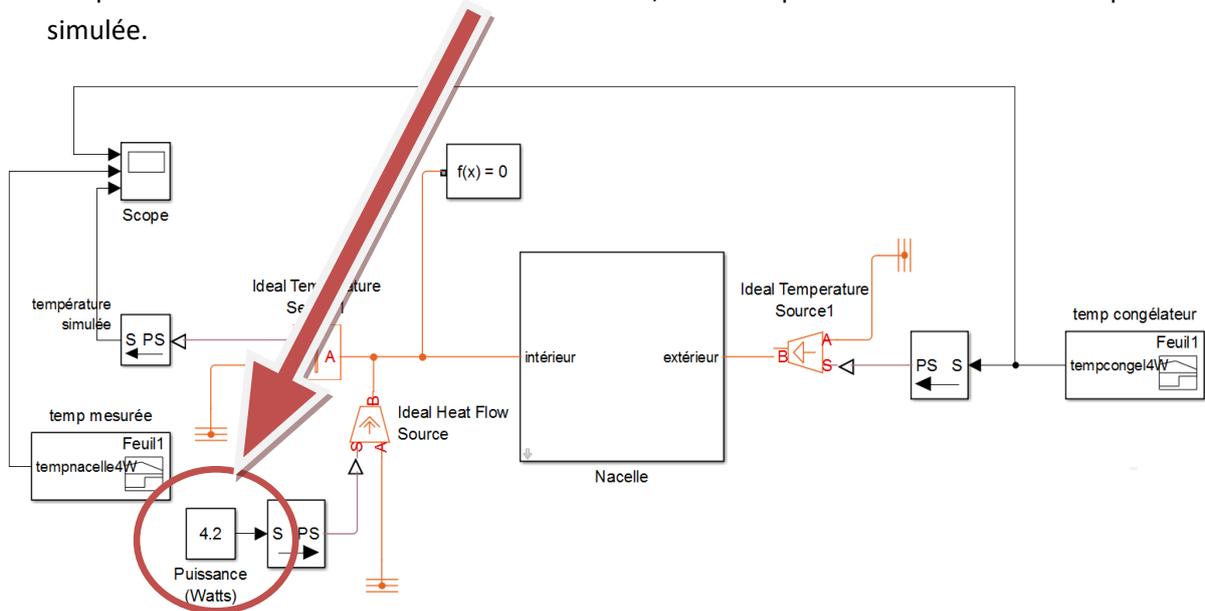


On voit que la courbe de température simulée suit cette fois de très près la courbe de température réellement mesurée. En simulation la température chute à 0°C en 1300s = 22 minutes contre 1460s = 24 minutes en température réelle mesurée.

Ce faible écart entre simulation et expérimentation nous permet de **valider notre modèle thermique de la nacelle**.

b) Prise en compte des apports de chaleur

L'étape suivante consiste à **prendre en compte la chaleur produite par les circuits électriques** dans la nacelle. Un relevé de la température dans la nacelle avait été réalisé avec des résistances placées à l'intérieur et alimentées par une tension réglable à l'extérieur. Voici le relevé de température mesurée avec une puissance de 4,2 W comparé au relevé de la température simulée.

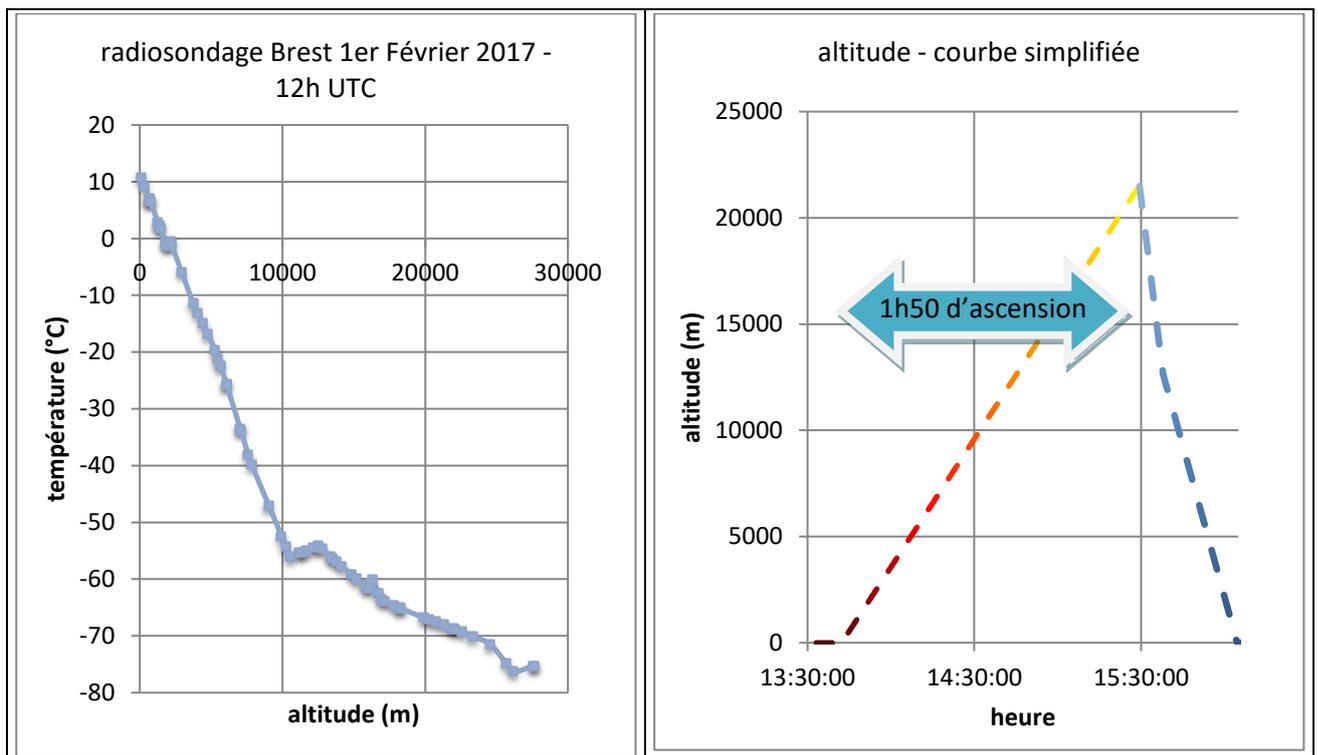


On observe un dépassement jusqu'à 30°C pour la température simulée. Puis les courbes se rejoignent rapidement.

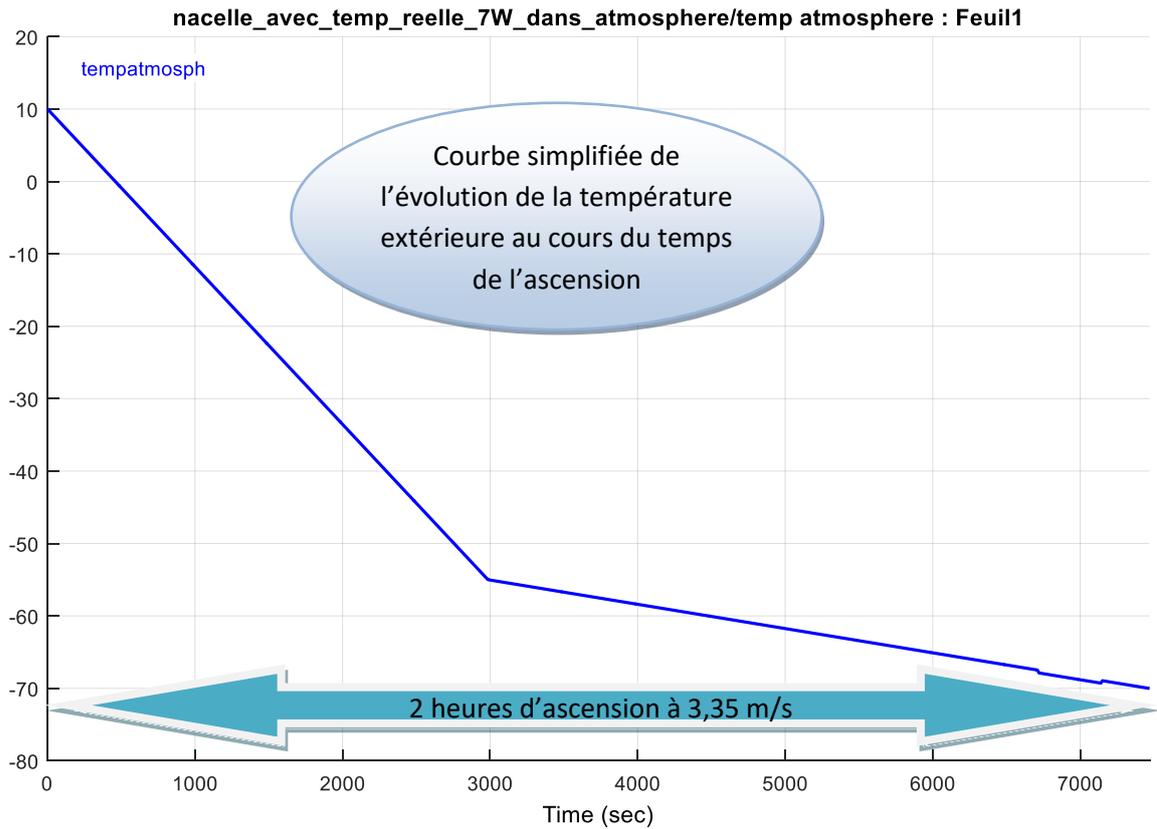
c) Prise en compte de la température réelle de l'atmosphère

Nous allons à présent simuler le comportement de la nacelle dans les conditions réelles de température qu'elle a connues lorsqu'elle s'est élevée dans l'atmosphère. Nous prenons en compte 2 paramètres :

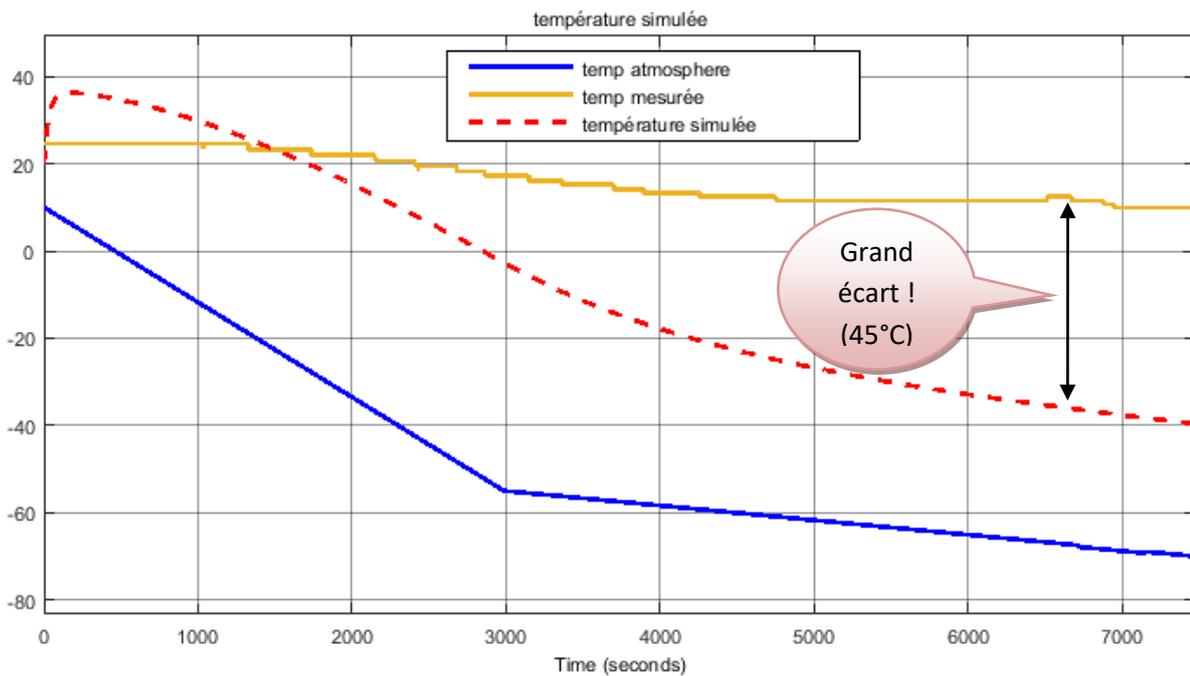
- La température relevée par les radiosondages du mercredi 1^{er} Février (Brest 12h UTC).
- La courbe d'altitude de la nacelle simplifiée avec une vitesse ascensionnelle moyenne de 3,35 m/s (et une vitesse de descente de 17,5 m/s puis 7,9 m/s).



Nous obtenons ainsi la courbe en fonction du temps de la température à laquelle a été soumise la nacelle pendant l'ascension. On simplifie en prenant une ascension de 7200s = 2 heures à vitesse constante de 3,35 m/s (jusqu'à 25000 m).



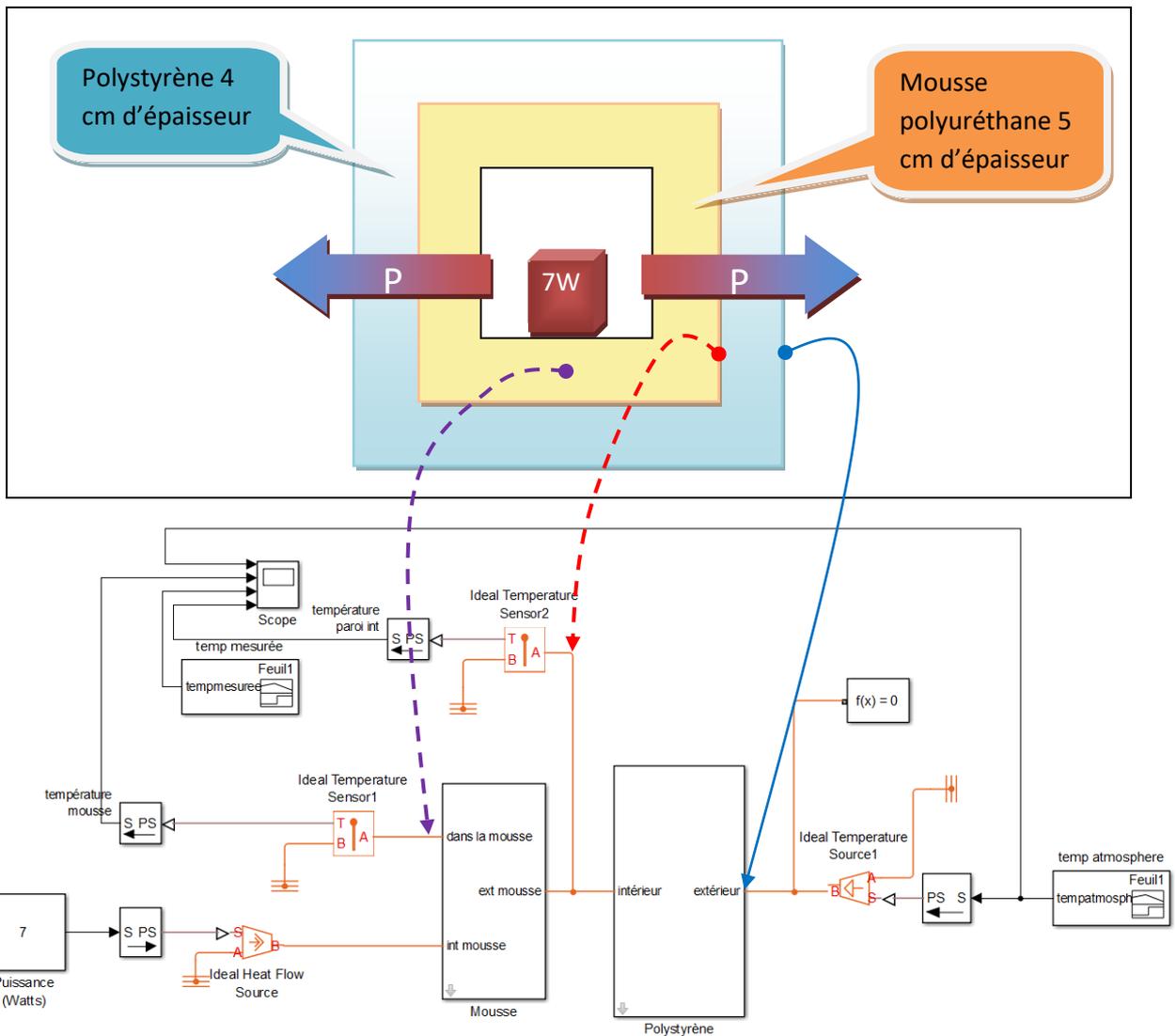
Nous entrons cette courbe comme signal d'entrée dans la simulation. Puis nous entrons la valeur de la puissance calculée des circuits électriques, de l'ordre de 7 W.



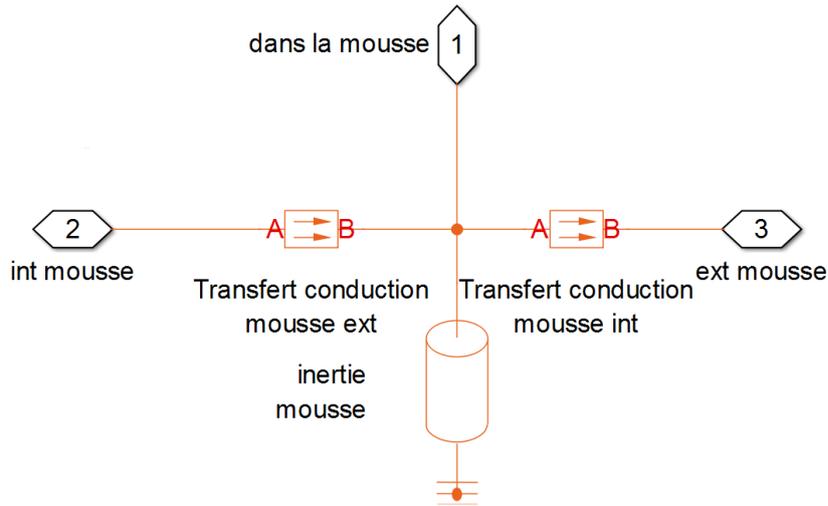
La courbe en jaune est la température relevée à l'intérieur de la nacelle lors du vol par notre capteur de température. On observe un grand écart avec la valeur simulée en rouge.

d) Prise en compte de la mousse à l'intérieur de la nacelle

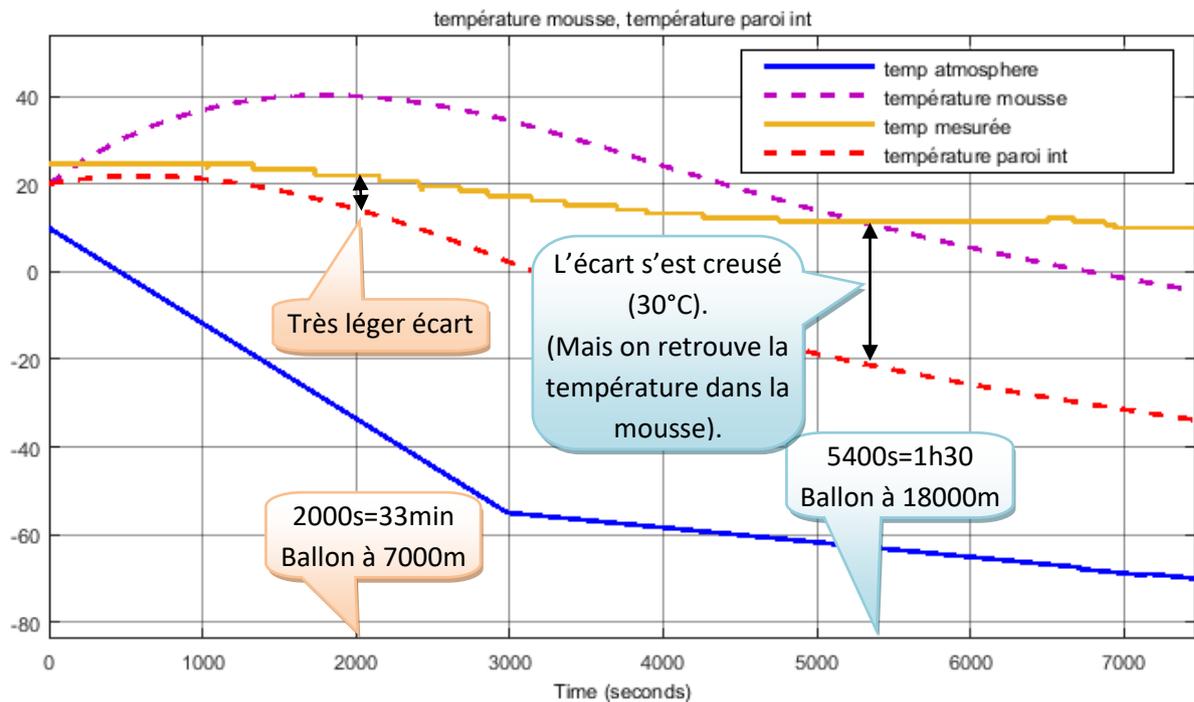
Mais la nacelle n'est pas vide. Or c'est une nacelle vide que l'on simule depuis le début. Pour tenir compte du remplissage de la nacelle par le matériel enveloppé de mousse polyuréthane, un nouveau modèle est créé en ajoutant une bande de mousse de 5 cm d'épaisseur collée à la paroi intérieure de la nacelle.



Le modèle thermique de cette bande de mousse ne tient compte que de la conduction (conductivité thermique : $\lambda = 0,025 \text{ W/m/K}$) et de l'inertie thermique (capacité calorifique massique $c = 1000 \text{ J/kg/K}$ – masse volumique : $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$).



La température simulée sur la paroi intérieure de la nacelle a un peu changé : il n’y a plus d’élévation marquée de la température au début et l’écart entre simulé et mesuré est légèrement plus faible. Le capteur à l’intérieur de la mousse donne une température simulée plus élevée que sur la paroi interne.

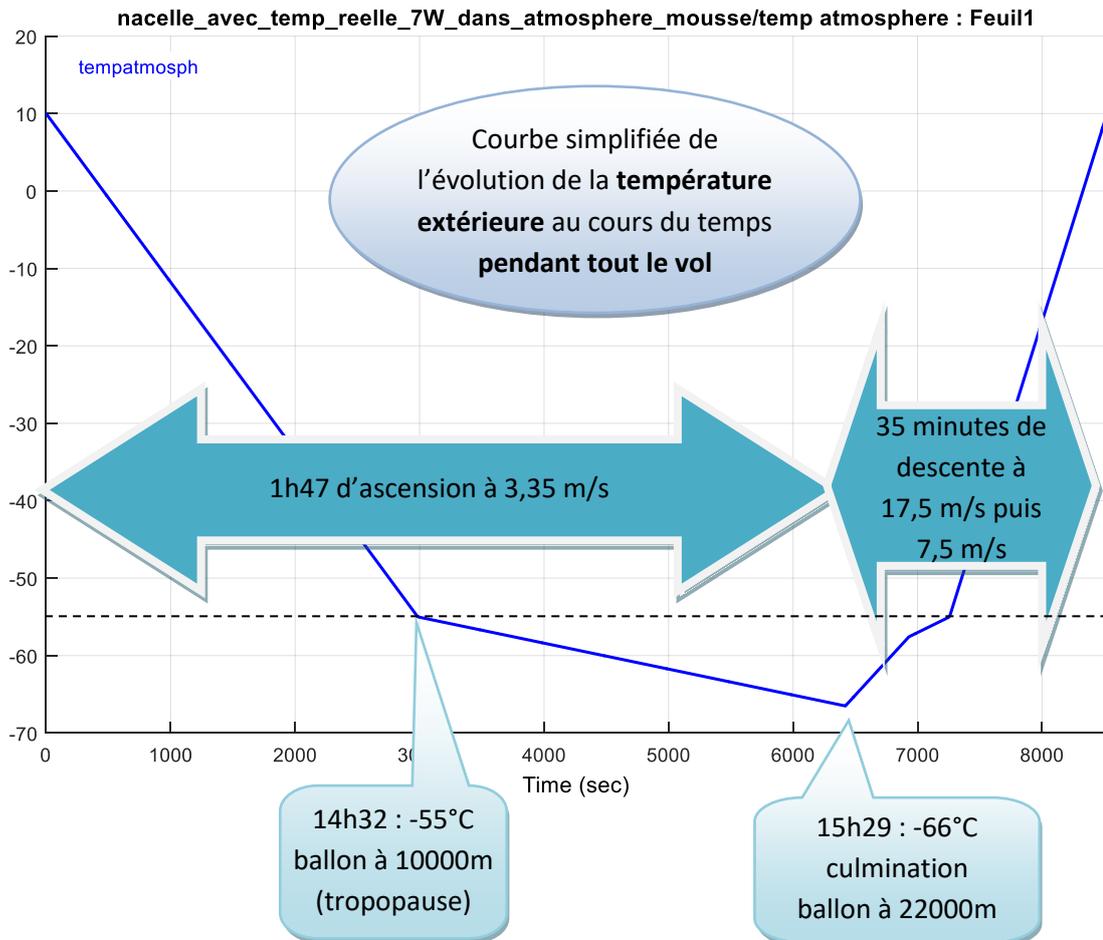


Nous savons que la mesure de température avec notre capteur à CTN dans la nacelle pose problème à cause de l’air qui se raréfie au fur et à mesure que le ballon s’élève dans la haute atmosphère. Le capteur était placé sur la paroi interne de la nacelle. La courbe (en jaune) de la température mesurée devient de moins en moins fiable au fur et à mesure qu’on avance sur l’échelle de temps. On voit que la courbe de la simulation de cette température (en rouge) suit à peu près la courbe de température mesurée (en jaune) au début. L’écart commence à se creuser au bout de 2000 s = 33 minutes. Le ballon est alors à 7000 m. Au bout d’une heure trente d’ascension, le ballon est dans la stratosphère à 18000 m (75 hPa). Il y a 13 fois moins d’air qu’au sol. La mesure de température commence à être difficile. On peut donc douter de la valeur mesurée. La valeur donnée par la simulation (-20°C) est 15°C en-dessous de la valeur mesurée

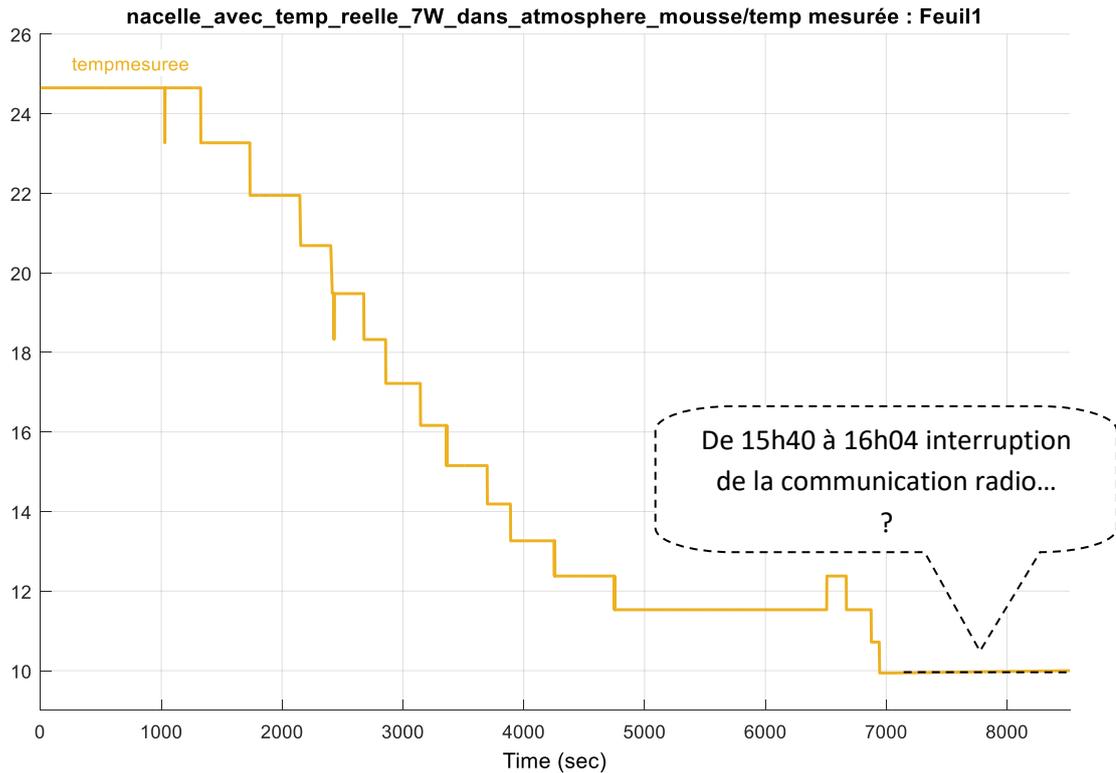
(+10°C). Mais, coïncidence, la valeur de la température simulée à l'intérieur de la mousse est à ce moment de +10°C également.

e) Prise en compte de la totalité du vol

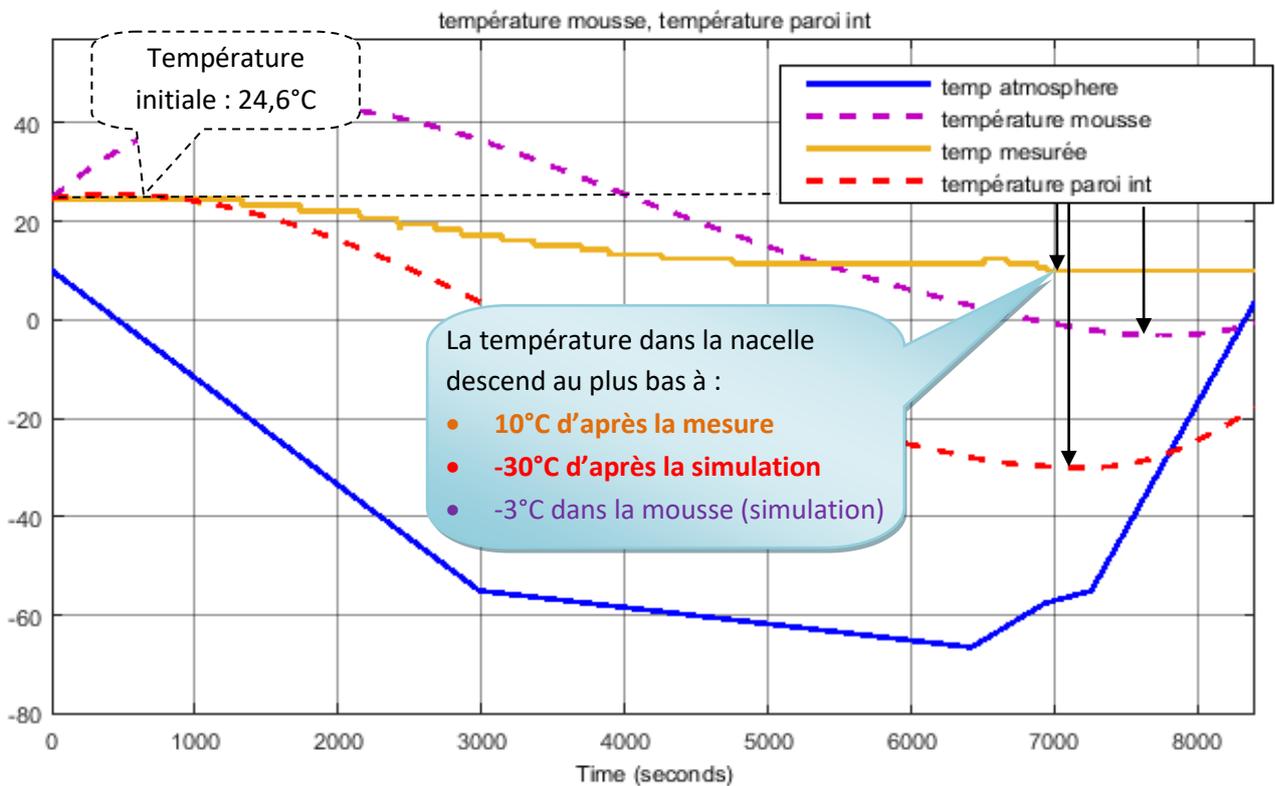
La courbe de température de l'atmosphère qui précède a été calculée en supposant la vitesse ascensionnelle constante et égale à 3,35 m/s. Nous pouvons poursuivre cette courbe en calculant l'altitude avec une vitesse constante de descente égale à 17,5 m/s puis 7,5 m/s.



