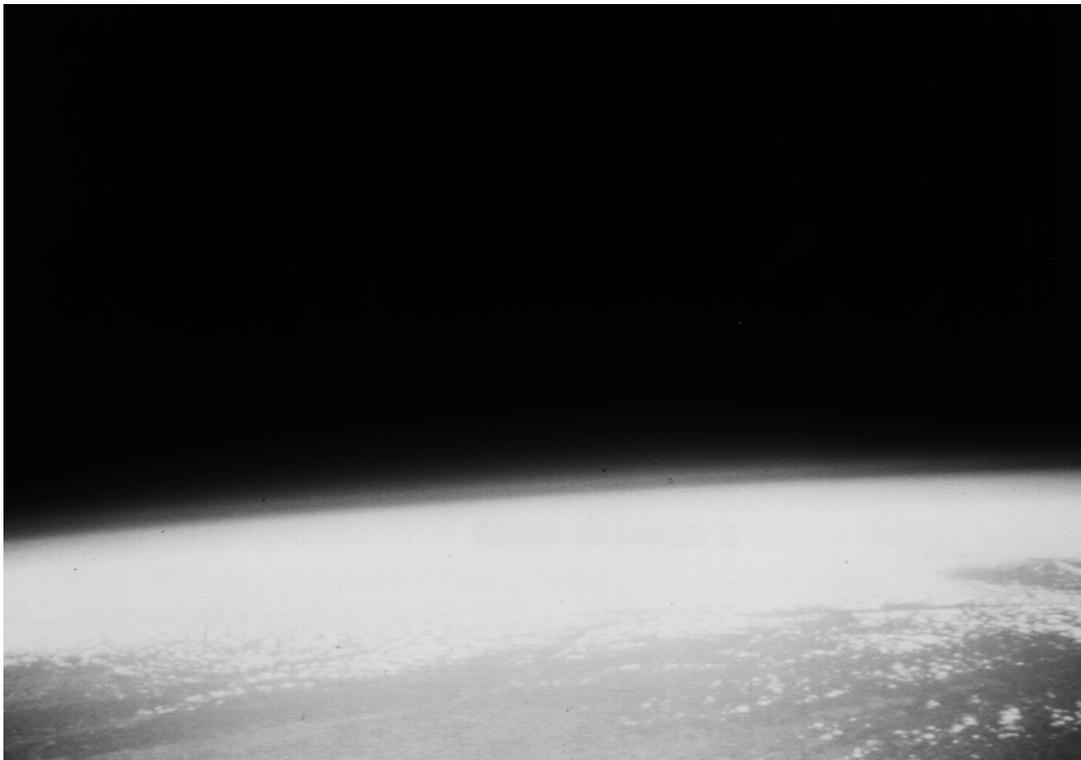




PLANETE SCIENCES - Secteur Espace
16, place Jacques Brel - 91130 RIS-ORANGIS
Tél. : (0)1 69 02 76 10 / Fax : (0)1 69 43 21 43
Site Internet : www.planete-sciences.org/espace

Service Jeunesse et acteurs de l'Education
18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 9
Tél. : ()5 61 27 31 14 / Fax : ()5 61 28 27 67
Site Internet : <http://www.cnes.fr/enseignants-et-mediateurs>



QUE PEUT-ON FAIRE AVEC UN BALLON ?

Version 9 (Octobre 2016)