Nous n'avons pas pu mesurer les températures pendant toute la durée du vol car la communication radio s'est interrompue vers 15h40. Il nous manque 25 minutes de données entre 15h39 et 16h04. Nous avons extrapolé la courbe par une valeur constante de la température égale à 10°C pendant cette durée. Puis nous avons entré ces courbes dans la simulation.



Nous obtenons ce résultat :



Cette dernière simulation tient aussi compte de la température initiale mesurée dans la nacelle au décollage de 24,6°C (au lieu de 20°C dans les simulations précédentes). On a également veillé à ce que les échelles de temps des courbes issues de la mesure couvrent bien les 8400 s de la simulation.

f) Conclusion sur le comportement thermique et les mesures de température

La mousse a eu un effet de **lissage des variations de température** à l'intérieur de la nacelle. Pour améliorer notre simulation, il faudrait prendre aussi en compte **tout le matériel à l'intérieur qui, par inertie thermique**, accroît cet effet de lissage thermique. On obtiendrait une courbe simulée qui descend beaucoup moins en température.

Nos simulations sous Matlab ne prennent pas en compte **l'augmentation du rayonnement en altitude**. On a pu constater que le rayonnement infrarouge et UV devient beaucoup plus important au-dessus des nuages. Ce mode de transfert thermique n'intervient pas dans le modèle. On sait pourtant qu'une façade exposée au soleil n'aura pas le même comportement thermique qu'une façade à l'ombre.

Nos modèles ignorent également la **raréfaction de l'air**. Il est possible que cela ait une influence non négligeable sur les transferts thermiques par convection.

La réalité doit probablement se situer entre la mesure et notre dernière simulation. On peut ainsi donner une estimation de la température minimum atteinte dans la nacelle (sans doute à la culmination à 22000 m) en effectuant la moyenne des 2 minima : (mesure : +10°C + simulation : -30°C)/2 = -10°C. Ainsi **la température minimum sur la paroi interne atteinte à 22000m serait de -10°C lorsqu'à l'extérieur la température est de -66°C.**

Notre isolation aurait donc permis d'atténuer le froid extérieur de près de 56°C. Ce n'est pas rien. Tous les appareils ont été enveloppés de mousse dans la mesure du possible (traceurs GPS, caméras, batteries des caméras, etc...). **Ces appareils ont donc été encore mieux isolés du froid et leur température interne n'a probablement pas atteint 0°C** (la simulation dans la mousse donne un minimum à -3°C). Cela expliquerait pourquoi ils ont tous parfaitement fonctionné.



Le moment de gloire, quand le ballon prend son envol vers la haute atmosphère ...

5) Les données des capteurs UV et infrarouge

1) Indice UV et « indice IR »

Les capteurs UV et IR donnent des tensions proportionnelles aux puissances des rayonnements UV et IR. Le capteur UV a été étalonné sommairement et donne une tension de 0,15V pour un indice UV = 1 (une mesure de 0,15V a été faite un jour où météo France donnait un indice UV égal à 1 et une mesure un autre jour d'indice UV 2 à 3 a confirmé la linéarité en donnant une valeur légèrement supérieure à 0,4V). Nous n'avons donc pas une grande fiabilité sur la valeur absolue de l'indice mais nous pouvons admettre que le capteur est bien linéaire et donne donc une tension proportionnelle à la puissance du rayonnement UV dans la gamme 240nm – 330nm.

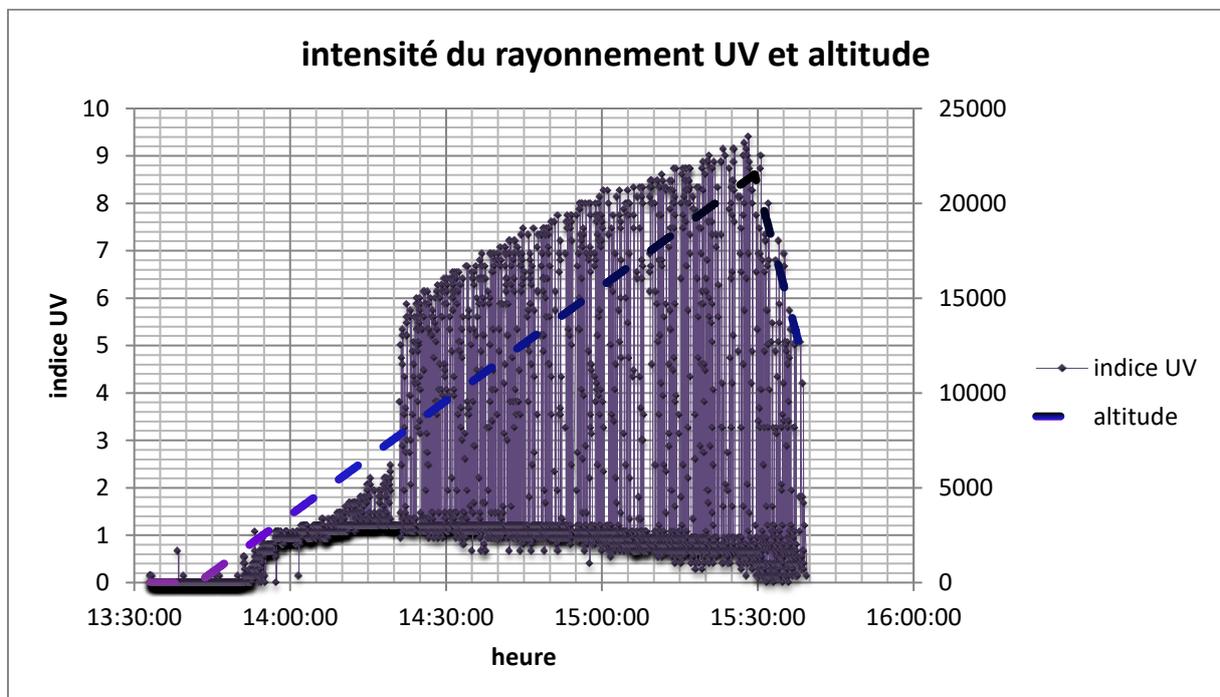
Pour faciliter la lecture des courbes nous indiquerons « indice UV » là où il faut comprendre « valeur proportionnelle à la puissance du rayonnement UV dans la gamme 240nm – 330nm ».

De même pour le rayonnement infrarouge, nous avons inventé un indice IR. Nous indiquerons donc « indice IR » en lieu et place de « valeur proportionnelle à la puissance du rayonnement Infrarouge et visible dans la gamme 600nm – 1050nm ».

2) L'indice UV en fonction de l'altitude

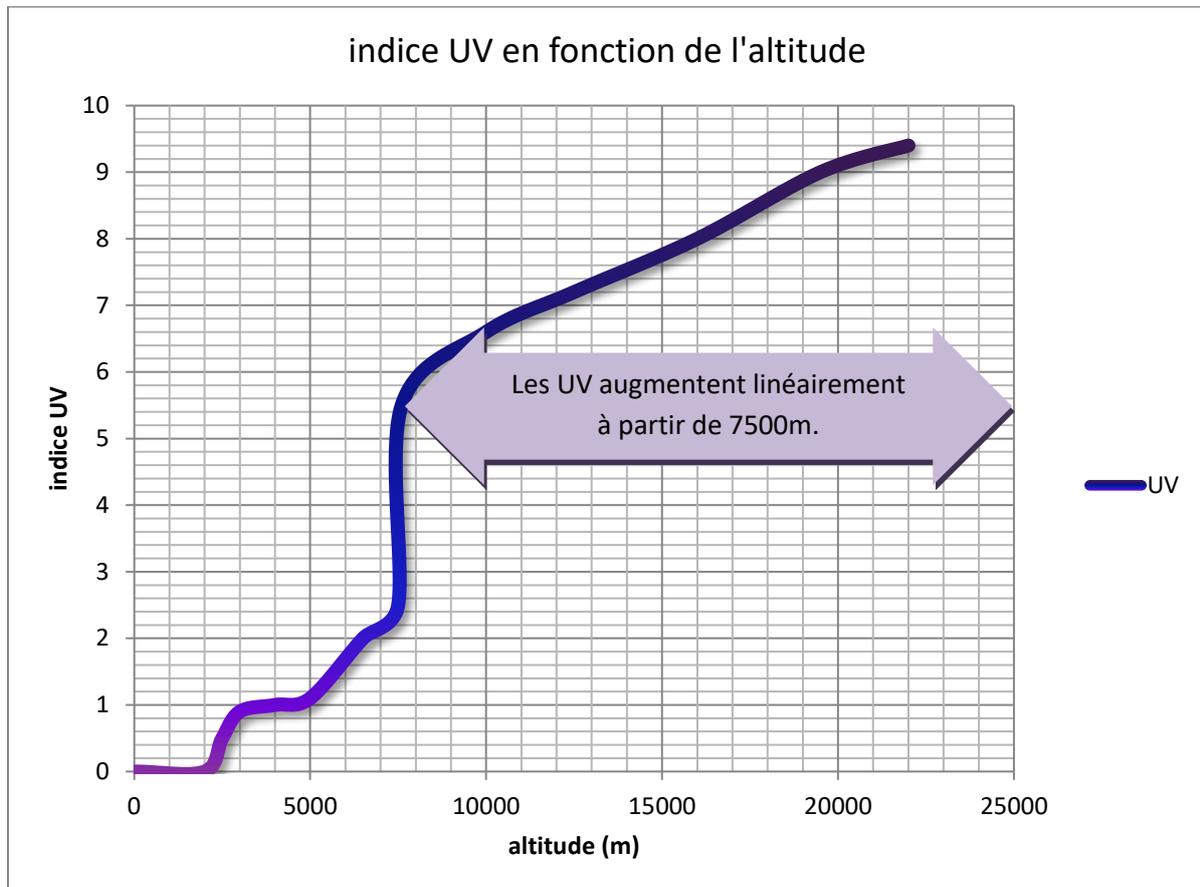
Compte tenu de la rotation de la nacelle, la tension mesurée par le capteur oscille entre un maximum lorsque le capteur est face au soleil et un minimum à l'ombre. On va donc s'intéresser surtout à l'enveloppe de la courbe, dont le maximum correspond à l'indice UV (ou du moins à une valeur proportionnelle).

L'indice UV augmente de manière spectaculaire vers 7500 m lorsque le ballon émerge de la dernière couche de nuages. Il est alors en plein soleil.



A partir de 7500 m, l'indice UV ne cesse d'augmenter avec l'altitude.

En ne tenant compte que des maxima relevés à l'ascension (qui sont d'ailleurs confirmés à la descente) on peut tracer l'indice UV en fonction de l'altitude :

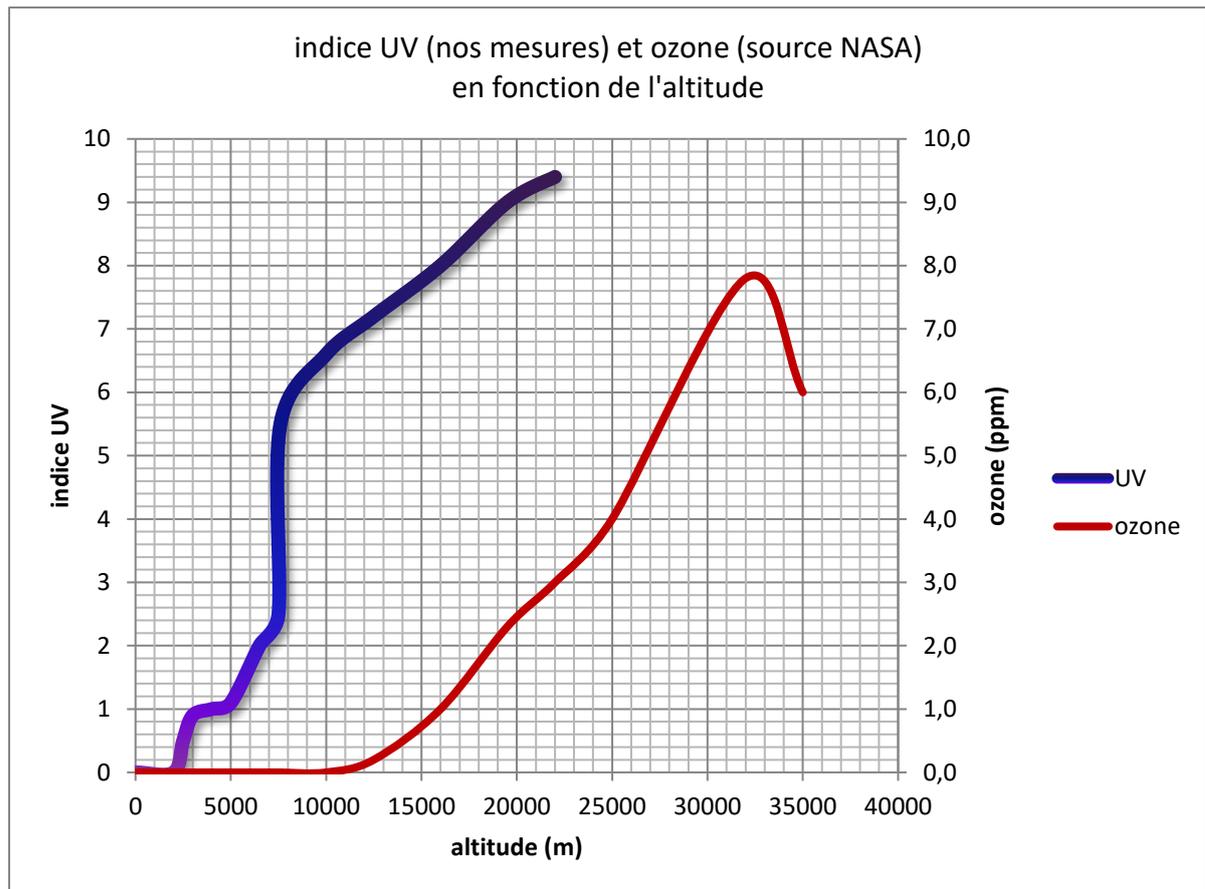


On pouvait s'attendre à ce que l'indice UV augmente dès lors qu'on quitterait la couche nuageuse. Après une timide augmentation vers 2500m où la caméra nous dévoile les premiers morceaux de ciel bleu, puis une progression linéaire entre 5000m et 7000m, le pallier des 7500m est très marqué : l'indice UV grimpe brutalement de 2 à 6 ! Le ballon vole au-dessus des nuages, en plein soleil.

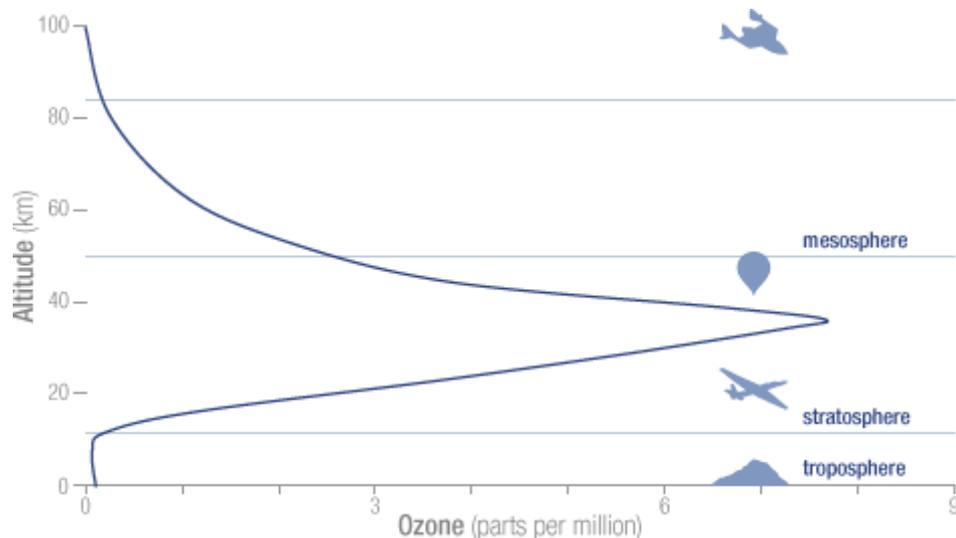
Dès lors, l'ascension se poursuit en plein soleil. Entre 14h30 et 15h30 l'inclinaison du soleil change peu et la puissance lumineuse reçue par le soleil ne devrait pas changer. Or on assiste à une montée régulière de l'indice UV. Il atteint 9,5 à la culmination à 22000m. Si le ballon avait continué de monter on aurait probablement mesuré des indices largement supérieurs à 10 !

Pour interpréter cette **augmentation des UV alors que l'inclinaison du soleil reste constante** il faut prendre en compte la quantité croissante d'UV dans la gamme **240nm – 330nm** au fur et à mesure qu'on s'élève dans la stratosphère.

On peut croiser ces données avec celles de la concentration en ozone.



La courbe de concentration en ozone est tirée du site de la NASA : <https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/SH.html> (courbe ci-dessous).

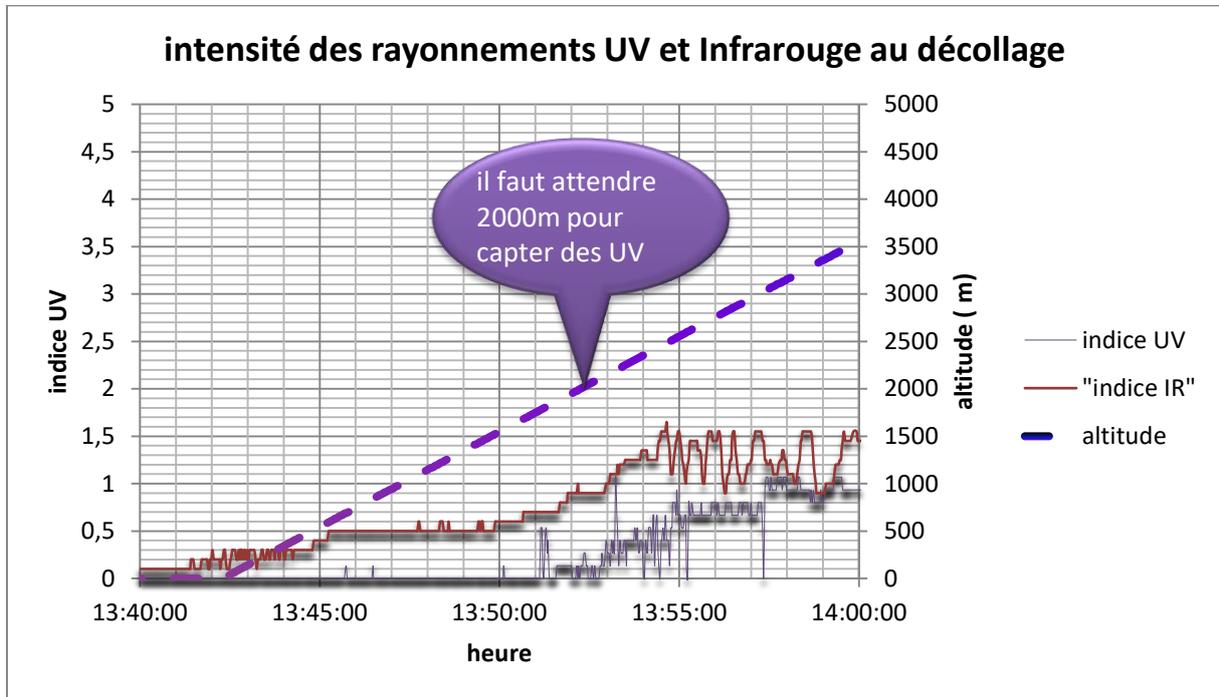


Les données sur l'ozone sont variables selon les sources. Le pic de concentration peut aller jusqu'à 15 ppm selon la NASA (8 ppm sur cette courbe). Il varie selon le lieu et le moment (jour ou nuit, latitude, ...). Les valeurs peuvent être données en ppm (parties par millions) ou en DU (Unités Dobson).

Mais on peut retenir que l'indice UV que nous avons mesuré augmente avec la concentration en ozone. Le filtrage des UV est maximum quand la concentration en ozone atteint son maximum,

vers 30000 m. On peut supposer que le taux d'UV grimpe encore d'avantage à partir de cette altitude.

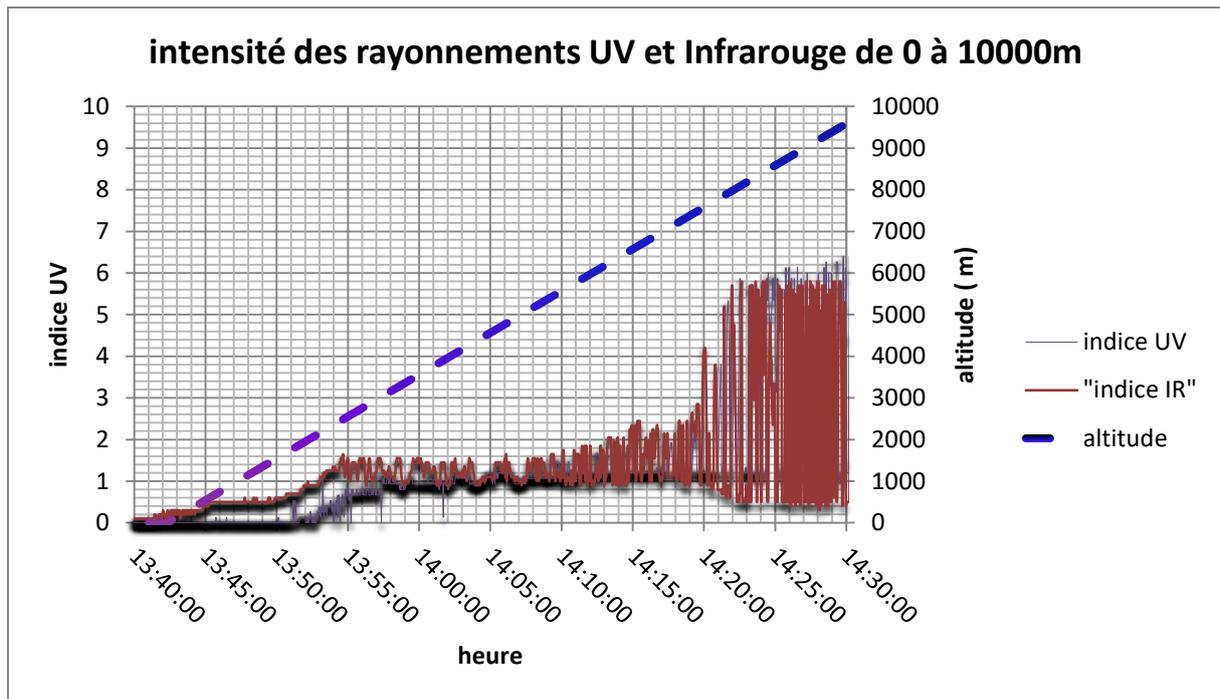
3) L'évolution des UV et des infrarouges



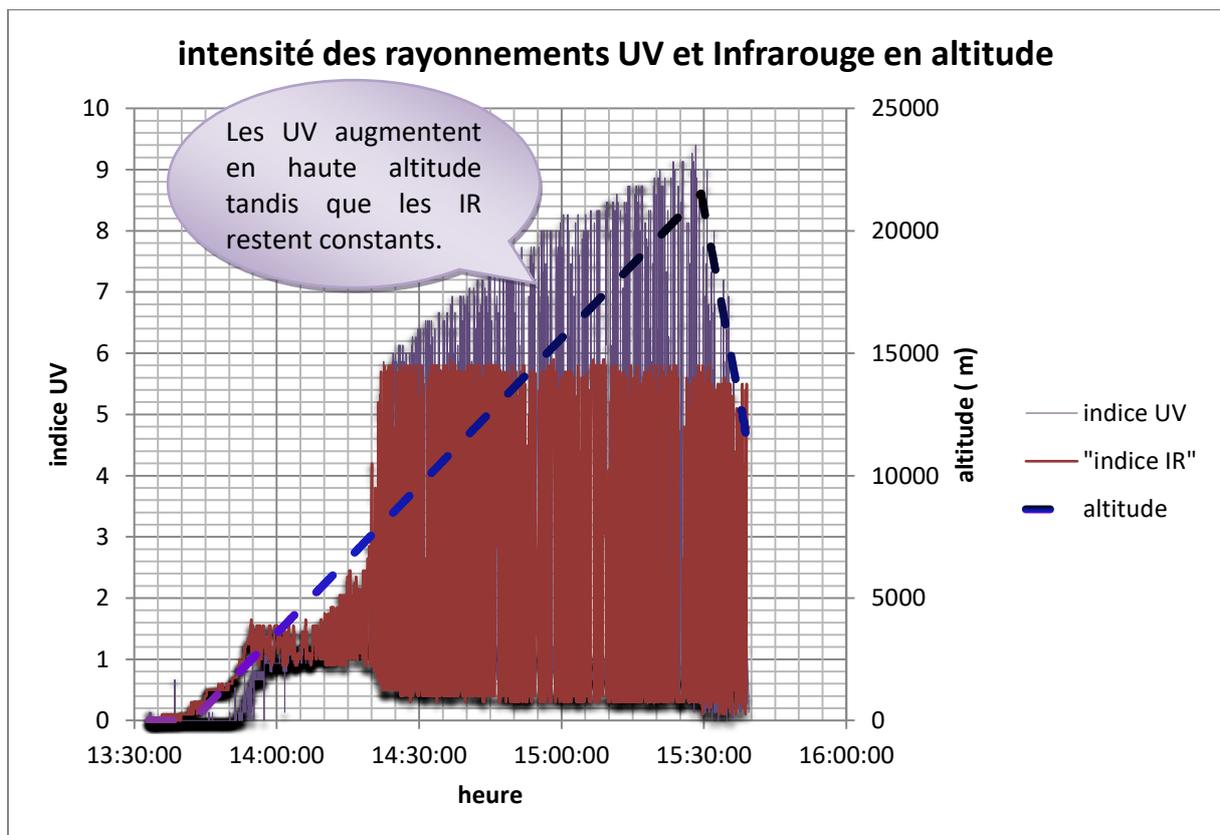
Au sol, avec ce temps gris, les capteurs donnent des valeurs quasiment nulles.

Le capteur Infrarouge réagit dès que le ballon s'élève. Le rayonnement visible et proche infrarouge augmente rapidement avec l'altitude. Le ballon monte dans des nuages de plus en plus clairs.

Le capteur UV réagit plus tard. L'indice UV est à 0 au sol. Il n'augmente qu'à partir de 2000 m pour atteindre 1 vers 3000 m. Les images de la caméra nous montrent alors les premiers morceaux de ciel bleu !



Le rayonnement UV et infrarouge varie peu de 2500m à 7000m. Puis à 7500m le ballon émerge de la dernière couche de nuages et le rayonnement UV comme le rayonnement infrarouge voient leurs puissances multipliées par 3.

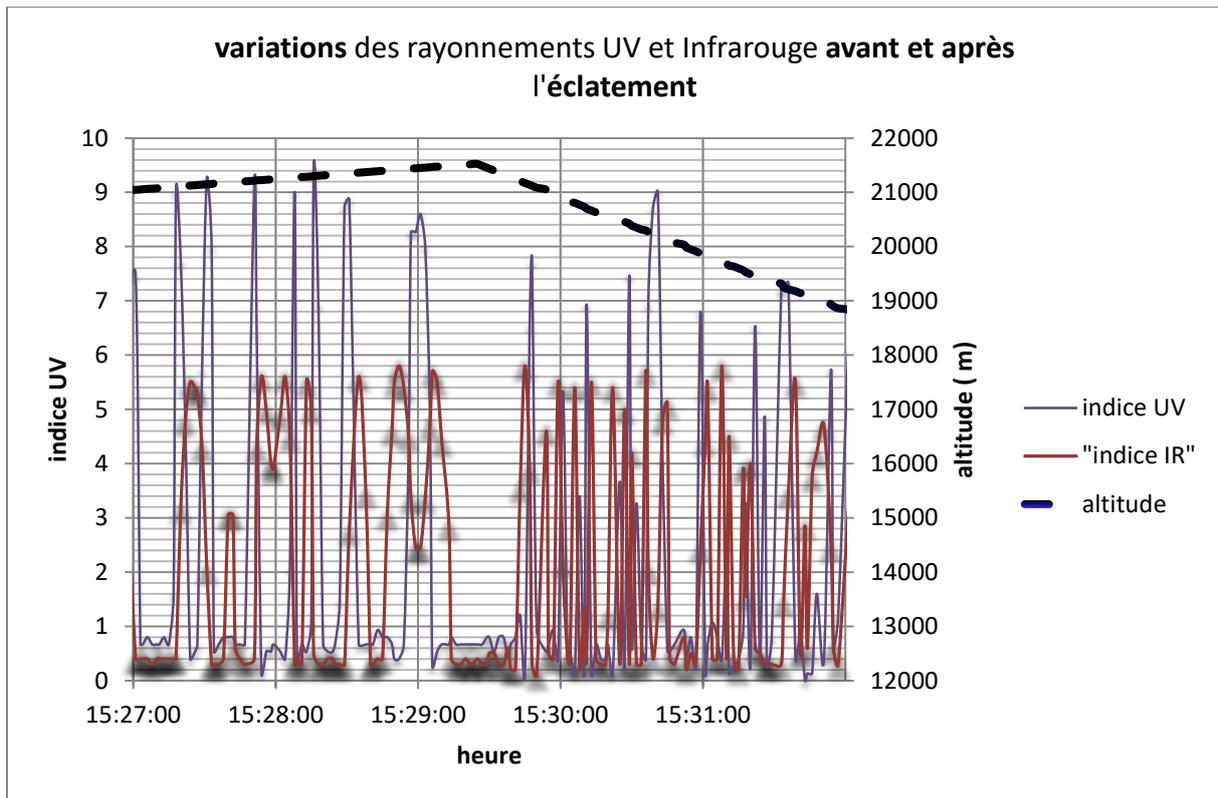


Dès lors, le ballon s'élève dans un ciel bleu au-dessus des nuages, en plein soleil. On a vu que le rayonnement UV augmente avec l'altitude au-dessus de 7500m, mais on constate que le **rayonnement infrarouge reste constant**. Ce qui prouve d'ailleurs que l'inclinaison du soleil reste

constante et que l'augmentation du rayonnement UV est bien due à la proportion croissante d'UV de courte longueur d'onde avec l'altitude.

4) Variations du rayonnement à l'éclatement

A l'éclatement la nacelle perd brusquement la force ascensionnelle qui l'entraînait vers le haut. La nacelle part en chute libre car la densité de l'air à cette altitude est insuffisante pour mettre en action le parachute. La nacelle est alors bringuée en tous sens et les capteurs semblent « s'affoler ».



Ce zoom sur les 5 minutes autour de l'éclatement montre bien le changement dans les oscillations du rayonnement (aussi bien UV qu'infrarouge) mesuré par nos capteurs. On passe d'oscillations lentes (4 par minute) à des oscillations plus rapides (7 par minute) après l'éclatement. Avec, au moment de l'éclatement, un passage beaucoup plus long (près de 40s) où les capteurs semblent être côté opposé au soleil puisqu'ils donnent quasiment zéro.

5) Conclusion

Les mesures réalisées par les 2 capteurs infrarouge et UV ont permis de montrer qu'en haute altitude la quantité de rayonnement UV de courte longueur d'onde augmente au fur et à mesure qu'on s'élève dans la stratosphère, alors que le rayonnement infrarouge reste constant. La proportion d'UV B et C est donc bien plus importante dans la stratosphère qu'au sol. Un être humain n'y survivrait pas sans protection (sans compter la température proche de -60°C et la pression très basse).

A 20000m, nous sommes en plein dans la couche d'ozone, là où les UV C arrivent en quantité et où, telles des vagues d'énergie se brisant sur des récifs, leur énergie est absorbée par les

molécules de dioxygène. Sous l'effet de cette énergie, les molécules d'O₂ sont brisées, libérant des atomes d'oxygène qui vont se combiner pour former l'ozone.

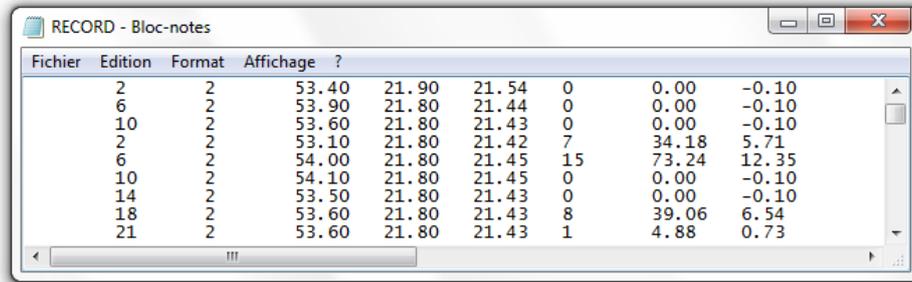


Croissant de lune sur fond bleu outre-mer, vers 20000m

6) Les données des capteurs Arduino : humidité et vitesse du son

1) Les données

Les données sont stockées sur une carte SD sous la forme d'un fichier texte :



Fichier	Edition	Format	Affichage	?					
2	2	53.40	21.90	21.54	0	0.00	-0.10		
6	2	53.90	21.80	21.44	0	0.00	-0.10		
10	2	53.60	21.80	21.43	0	0.00	-0.10		
2	2	53.10	21.80	21.42	7	34.18	5.71		
6	2	54.00	21.80	21.45	15	73.24	12.35		
10	2	54.10	21.80	21.45	0	0.00	-0.10		
14	2	53.50	21.80	21.43	0	0.00	-0.10		
18	2	53.60	21.80	21.43	8	39.06	6.54		
21	2	53.60	21.80	21.43	1	4.88	0.73		

On copie le texte sur EXCEL. On obtient un tableau de 2672 lignes sur 8 colonnes.

La carte est programmée pour effectuer une mesure toutes les 4 secondes. On aurait donc un peu moins de 3 heures de mesures à partir de la mise sous tension.

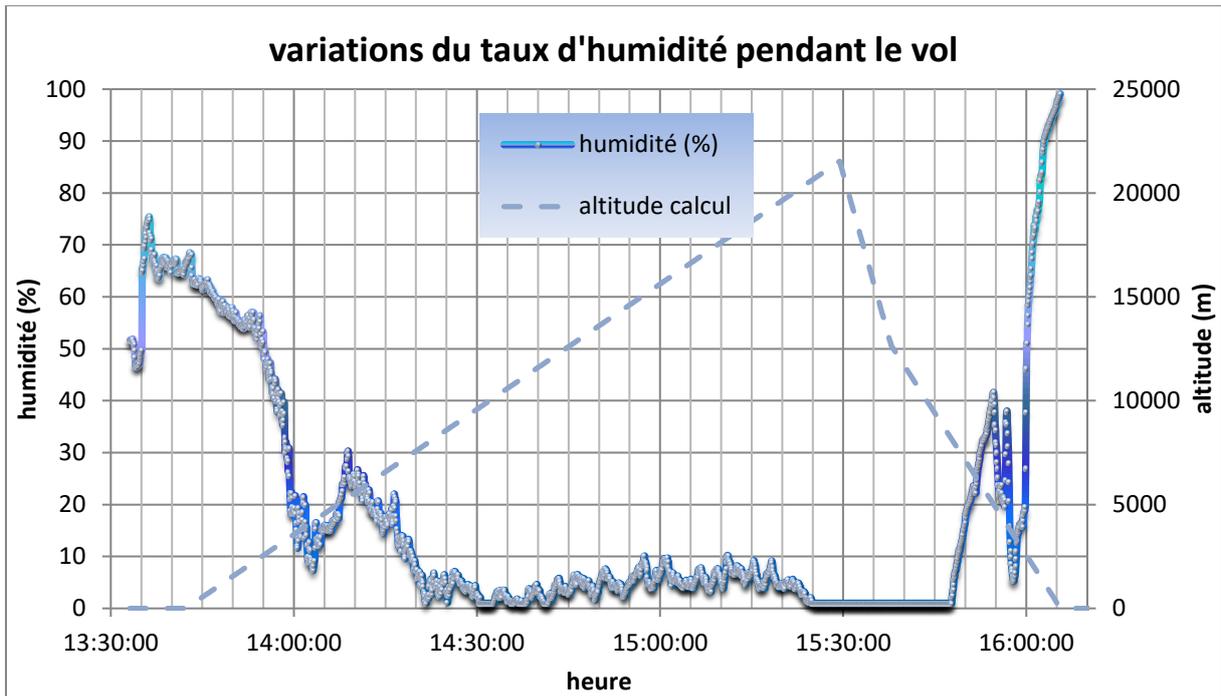
La mise sous tension a été effectuée au QG une première fois pour des essais. Puis on a éteint et refait de nouveaux essais. On repère ces mises sous tensions par les nouveaux décomptes de temps en secondes dans la première colonne. Exemple : 2, 6, 10, puis à nouveau : 2, 6, 10...

On supprime donc toutes les valeurs prises avant la mise sous tension définitive pour le vol effectuée à 13 : 33 : 07. (68 mesures sont ainsi éliminées, soit 4 minutes d'essais).

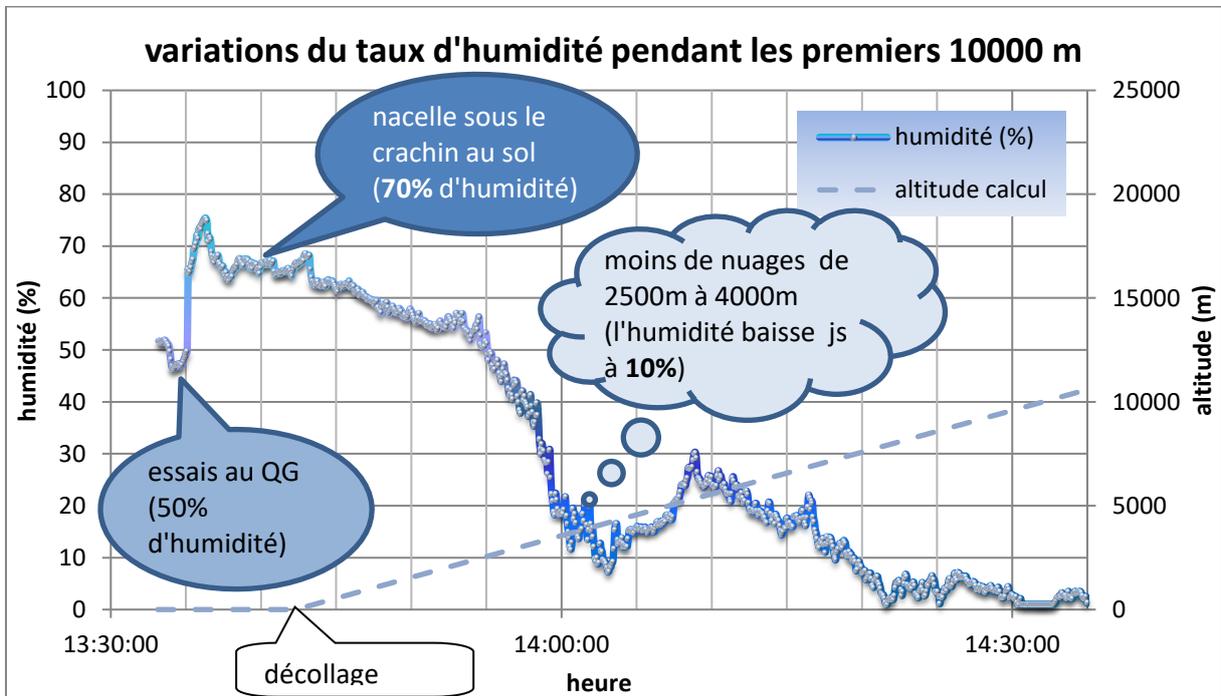
13:33:07	temps (s)	d (cm)	humidité (%)	temp (°C)	temp ressentie (°C)
13:33:13	6	2	51,7	21,4	20,95
13:33:17	10	2	51,6	21,4	20,94
13:33:21	14	2	51,6	21,4	20,94
13:33:25	18	2	51,5	21,4	20,94
13:33:28	21	2	51,7	21,4	20,95

On crée une colonne « heure » en ajoutant la différence de temps entre 2 mesures successives (4s) à l'heure de mise sous tension 13 : 33 : 07.

2) L'humidité en altitude



On voit nettement le taux d'humidité descendre de 65 % (au sol) à presque 0 % pendant toute la montée. Le détail de la première heure d'ascension fait apparaître une chute spectaculaire vers 13h55, après 13 minutes de montée, vers 2500 m :

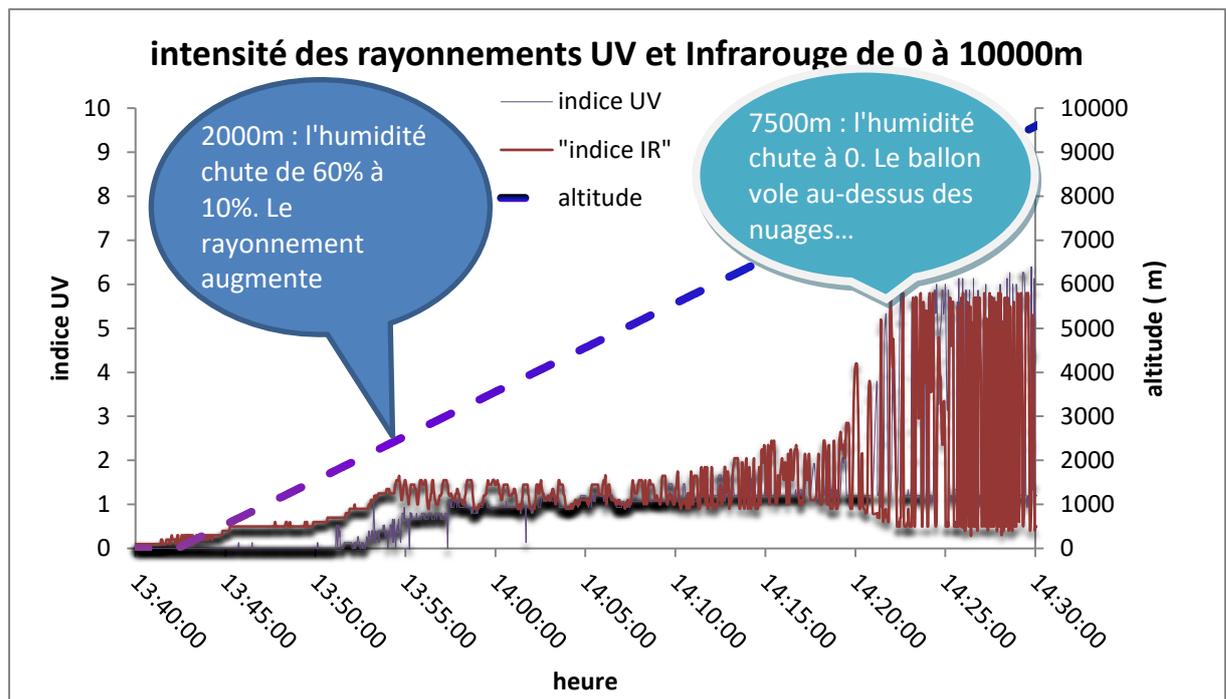


Nous interprétons les variations du taux d'humidité par la présence de nuages chargés en eau. La première baisse spectaculaire de l'humidité nous fait conclure à une **absence de nuages entre 2500 m et 4000 m**.

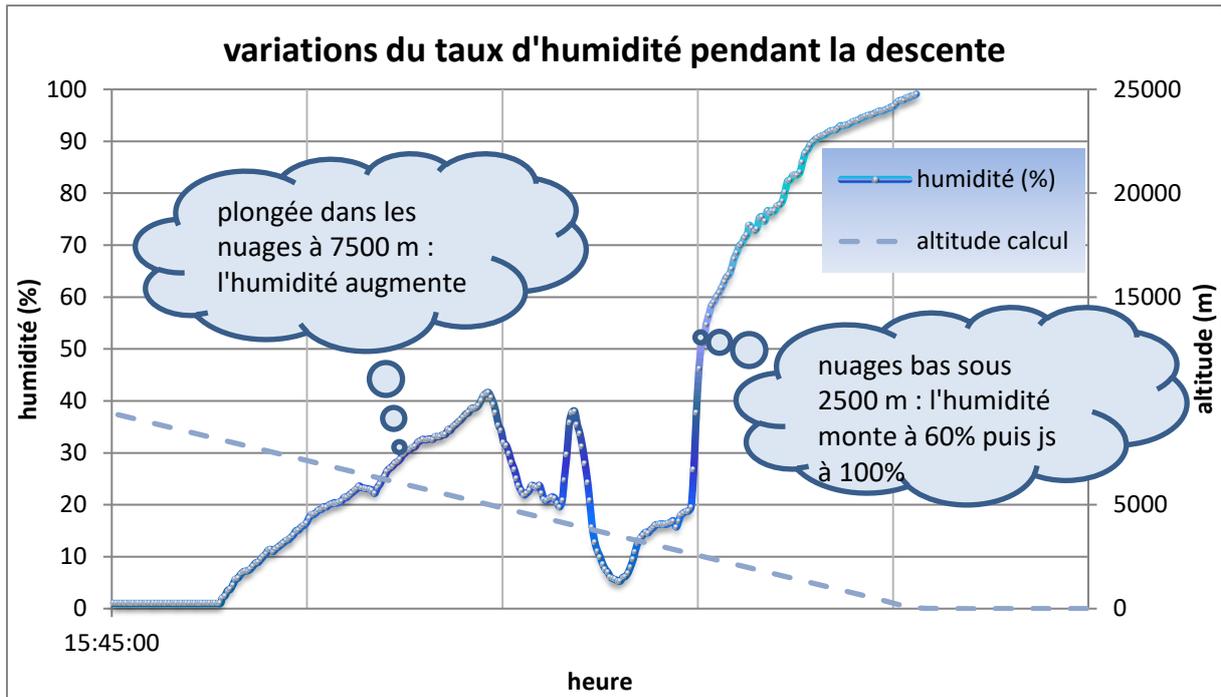
La seconde baisse du taux d'humidité se termine vers 14h25, vers 7500 m. Donc, **la dernière couche de nuages plafonne à 7500 m.**

Au-dessus de 10000m le taux d'humidité reste inférieur à 10 %. On mesure 1 % pendant plus de 20 minutes à partir de 20000 m pendant l'ascension et entre 22000 m et 10000 m pendant la descente.

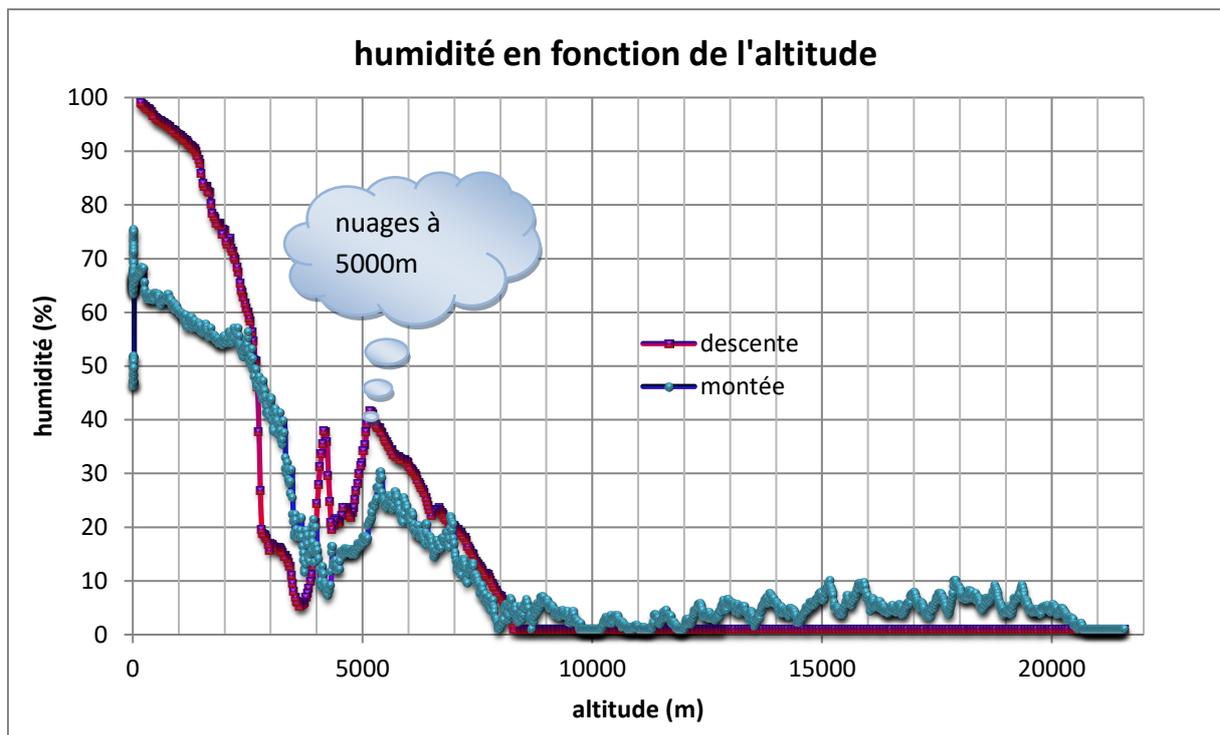
Nous pouvons croiser les données d'humidité avec celles du rayonnement infrarouge. Nous avons déjà remarqué une augmentation du rayonnement infrarouge à 13h55. Simultanément le taux d'humidité passe de 60% à 10%. Puis à 14h20, l'augmentation spectaculaire du rayonnement coïncide avec la chute du taux d'humidité à 0. Le ballon vient de franchir la dernière couche de nuages à 7500m.



La descente s'effectue à 160 km de Rennes et on peut supposer que la couche nuageuse n'est pas répartie de la même manière. On constate en effet dans le film que la nacelle plonge dans une couche nuageuse épaisse vers 16h, 5 minutes avant l'atterrissage. L'altitude de la nacelle est alors estimée à 2500m, ce qui situe la couche de nuage dans l'Orne bien plus basse que dans la région de Rennes. Cela est confirmé par une remontée spectaculaire du taux d'humidité passant de 10 à quasiment 100 % en traversant ces nuages jusqu'à l'atterrissage.



Pour croiser les données humidité et altitude, il nous faut recalculer les valeurs de l'altitude à chaque instant où nous avons une mesure de l'humidité. On obtient alors la courbe suivante :

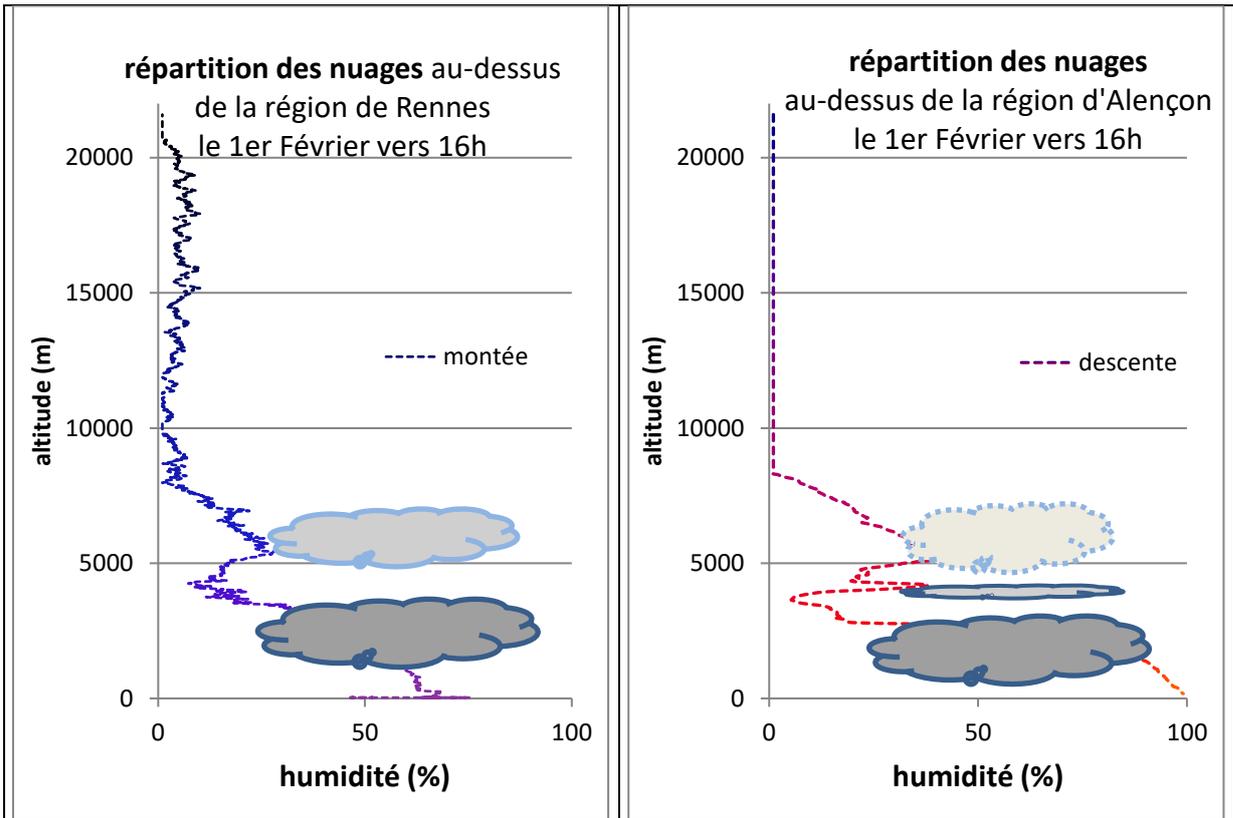


Globalement, les courbes d'humidité à l'ascension et à la descente ont la même forme. Les écarts s'expliquent en bonne partie par la distance parcourue (plus de 150 km) entre la montée et la descente.

On retrouve **un taux d'humidité proche de 0 % au-dessus de 7500 m, car il n'y a plus de nuages.**

Egalement un pic d'humidité à 5500 m (30 à 40 %) puis un minimum à 5% vers 4000 m. On confirme donc un **amincissement de la couche nuageuse entre 2500 m et 4000 m.**

On peut en déduire une cartographie de la répartition des nuages en altitude.

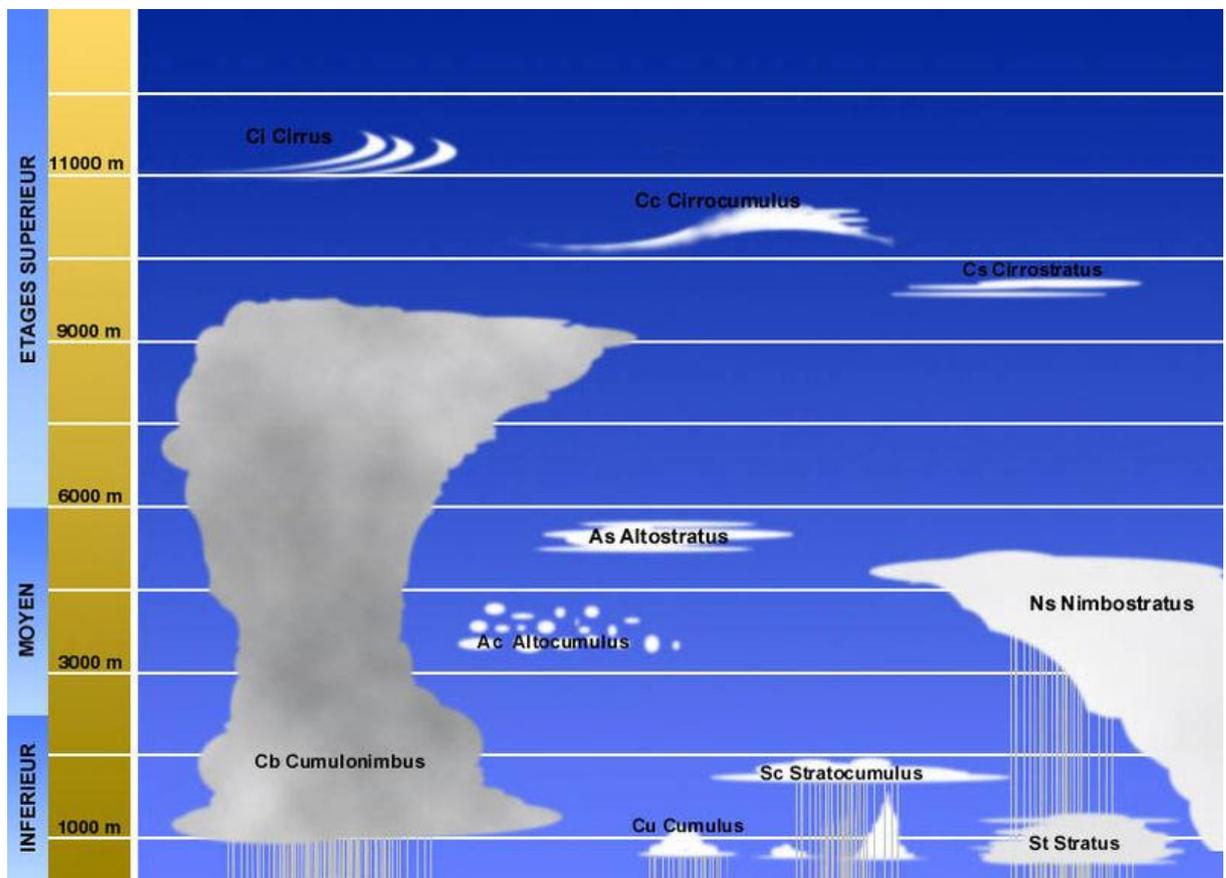
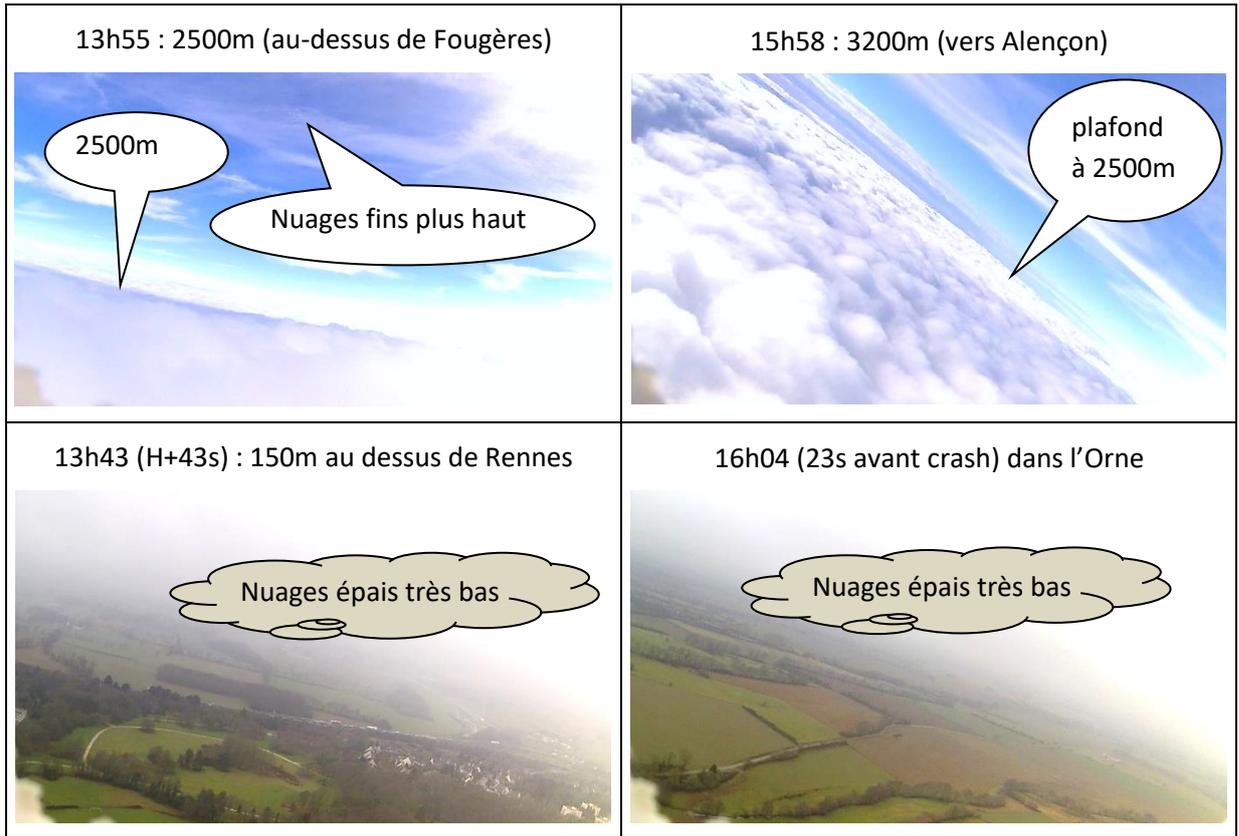


15h31 : 22000m

Compte tenu de l'ombre des nuages située à droite, on peut déduire que le soleil est à gauche.

Compte tenu de l'heure UTC 14h30, soit 2h30 après midi et 2h30 avant le coucher du soleil (le 1^{er} Février), le soleil est situé au sud-sud-ouest.