Cahier Planète Sciences

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	4
2. DESCRIPTION DE L'ACTIVITE	5
2.1 DEFINITION D'UN BALLON EXPERIMENTAL	5
2.2 ORGANISATION DE L'ACTIVITE.....	5
2.3 DESCRIPTION DE LA CHAINE DE VOL	6
3. LES TECHNIQUES DE FABRICATION.....	7
3.1 LA NACELLE	7
3.2 LA MECANIQUE.....	7
3.3 L'ELECTRICITE, L'ELECTRONIQUE.....	8
4. LES EXPERIENCES LIEES AU FONCTIONNEMENT DES BALLONS	10
4.1 LA POUSSEE D'ARCHIMEDE	10
4.2 RECHERCHE DOCUMENTAIRE	12
4.3 PRINCIPE DES BALLONS FERMES DILATABLES	12
4.4 AUTRES TYPES DE BALLONS	13
4.5 LA VITESSE ASCENSIONNELLE	15
4.6 LA VITESSE HORIZONTALE	15
4.7 MOUVEMENTS DU BALLON	16
4.8 LE PARACHUTE	17
4.9 L'HELIUM	17
5. EXPERIENCES SUR L'ATMOSPHERE	18
5.1 LA TEMPERATURE.....	18
5.2 LA PRESSION / L'ALTITUDE	22
5.3 LA MASSE VOLUMIQUE DE L'AIR.....	26
5.4 L'HUMIDITE	26
5.5 LA PROPAGATION DU SON	29
5.6 LE PROFIL DE MONTEE.....	29
5.7 LA POLLUTION.....	31
6. EXPERIENCES SUR LE RAYONNEMENT	32
6.1 LE RAYONNEMENT SOLAIRE	32
6.2 CALIBRATION D'UNE PHOTODIODE	34
6.3 L'ENERGIE SOLAIRE	40
6.4 LE RAYONNEMENT COSMIQUE	40
7. EXPERIENCES EN TELEDETECTION	41
7.1 L'ALBEDO.....	41
7.2 LA PHOTOGRAPHIE ARGENTIQUE COULEUR	43
7.3 LA PHOTOGRAPHIE ARGENTIQUE NOIR ET BLANC.....	43
7.4 LA PHOTOGRAPHIE NUMERIQUE.....	43
7.5 LA VIDEO	46
8. EXPERIENCES EN BIOLOGIE.....	46
9. LA GEOLOCALISATION.....	46
9.1 PREVISION DE LA TRAJECTOIRE	46
9.2 SUIVI DE LA TRAJECTOIRE	47
10. LES NACELLES LARGABLES	47
11. LA TRANSMISSION DES DONNEES	47
11.1 L'ENREGISTREMENT A BORD	47
11.2 LA TELEMESURE.....	48
11.2.1 Le système Kiwi.....	48
11.2.2 Le Système Kikiwi.....	49
11.2.3 Autres systèmes de télémesures.....	52
12. METHODOLOGIE	52
12.1 APPORTS AUX ENSEIGNEMENTS DE BASE	52
12.2 DEMARCHE DE PROJET.....	53
12.3 DEMARCHE EXPERIMENTALE	53
13. BIBLIOGRAPHIE.....	55

13.1	EXEMPLES DE COMPTE RENDU D'EXPERIENCES ACCESSIBLES SUR LE WEB.....	55
13.2	PUBLICATIONS CNES-PLANETE SCIENCES CONCERNANT L'ACTIVITE BALLONS.....	56
14.	LES PARTENAIRES.....	57
14.1	LE CNES ET LES JEUNES.....	57
14.2	PLANETE SCIENCES	59

*Document rédigé par M. Maignan en regroupant les idées et les pratiques des animateurs de Planète Sciences
et des jeunes.
L'activité ballon pour les jeunes est pratiquée sous l'égide du CNES*

1. Introduction

Que peut-on faire avec un ballon ? Jouer au foot bien sûr mais aussi jouer aux sciences si le ballon utilisé possède quelques particularités telles que :

- être capable de soulever une nacelle de 2,5 kg,
- s'envoler et traverser les différentes couches de l'atmosphère jusqu'à atteindre 25 à 30 km d'altitude,
- voler deux heures et demi avant d'éclater et redescendre sous un parachute qui se chargera de ramener au sol la nacelle, à 10, 100, 250 km plus loin, selon l'humeur des vents.

"Que peut-on faire avec un ballon ?" est destiné aux encadrants, animateurs, enseignants des groupes de jeunes qui souhaitent développer des loisirs et activités d'initiation scientifique et qui ne connaissent pas les possibilités qu'offrent les ballons expérimentaux mis à disposition par le CNES et PLANÈTE SCIENCES. Ce document cherche à répondre à une demande souvent formulée par les enseignants impliqués dans l'opération "Un ballon pour L'Ecole". Certains indiquent que pour leur premier projet, ils auraient souhaité bénéficier de l'expérience acquise sur d'autres projets pour démarrer plus vite et réduire la phase initiale de tâtonnement. Ce document décrit des exemples d'expériences déjà réalisées par des équipes de jeunes en clubs, en milieu scolaire ou en centres de vacances.

A priori, ce document n'est pas directement destiné aux jeunes. Nous regretterions de l'avoir rédigé s'il était fourni comme un catalogue d'expériences parmi lesquelles les jeunes piocheraient, au détriment de leur propre réflexion.

Des comptes rendus de projets réalisés par d'autres équipes sont disponibles sur le site de Planètes Sciences... en attendant le vôtre.

Les expériences proposées sont classées par grands thèmes. Certaines descriptions renvoient à des documents dans lesquels d'autres informations sont disponibles. Une notation tente de donner une indication du niveau de la difficulté de réalisation et non pas de la compréhension de l'expérience par un jeune : N1 = très facile, N5 = très complexe, associée à quelques lettres pour décrire le domaine de compétences requis : Méca = Réalisation mécanique, Elec = Electronique. Info = Informatique etc.