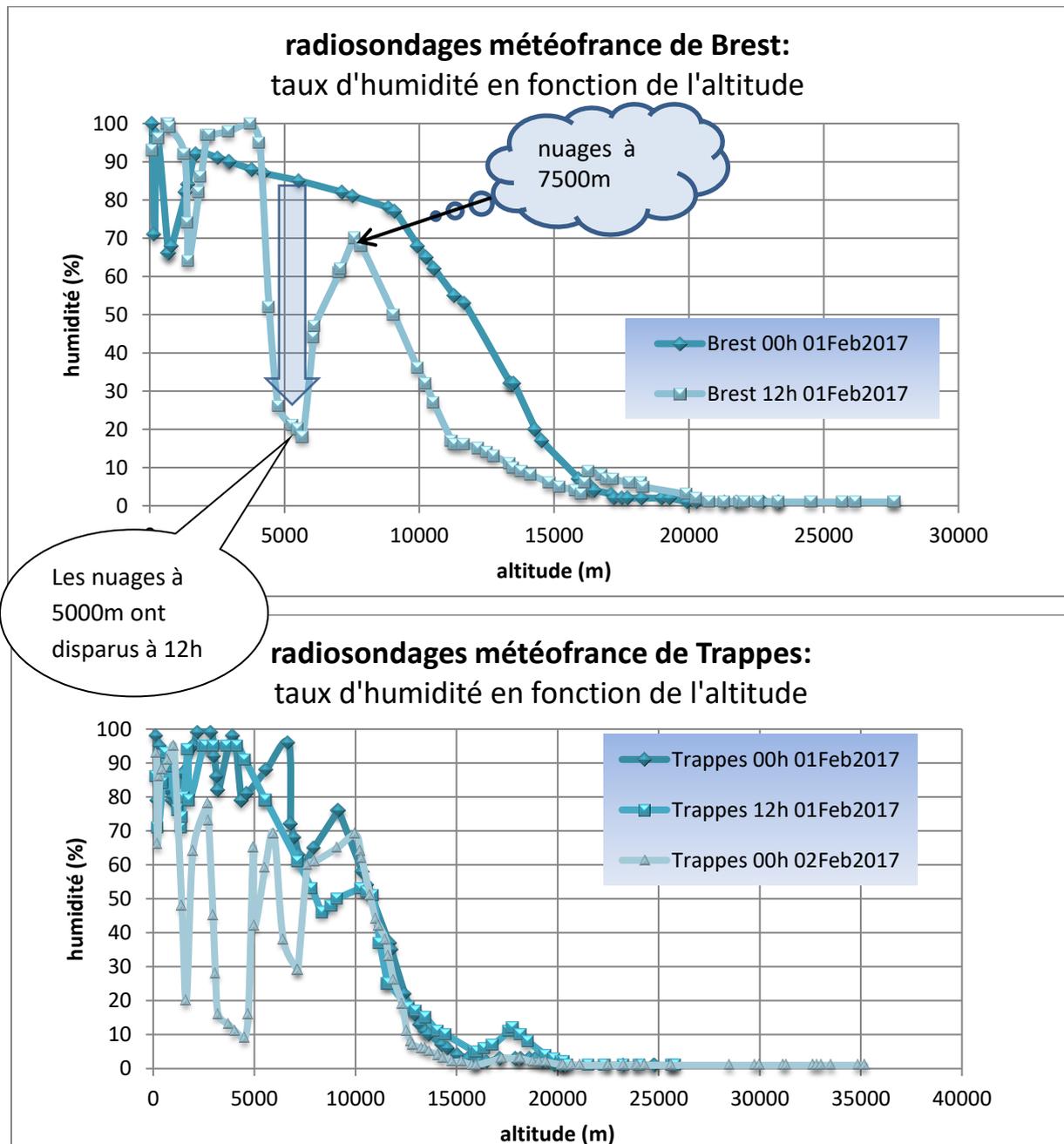




Les différents types de nuages selon l'altitude (source : wiki <https://fr.wikidia.org/wiki/Nuage>)

3) Comparaison avec les données des radiosondages de Météo France

Les radiosondages de Météo-France sont accessibles sur le site de l'université du Wyoming (plus facilement que sur le site de Météo-France !) : <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

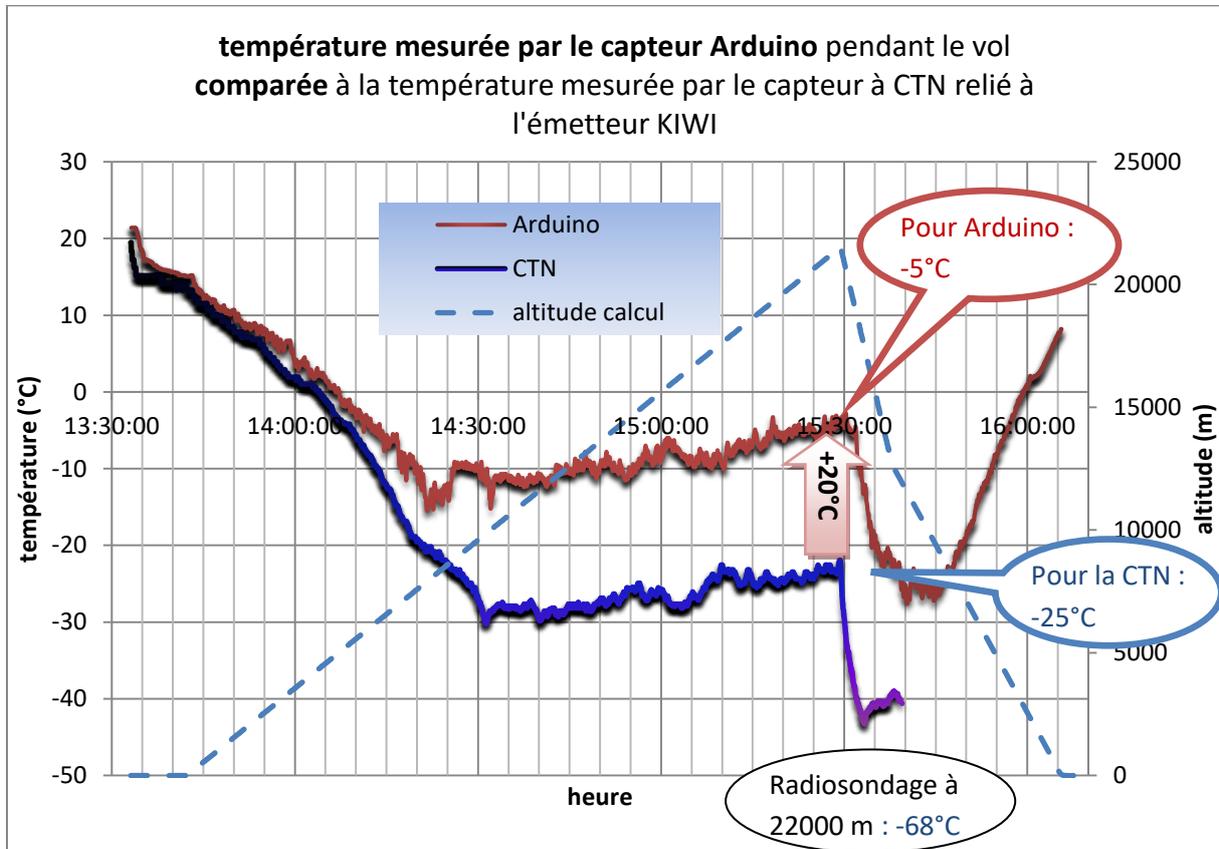


Globalement, le taux d'humidité diminue avec l'altitude. Les radiosondages de Trappes et Brest donnent tous un taux d'humidité proche de 0% à partir de 15000m. Alors que notre capteur donne quasiment 0% dès 8000m. Doit-on remettre en cause nos valeurs d'altitude ? Peut-être... On pourrait aussi remettre en cause les valeurs données par le capteur d'humidité : celui-ci donnerait 0% quand le taux d'humidité réel est de 30% ?

On peut aussi interpréter les écarts en considérant que la couverture nuageuse varie beaucoup dans une journée, comme le montrent les radiosondages effectués à 0h puis 12h (des nuages présents à 0h à 5000m ont disparus à 12h).

4) La température

Le capteur d'humidité effectuait une mesure de la température. Il affichait également la température ressentie en prenant en compte l'humidité.



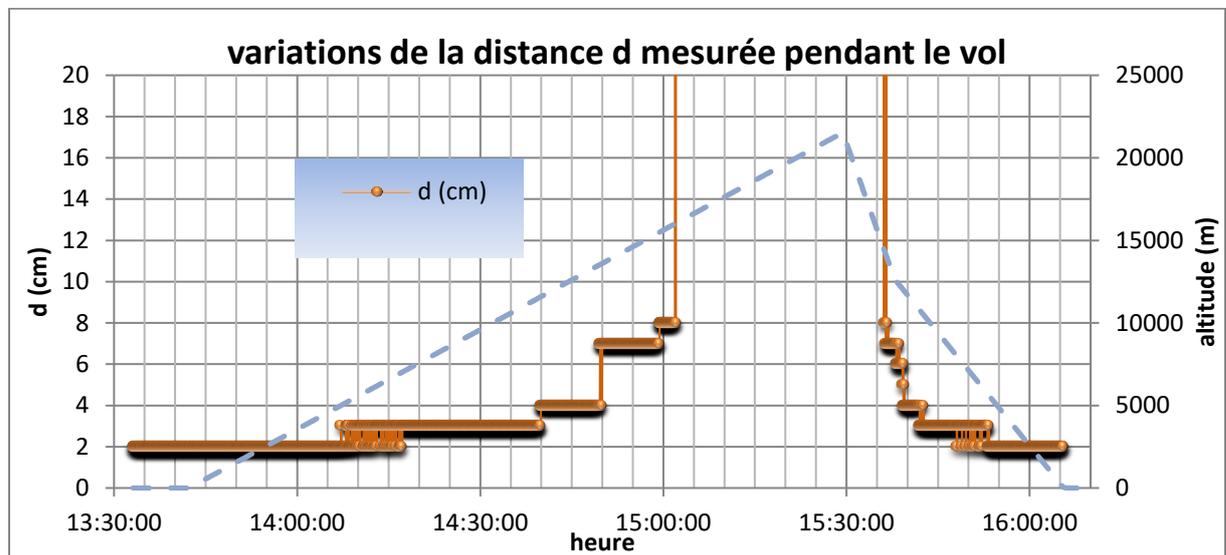
Les mesures effectuées par le capteur DHT relié à la carte Arduino sont encore plus mauvaises que celles réalisées par notre capteur à CTN (jusqu'à 20°C d'écart !). Elles surestiment les valeurs réelles de plus de 60°C à la culmination puisque le capteur affiche -5°C C quand il fait là-haut -68°C !

Par contre les courbes relevées suivent les mêmes tendances. Légère remontée vers 10000m (ce qui n'est pas conforme aux valeurs réelles qui continuent de baisser, mais la remontée a lieu en même temps). Et chute très nette dans les courbes juste après l'éclatement, pendant la descente à grande vitesse.

On peut supposer que ce capteur fournit de mauvaises valeurs pour les mêmes raisons que le capteur à CTN puisque les tendances sont les mêmes. Avec un défaut en plus pour le capteur DHT : celui de ne pas être protégé du rayonnement solaire ! (Mais il est vrai qu'on l'utilisait essentiellement pour ses mesures du taux d'humidité).

5) La vitesse du son

Rappelons le principe : un émetteur envoie régulièrement des salves d'ultrasons sur un obstacle situé à une distance fixe. Un récepteur en capte l'écho et on mesure le retard de l'écho par rapport à l'émission. A partir de ce retard, un programme sous Arduino déduit la distance de l'obstacle en supposant la vitesse du son constante. Oui c'est un peu étrange...



Les valeurs calculées sont **fausses en valeur absolue** car le programme de base (un classique) n'a pas été optimisé pour s'adapter à notre situation. Par contre, **l'évolution des valeurs mesurées correspond à ce qu'on pouvait s'attendre**.

On sait que **la vitesse du son décroît quand la température diminue** selon la loi approximative : $v_{son} = \sqrt{20 \cdot T}$ (ou T désigne la température en K). Si on mesure la distance D de l'obstacle en supposant la vitesse du son constante alors qu'en réalité elle diminue (puisque lorsque le ballon s'élève la température diminue) le calcul nous donnera des distances D de plus en plus grandes.

Cependant on remarque que cette **augmentation de D est exagérée**. D passe de 2 cm au sol à 8 cm à 15000 m. D a été multipliée par 4 ! La vitesse du son devrait donc avoir été divisée par 4 et la température T devrait avoir été divisée par 16, passant de 290 K à 18 K, ce qui représente une température de -255°C ! Totalement irréaliste.

Notons au passage les valeurs **anormalement** élevées (en-dehors du graphique) lorsque le ballon est **au-dessus de 10000 m**, à la montée et à la descente. A rapprocher du **disfonctionnement du module GPS Arduino** à ces mêmes altitudes...

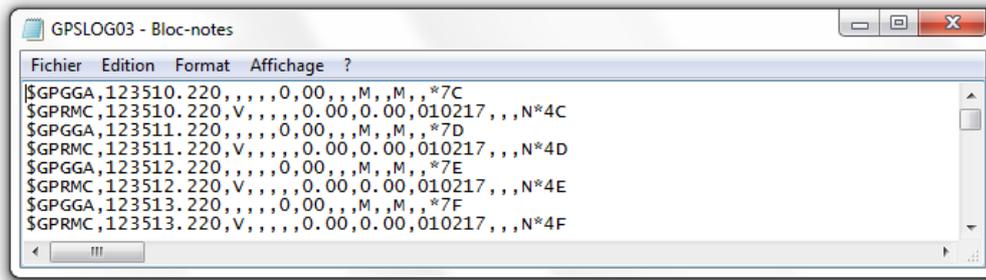
Cette expérience dans la nacelle demande à être sérieusement améliorée. Il faudrait commencer par s'interroger sur les valeurs mesurées par **paliers** : il n'y a pas de valeur intermédiaire entre 2cm et 3cm, ni entre 3cm et 4cm, etc... Le dispositif n'a pas été **étalonné avec rigueur** dans la salle de TP à température ambiante. Il aurait fallu comparer la valeur mesurée par le dispositif et la valeur mesurée avec un mètre. **Modifier également le programme** pour qu'il donne la vitesse du son et non la distance D en supposant la vitesse du son constante. Et il aurait fallu procéder à **des mesures dans le congélateur et faire varier la température jusqu'à -25°C**.

7) Les données GPS

1) Les données du capteur GPS Arduino

a) Les données d'altitude

Ces données sont sous la forme d'un fichier texte dont les premières valeurs sont celles mesurées à la mise sous tension des cartes Arduino à 12h35:10 UTC soit **13h35:10**. Elles sont inexploitable car le capteur n'avait pas encore détecté de satellites :

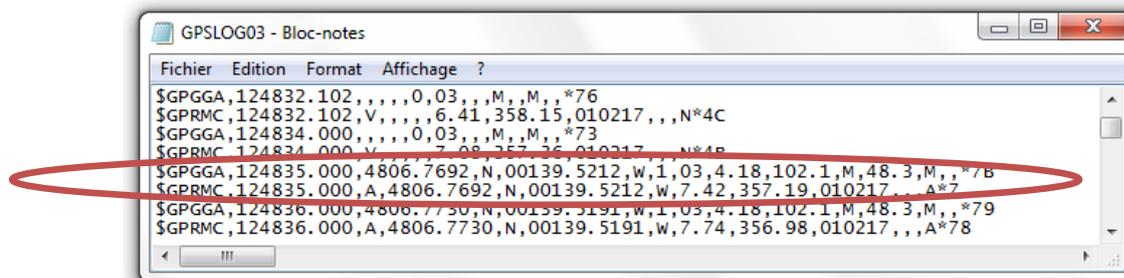


```

$GPGGA,123510.220,,,,,0,00,,M,,M,,*7C
$GPRMC,123510.220,V,,,,,0.00,0.00,010217,,N*4C
$GPGGA,123511.220,,,,,0,00,,M,,M,,*7D
$GPRMC,123511.220,V,,,,,0.00,0.00,010217,,N*4D
$GPGGA,123512.220,,,,,0,00,,M,,M,,*7E
$GPRMC,123512.220,V,,,,,0.00,0.00,010217,,N*4E
$GPGGA,123513.220,,,,,0,00,,M,,M,,*7F
$GPRMC,123513.220,V,,,,,0.00,0.00,010217,,N*4F

```

Il faut attendre **13h48:35** (12h48:35 UTC) pour que le capteur détecte un nombre suffisant de satellites :



```

$GPGGA,124832.102,,,,,0,03,,M,,M,,*76
$GPRMC,124832.102,V,,,,,6.41,358.15,010217,,N*4C
$GPGGA,124834.000,,,,,0,03,,M,,M,,*73
$GPRMC,124834.000,V,,,,,7.08,357.36,010217,,N*4B
$GPGGA,124835.000,4806.7692,N,00139.5212,W,1,03,4.18,102.1,M,48.3,M,,*7B
$GPRMC,124835.000,A,4806.7692,N,00139.5212,W,7.42,357.19,010217,,A*7
$GPGGA,124836.000,4806.7730,N,00139.5191,W,1,03,4.18,102.1,M,48.3,M,,*79
$GPRMC,124836.000,A,4806.7730,N,00139.5191,W,7.74,356.98,010217,,A*78

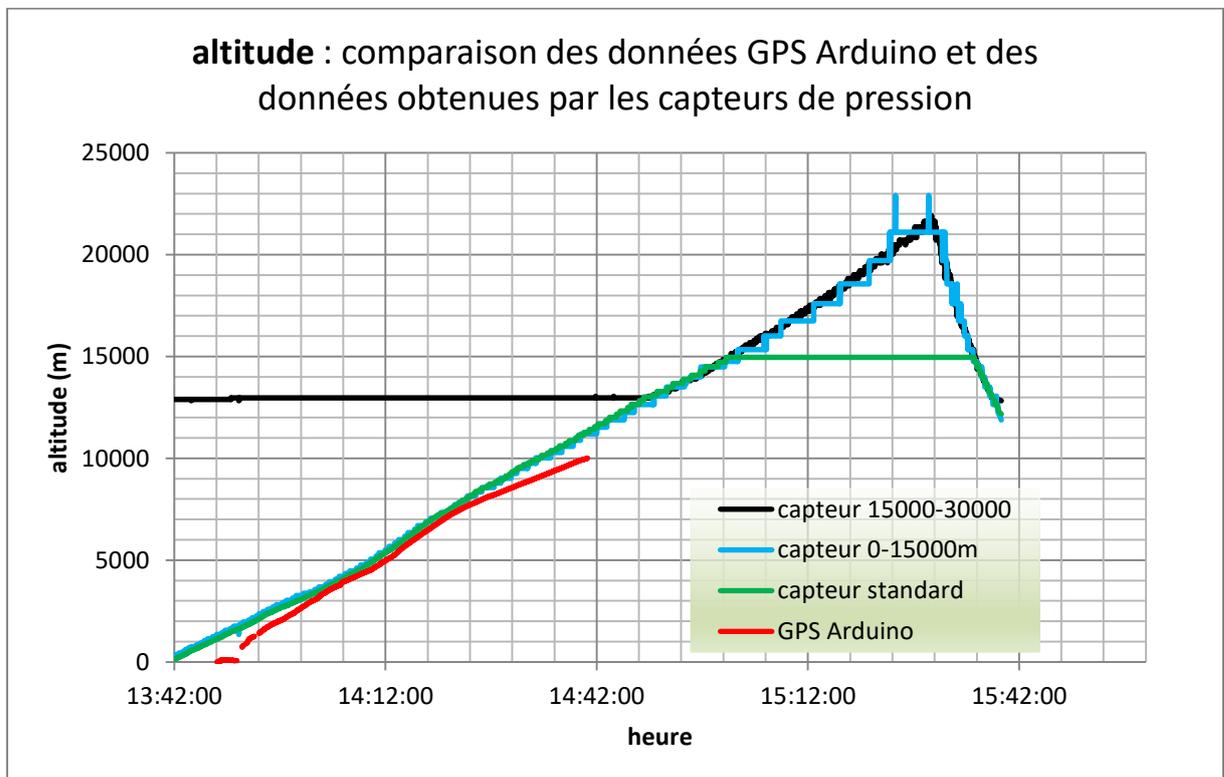
```

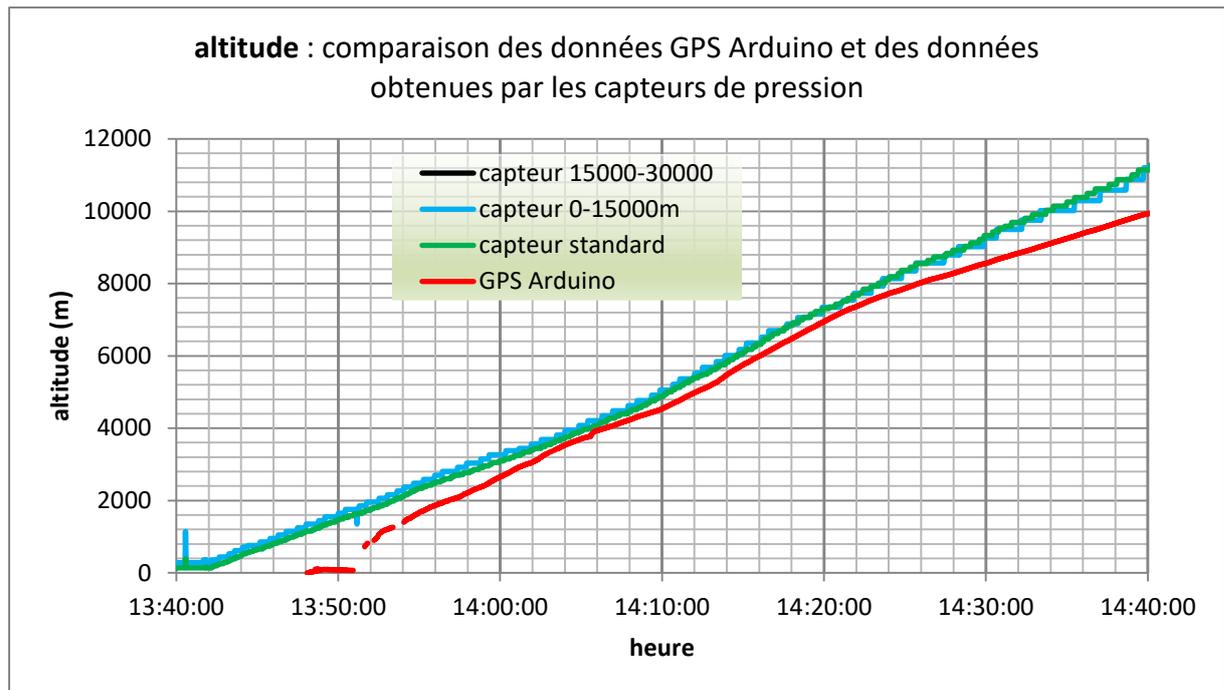
On copie ces valeurs sur EXCEL. Un tri alphabétique permet de séparer les trames GPRMC des trames GPGGA. Ces dernières donnent l'altitude. Mais une première lecture des valeurs mesurées révèle **des incohérences** : à 13h48:51 le ballon est censé se trouver à l'altitude 102m, puis l'altitude diminue jusqu'à 13h50:55 où le ballon se trouverait à 68m ! Ensuite les mesures s'interrompent jusqu'à 13h51:38 et l'altitude mesurée est alors de 723,8m !

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	trame	heure UTC			latitude		longitude		GPS satellites		précision	altitude		écart WGS84				
1176	\$GPGGA	125135	0						0	4			M	M				*7D
1177	\$GPGGA	125136	0						0	4			M	M				*7E
1178	\$GPGGA	125137	0						0	4			M	M				*7F
1179	\$GPGGA	125138	0	4807.4819	N	00137.4480	W	1	4	3.09	723.8	M	48.2	M				*7E
1180	\$GPGGA	125139	0	4807.4896	N	00137.4425	W	1	4	3.09	736.7	M	48.2	M				*7C
1181	\$GPGGA	125140	0	4807.4963	N	00137.4319	W	1	4	2.99	745.3	M	48.2	M				*79
1182	\$GPGGA	125141	0	4807.5026	N	00137.4165	W	1	4	2.99	753.0	M	48.2	M				*7C
1183	\$GPGGA	125142	0	4807.5103	N	00137.4003	W	1	4	2.99	763.5	M	48.2	M				*7E
1184	\$GPGGA	125143	0	4807.5163	N	00137.3892	W	1	4	2.99	773.2	M	48.2	M				*78
1185	\$GPGGA	125144	0	4807.5220	N	00137.3775	W	1	4	2.99	781.5	M	48.2	M				*77
1186	\$GPGGA	125145	0	4807.5255	N	00137.3608	W	1	4	2.99	789.4	M	48.2	M				*76
1187	\$GPGGA	125146	0	4807.5294	N	00137.3427	W	1	4									
1188	\$GPGGA	125147	0	4807.5346	N	00137.3268	W	1	4									
1189	\$GPGGA	125148	0	4807.5403	N	00137.3083	W	1	4	2.99	811.2	M	48.2	M				*73

Plusieurs interruptions dans les mesures se succèdent jusqu'à la dernière valeur mesurée à 14h40:41, le ballon se trouverait alors à l'altitude 9998,9m. Comme l'an passé les mesures cessent au-dessus de 10000m. Ce qui serait donc une limite de mesure pour ce capteur GPS. Par contre les mesures ne reprennent pas à la descente en-dessous de 10000m.

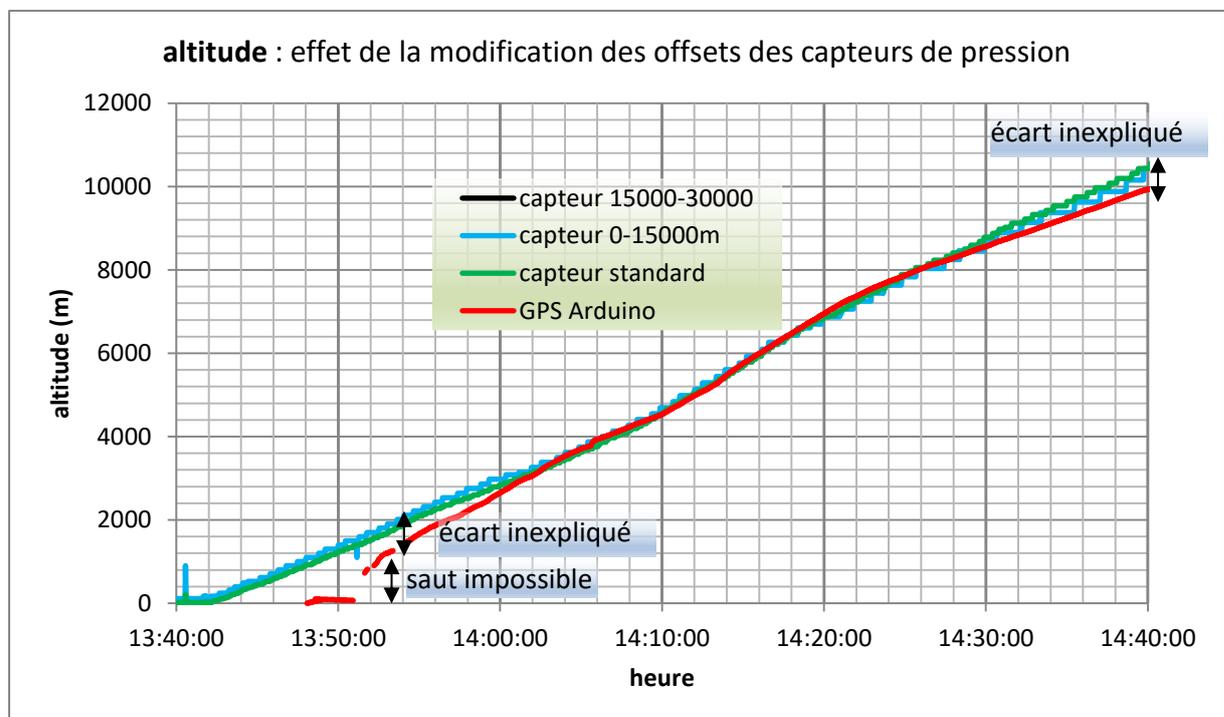
On peut douter de la fiabilité des mesures d'altitude. Le nombre de satellites captés que le capteur GPS affiche varie de 4 (entre 1000m et 3000m) à 7 (entre 8000m et 10000m). Comparons les valeurs de l'altitude mesurées par nos capteurs de pression avec celles mesurées par le capteur GPS Arduino.





Il est certain que les premières valeurs données par le capteur GPS sont fausses. On peut donc raisonnablement douter des autres valeurs. Il y a un écart de plus de 1000m (soit 10%) à 14h41, lorsque le capteur GPS affiche sa dernière valeur de 10000m, nos capteurs de pression donnent une valeur de plus de 11000m.

On peut envisager de modifier la courbe d'étalonnage des capteurs de pression pour « faire coller » la courbe d'altitude donnée par les capteurs de pression avec celle donnée par le capteur GPS.



Si on modifie les offsets des 2 capteurs basse altitude, les courbes « collent » à peu près entre 4000m et 8000m. Mais il reste que les valeurs données par le capteur GPS sont vraiment fausses

au début. Et qu'on peut vraiment douter des valeurs entre 8000m et 10000m car tous les capteurs de pression indiquent alors une valeur de pression qui diminue plus que ne le laisse entendre la courbe d'altitude donnée par le capteur GPS.

On ne modifiera donc pas les offsets des capteurs de pression. (D'autant qu'avec ces modifications, l'altitude atteinte ne serait plus que de 18500m !)

Le capteur GPS retrouve enfin plus de 3 satellites à 17h00:32. Il indique une altitude de 190m : la nacelle a atterri depuis presque une heure !

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	trame	heure UTC			latitude		longitude		GPS	satellites	précision	altitude		écart WGS84				
12507	\$GPGGA	160027	0						0	3			M	M				*79
12508	\$GPGGA	160028	0						0	3			M	M				*76
12509	\$GPGGA	160029	0						0	3			M	M				*77
12510	\$GPGGA	160030	0						0	3			M	M				*7F
12511	\$GPGGA	160031	0						0	4			M	M				*79
12512	\$GPGGA	160032	0	4839.1350	N	00008.7951	W	1	4	1.67	190.0		M	47.3	M			*77
12513	\$GPGGA	160033	0	4839.1358	N	00008.7950	W	1	4	1.68	184.4		M	47.3	M			*71
12514	\$GPGGA	160034	0	4839.1363	N	00008.7940	W	1	5	1.62	176.5		M	47.3	M			*78
12515	\$GPGGA	160035	0	4839.1368	N	00008.7950	W	1	5	1.62	184.0		M	47.3	M			*7B
12516	\$GPGGA	160036	0	4839.1368	N	00008.7960	W	1	5	1.62	190.2		M	47.3	M			*7C

Dernière mesure à 19h03:21 : nous avons alors retrouvé la nacelle et je viens de mettre l'interrupteur général sur OFF !

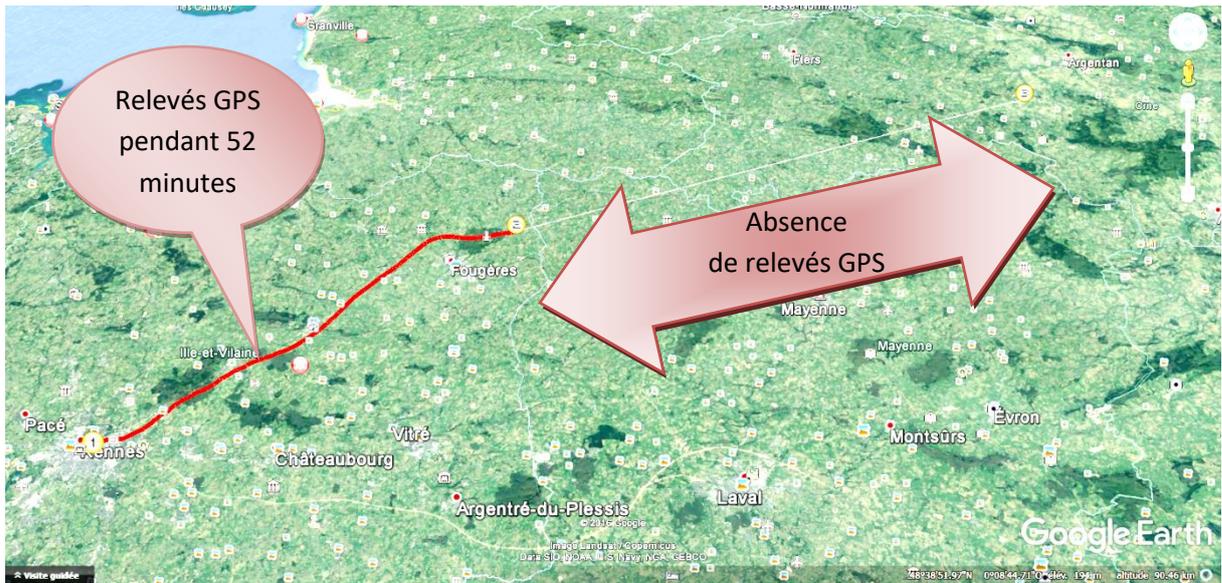
b) Les coordonnées GPS mémorisées par le capteur Arduino

On a déjà mentionné les incohérences dans les valeurs mesurées pour l'altitude ainsi que les interruptions successives de mesures. Il en est de même pour le relevé des coordonnées GPS.

On dispose de **3000 relevés GPS toutes les secondes pendant un peu moins d'une heure**, entre 13h48:35 et 14h40:41. Les relevés reprennent une fois la nacelle atterrie à 17h00:32 jusqu'à 19h03:21.

Après conversion des coordonnées GPS en décimal (méthode expliquée plus bas) il nous faut garder seulement 200 relevés sur les 3000.

Astuce pour supprimer une ligne sur 15 dans EXCEL : on crée une nouvelle colonne avec la suite des entiers de 1 à 15 : 1,2,3,...,15. Puis on répète cette suite (1,2,3,...,15, 1,2,3,...,15, 1,2,3,...,15, etc...) dans la colonne jusqu'à la ligne 3000. Enfin on trie du plus petit au plus grand en étendant la sélection aux colonnes voisines. On ne garde que les 200 lignes correspondant à 1 et on supprime les 2800 lignes suivantes.



2) Les données obtenues par les traceurs GPS

a) Bilan des données mémorisées

Le traceur **GPS TK102-2** vendu **120€** par Geo Traceur n'a absolument rien mémorisé sur sa carte **micro SD**.

Notre bon vieux traceur GPS « copie du TK-102 » vendu 30€ a lui bien stocké sur sa carte micro SD les coordonnées GPS tout au long du trajet jusqu'à l'atterrissage.

L'instruction était : **save180s030n123456**.

Le traceur devait donc mémoriser **30 positions GPS toutes les 3 minutes (180s)**.

En réalité il a mémorisé **119 positions** espacées de manière peu régulière. Le délai entre 2 relevés variait entre 1 et 3 minutes avec une moyenne de **1,8 minutes**.

b) Conversion du fichier GPS pour exploitation sur Google Earth

Les données sont obtenues sous la forme d'un fichier texte :

```

Fichier Edition Format Affichage ?
imei:868683020981357,tracker,170201143802,,F,123802.000,A,4805.0300,N,00141.2171,W,0.00,0;imei:868
0.00,27.73;imei:868683020981357,tracker,170201145555,,F,125552.000,A,4809.0299,N,00135.0800,W,27.9
7691,N,00129.0970,W,26.93,44.87;imei:868683020981357,tracker,170201150729,,F,130729.000,A,4813.061
,F,132449.000,A,4821.6567,N,00116.8968,W,42.81,36.03;imei:868683020981357,tracker,170201152552,,F,
tracker,170201154107,,F,134105.000,A,4824.4347,N,00105.9234,W,30.60,60.51;imei:868683020981357,tra
imei:868683020981357,tracker,170201155829,,F,135826.000,A,4826.2517,N,00052.6199,W,25.88,87.38;ime
3.2710,W,30.37,71.37;imei:868683020981357,tracker,170201161444,,F,141444.000,A,4828.5557,N,00042.5
00,A,4829.6864,N,00031.1405,W,29.24,86.00;imei:868683020981357,tracker,170201163207,,F,143204.000,
201164724,,F,144720.000,A,4832.6012,N,00019.1006,W,43.01,42.71;imei:868683020981357,tracker,170201
020981357,tracker,170201170444,,F,150441.000,A,4839.1387,N,00008.8070,W,0.00,0;imei:86868302098135
153742.000,A,4839.1387,N,00008.8070,W,0.00,0;imei:868683020981357,tracker,170201174045,,F,154043.0

```

On copie le texte sur WORD et on remplace les points virgules (;) par des sauts de ligne (^) :

heure		heure UTC		latitude		longitude		vitesse	
143802	F	123802.000	A	4805.0300	N	00141.2171	W	0.00	0
144102	F	124101.000	A	4805.0300	N	00141.2171	W	0.00	0
144402	F	124357.000	A	4805.4842	N	00140.8402	W	23.94	29.21
144643	F	124638.000	A	4806.2225	N	00139.5529	W	29.70	52.08
144702	F	124657.000	A	4806.3265	N	00139.3793	W	29.77	47.35

La latitude et la longitude sont exprimées sous le format ddm.mmm.

Exemple : **4805.0300 = 48°05,0300'.**

Il faut donc d'abord séparer les degrés (°) et les minutes ('). On crée 2 colonnes : 1 pour les degrés, l'autre pour la latitude.

latitude		longitude	
degrés	min	degrés	min
48	05.0300	1	41.2171
48	05.0300	1	41.2171
48	05.4842	1	40.8402
48	06.2225	1	39.5529
48	06.3265	1	39.3793

On remplace tous les points par des virgules :

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1					latitude	longitude					
2	heure		heure UTC		degrés	min	degrés	min	vitesse		
3	143802	F	123802.000	A	48	05.0300	1	41.2171	0.00	0	
4	144102	F	124101.000	A	48	05.0300	1	41.2171	0.00	0	
5	144402	F	124357.000	A	48	05.4842	1	40.8402			
6	144643	F	124638.000	A	48	06.2225	1	39.5529			
7	144702	F	124657.000	A	48	06.3265	1	39.3793			

Puis on convertit les minutes en degrés (en divisant par 60) et, ainsi converties, on les ajoute aux degrés :

C3		fx =A3+B3/60									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	latitude (N)			longitude (W)			Heure	Heure UTC	vitesse		
2	degrés°	min	décimal	degrés°	min	décimal					
3	48	5,03	48,0838333	1	41,2171	-1,68695167	143802	123802	0	0	
4	48	5,03	48,0838333	1	41,2171	-1,68695167	144102	124101	0	0	
5	48	5,4842	48,0914033	1	40,8402	-1,68067	144402	124357	23,94	29,21	
6	48	6,2225	48,1037083	1	39,5529	-1,659215	144643	124638	29,7	52,08	
7	48	6,3265	48,1054417	1	39,3793	-1,65632167	144702	124657	29,77	47,35	

(La longitude est affectée d'un signe moins car elle est « ouest ».)

On copie les valeurs obtenues dans un fichier à 2 colonnes : latitude et longitude exprimée en décimal :

	A	B	C	D	E
1	latitude	longitude	Heure	Heure UTC	
2	48,0838333	-1,68695167	143802	123802	
3	48,0838333	-1,68695167	144102	124101	
4	48,0914033	-1,68067	144402	124357	
5	48,1037083	-1,659215	144643	124638	
6	48,1054417	-1,65632167	144702	124657	

Ce fichier ainsi mis en forme va pouvoir être converti en fichier kml sur le site EarthPoint de GoogleEarth : <https://www.earthpoint.us/ExcelToKml.aspx>

Puis on visualise le trajet sur Google Earth.

Earth Point Tools for Google Earth [Sign In / Buy Subscription](#) [Contac](#)

Excel To KML - Display Excel files on Google Earth.

A user account is recommended for the features on this web page.

Import a spreadsheet of lat/long coordinates to Google Earth. Pop-up balloons, icons, and paths are easily created from the spreadsheet data.

Latitude and Longitude are all that is needed to create a basic display on Google Earth. Add a Name, Description, and an [icon](#) for a professional presentation.

Advanced features support [GPS tracks](#), [Time Sliders](#), and [Grid Coordinates](#).

To get started, read the [Quick Start](#) instructions or download the sample data [ExcelToKmlDemo.zip](#).

NEW: AppendDataColumnsToDescription accepts a list of column names.

Select an Excel file (xls, xlsx, xism, xlsb, txt, or csv)

Aucun fichier sélectionné.

Enhanced feature. [What is this?](#)

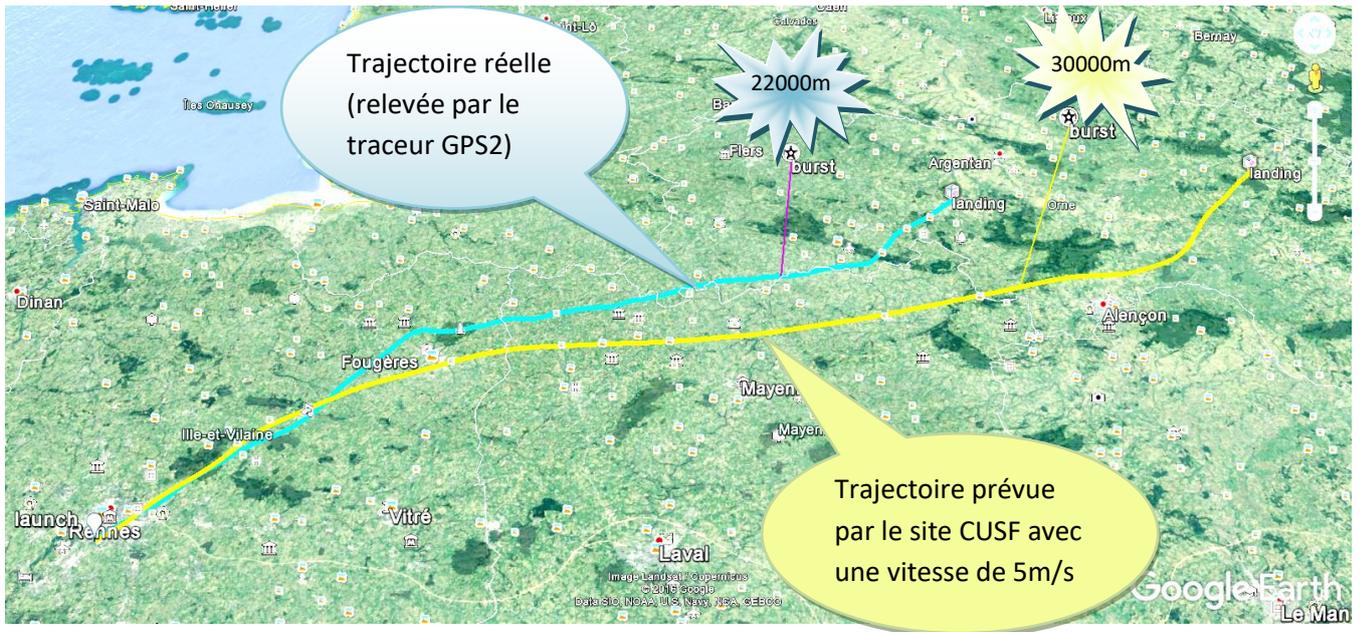
Free. User account is not needed.

You are not signed in to your account. For unrestricted access, please sign in or purchase a subscription. You must have Google Earth installed to use this data.

No errors found.

Sheet: Feuill1
FileName: données traceur GPS en décimal.xlsx

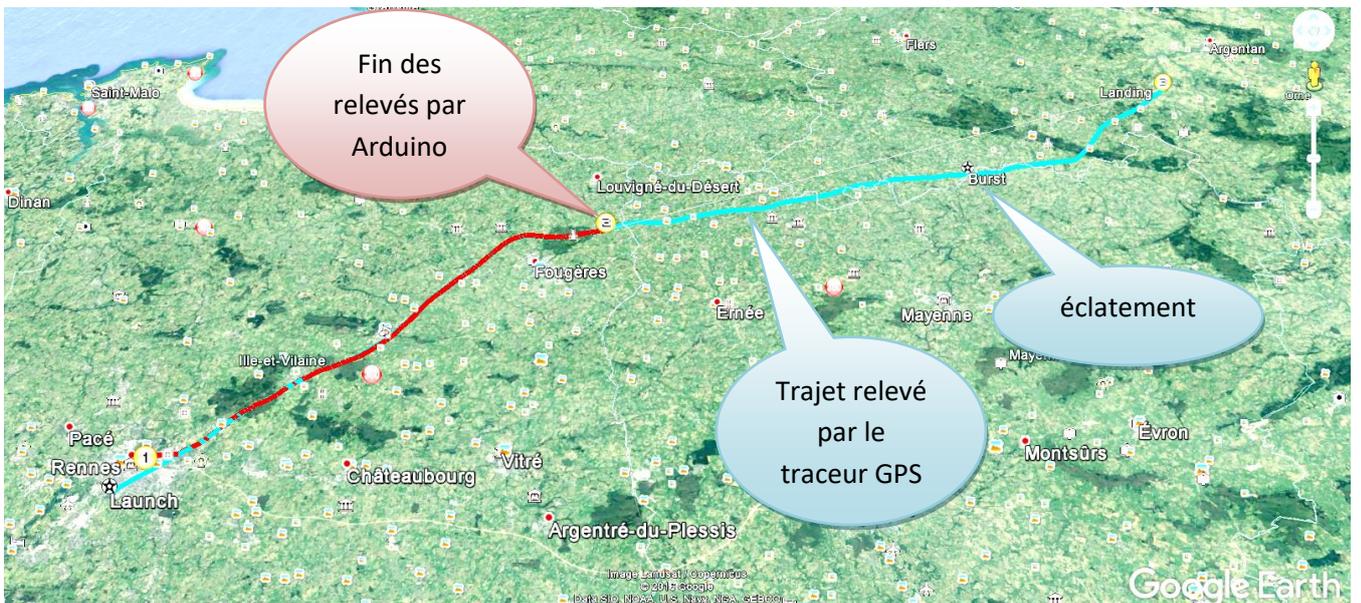
	A	B	C	D	E	F	G
1	latitude	longitude	Heure	Heure UTC			
2	48.08383333	-1.686951667	143802	123802	0	0	
3	48.08383333	-1.686951667	144102	124101	0	0	
4	48.09140333	-1.68067	144402	124357	23.94	29.21	
5	48.10370833	-1.659215	144643	124638	29.7	52.08	



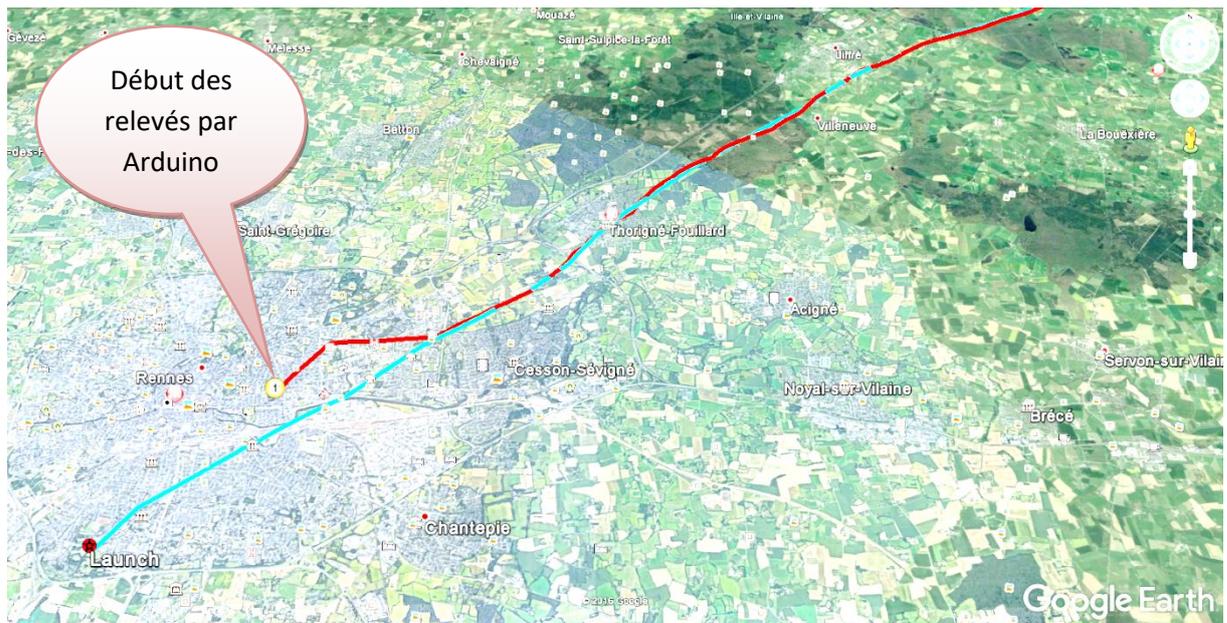
La trajectoire prévue par le site CUSF le jour J à 8h41 avait été mémorisée. Ce qui nous permet de comparer la prévision et la réalité.

La trajectoire réelle relevée par le traceur GPS diverge après une trentaine de km parcourus.

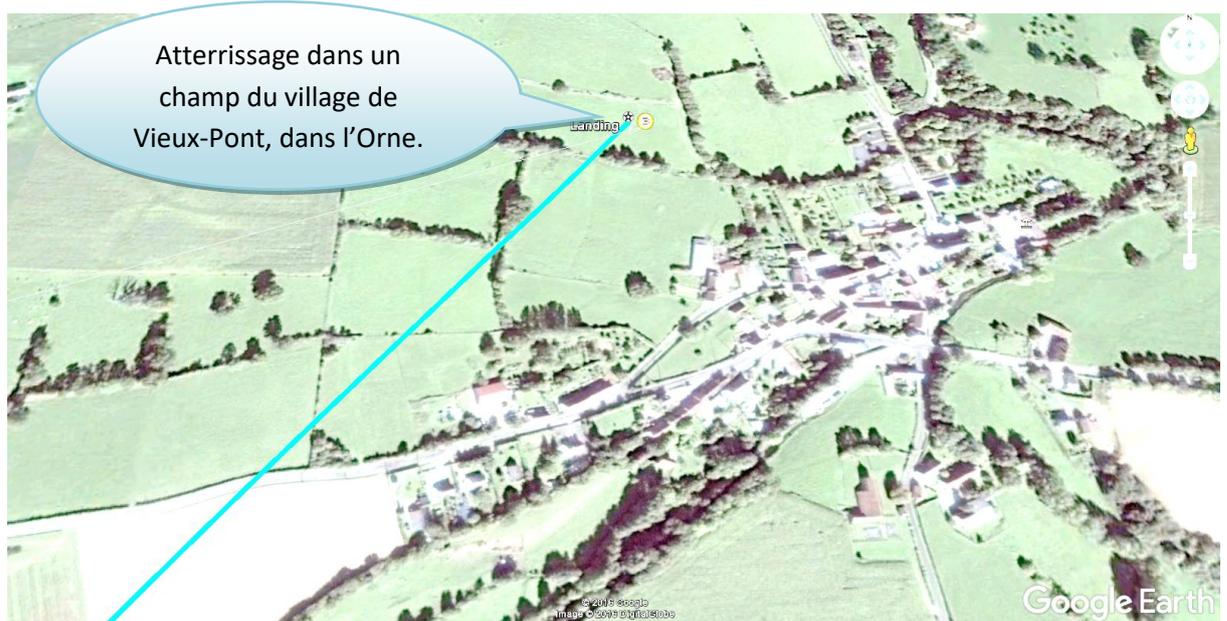
On peut comparer les relevés GPS du traceur et ceux du capteur Arduino.



Les valeurs sont très différentes sur le début du parcours. On a vu que le capteur GPS Arduino n'a pas fonctionné du tout au décollage puis il a fourni des valeurs fausses de l'altitude au début de l'ascension. Il est logique de penser que les coordonnées GPS mesurées au début de l'ascension sont fausses également.

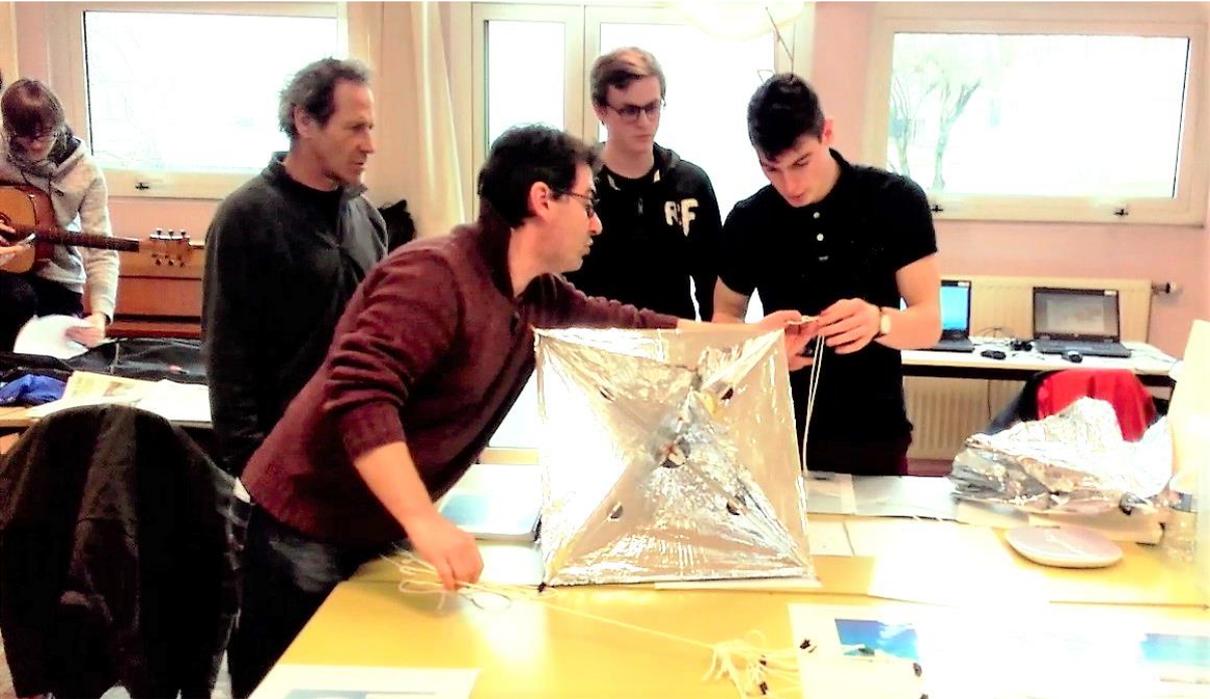


Puis les tracés se recouvrent à peu près jusqu'à la fin des relevés par le capteur Arduino. Lorsque le capteur GPS Arduino se remet à fonctionner, la nacelle a atterri. On confirme bien les coordonnées GPS du lieu d'atterrissage à Vieux-Pont dans l'Orne.



On peut conclure que le capteur GPS Arduino a donné des valeurs correctes de coordonnées GPS pendant 52 minutes avant d'atteindre 10000m. Mais il reste un doute sur les valeurs d'altitude. Si ces valeurs d'altitude étaient correctes cela remettrait en question l'étalonnage de nos capteurs de pression et par voie de conséquence l'altitude de l'éclatement.

Retour sur le jour J, en images









Conclusion

Un projet moins fédérateur

Cette année, notre projet n'aura pas reçu le même accueil auprès des élèves participants. L'an passé tous les élèves avaient immédiatement adhéré à l'idée d'envoyer un ballon dans la stratosphère. Chacun avait travaillé à son rythme et même si certains étaient nettement plus investis que d'autres, les moins bosseurs n'avaient pas entamé l'enthousiasme des perfectionnistes. Cette année, nous avons présenté un projet qui n'avait pas l'avantage d'être une première. Le côté « déjà vu » a peut-être joué en notre défaveur. De plus, nous avons souhaité lancer le ballon suffisamment tôt dans l'année pour pouvoir exploiter les données recueillies et permettre aux élèves de présenter leurs analyses à l'oral de TPE en Mars. Avec une échéance si courte nous avons dû être plus directifs. Mais cela n'explique pas vraiment l'attitude d'élèves et de parents qui, au conseil de classe de décembre, ont critiqué le projet.

Ces déconvenues auxquelles nous ne nous attendions absolument pas ont sérieusement affecté le moral des troupes. L'éventualité de laisser tomber m'a traversé l'esprit. Tant d'investissements pour si peu de reconnaissance... Mais les élèves se comportaient bien pendant les séances. Ils étaient déjà tous bien engagés dans leur travail. Comme si l'incident du conseil ne nous concernait pas. Un sondage d'opinion écrit et anonyme nous a rassurés. Tous voulaient la réussite du projet. Etrange histoire...

Un projet réussi

Et le jour J est arrivé. Avec une météo capricieuse (méfiez-vous des éclaircies prévues par Météo-France, même si ces prévisions se confirment de jour en jour et même si elles datent de moins d'une heure). Tout le travail des élèves a porté ses fruits ce jour-là. Avec plus ou moins de réussite. Mais c'est le propre de ce type de projet. Comme dans le domaine spatial, nous n'avons droit qu'à un seul coup et ça doit être le bon. Il faut donc avoir tout prévu, paré à toute éventualité, vérifié et re-vérifié le fonctionnement de tout le matériel. Malgré tout, l'incident imprévu fait partie du challenge. L'objectif de l'appareil photo qui se retracte au dernier moment à cause d'un mauvais contact dans le boîtier piles, le scotch appliqué dans l'urgence qui vient obturer l'objectif d'une caméra. Et... c'est tout. Tout le reste a été parfaitement maîtrisé. Et l'impact de ces 2 incidents a été largement atténué par la présence d'un troisième appareil de prise de vue et pas des moindres. La caméra Takara a filmé l'intégralité du vol, et pas par hasard (l'autonomie et le comportement thermique avaient été étudiés et optimisés). Dans l'aéronautique ou le spatial on double les instruments essentiels. Ici le nombre d'instruments de prise de vue a été triplé, comme d'ailleurs le nombre de capteurs de pression et le nombre de capteurs de température. Plusieurs données ont pu aussi être recoupées soit avec des données issues de capteurs de nature différente (traceur GPS et capteur GPS Arduino ou encore capteur de température à CTN et capteur DHT-22 Arduino) soit avec des données externes (données des radiosondages de Météo-France, données des stations météo). Alors, quand on a vu le ballon s'élever dans le ciel au-dessus de nos têtes, on savait qu'on avait fait le maximum pour que tout soit opérationnel à bord et la tension due au stress est tombée d'un coup. On a applaudi, tous les élèves et toute l'équipe et quelques spectateurs qui étaient restés malgré la pluie fine et le mercredi après-midi. On était contents de nous.

Une pluie de données

C'est toujours une émotion de voir notre ballon s'envoler. Et c'est l'excitation aussi de partir à la chasse au ballon. Surtout quand ça se termine en rase campagne, près d'un petit village en Normandie, à 160 km, de nuit, à la frontale et surtout... avec une équipe soudée. Nous garderons tous les 4 un très bon souvenir de cette nuit normande, la découverte de la nacelle dans ce champ au clair de Lune, Vénus qui scintille au firmament, et nos éclats de rire.

Tout était encore opérationnel quand nous avons ouvert la nacelle dans le champ. Une led bleue témoignait de l'activité d'une carte Arduino. J'ai rapidement vérifié que la caméra Takara contenait bien les fichiers vidéos du vol. Et nous sommes rentrés à Rennes avec la moisson de données engrangée dans la nacelle.

L'exploitation des données : un travail de chercheur

Les élèves ont été captivés par les extraits de vidéo projetés lors de la séance de débriefing. Et immédiatement après, nous les avons vus se précipiter sur les ordinateurs pour commencer à exploiter leurs données. Je crois pouvoir dire que je ne les avais jamais vus aussi motivés et concentrés. Là on avait du solide. Des données qui venaient de là-haut, à plus de 20000 m au-dessus de nos têtes, et c'est nous qui avons envoyé ce machin qu'on voyait dans la salle, pour capter l'atmosphère et en sortir ces valeurs. Alors des valeurs il y en avait ! Des fichiers textes à l'état brut qu'il fallait convertir en tableaux pour pouvoir y comprendre quelque chose. Ça nous faisait des tableaux à 4000 lignes qui donnaient le tournis quand on déplaçait la souris pour aller tout en bas. Et puis ces valeurs c'était des tensions en Volt. Pour les convertir en valeurs de pression (en hPa) ou en valeurs de températures (en °C), il fallait utiliser les courbes d'étalonnage des capteurs tracées pendant la préparation du projet. Formuler des relations mathématiques entre les tensions et les pressions, ou les températures. Puis tracer les courbes en choisissant correctement son abscisse selon qu'on voulait montrer l'évolution d'une grandeur en fonction du temps ou bien en fonction de l'altitude par exemple. Oui mais l'altitude justement, comment l'obtenir ? Il fallait que Timothé et Marin transmettent aux autres équipes la courbe d'altitude qu'ils obtiendraient à partir de la courbe de pression (elle-même obtenue à partir des valeurs des tensions de leurs capteurs). Pas facile, car cette courbe devait être corrigée à cause d'une tension d'offset qui s'était superposée aux valeurs. Par recoupements successifs entre les valeurs obtenues par les 3 capteurs puis avec les valeurs de pression relevée par la station météo à côté de Rennes, Timothé et Marin ont finalement obtenu des courbes de pression satisfaisantes et ils ont pu en déduire la courbe d'altitude qu'ils ont transmis à toutes les équipes. Quel travail ! Digne d'un chercheur.

Une culmination à 22000 m

Alors cette année, le ballon s'est contenté d'un petit 22000 m... au lieu de plus de 30000m l'an passé. Pourquoi ? On ne sait pas. Le ballon s'est progressivement éloigné de la trajectoire prévue (par CUSF predictor). Cela s'explique par une vitesse moyenne plus faible que prévue : 3,35 m/s au lieu de 5 m/s. Pourquoi est-il monté moins vite ? Une explication vient immédiatement à l'esprit : trop lourd. La nacelle a pourtant été pesée à 2,2 kg. Cette mesure rapide était-elle fiable ? Ou bien nous avons insufflé moins d'hélium dans le ballon ? Dans ce cas il aurait du monter plus haut : moins il y a d'hélium, plus le ballon peut se dilater, plus haut il éclatera. Nous avons aussi pensé à la pluie : le ballon s'est chargé d'humidité au début de l'ascension. Il s'est donc alourdi ? Nous avons récupéré un

très grand morceau du ballon éclaté dans l'herbe mouillée et il semblait effectivement assez lourd. Le morceau de ballon éclaté est quasiment l'intégralité du ballon. Il ne s'est pas volatilisé comme l'an passé (nous n'avions récupéré que quelques minces lambeaux). Cela conduirait à imaginer un éclatement « mou ». Comme si l'enveloppe s'était juste déchirée à un endroit suite à une fragilité. Il est vrai que le gonflage sous la pluie avait nécessité de couvrir le ballon d'une bâche. Le frottement de la bâche a peut-être fragilisé l'enveloppe du ballon à certains endroits. Et la pluie a alourdi le ballon qui est monté moins vite... Nous en sommes réduits aux suppositions.

Ce que nous avons appris

Le capteur UV n'avait pas fonctionné l'an passé à cause des perturbations radio de l'émetteur Kiwi. Cette année nos efforts n'ont pas été vains et nous avons réussi à le rendre opérationnel malgré les perturbations électromagnétiques. Quelle joie quand nous avons vu en direct sur l'écran de contrôle la courbe de ce capteur UV grimper juste après la sortie des nuages. Le capteur infrarouge a suivi le capteur UV mais il a stagné à partir de 10000m alors que le taux d'UV continuait visiblement de monter. Nous avons donc là des renseignements très intéressants sur le filtrage des UV dans la couche d'ozone. Sous la couche d'ozone, l'effet de filtrage est maximum et il y a moins d'UV (et pas du tout d'UV C), alors que plus on s'élève, plus on trouve d'UV qui n'ont pas été filtrés.

Les mesures de pression avec les capteurs piézoélectriques sont toujours délicates car ces capteurs avec leur électronique d'amplification sont très sensibles aux perturbations électromagnétiques. Nous avons encore eu à corriger les valeurs obtenues en tenant compte d'une tension d'offset que nous supposons constante et qui vient se rajouter à nos valeurs. Le capteur avec amplificateur intégré MPX 5100 est un peu moins sensible aux perturbations (car l'électronique d'amplification est intégrée au capteur) mais il est inutilisable dans la stratosphère car la pression minimum est atteinte à 12000 m. Nous avons donc eu raison d'utiliser 2 capteurs avec chacun un amplificateur différent car cela nous a permis d'avoir des valeurs plus précises dans chaque domaine d'altitude. L'amplificateur à gain élevé a ainsi donné des valeurs précises en très basses pressions au-dessus de 15000 m. Là encore une amélioration par rapport aux mesures de l'an passé avec un seul capteur.

Les mesures de température restent une énigme. Les élèves n'ont pas pris la mesure de l'enjeu et n'ont pas consacré de temps au problème de la mesure de température en basse pression. La difficulté est de mettre le capteur en équilibre thermique avec l'air extérieur alors que cet air se raréfie. Nous avons gardé l'idée du gobelet pour protéger le capteur extérieur du rayonnement solaire et nous avons pensé améliorer le dispositif en plaçant le capteur au bout d'un long câble (1,50 m) pour permettre un plus grand brassage d'air par effet de balancier. Mais nous constatons toujours un grand écart entre nos valeurs et celles recueillies par le radiosondage ce même jour à Brest (à 12h UTC). Comment Météo-France obtient-elle des valeurs fiables avec un capteur comme nous l'avons vu sur une de ses sondes ? Cela ressemble à une petite CTN (comme nous !) et cette CTN est laissée à l'air libre sans aucune protection !

Cependant nous avons mieux maîtrisé la mesure de température dans la mesure où nous avons 3 capteurs (et non 2 comme l'an passé) et surtout nous savons précisément à quel endroit se faisait la mesure à l'intérieur de la nacelle. Un capteur était calé sur la paroi intérieure de la nacelle, éloigné d'une source de chaleur. Un autre capteur était calé à l'entrée du compartiment de l'alimentation principale (les 2 piles 4,5 V). Même si nos mesures manquent de fiabilité dans l'absolu à cause

probablement de la raréfaction de l'air aussi à l'intérieur, nous pouvons comparer les valeurs entre elles. Nous avons donc pu constater un écart de plus de 10°C entre la paroi intérieure et les piles.

L'étude thermique qui a été entreprise cette année a permis de proposer sous le logiciel Matlab un modèle fiable du comportement de la nacelle vide. Il nous reste à affiner ce modèle en tenant compte de ce qu'il y a à l'intérieur. Nous avons déjà pu prendre en compte les apports thermiques des principaux circuits électriques. Les courbes expérimentales et les courbes simulées en tenant compte de la réalité du protocole montrent des similitudes assez spectaculaires. Mais le comportement thermique de la mousse qui a servi à emballer les appareils et l'inertie thermique apportée par les appareils eux-mêmes n'est pas encore bien contrôlée dans le modèle.

Le seul des capteurs Arduino qui a vraiment bien fonctionné est le capteur d'humidité DHT-22. Le capteur GPS n'a pas fonctionné au-delà de 10000 m comme l'an passé et il n'a pas du tout fonctionné à la descente. Le capteur pour la vitesse du son donne des valeurs inexploitable. La nouveauté réside donc dans ces valeurs de l'humidité en altitude que l'on peut recouper avec les images du film pour voir les correspondances entre nuages et humidité. Il est intéressant également de comparer nos valeurs avec celles obtenues par radiosondages. On constate que l'humidité est une grandeur très variable en fonction de l'altitude et du lieu mais aussi de l'heure. Nos données nous ont permis une petite cartographie de la distribution des nuages au-dessus de la région de Fougères vers 15h à la montée et au-dessus d'Alençon vers 15h30 à la descente.

Grâce à un bon dimensionnement énergétique et une bonne isolation, toutes les alimentations ont assuré leur rôle sur toute la durée du vol : alimentation principale (de 9,2 V au lancement à 7,2 V en soirée), batteries des caméras (autonomie complète sur la durée totale du vol pour les 2 caméras), batteries des traceurs GPS.

Les suites du projet

J'ai monté un petit film pendant les vacances de février qui raconte le projet et laisse une grande part aux très belles images captées par la caméra là-haut. Ce film a été projeté en boucle sur grand écran lors de la journée portes ouvertes de notre lycée, pour présenter une partie de ce que l'on propose aux élèves de la série S Sciences de l'Ingénieur.

Le film a également été projeté à nos élèves de SI pour introduire une séquence d'activités sur la thermique. Le travail sur le comportement thermique de la nacelle a servi de base aux activités. Les élèves sont amenés à étudier les lois de la thermique, les différents types de transfert thermique. Puis ils étudient et conçoivent des modèles thermiques d'une nacelle en bois revêtue à l'intérieur d'un isolant en polystyrène extrudé. Ils apprennent ainsi l'influence des paramètres géométriques et physiques des matériaux sur l'isolation thermique. Ils peuvent ensuite expérimenter sur des nacelles réelles et comparer leurs mesures avec la simulation.

Notre projet a permis ici d'initier d'autres projets. Nous avons exploité l'expérience acquise pour en faire profiter l'ensemble des élèves de la filière SI.

Il n'y aura sans doute pas de projet ballon-sonde l'an prochain. Les déconvenues de décembre nous ont échaudé et nous rendent prudents. D'autant que ce type de projet, même quand on en a déjà l'expérience (on le sait à présent), demande un investissement considérable côté encadrants. Je pense (j'espère) que les élèves en ont tiré de grandes satisfactions. Certains ont été formidables. Florian a par exemple joué son rôle de Grand Organisateur tout au long du projet d'une façon

exemplaire. Sérieux, consciencieux, et non dénué d'humour (ce qui n'est jamais superflu), il a su trouver le ton juste pour se faire écouter de ses coéquipiers. Ainsi respecté, il a pu diriger les équipes sans rencontrer d'opposition et on peut le dire : il a assuré du début à la fin ! D'autres ont aussi pris leurs fonctions très au sérieux et s'en sont acquittés plus qu'honorablement. Et il faut bien reconnaître que la bonne humeur a toujours été présente dans la salle 106 et le jour J tout le monde a participé avec enthousiasme. Alors bravo à tous ! Et qui sait, un jour, si l'un de nos élèves de SI ne se retrouvera pas derrière un écran de contrôle pour une mission spatiale de l'European Space Agency...



Remerciements

A Eric Tual, directeur délégué à l'enseignement industriel au lycée Bréquigny, pour son intérêt, sa curiosité et son soutien.

A Erwan Vappreau, bénévole à Planète Sciences, pour son aide, son investissement dans notre projet (et dans tous les autres), on a besoin de gens comme ça, passionnés et généreux.

A Jean-Yves Le Bihan, radio amateur passionné et infatigable chasseur de ballons, toujours prêt à donner un coup de main.

A mes collègues Patrick Lamé et Philippe Roca (qui ne sont pas du genre à compter leurs heures quand ils sont sur un projet) pour leurs compétences bien sûr mais aussi pour la convivialité et la bonne humeur qu'ils amènent toujours avec eux.

A Laurence Le Jan, notre « précieuse assistante au laboratoire », pour sa disponibilité, pour ne pas dire son dévouement, son travail, ses heures passées dans le labo à visser, couper, souder, fabriquer, toutes ces heures supplémentaires gracieusement offertes à l'éducation nationale, mais aussi merci pour ses suggestions, son bon sens, sa curiosité scientifique et ses idées qui ont fait avancer le projet.

Annexes

Annonce de l'évènement au lycée sur le blog et sur les écrans dans les halls :

LYCÉE BRÉQUIGNY 7 avenue Georges Graff BP 90516 - 95205 Rennes
02.99.86.82.00

ACTUALITÉS ADMINISTRATION ÉTABLISSEMENT VIE AU LYCÉE FORMATIONS LIENS UTILES CONTACTS

Accueil » Actualités » Événements

Vers la stratosphère !

Événements
Janvier 2017

Commentaires

Les élèves de 1S6 procéderont au **lancement d'un ballon stratosphérique**

le mercredi 1er février, derrière le self.

La nacelle du ballon contient divers capteurs qui fourniront toutes sortes de données météorologiques (température, pression, humidité, etc.)



**Venez assister au lancement
d'un ballon stratosphérique**

**Le mercredi 1er février, à 13 h,
derrière le self**
(un projet scientifique mené par la classe de 1S6)

Venez nombreux !

Texte paru au Bulletin Officiel en Juillet 2011 définissant un des thèmes retenus pour les TPE :

Travaux personnels encadrés
Classe de première – Série scientifique

Thème spécifique : **La mesure**

Axes de recherche / Pistes de travail

Mesure et société

- ◆ Histoire de la mesure : **rôle dans la construction des sciences**, structuration sociale (commerce, expertise judiciaire, santé, performances sportives, etc.)
- ◆ **Mesurer l'espace : arpenter, cartographier, mesurer la Terre**, etc.
- ◆ Usage social de la mesure statistique : indicateurs, interprétation, critique, sondage, mesure des inégalités, etc.
- ◆ **Mesure et choix : extrapolation, prévision, modèles d'évolution**, principe de précaution, etc.
- ◆ Mesure, démesure.
- ◆ Docimologie.

Mesure, perception, illusion normative

- ◆ Mesure et art : musique, métrique poétique, architecture (nombre d'or, etc.), arts plastiques (couleurs, illusions d'optique, etc.), etc.
- ◆ Peut-on tout mesurer, tout rendre mesurable : la douleur, l'intelligence, l'amour, etc. ?
- ◆ **Mesure du temps** : l'écoulement du temps, le rythme, etc.
- ◆ La mesure par les systèmes vivants (animaux et végétaux).

Science de la mesure

- ◆ **Grandeurs mesurables et unités.**
- ◆ Théorie de la mesure des grandeurs : concept de nombre réel ; mesure en géométrie (angles, longueur des courbes, aires, etc.) ; mesure et nombres réels remarquables ($\sqrt{2}$, π , etc.).
- ◆ **Méthodes et appareils de mesure : étalonnage, fidélité, justesse, protocole de mesure industriel**, etc.
- ◆ **Précision et incertitude de la mesure : biais, objectivité, reproductibilité, erreur**, signification statistique, etc.
- ◆ **Exploitation et traitement de la mesure : prévisions, approximations, projections, extrapolations, courbes et tendances**, etc.
- ◆ La mesure comme limite raisonnable (qu'est-ce que « passer la mesure » ?).

Juillet 2011 <http://eduscol.education.fr/tpe>

Questionnaire de candidature

A retourner **avant le 15 septembre** 2016 à **Planète Sciences 16, place Jacques Brel - 91130 RIS-ORANGIS**

La classe concernée

Nom de l'école : **Lycée Bréquigny**

Adresse : **7 avenues George Graaf, BP 90516**.....

Code postal : **35205** Ville : **Rennes Cedex 2**.....

Téléphone de l'école : **02 99 86 82 00** Fax :

E-mail : eric.tual@ac-rennes.fr Site Internet : <http://www.lycee.brequigny.fr/>

Niveau scolaire ¹ : **1^{ère} S SI** ... Tranche d'âge : **17 ans**..... Nombre d'élèves : **15-20**.....

Le professeur ou l'instituteur responsable du projet

Nom et prénom : **LION Pascal** Discipline enseignée ²: **Sc Physiques**.....

Téléphone personnel : **06 71 41 76 60** E-mail : pascal.lion@ac-rennes.fr

Les questions ci-dessous ont pour objet de nous permettre d'évaluer votre candidature. En effet comme nous recevons plus de demandes de participation que le nombre de projets que nous ne pouvons soutenir, nous sommes obligés de réaliser une sélection. Nous souhaitons aussi répartir les projets sur toutes la France. Pour l'année scolaire 2016-2017 65 projets scolaires seront retenus.

La liste des écoles sélectionnées sera disponible à partir du 15 Octobre 2016 sur le site web de Planète Sciences.

Nous vous informons qu'une contribution comprise entre 50 et 200 € sera demandée à l'établissement scolaire pour inscrire la classe. Cette contribution inclut l'adhésion à Planète Sciences pour un an. Le matériel de lâcher, l'hélium et la documentation seront fournis gratuitement. Les frais de déplacement de l'animateur suiveur sont également pris en charge par Planète Sciences ³. Les dépenses engagées pour la construction de la nacelle et pour éventuellement déplacer la classe le jour du lâcher sur le lieu du lâcher sont à la charge de l'établissement scolaire.

¹ L'Opération est ouverte en primaire aux classes de CM2 et aux classes du secondaire des collèges et lycées aux BTS et IUT et écoles d'ingénieurs.

² Pour les enseignants du secondaire.

³ L'Opération est financièrement soutenue par le CNES.

Pour des raisons de sécurité les ballons sont systématiquement gonflés à l'hélium. Sous-produit de l'exploitation pétrolière, ce gaz est importé et son approvisionnement éventuellement sujet à des aléas. Une relation privilégiée avec nos fournisseurs permet de limiter ce risque. Néanmoins nous ne pouvons pas garantir la mise en œuvre des projets en cas de pénurie mondiale d'hélium.

Planète Sciences prend en charge les démarches pour obtenir l'autorisation de vol après des services de l'Etat concernés. Sans autorisation un lâcher ne peut avoir lieu. Planète Sciences ne peut garantir l'obtention systématique de l'autorisation. Néanmoins, à ce jour les refus sont exceptionnels.

Une caution de 500 € sera demandée à l'établissement scolaire pour garantir le retour du matériel de télémétrie, prêté pour la durée du projet ⁴. En cas de non-restitution en bon état du matériel, la caution sera acquise à Planète Sciences pour financer son remplacement.

Pour quelles raisons souhaitez-vous faire participer votre classe à l'Opération un Ballon pour l'Ecole ?.....

Entraîner les élèves dans une dynamique de projet, dans le cadre d'un TPE.

Créer une motivation supplémentaire par cette dynamique et susciter de l'intérêt pour les sciences.

Montrer l'intérêt des sciences pour comprendre le monde qui nous entoure, la structure de l'atmosphère.

Inciter les élèves à pratiquer une démarche expérimentale rigoureuse, effectuer des mesures pertinentes.

Utiliser des outils de simulation (Matlab) et pratiquer la démarche propre aux sciences de l'ingénieur où on compare le cahier des charges, les résultats de la simulation et le réel.

Décrivez brièvement la démarche mise en œuvre pour mener le projet :

Présentation du projet

Définition du cahier des charges.

Différentes sorties sont prévues comme la visite de la cité de l'Espace à Toulouse

Etude en commun du déroulement du vol.

Répartition des tâches entre groupes de 3 élèves, puis entre élèves.

Planning avec objectifs et échéances

Conception de la nacelle – étude du comportement thermique

⁴ Concerne le système de télémétrie Kikiwi remplaçant progressivement le système Kiwi en cours d'obsolescence.

Réalisation de dispositifs expérimentaux et capteurs (aspect matériel, réalisation, protocole)

Etalonnage des capteurs. Etude de l'alimentation

Equipe de communication pour les relations avec l'extérieur, la presse, l'information dans le lycée, réalisation d'un reportage, etc...

Oraux de présentation des travaux

Etablissement de la logistique par un groupe d'élèves

Exploitation des données après le lâcher

Rédaction d'un compte-rendu

Combien d'heures souhaitez-vous que vos élèves consacrent au projet ? **40 heures minimum**

S'agit-il d'un projet d'établissement et dans ce cas quelles autres disciplines que la votre vont être associées au projet ?

Sciences de l'ingénieur : mes 2 collègues Philippe Roca et Patrick Lamé sont impliqués dans ce projet

Envisagez-vous la valorisation du projet à l'extérieur de votre établissement ? Participation de votre classe à une exposition, un concours, Olympiade, Exposcience etc.

Oui : Olympiades sciences de l'ingénieur (nous y participons régulièrement)

Accepteriez-vous que deux de vos élèves soient éventuellement invités par le CNES en fin d'année scolaire soit à Toulouse soit à Paris pour y présenter leur projet au cours d'un séminaire. S'ils sont mineurs ils devront être accompagnés par un adulte. OUI NON

Avez-vous déjà participé à l'opération "Un Ballon Pour l'Ecole" ? OUI NON

Si OUI, en quelle(s) année(s) ? **2015-2016 (compte-rendu envoyé en juillet 2016)**

Avez-vous pris connaissance du document de présentation de l'opération ⁵ ? OUI NON

Etes-vous prêts à participer à une journée d'informations sur le déroulement de l'opération, en début d'année scolaire en particulier si vous n'avez jamais participé ?

OUI NON

Etes-vous intéressés pour participer à une ou des formations techniques au cours de l'année ? (formation aérotechnicien 29/29/30 Octobre 2016, formation télémesure 3/4 Décembre 2016) OUI NON

⁵ Accessible à l'adresse <http://www.planete-sciences.org/espace/Un-Ballon-Pour-l-Ecole-UBPE>

Possédez-vous une cloche à vide ou pourriez-vous en obtenir une pour le projet ? OUI

Avez-vous des partenaires ? Industriel Laboratoire Associatif Public (merci de préciser) : Jean-Yves Le Bihan, radio-amateur

Bénéficiez-vous du soutien ? du Rectorat du proviseur **Philippe Debré** Autre (précisez) **Eric Tual, directeur délégué aux formations professionnelles et technologiques.**

Si vous réalisez un projet, vous vous engagez à accueillir un animateur Planète Sciences au moins trois fois dans l'année.

A quel moment êtes-vous le plus à même de recevoir l'animateur Planète Sciences ?

le matin le midi l'après-midi le samedi matin

Pourriez-vous éventuellement déplacer votre classe le jour du lâcher du ballon ⁶ ?

OUI NON

Si vous le souhaitez, vous pouvez joindre à ce questionnaire de candidature tout document au sujet de votre projet à l'attention de l'équipe de sélection.

FAIT A : Rennes

LE : 30 juin 2016

Signature de l'enseignant porteur du projet :



Analyse du sondage sur le projet « ballon stratosphérique 2017 »

(sondage effectué le 6 décembre 2016 auprès des 14 élèves du projet)

⁶ Pour les établissements d'Ile de France, le déplacement de la classe hors de l'Ile de France est obligatoire pour effectuer le lâcher du ballon. En effet, le décollage d'un ballon en Ile de France est interdit. Pour les autres régions, Planète Sciences pourra éventuellement vous proposer de faire participer votre classe à un regroupement de plusieurs lâchers sur un même lieu. Pour les lâchers frontaliers (moins de 70 km d'une frontière), des contraintes particulières sont imposées pour limiter les risques de survol d'un autre Etat. Prévisions météorologiques pouvant éventuellement nécessiter le report du lâcher à une date plus favorable.

Avant qu'on me propose ce projet, j'avais une autre idée de sujet pour mon TPE :

OUI : **7**

NON : 6 + 1 blanc

La moitié des élèves avait une autre idée de TPE avant la présentation du projet.

A la 1^{ère} séance de TPE, les enseignants nous ont présenté les textes officiels concernant les TPE, puis ils nous ont proposé le projet « ballon stratosphérique 2017 ».

A ce moment ce projet m'a intéressé :

OUI : **8**

NON : 6

Une petite majorité (8/14= 57%) a été intéressée par la présentation du projet.

A ce moment, je pouvais exprimer mon opinion sur ce projet :

OUI : 4

NON : **10**

Si j'avais eu une autre idée de sujet de TPE, j'aurais pu en parler avec les enseignants à ce moment :

OUI : **8**

NON : 6

Un peu contradictoire : dire « je ne pouvais pas exprimer mon opinion » et « j'aurais pu en parler aux enseignants »...

Ensuite les enseignants nous ont demandé d'imaginer des expériences de notre choix pouvant s'intégrer dans ce projet. En dépouillant les questionnaires, les enseignants n'ont pas trouvé beaucoup d'idées. Ils nous ont donc proposé des thèmes classiques d'étude (conception de la nacelle, capteurs de pression, alimentation, etc...) parmi lesquels nous pouvions choisir. Je considère que j'ai eu le choix parmi ces sujets et je me suis inscrit sur le sujet de mon choix :

OUI : **10**

NON : 4

Plus des 2/3 des élèves se sont inscrits sur le sujet de leur choix.

Si aucun des sujets proposés ne m'intéressait, je pouvais proposer un autre sujet :

OUI : **13 (+1 blanc)**

NON

Les 4 qui n'ont pas pu s'inscrire sur le sujet de leur choix considèrent qu'ils pouvaient proposer un autre sujet.

A présent que je suis engagé dans ce projet collectif, ce que je fais m'intéresse :

OUI : **11**

NON : 3

Seuls 3 élèves ne semblent pas intéressés par ce qu'ils font. Tous les autres sont intéressés par leur travail.

Je me sens motivé par la réussite du projet :

OUI : **13**

NON : 1

Tous se sentent motivés par la réussite du projet (sauf 1) et considèrent qu'ils ont de la chance de travailler sur un tel projet soutenu par le Centre National d'Etudes Spatiales.

Je considère que j'ai de la chance de travailler sur un tel projet, soutenu par le Centre National d'Etudes Spatiales, encadré par trois enseignants plus un suiveur bénévole de l'association Planète Sciences.

OUI : **13 (+1 blanc)**

NON

C'est le moment de m'exprimer et de dire ce que j'ai à dire :

...

Freescale Semiconductor

MPX2200
Rev 13, 10/2008

200 kPa On-Chip Temperature Compensated Silicon Pressure Sensors

The MPX2200 series devices are silicon piezoresistive pressure sensor providing a highly accurate and linear voltage output directly proportional to the applied pressure. The sensor is a single monolithic silicon diaphragm with the strain gauge and a thin-film resistor network integrated on-chip. The chip is laser trimmed for precise span and offset calibration and temperature compensation. They are designed for use in applications such as pump/motor controllers, robotics, level indicators, medical diagnostics, pressure switching, barometers, altimeters, etc.

Features

- Temperature Compensated Over 0°C to +85°C
- ±0.25% Linearity (MPX2200D)
- Easy-to-Use Chip Carrier Package Options
- Absolute, Differential and Gauge Options

MPX2200 Series

0 to 200 kPa (0 to 29 psi)
40 mV Full Scale Span
(Typical)

Application Examples

- Pump/Motor Control
- Robotics
- Level Detectors
- Medical Diagnostics
- Pressure Switching
- Barometers
- Altimeters

ORDERING INFORMATION									
Device Name	Package Options	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
			None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Unibody Package (MPX2200 Series)									
MPX2200A	Tray	344	.					.	MPX2200A
MPX2200D	Tray	344	.				.		MPX2200D
MPX2200DP	Tray	344C			.		.		MPX2200DP
MPX2200AP	Tray	344B		.				.	MPX2200AP
MPX2200GP	Tray	344B		.		.			MPX2200GP

UNIBODY PACKAGES



MPX2200A/D
CASE 344-15



MPX2200AP/GP
CASE 344B-01



MPX2200DP
CASE 344C-01

Pressure

Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 10 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted, $P1 > P2$)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Differential Pressure Range ⁽¹⁾	P_{OP}	0	—	200	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	—	10	16	V_{DC}
Supply Current	I_O	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span ⁽³⁾	V_{FSS}	38.5	40	41.5	mV
Offset ⁽⁴⁾	V_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	0.2	—	mV/kPa
Linearity	MPX2200D Series MPX2200A Series	-0.25 -1.0	— —	0.25 1.0	% V_{FSS}
Pressure Hysteresis(0 to 200 kPa)	—	—	± 0.1	—	% V_{FSS}
Temperature Hysteresis(-40°C to +125°C)	—	—	± 0.5	—	% V_{FSS}
Temperature Coefficient of Full Scale Span	TCV_{FSS}	-1.0	—	1.0	% V_{FSS}
Temperature Coefficient of Offset	TCV_{OFF}	-1.0	—	1.0	mV
Input Impedance	Z_{IN}	1300	—	2500	Ω
Output Impedance	Z_{OUT}	1400	—	3000	Ω
Response Time ⁽⁵⁾ (10% to 90%)	t_R	—	1.0	—	ms
Warm-Up Time ⁽⁶⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁷⁾	—	—	± 0.5	—	% V_{FSS}

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset (V_{OFF}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the pressure is stabilized.
- Offset stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.



Freescale Semiconductor

MPX5100
Rev 13, 05/2010**Integrated Silicon Pressure Sensor
On-Chip Signal Conditioned,
Temperature Compensated and
Calibrated**

The MPX5100 series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This patented, single element transducer combines advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

Features

- 2.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- Available in Absolute, Differential and Gauge Configuration
- Durable Epoxy Unibody Element
- Easy-to-Use Chip Carrier Option

**MPX5100
MPXV5100
Series**

0 to 100 kPa (0 to 14.5 psi)
15 to 115 kPa (2.2 to 16.7 psi)
0.2 to 4.7 V Output

Typical Applications

- Patient Monitoring
- Process Control
- Pump/Motor Control
- Pressure Switching

ORDERING INFORMATION

Device Name	Case No.	# of Ports			Pressure Type			Device Marking
		None	Single	Dual	Gauge	Differential	Absolute	
Unibody Package (MPX5100 Series)								
MPX5100A	867	•					•	MPX5100A
MPX5100AP	867B		•				•	MPX5100AP
MPX5100D	867	•				•		MPX5100D
MPX5100DP	867C			•		•		MPX5100DP
MPX5100GP	867B		•		•			MPX5100GP
Small Outline Package (MPXV5100 Series)								
MPXV5100GC8U	482A		•		•			MPXV5100G
MPXV5100GC7U	482C		•		•			MPXV5100G
MPXV5100DP	1351			•		•		MPXV5100DP
MPXV5100GP	1369		•		•			MPXV5100GP



Operating Characteristics

Table 1. Operating Characteristics ($V_S = 5.0$ Vdc, $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted, $P_1 > P_2$. Decoupling circuit shown in Figure 5 required to meet electrical specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range ⁽¹⁾ Gauge, Differential: MPX5100D/MPX5100G/MPXV5100G Absolute: MPX5100A	P_{OP}	0 15	— —	100 115	kPa
Supply Voltage ⁽²⁾	V_S	4.75	5.0	5.25	V _{DC}
Supply Current	I_O	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset ⁽³⁾ @ $V_S = 5.0$ V	V_{OFF}	0.088	0.20	0.313	V _{DC}
Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ $V_S = 5.0$ V	V_{FSD}	4.587	4.700	4.813	V _{DC}
Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ $V_S = 5.0$ V	V_{FSS}	—	4.500	—	V _{DC}
Accuracy ⁽⁶⁾	—	—	—	±2.5	% V_{FSS}
Sensitivity	V/P	—	45	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁷⁾	t_R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I_{O+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁸⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁹⁾	—	—	±0.5	—	% V_{FSS}

1. 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.

2. Device is ratiometric within this specified excitation range.

3. Offset (V_{OFF}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.

4. Full Scale Output (V_{FSD}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.

5. Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.

6. Accuracy (error budget) consists of the following:

- Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
- Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
- Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from minimum or maximum rated pressure at 25°C .
- ToSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C .
- ToOffset: Output deviation with minimum pressure applied over the temperature range of 0° to 85°C , relative to 25°C .
- Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of V_{FSS} at 25°C .

7. Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.

8. Warm-Up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the Pressure has been stabilized.

9. Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 hours of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

MPX5100



INA121

FET-Input, Low Power INSTRUMENTATION AMPLIFIER

FEATURES

- LOW BIAS CURRENT: $\pm 4\text{pA}$
- LOW QUIESCENT CURRENT: $\pm 450\mu\text{A}$
- LOW INPUT OFFSET VOLTAGE: $\pm 200\mu\text{V}$
- LOW INPUT OFFSET DRIFT: $\pm 2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
- LOW INPUT NOISE: $20\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ at $f = 1\text{kHz}$ ($G = 100$)
- HIGH CMR: 106dB
- WIDE SUPPLY RANGE: $\pm 2.25\text{V}$ to $\pm 18\text{V}$
- LOW NONLINEARITY ERROR: 0.001% max
- INPUT PROTECTION TO $\pm 40\text{V}$
- 8-PIN DIP AND SO-8 SURFACE MOUNT

APPLICATIONS

- LOW-LEVEL TRANSDUCER AMPLIFIERS
Bridge, RTD, Thermocouple
- PHYSIOLOGICAL AMPLIFIERS
ECG, EEG, EMG, Respiratory
- HIGH IMPEDANCE TRANSDUCERS
- CAPACITIVE SENSORS
- MULTI-CHANNEL DATA ACQUISITION
- PORTABLE, BATTERY OPERATED SYSTEMS
- GENERAL PURPOSE INSTRUMENTATION

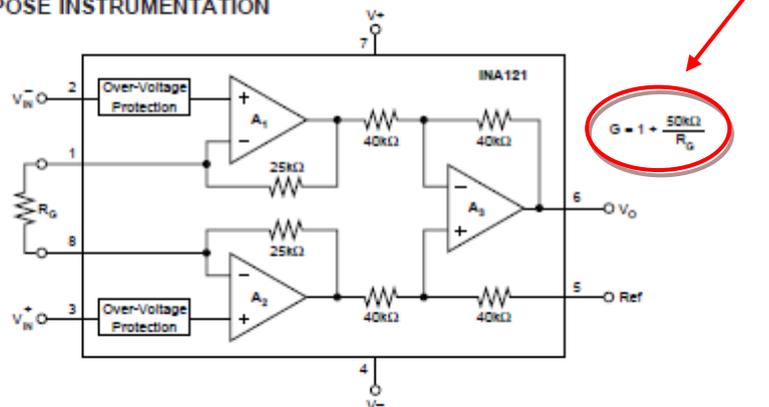
DESCRIPTION

The INA121 is a FET-input, low power instrumentation amplifier offering excellent accuracy. Its versatile three-op amp design and very small size make it ideal for a variety of general purpose applications. Low bias current ($\pm 4\text{pA}$) allows use with high impedance sources.

Gain can be set from 1V to 10,000V/V with a single external resistor. Internal input protection can withstand up to $\pm 40\text{V}$ without damage.

The INA121 is laser-trimmed for very low offset voltage ($\pm 200\mu\text{V}$), low offset drift ($\pm 2\mu\text{V}/^\circ\text{C}$), and high common-mode rejection (106dB at $G = 100$). It operates on power supplies as low as $\pm 2.25\text{V}$ ($+4.5\text{V}$), allowing use in battery operated and single 5V systems. Quiescent current is only $450\mu\text{A}$.

Package options include 8-pin plastic DIP and SO-8 surface mount. All are specified for the -40°C to $+85^\circ\text{C}$ industrial temperature range.



International Airport Industrial Park • Mailing Address: PO Box 11400, Tucson, AZ 85734 • Street Address: 8730 S. Tucson Blvd., Tucson, AZ 85706 • Tel: (520) 746-1111 • Tw: 910-862-1111
Internet: <http://www.burr-brown.com> • FAXLine: (800) 548-8132 (US/Canada Only) • Cable: BBRCORP • Telex: 068-8491 • FAX: (520) 886-1510 • Immediate Product Info: (800) 548-8132

Sélectionner le bon capteur de pression

1 INTRODUCTION

Pour sélectionner le bon capteur de pression, il convient de tenir compte, outre de la plage de pression, du type de pression à mesurer. Les capteurs de pression mesurent une pression d'utilisation par rapport à une pression de référence et sont classés, selon leur type, en capteurs de pression absolue, relative ou différentielle (voir figure 1). Ces différents types de mesure seront expliqués ci-dessous, en prenant comme exemples les capteurs de pression piezorésistifs de First Sensor.

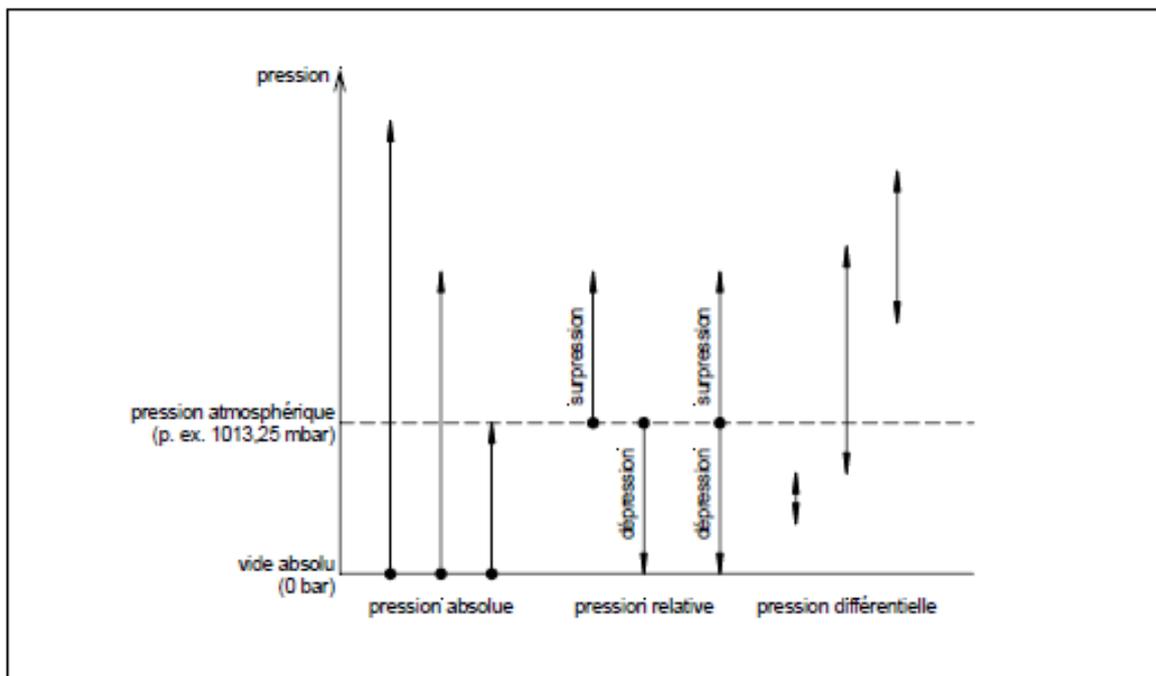


Figure 1: Comparaison entre pression absolue, relative et différentielle

Sélectionner le bon capteur de pression

2 PRESSION ABSOLUE

La pression absolue correspond à la pression mesurée par rapport au vide (zéro absolu de pression). Les capteurs de pression absolue mesurent la pression par rapport à une référence de vide scellé dans le capteur (voir figure 2). Dans ce cas, le vide doit être négligeable par rapport à la pression à mesurer.

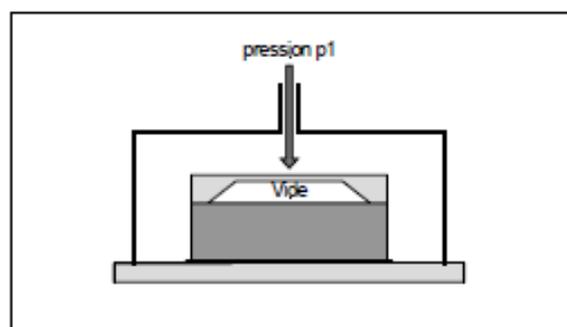


Figure 2: Principe de fonctionnement d'un capteur de pression absolue piézorésistif

Les capteurs de pression absolue de First Sensor proposent des plages de mesure à partir de 1 bar pleine échelle et même 700 mbar pour certains, ainsi que des gammes pour mesures barométriques.

Exemples

- Les capteurs de pression absolue sont principalement utilisés dans le but de mesurer la pression de l'air en météorologie, dans les baromètres et les altimètres. Pour ce faire, ils proposent des plages de pressions barométriques spécifiques, telles que 600 à 1100 mbars ou 800 à 1100 mbars. (exemples de produits : HCA-Baro, HDI)
- Dans les machines d'emballage, pour s'assurer d'une fermeture hermétique préservant les denrées alimentaires, les capteurs de pression absolue garantissent l'utilisation d'un niveau de vide suffisant, indépendamment de la pression atmosphérique ambiante à un moment donné. (exemples de produits : HMU, HCE, SSI)

3 PRESSION RELATIVE

Les capteurs de pression relative mesurent la pression par rapport à la pression atmosphérique ambiante. La pression atmosphérique moyenne au niveau de la mer est de 1013,25 mbars. Sur ce type de capteurs, les fluctuations de pression dues à des changements de météo ou d'altitude ont un impact direct sur la valeur mesurée. Si la pression qui s'exerce sur le capteur de pression relative est supérieure à la pression ambiante, on parle de pression relative positive, et la valeur mesurée est précédée d'un signe « + ». Dans le cas contraire, on parle de dépression ou de pression relative de vide, et la valeur est précédée d'un signe « - ». Par « vide », on entend généralement un espace caractérisé par l'absence totale d'air. On distingue plusieurs types de vide, selon la qualité de celui-ci : le vide grossier, le vide poussé et l'ultravide, par exemple.

Les capteurs de pression relative ne comportent qu'un seul raccord de pression. La pression ambiante s'y exerce par une fente ou par un tube de mise à l'air libre situés à l'arrière de la membrane du capteur et cette mesure relative est ainsi compensée (voir figure 3).

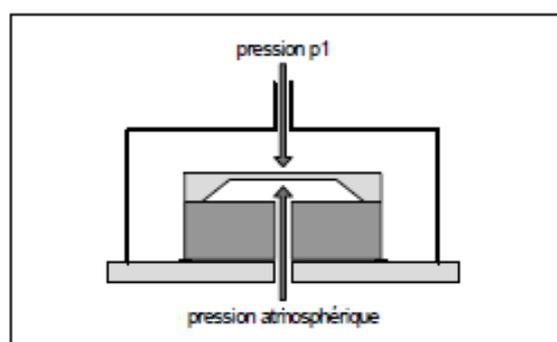


Figure 3: Principe de fonctionnement d'un capteur de pression relative piézorésistif

Sélectionner le bon capteur de pression

Exemples

- L'exemple-type d'une mesure de pression relative est celui du contrôle de la pression des pneus. Ici, en adaptant au mieux la pression positive par rapport à la pression ambiante, on optimise les performances du pneu. (exemples de produits : HMA, HCE, SSI)
- Dans le cas d'une mesure de pression hydrostatique dans des réservoirs ou dans des conteneurs ouverts, les changements de la pression atmosphérique à la surface du liquide doivent être compensés, pour éviter des erreurs dans la mesure des niveaux de liquide. Dans ce cas, et pour apporter la référence de pression atmosphérique à la cellule sensible, on peut utiliser soit des sondes de niveau submersibles avec un tube de mise à l'air placé à l'intérieur du câble de connection électrique ressortant en surface, ou bien des transmetteurs vissés sur la paroi avec un conduit de mise à l'air libre. (exemples de produits : CTE9000, KTE8000CS)
- Des dispositifs d'aspiration médicaux sont utilisés en médecine d'urgence, lors d'opérations ou pour le traitement des plaies. Ceux-ci génèrent une dépression au moyen d'une pompe et peuvent ainsi absorber les sécrétions ou le mucus. (exemples de produits : HCE, HDI, HMA, HMI)

4 PRESSION DIFFÉRENTIELLE

La pression différentielle correspond à la différence qui existe entre deux pressions p_1 et p_2 . Les capteurs de pression différentielle possèdent deux raccords, p. ex. sous la forme d'un tuyau ou d'un filetage (voir figure 4). Les capteurs amplifiés de First Sensor, peuvent mesurer des pressions différentielles positives ou négatives ($p_1 > p_2$ et $p_1 < p_2$). Ces capteurs sont appelés capteurs de pression différentielle bidirectionnels et mesurent, par exemple, des plages allant de -1 à +1 bar ou de -2,5 à +2,5 mbars. Contrairement à ceux-ci, les capteurs de pression différentielle unidirectionnels ne peuvent mesurer que des valeurs positives

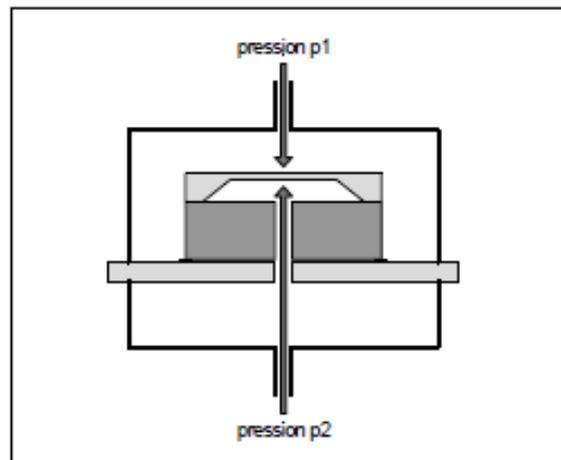


Figure 4: Principe de fonctionnement d'un capteur de pression différentielle piézorésistif

($p_1 > p_2$), par exemple sur des plages comprises entre 0 et 1 bar ou 0 et 2,5 mbars. En d'autres termes, la pression la plus élevée doit toujours se trouver sur le raccord désigné par « pression haute ».

Exemples

- Les capteurs de pression différentielle sont utilisés, notamment, en médecine, en vue de déterminer les échanges respiratoires ou gazeux, ou en génie climatique, dans le but de contrôler les flux d'air. Grâce à un étranglement artificiel dans la conduite du flux, réalisé par exemple au moyen d'un élément laminaire ou d'un diaphragme, il est possible d'obtenir une chute de pression indicative du débit. Les capteurs de pression différentielle mesurent la pression en amont et en aval de l'élément. (exemples de produits : HCL, HCLA, LDE)
- Les dispositifs de surveillance des filtres fonctionnent selon le même principe. Si le filtre s'obstrue au fil du temps, il offre une résistance plus forte au passage du flux, et la différence de pression au borne du filtre augmente. Les capteurs de pression différentielle mesurent cette différence de pression et déclenchent des alarmes dès que des valeurs critiques sont atteintes. (exemples de produits : BTE5000, LDE)

NTC Temperature Compensation
Thermistors TDC 系列

RoHS series 

Part Number Code.

Example :

T D C 05 C 310 J-5 XI TA
(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10)

(1) T : (UEI NTC Thermistor)

(2) D : (Disc Type)

(3) C : (Epoxy Coated)

(4) Nominal Diameter :

03 : 3mm
05 : 5mm

(5) Beta Value

S ≤ 1600
1600 < A ≤ 3300
3300 < B ≤ 3600
3600 < C ≤ 4200
4200 < D

(6) Resistance of 25°C

010~090 : 10~90Ω
110~190 : 100~900Ω
210~260 : 1K~6KΩ
310~350 : 10K~50KΩ
410~447 : 100K~470KΩ

(7) Tolerance of Resistance

J : $\pm 5\%$
K : $\pm 10\%$
L : $\pm 15\%$

(8) Lead free

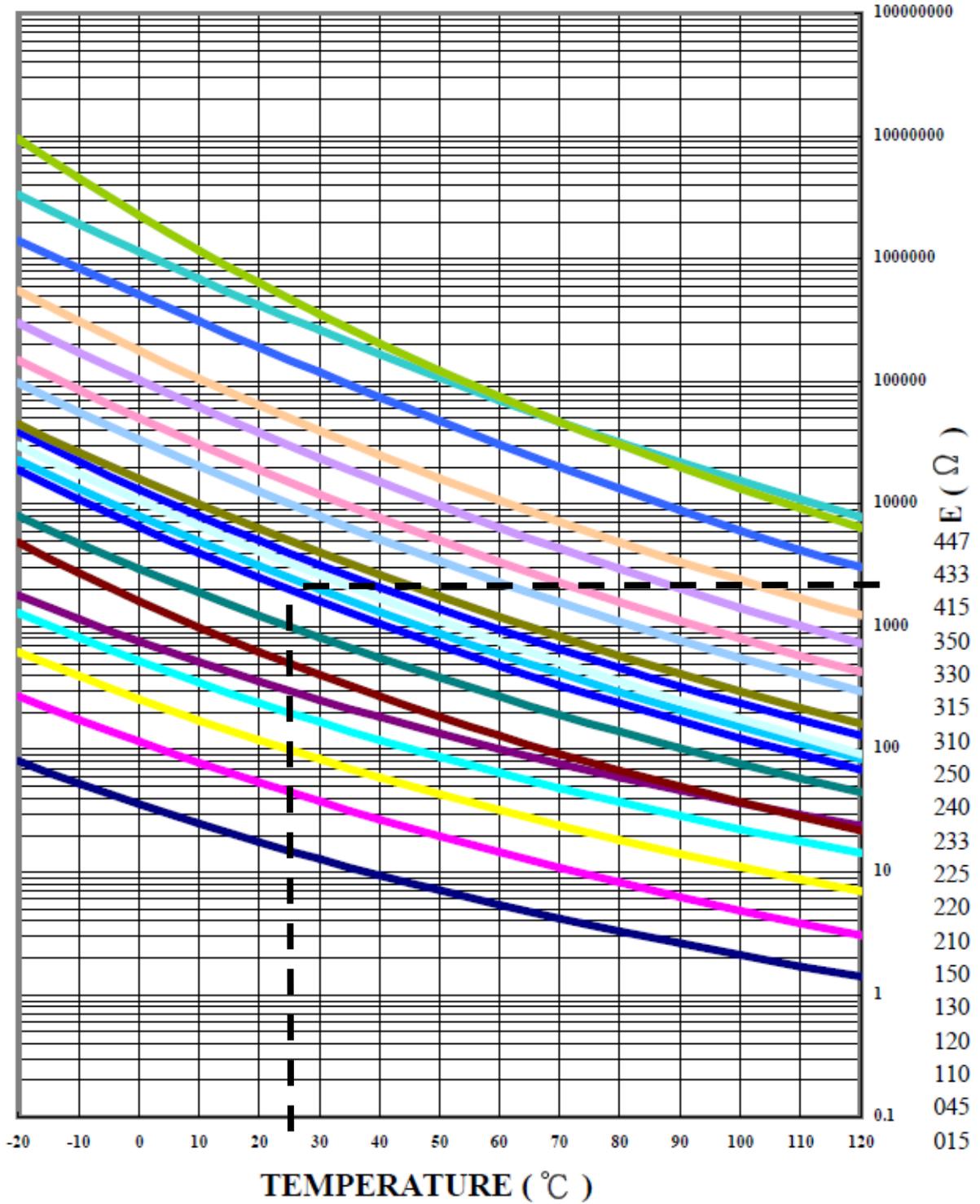
(9) Forming Type (Kink)

(10) Packing

TA: ammopack

TR: reel

Typical R-T Curves of TDC 5mm Series



NTC Thermistors

MATERIAL CONSTANT B

B is a material constant that controls the slope of the R_T characteristic (see figure 1) which can, at least to a first approximation, be represented by the formula:

$$R_T = R_{25} \exp \left[B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{298.15} \right) \right] \quad (1)$$

Where T is the absolute temperature of the sensor.

In practice, B varies somewhat with temperature and is therefore defined between two temperatures 25 °C and 85 °C by the formula:

$$B_{25/85} = \ln \left(\frac{R_{85}}{R_{25}} \right) / \left(\frac{1}{358.15} - \frac{1}{298.15} \right) \quad (2)$$

$B_{25/85}$ (expressed in K) is normally used to characterize and compare different ceramics. Tolerance on B (or $B_{25/85}$) is caused mainly by material composition tolerances and sintering conditions. The latest materials offer tolerances as low as $\pm 0.3\%$ on some specific $B_{25/85}$ values.

In most cases, better fitting curves than pure exponential are required to measure the temperature accurately; see formula (1). That is why each NTC material curve is defined by a 3rd order polynomial, as shown below:

$$R_T = R_{25} \exp [A + B/T + C/T^2 + D/T^3] \quad (3)$$

or inversely expressing T as a function of R_T :

$$T = \frac{1}{\left[A_1 + B_1 \ln \left(\frac{R_T}{R_{25}} \right) + C_1 \ln^2 \left(\frac{R_T}{R_{25}} \right) + D_1 \ln^3 \left(\frac{R_T}{R_{25}} \right) \right]} \quad (4)$$

The two approximations (3) and (4) represent the real material curves with an error smaller than 0.1 % at any given temperature.

The values of the coefficients A, B, C, D, A_1 , B_1 , C_1 and D_1 are given in some datasheets as NTCLE100E3 and in the R-T computation sheets, which can be downloaded from the website

www.vishay.com/thermistors/curve-computation-list

SENSOR TOLERANCES

APPLICATION NOTE The total tolerances of the NTC sensor over its operating temperature range is a combination of the tolerances on R_{25} and on B-value given by the formula:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_{25}}{R_{25}} + \Delta B \left| \frac{1}{T} - \frac{1}{298.15} \right| \quad (5)$$

Figure 2 is a graphical representation of this formula which shows a minimum at 25 °C since this is the temperature at which the sensor is calibrated. Above and below this temperature, the tolerances increase due to the increasing tolerances on B-value, giving the graph a 'butterfly' shape.

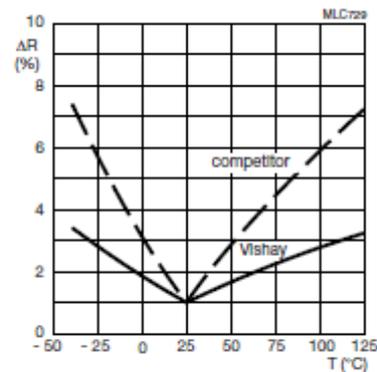


Fig. 2 - Typical resistance change as a function of temperature for a 1 % Vishay NTC temperature sensor compared to a 1 % sensor with a higher B-tolerance

The exceptionally low ΔB -value of the Vishay BCcomponents sensor compared with those of typical competitors (see figure 2) gives a flatter $\Delta R/R$ 'butterfly' curve which means you can get more accurate temperature measurements using Vishay BCcomponents NTC temperature sensors.

TEMPERATURE COEFFICIENT OF RESISTANCE

The temperature coefficient of resistance α expresses the sensitivity of a sensor to temperature changes. It is defined as:

$$\alpha = \frac{1}{R} \times \frac{\Delta R}{\Delta T} \quad (6)$$

Using formula to eliminate R this can be re-expressed as:

$$\alpha = \frac{\Delta B}{T^2} \quad (7)$$

Which means that the relative tolerance on α is equal to the relative tolerance on B-value.

THERMAL STABILITY

The stability of an NTC temperature sensor is expressed in terms of the maximum shift in its electrical properties, R_{25} and B-values after it has been subjected to an extended period at its limit operating conditions. Figure 3, for example, shows the long-term deviation of R_{25} and B-value for a standard lacquered component from the NTCLE100E3 series with an R_{25} of 10 k Ω .



www.vishay.com

NTCLE100E3

Vishay BCcomponents

R_T VALUE AND TOLERANCE

These thermistors have a narrow tolerance on the B-value, the result of which provides a very small tolerance on the nominal resistance value over a wide temperature range. For this reason the usual graphs of $R = f(T)$ are replaced by Resistance Values at Intermediate Temperatures Tables, together with a formula to calculate the characteristics with a high precision.

FORMULAE TO DETERMINE NOMINAL RESISTANCE VALUES

The resistance values at intermediate temperatures, or the operating temperature values, can be calculated using the following interpolation laws (extended "Steinhart and Hart"):

$$R_{(T)} = R_{ref} \times e^{(A+B/T+C/T^2+D/T^3)} \quad (1)$$

$$T_{(R)} = \left(A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{ref}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{ref}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{ref}} \right)^{-1} \quad (2)$$

where:

A, B, C, D, A₁, B₁, C₁ and D₁ are constant values depending on the material concerned; see table below.

R_{ref} is the resistance value at a reference temperature (in this event 25 °C, R_{ref} = R₂₅).

T is the temperature in K.

Formulae numbered and are interchangeable with an error of max. 0.005 °C in the range 25 °C to 125 °C and max. 0.015 °C in the range - 40 °C to + 25 °C.

DETERMINATION OF THE RESISTANCE/TEMPERATURE DEVIATION FROM NOMINAL VALUE

The total resistance deviation is obtained by combining the "R₂₅-tolerance" and the "resistance deviation due to B-tolerance".

When:

X = R₂₅-tolerance

Y = resistance deviation due to B-tolerance

Z = complete resistance deviation,

then: $Z = \left[\left(1 + \frac{X}{100} \right) \times \left(1 + \frac{Y}{100} \right) - 1 \right] \times 100 \%$ or $Z \approx X + Y$

When:

TCR = temperature coefficient

ΔT = temperature deviation,

then: $\Delta T = \frac{Z}{TCR}$

The temperature tolerances are plotted in the graphs on the previous page.

Example: at 0 °C, assume X = 5 %, Y = 0.89 % and TCR = 5.08 %/K (see table), then:

$$Z = \left[\left(1 + \frac{5}{100} \right) \times \left(1 + \frac{0.89}{100} \right) - 1 \right] \times 100 \%$$

$$= \{ 1.05 \times 1.0089 - 1 \} \times 100 \% = 5.9345 \% (\approx 5.93 \%)$$

$$\Delta T = \frac{Z}{TCR} = \frac{5.93}{5.08} = 1.167 \text{ } ^\circ\text{C} (\approx 1.17 \text{ } ^\circ\text{C})$$

A NTC with a R₂₅-value of 10 kΩ has a value of 32.56 kΩ between - 1.17 °C and + 1.17 °C.

PARAMETER FOR DETERMINING NOMINAL RESISTANCE VALUES											
NUMBER	B _{25/25} (K)	NAME	TOL. B (%)	A	B (K)	C (K ²)	D (K ³)	A ₁	B ₁ (K ⁻¹)	C ₁ (K ⁻²)	D ₁ (K ⁻³)
1	2880	Mat O. with Bn = 2880K	3	- 9.094	2251.74	229098	- 2.744820E+07	3.354016E-03	3.495020E-04	2.095959E-06	4.280615E-07
2	2990	Mat P. with Bn = 3990K	3	- 10.2296	2887.62	132336	- 2.502510E+07	3.354016E-03	3.415560E-04	4.955455E-06	4.384236E-07
3	3041	Mat Q. with Bn = 3041K	3	- 11.1334	3658.73	- 102895	5.166520E+05	3.354016E-03	3.349290E-04	3.683843E-06	7.050455E-07
4	3136	Mat R. with Bn = 3136K	3	- 12.4493	4702.74	- 402687	3.196830E+07	3.354016E-03	3.243880E-04	2.658012E-06	- 2.701560E-07
5	3390	Mat S. with Bn = 3390K	3	- 12.6814	4391.97	- 232807	1.509643E+07	3.354016E-03	2.993410E-04	2.135133E-06	- 5.672000E-09
6	3528 (1)	Mat I. with Bn = 3528K	0.5	- 12.0696	3687.667	- 7817.13	- 5.914730E+06	3.354016E-03	2.909670E-04	1.632136E-06	7.192200E-08
	3528 (2)			- 21.0704	11903.95	- 2504699	2.470336E+08	3.354016E-03	2.933908E-04	3.494314E-06	- 7.712690E-07
7	3560	Mat H. with Bn = 3560K	1.5	- 13.0723	4190.574	- 47158.4	- 1.199256E+07	3.354016E-03	2.884193E-04	4.118032E-06	1.786790E-07
8	3740	Mat B. with Bn = 3740K	2	- 13.8973	4557.725	- 98275	- 7.522357E+06	3.354016E-03	2.744032E-04	3.668944E-06	1.375492E-07
9	3977	Mat A. with Bn = 3977K	0.75	- 14.6337	4791.842	- 115334	- 3.730535E+06	3.354016E-03	2.569850E-04	2.620131E-06	6.383091E-08
10	4090	Mat C. with Bn = 4090K	1.5	- 15.5322	5229.973	- 160451	- 5.414091E+06	3.354016E-03	2.519107E-04	3.510939E-06	1.105179E-07
11	4190	Mat D. with Bn = 4190K	1.5	- 16.0349	5459.339	- 191141	- 3.328322E+06	3.354016E-03	2.460382E-04	3.405377E-06	1.034240E-07
12	4370	Mat E. with Bn = 4370K	2.5	- 16.8717	5759.15	- 194267	- 6.869149E+06	3.354016E-03	2.367720E-04	3.585140E-06	1.255349E-07
13	4570	Mat F. with Bn = 4570K	1.5	- 17.6439	6022.726	- 203157	- 7.183526E+06	3.354016E-03	2.264097E-04	3.278184E-06	1.097628E-07

Notes

(1) Temperature < 25 °C

(2) Temperature ≥ 25 °C

SG01S-18

Broadband SiC based UV photodiode A = 0,06 mm²

GENERAL FEATURES



Properties of the SG01S-18 UV photodiode

- Broadband UVA+UVB+UVC, PTB reported high chip stability
- Active Area A = 0,06 mm²
- TO18 hermetically sealed metal housing, 1 isolated pin and 1 case pin
- 10mW/cm² peak radiation results a current of approx. 780 nA

About the material Silicon Carbide (SiC)

SiC provides the unique property of extreme radiation hardness, near-perfect visible blindness, low dark current, high speed and low noise. These features make SiC the best available material for visible blind semiconductor UV detectors. The SiC detectors can be permanently operated at up to 170°C (338°F). The temperature coefficient of signal (responsivity) is also low, < 0,1%/K. Because of the low noise (dark current in the fA range), very low UV radiation intensities can be measured reliably. Please note that this device needs an appropriate amplifier (see typical circuit on page 3).

Options

SiC photodiodes are available with five different active chip areas from 0,06 mm² up to 4,00 mm². Standard version is broadband UVA-UVB-UVC. Four filtered versions lead to a tighter sensitivity range. All photodiodes have a hermetically sealed metal housing (TO type), either a 5,5 mm diameter TO18 housing or a 9,2 mm TO5 housing. Further option is either a 2 pin header (1 isolated, 1 grounded) or a 3 pin header (2 isolated, 1 grounded).

NOMENCLATURE

SG01			
S, M, D, L, XL	nothing, A, B, C or E	18, 18ISO90, 18S, 5, 5ISO90	nothing, Lens, MEGA, GIGA
Chip area	Spectral response	Housing	Special
S 0,06 mm ²	nothing = broadband $\lambda_{max} = 280 \text{ nm}$ $\lambda_{510\%} = 221 \text{ nm} \dots 358 \text{ nm}$	18 2-pin TO18 housing, h = 5,2 mm, 1 pin isolated, 1 pin grounded	Lens with concentrating lens, TU5 only
M 0,20 mm ²	A = UVA $\lambda_{max} = 331 \text{ nm}$ $\lambda_{510\%} = 309 \text{ nm} \dots 367 \text{ nm}$	18ISO90 3-pin TO18 housing, h = 5,2 mm, 2 pins isolated, 1 pin grounded	
D 0,50 mm ²	B = UVB $\lambda_{max} = 280 \text{ nm}$ $\lambda_{510\%} = 231 \text{ nm} \dots 309 \text{ nm}$	18S 2-pin TO18 housing, h = 3,7 mm, 1 pin isolated, 1 pin grounded	MEGA with attenuator up to 0,5 W/cm ²
L 1,00 mm ²	C = UVC $\lambda_{max} = 275 \text{ nm}$ $\lambda_{510\%} = 225 \text{ nm} \dots 287 \text{ nm}$	5 2-pin TO5 housing, h = 4,3 mm for broadband; h = 6,7 mm for filtered UVA, UVB, UVC, UVI	GIGA with attenuator up to 7 W/cm ²
XL 4,00 mm ²	E = UV-Index spectral response according to CIE687	5ISO90 3-pin TO5 housing, h = 4,2 mm, 2 pins isolated, 1 pin grounded	

SG01S-18

Broadband SiC based UV photodiode $A = 0,06 \text{ mm}^2$

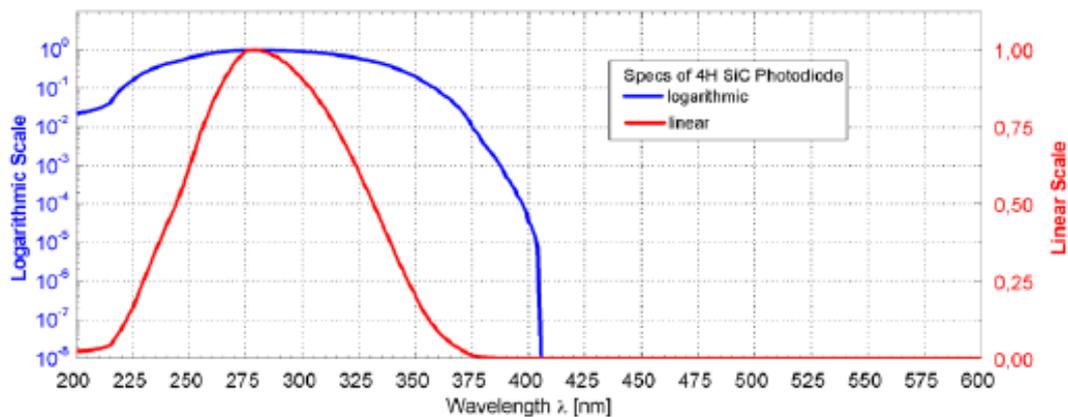


▶ 2/4

▶ SPECIFICATIONS

Parameter	Symbol	Value	Unit
Spectral Characteristics			
Typical Responsivity at Peak Wavelength	S_{max}	0,130	AW^{-1}
Wavelength of max. Spectral Responsivity	λ_{max}	280	nm
Responsivity Range ($S=0,1*S_{\text{max}}$)	–	221 ... 358	nm
Visible Blindness ($S_{\text{max}}/S_{>405\text{nm}}$)	VB	$> 10^{10}$	–
General Characteristics (T=25°C)			
Active Area	A	0,06	mm^2
Dark Current (1V reverse bias)	I_{d}	0,2	fA
Capacitance	C	15	pF
Short Circuit (10mW/cm ² at peak)	I_{o}	780	nA
Temperature Coefficient	T_{c}	$< 0,1$	%/K
Maximum Ratings			
Operating Temperature	T_{opt}	-55 ... +170	°C
Storage Temperature	T_{stor}	-55 ... +170	°C
Soldering Temperature (35)	T_{sold}	260	°C
Reverse Voltage	V_{Rmax}	20	V

▶ NORMALIZED SPECTRAL RESPONSIVITY

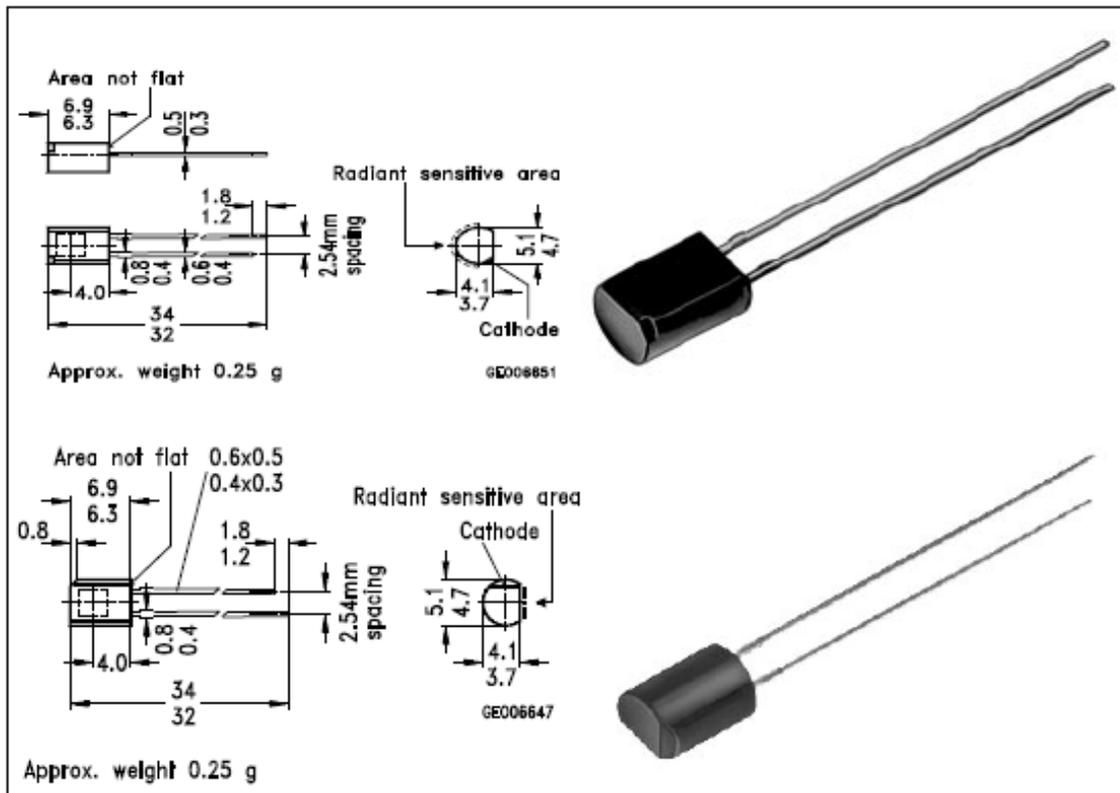


sglux GmbH | Max-Planck-Str. 3 | D-12489 Berlin | Tel. +49 30 5301 5211 | welcome@sglux.de | www.sglux.de

Rev. 6.0 Due to our strive for continuous improvement, specifications are subject to change within our PCN policy according to JESD46C.

Silizium-PIN-Fotodiode mit Tageslichtsperrfilter Silicon-PIN-Photodiode with Daylight Filter

SFH 205
SFH 206



Maße in mm, wenn nicht anders angegeben/Dimensions in mm, unless otherwise specified.

Wesentliche Merkmale

- Speziell geeignet für Anwendungen bei 950 nm
- Kurze Schaltzeit (typ. 20 ns)
- 5 mm-Plastikbauform im LED-Gehäuse
- Auch gegurtet lieferbar

Anwendungen

- IR-Fernsteuerung von Fernseh- und Rundfunkgeräten, Videorecordern, Lichtdimmern, Gerätefernsteuerungen
- Lichtschranken für Gleich- und Wechsellichtbetrieb

Features

- Especially suitable for applications of 950 nm
- Short switching time (typ. 20 ns)
- 5 mm LED plastic package
- Also available on tape

Applications

- IR-remote control of hi-fi and TV sets, video tape recorders, dimmers, remote control of various equipment
- Light reflecting switches for steady and varying intensity

SIEMENS**SFH 205
SFH 206**

Typ (* ab 4/95) Type (* as of 4/95)	Bestellnummer Ordering Code	Gehäuse Package
SFH 205 (* SFH 205 F)	Q62702-P102	10 A3 DIN 41868 (TO-92-ähnlich), schwarzes Epoxy-Gießharz, Lötspieße im 2.54-mm-Raster (¹ / ₁₀), Kathodenkennzeichnung: Gehäusekerbe
SFH 206 (* SFH 206 F)	Q62702-P128	10 A3 DIN 41 868 (similar to TO-92), black epoxy resin, solder tabs 2.54 (¹ / ₁₀) lead spacing, cathode marking: notch at package

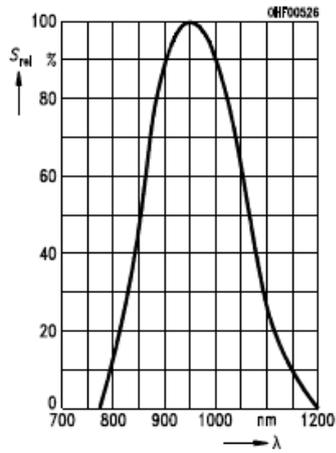
**Grenzwerte
Maximum Ratings**

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Betriebs- und Lagertemperatur Operating and storage temperature range	$T_{op}; T_{stg}$	-55 ... +80	°C
Löttemperatur (Lötstelle 2 mm vom Gehäuse entfernt bei Lötzeit $t \leq 3s$) Soldering temperature in 2 mm distance from case bottom ($t \leq 3s$)	T_S	230	°C
Sperrspannung Reverse voltage	V_R	32	V
Verlustleistung, $T_A = 25\text{ °C}$ Total power dissipation	P_{tot}	150	mW

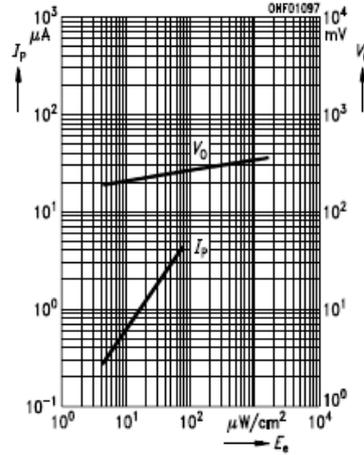
**Kennwerte ($T_A = 25\text{ °C}$, $\lambda = 950\text{ nm}$)
Characteristics**

Bezeichnung Description	Symbol Symbol	Wert Value	Einheit Unit
Fotoempfindlichkeit Spectral sensitivity $V_R = 5\text{ V}$, $E_e = 0.5\text{ mW/cm}^2$	S	25 (≥ 15)	μA
Wellenlänge der max. Fotoempfindlichkeit Wavelength of max. sensitivity	$\lambda_{S\text{ max}}$	950	nm
Spektraler Bereich der Fotoempfindlichkeit $S = 10\%$ von S_{max} Spectral range of sensitivity $S = 10\%$ of S_{max}	λ	800 ... 1100	nm
Bestrahlungsempfindliche Fläche Radiant sensitive area	A	7.00	mm^2

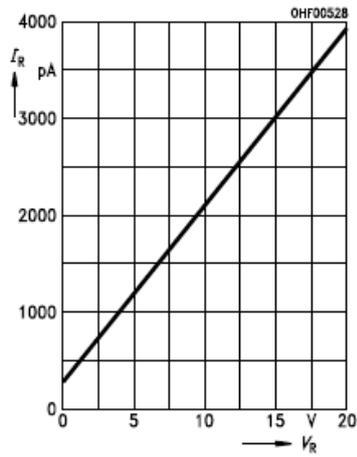
Relative spectral sensitivity
 $S_{rel} = f(\lambda)$



Photocurrent $I_p = f(E_e), V_R = 5 \text{ V}$
Open-circuit-voltage $V_o = f(E_e)$



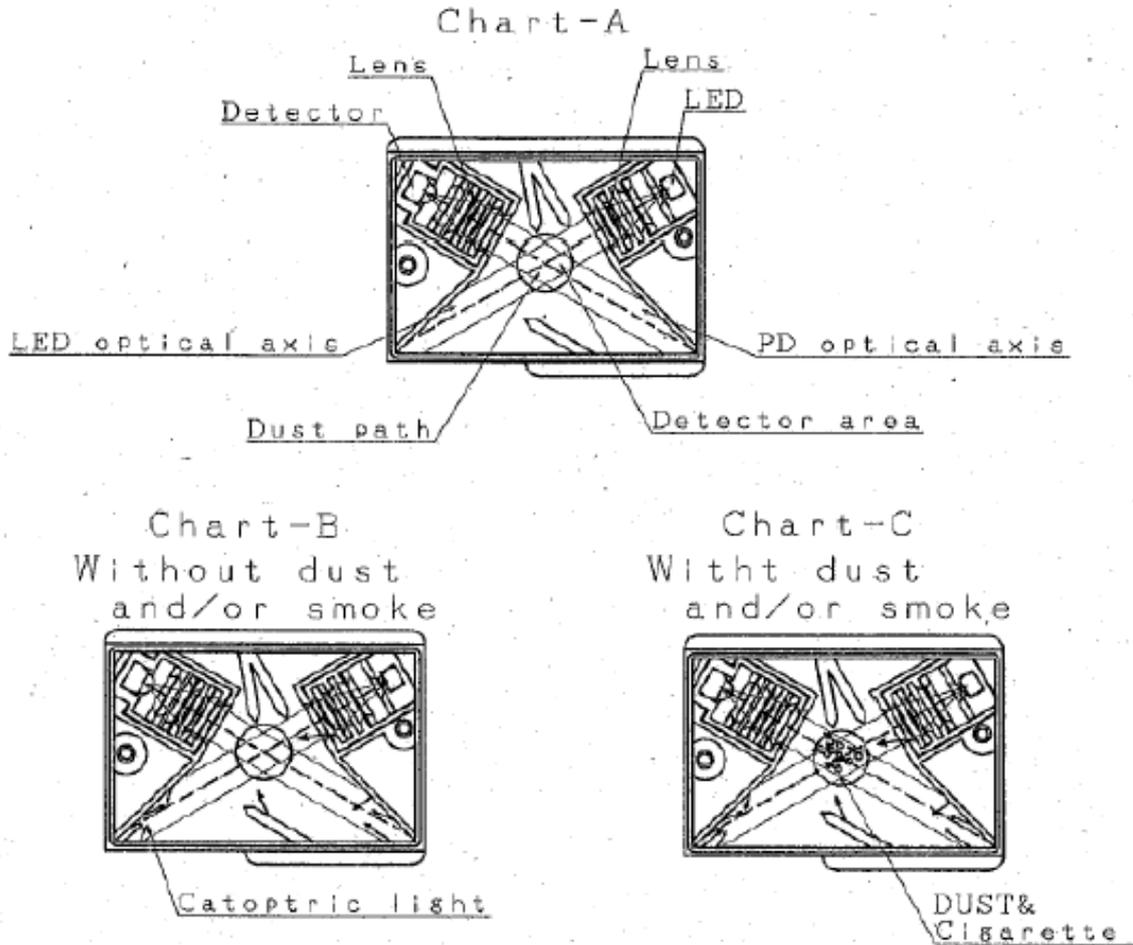
Dark current
 $I_R = f(V_R), E = 0$



Capacitance
 $C = f(V_R), f = 1 \text{ MHz}, E = 0$

5. Principles of dust detection

This dust sensor "GP2Y1010AU0F" is the device to detect house dust, cigarette smoke, etc. and designed as a sensor for automatic running of application like air purifier and air conditioner with air purifier function.



Light from the light emitter (Light Emitting Diode) is spotted with a lens and a slit as shown on the chart-A. Also for the light detector (Photodiode), a lens and a slit is positioned in front of it to cut disturbance light and to detect light reflection (when detecting dust) efficiently. Area where those two optical axis cross is detection area of the device.

Chart-B shows what is ongoing inside of the device when no dust exists and Chart-C shows that when dust exists.

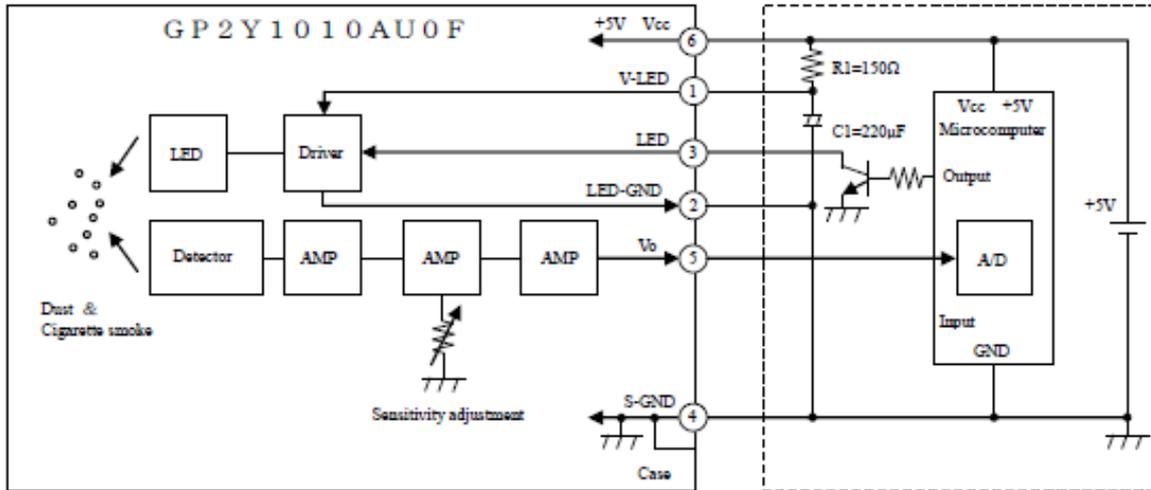
The device makes voltage output even when dust is not being detected. This output voltage at no dust condition is specified as V_{oc} on the specification. This is because light emitted from the LED reflects at case of the device & some part of it gets to the detector.

Chart-C shows how the device works when dust and/or cigarette smoke exists inside of it. In this case, the detector detects the light reflected from the dust and/or a particle of the cigarette smoke. Current in proportion to amount of the detected light comes out from the detector and the device makes analog voltage output (Pulse output) after the amplifier circuit amplifies the current from the detector.

6. Application guidance

6-1 Example of system connection

<Example>

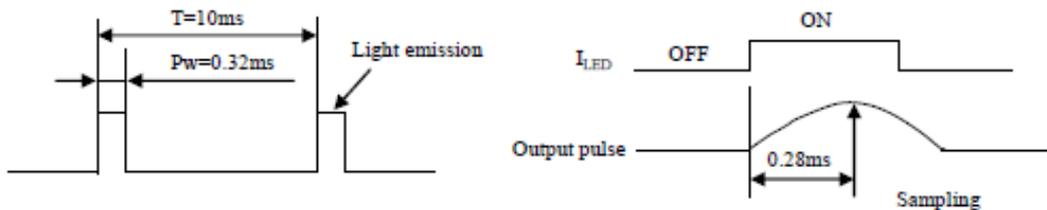


- Resistor, R1=150Ω and capacitor, C1=220μF mentioned above is required for pulse drive of the LED of GP2Y1010AU0F. Please use the ones with the above mentioned constants. Without these components, the device does not work.
- As input conditions of the LED terminal, please apply LED drive conditions mentioned in Electro-optical characteristics chart of the specification. When it is impossible to apply those conditions, please make it within the recommended input conditions mentioned in the specification. When the LED is driven under the condition beyond the specification, characteristics of the device will be affected.

Parameter	Symbol	Specified condition	Recommended condition	Unit
Pulse cycle	T	10	10±1	ms
Pulse width	Pw	0.32	0.32±0.02	ms

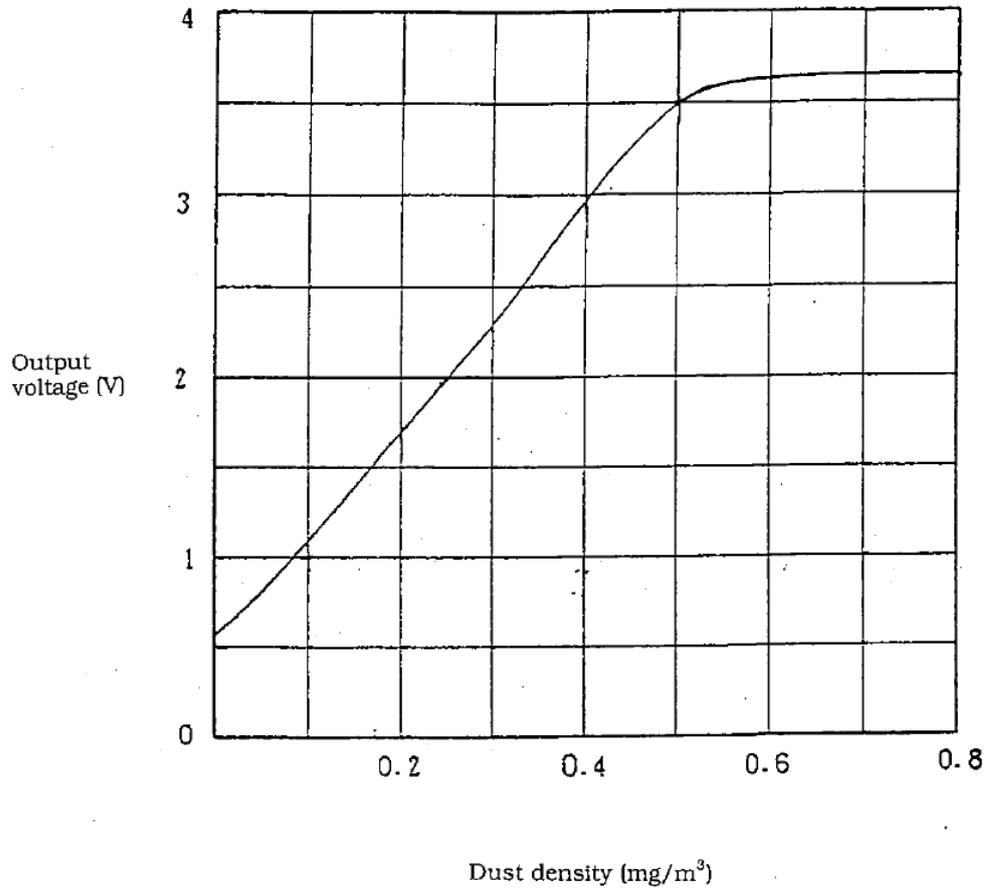
- The LED emits pulse light. Detected signal is amplified by the amplifier circuit and goes out as the output synchronized to the pulse mission of the LED.
- The specified output value is the one that is measured 0.28ms after the LED is turned on. Therefore, it is recommended that microcomputer to read the output 0.28ms after the LED emission also.

Sampling timing of output pulse



- Time required for the device to be ready to detect dust from when the system is turned on is less than 1 sec.

GP2Y1010AU Output voltage vs. Dust density characteristics (Example)



LES PRINCIPAUX POLLUANTS

LES PRINCIPAUX POLLUANTS		Impact sur l'Environnement	Impact sur la santé
Polluants OXYDES D'AZOTE (NOx) (NOx = NO + NO ₂)	Origine Toutes combustions à hautes températures de combustibles fossiles (charbon, fioul, essence ...). Le monoxyde d'azote (NO) rejeté par les pots d'échappement s'oxyde dans l'air et se transforme en dioxyde d'azote (NO ₂) qui est à 90% un polluant «secondaire».	rôle de précurseur dans la formation d'ozone dans la basse atmosphère, contribuant aux pluies acides qui affectent les végétaux et les sols, contribuent à la concentration de nitrates dans les sols.	NO ₂ : gaz irritant pour les bronches (augmente la fréquence et la gravité des crises chez les asthmatiques et favorise les infections pulmonaires infantiles), NO non toxique pour l'homme aux concentrations environnementales.
HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES (HAP) ET COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV)	Combustions incomplètes, utilisation de solvants (peintures, colles) et de dégraissants, produits de nettoyage, remplissage de réservoirs automobiles, de citernes ...	précurseurs dans la formation de l'ozone, précurseurs d'autres sous-produits à caractère oxydant (PAN, acide nitrique, aldéhydes ...).	Effets divers selon les polluants dont irritations et diminution de la capacité respiratoire , considérés pour certains comme cancérogènes pour l'homme (benzène, benz(a)pyrène), Nuisances olfactives fréquentes.
OZONE (O₃)	Polluant secondaire, produit dans l'atmosphère sous l'effet du rayonnement solaire par des réactions complexes entre certains polluants primaires (NOx, CO et COV) et principal indicateur de l'intensité de la pollution photochimique .	perturbe la photosynthèse et conduit à une baïsse de rendement des cultures (5 à 10% pour le blé en Ile-de-France, selon l'INRA), nécesses sur les feuilles et les aiguilles d'arbres forestiers, oxydation de matériaux (caoutchoucs, textiles, ...), contribue à l'effet de serre.	Associé à une augmentation de la mortalité au moment des épisodes de pollution (étude ERPURS/ORS Ile-de-France).
PARTICULES ou poussières en suspension (PM)	Combustions industrielles ou domestiques, transport routier diesel, origine naturelle (volcanisme, érosion ...). Classées en fonction de leur taille : <ul style="list-style-type: none"> PM10 : particules de diamètre inférieur à 10 µm (retenues au niveau du nez et des voies aériennes supérieures) PM2.5 : particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire jusqu'aux alvéoles pulmonaires) 	contribuent aux salissures des bâtiments et des monuments : <ul style="list-style-type: none"> coût du ravalement des bâtiments publics d'Ile-de-France : 1,5 à 7 milliards de francs par an (Source PRQA Ile-de-France), coût du nettoyage du Louvre en 1995 : de l'ordre de 30 millions de francs (Source PRQA Ile-de-France). 	Irritation et altération de la fonction respiratoire chez les personnes sensibles, Peuvent être combinées à des substances toxiques voire cancérogènes comme les métaux lourds et des hydrocarbures, Associées à une augmentation de la mortalité pour causes respiratoires ou cardiovasculaires (ERPURS/ORS Ile-de-France).
DIOXYDE DE SOUFRE (SO₂)	Combustions de combustibles fossiles (fioul, charbon, lignite, gazole...) contenant du soufre. La nature émet aussi des produits soufrés (volcans).	contribue aux pluies acides qui affectent les végétaux et les sols, dégrade la pierre (cristaux de gypse et croûtes noires de micro particules cimentées).	Irritation des muqueuses de la peau et des voies respiratoires supérieures (toux, gêne respiratoire, troubles asthmatiques).
MONOXYDE DE CARBONE (CO)	Combustions incomplètes (gaz, charbon, fioul ou bois), dues à des installations mal réglées (chauffage domestique) et provenant principalement des gaz d'échappement des véhicules.	participe aux mécanismes de formation de l'ozone , se transforme en gaz carbonique CO₂ , et contribue ainsi à l'effet de serre.	Intoxications à fortes teneurs provoquant maux de tête et vertiges (voir le coma et la mort pour une exposition prolongée). Le CO se fixe à la place de l'oxygène sur l'hémoglobine du sang.
MÉTAUX LOURDS plomb (Pb), mercure (Hg), arsenic (As), cadmium (Cd), nickel (Ni)	Proviennent de la combustion des charbons, pétroles, ordures ménagères mais aussi de certains procédés industriels (production du cristal, métallurgie, fabrication de batteries électriques). Plomb : principalement émis par le trafic automobile jusqu'à l'interdiction totale de l'essence plombée (01/01/2000).	contamination des sols et des aliments, s'accroissent dans les organismes vivants dont ils perturbent l'équilibre biologique.	S'accroissent dans l'organisme, effets toxiques à plus ou moins long terme , Affectent le système nerveux, les fonctions rénales hépatiques, respiratoires
POLLENS	Éléments reproducteurs produits par les organes mâles des plantes, se dispersent soit grâce aux insectes (roses, pissenlits, marguerites, arbres fruitiers), soit par le vent (graminées, oselle, armoise, ambroisie, oyrres, bouleau).		Allergie saisonnière au pollen des arbres, plantes, herbacées et graminées (pollinose ou rhume des foins) : <ul style="list-style-type: none"> concerne 10 à 30% de la population, les pollens les plus allergisants sont : bouleau, auline, roselier, platane, olivier, frêne, chêne, graminées, plantain, armoise, ambroisie ...
ODEURS	Substances chimiques de composition très variable comme certains COV, parfums uniquement détectables par le nez humain (outil le plus sensible mais subjectif).		Agréables ou désagréables (caractère subjectif), Peuvent être une atteinte au bien-être, Ne sont pas forcément liées au risque sanitaire , Ne font pas partie des critères de toxicité.

AUTRES SOURCES DE NUISANCES

air parif – rapport du 14 septembre 2011



Le long de la circulation, des particules en majorité franciliennes avec une contribution importante et stable toute l'année du trafic routier

Particules fines PM2.5

Origine géographique

Près de 60% de la concentration annuelle en particules fines mesurée sur le site trafic du Périphérique résulte d'une production locale : par le trafic généré par cet axe routier à près de 44%, et par la pollution générale de l'agglomération parisienne pour 17%. Près de 40 % de ces niveaux proviennent en revanche de l'import, c'est-à-dire de particules transportées provenant d'autres régions françaises et européennes.

Sources et origines des particules fines PM2.5 mesurées sur le site trafic du "Boulevard périphérique" du 11/09/2009 au 10/09/2010

Site trafic du Périphérique	Particules produites en Ile-de-France		Particules importées
	par le trafic local	par l'agglomération	
Proportion de particules fines apportées	44% (11 g/m ³)	17% (4 µg/m ³)	39% (10 µg/m ³)
Sources principales	<ul style="list-style-type: none"> • trafic dont fumées d'échappement (40%) 	<ul style="list-style-type: none"> • trafic de l'agglomération (4%) • chauffage résidentiel au bois (4%) • réactions chimiques dans l'atmosphère (5%) • industrie (2%) 	<ul style="list-style-type: none"> • réactions chimiques dans l'atmosphère (19%). Précurseurs émis principalement par le trafic, l'agriculture et l'industrie • chauffage résidentiel et tertiaire (9%) • trafic routier (3%) • autres transports dont maritime (3%) • industrie (2%) • source naturelle (1%)

• Action locale sur le trafic de cet axe

• Action locale à l'échelle de l'agglomération

• Action nationale et européenne



Dans l'agglomération parisienne et loin du trafic, des particules qui proviennent en majorité de transferts de pollution

En situation éloignée du trafic, les deux tiers de la concentration annuelle en particules fines PM2.5 mesurée à Paris, proviennent de sources extérieures à la région. Un tiers est cependant généré par des sources localisées dans l'agglomération parisienne, et notamment le chauffage au bois et le trafic.

Origine géographique des particules PM2.5 mesurées dans l'agglomération parisienne à Paris. (sept. 2009 à sept. 2010)

Site urbain éloigné du trafic (Paris)	Particules produites en Ile-de-France par l'agglomération		Particules importées
Particules fines PM2.5	32% (4 µg/m ³)		68% (10 µg/m ³)
Sources principales	<ul style="list-style-type: none"> • réactions chimiques dans l'atmosphère (7%) • chauffage (9% dont 7% du chauffage au bois) • trafic routier (8%) • industrie (3%) 		<ul style="list-style-type: none"> • réactions chimiques dans l'atmosphère (34%). Précurseurs émis principalement par le trafic, l'agriculture et l'industrie • chauffage du secteur résidentiel et tertiaire (16%) • trafic routier (6%) • autres transports dont maritime (5%) • industrie (3%) • sources naturelles (2%)

• Action locale

• Action nationale et européenne

https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/synthese_particules_110914.pdf

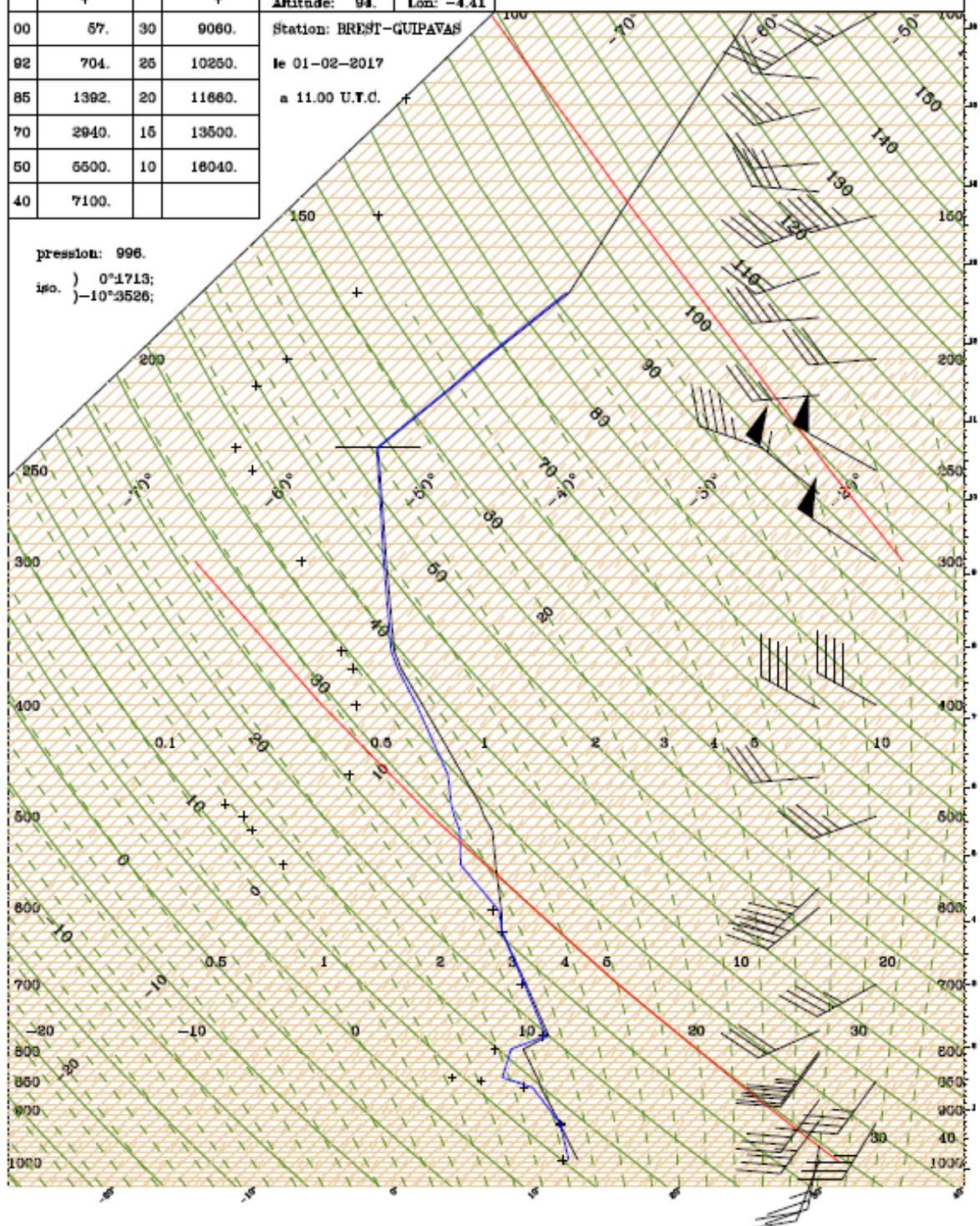
EMAGRAMME OBLIQUE a 45° y (mm) = 764,4 - 254,8log p Equivalence de 0,5 cm⁴ 0,0472 Jg⁻¹; 0,0113 Cal II g⁻¹ 4,017 gpm
 z (mm) = 2,91t + 764,4 - 254,8log p 0,047 °Cg⁻¹ (str sec a p-Cte)

	φ		φ
00	57.	30	9060.
92	704.	25	10250.
85	1392.	20	11660.
70	2940.	15	13500.
50	5500.	10	16040.
40	7100.		

Indicatif: 07110 Lat: 48.44
 Altitude: 94 Lon: -4.41

Station: BREST-GUIPAVAS
 le 01-02-2017
 a 11.00 U.T.C.

pression: 996.
 iso.) 0°:1713;
) -10°:3526;



RADIOSONDAGE de BREST