Il s'agit de la huitième version de ce document. Toutes remarques de la part des lecteurs seront les bienvenues (propositions de nouvelles expériences, descriptions des difficultés rencontrées; etc.).

Quelque soit le moyen technique utilisé, le fait que vous ayez obtenu ce document gratuitement n'en fait pas de vous le propriétaire. Ce document reste la propriété de Planète Sciences.

2. Description de l'activité

2.1 Définition d'un ballon expérimental

Planète Sciences et le CNES qualifient de "ballon expérimental" un ballon répondant aux critères suivants :

- Il est réalisé par un groupe d'amateurs, constitué en équipe qui s'appuie sur une démarche expérimentale et une gestion de projet,
- Il contient une expérience embarquée qui le justifie et constitue le cœur du projet,
- Il utilise une enveloppe et les accessoires de chaîne de vol associés, fournis par le CNES et Planète Sciences ou l'une de ses délégations,
- Sa réalisation est conforme aux règles décrites dans le document "Mise en œuvre et Cahier des Charges" ¹ afin de permettre une utilisation et un lâcher en toute sécurité. En particulier, la masse de la nacelle est inférieure à 2,5 kg pour une nacelle simple,
- Le projet fait l'objet d'un suivi de la part de Planète Sciences ou d'une association partenaire,
- Le ballon est lâché depuis un site adapté en France, par une personne habilitée, après avoir passé avec succès les contrôles finaux décrits dans le Cahier des Charges.

2.2 Organisation de l'activité

Planète Sciences est une association qui a pour objectif d'aider les jeunes dans la pratique de leurs loisirs scientifiques. Pour matérialiser son soutien, elle a mis en place une organisation de l'activité avec un volet tourné vers les établissements scolaires ², un autre tourné vers les groupes de jeunes autonomes : les Club.

- Un Club ou un établissement scolaire qui souhaite construire une nacelle de ballon commence par contacter une des associations du réseau Planète Sciences en décrivant ses intentions ³. Le nombre de candidature étant parfois supérieur à la capacité d'encadrement et financière donc dispose Planète Sciences, une sélection est faite sur la base de la qualité des projets proposés. Actuellement une centaine de projets sont suivis par Planète Sciences chaque année.
- Un animateur suiveur est alors désigné par Planète Sciences. Il accompagne l'équipe tout le long du projet en participant à des revues de projet régulières. Pour les aspects techniques, des notes sont disponibles. Planète Sciences peut prêter certains matériels, comme un émetteur de télémétrie, un nécessaire de lâcher et une station de réception au sol,
- Quand la construction de la nacelle est terminée, un animateur habilité (aérotechnicien) au lâcher de ballon qualifie la nacelle. Il s'assure qu'elle est conforme au Cahier des Charges à l'aide du tableau récapitulatif placé à la fin de ce document. Avec les jeunes, il met en œuvre le matériel de lâcher suivant les procédures en vigueur. Cet animateur a obtenu l'habilitation après avoir suivi un stage de formation spécifique. Il a la responsabilité du lâcher et doit donc être présent sur le lieu du lâcher.

En aucun cas un lâcher de ballon expérimental ne peut avoir lieu sans la présence d'un animateur habilité sur l'aire de lâcher.

- Après le vol, l'équipe de jeunes dépouille les résultats et rédige dans les semaines qui suivent un compte rendu dont un exemplaire doit être envoyé à Planète Sciences et au CNES dans les trois mois qui suivent la fin du projet.

¹ Disponible sur le site Internet de Planète Sciences [http:// www.planete-sciences.org/espace](http://www.planete-sciences.org/espace)

² Opération « Un ballon pour l'école en autre »

³ Pour les établissements scolaire une fiche d'inscription à UBPE est disponible.

- Le CNES soutient Planète Sciences dans cette démarche grâce à une contribution financière pour le suivi des équipes et l'achat du matériel consommable, aux prêts de matériel (émetteurs, stations de réception sol,) et une participation à la définition des objectifs éducatifs.

2.3 Description de la chaîne de vol

Les ballons mis à disposition sont fabriqués pour les besoins de la veille météorologique. Des dizaines de ballons de ce genre, équipés d'une sonde, sont lâchés chaque jour dans le monde, transmettant au sol les paramètres de température, pression et humidité. Ce type de ballon a été choisi pour sa simplicité de mise en œuvre.

L'altitude moyenne avant l'éclatement est de 28 km pour une charge utile de 2,5 kg maximum et une durée de vol de l'ordre de 3 heures. Un ballon sonde est constitué de plusieurs éléments qui forment la chaîne de vol : une fois assemblée, elle peut atteindre jusqu'à 8 mètres de longueur.

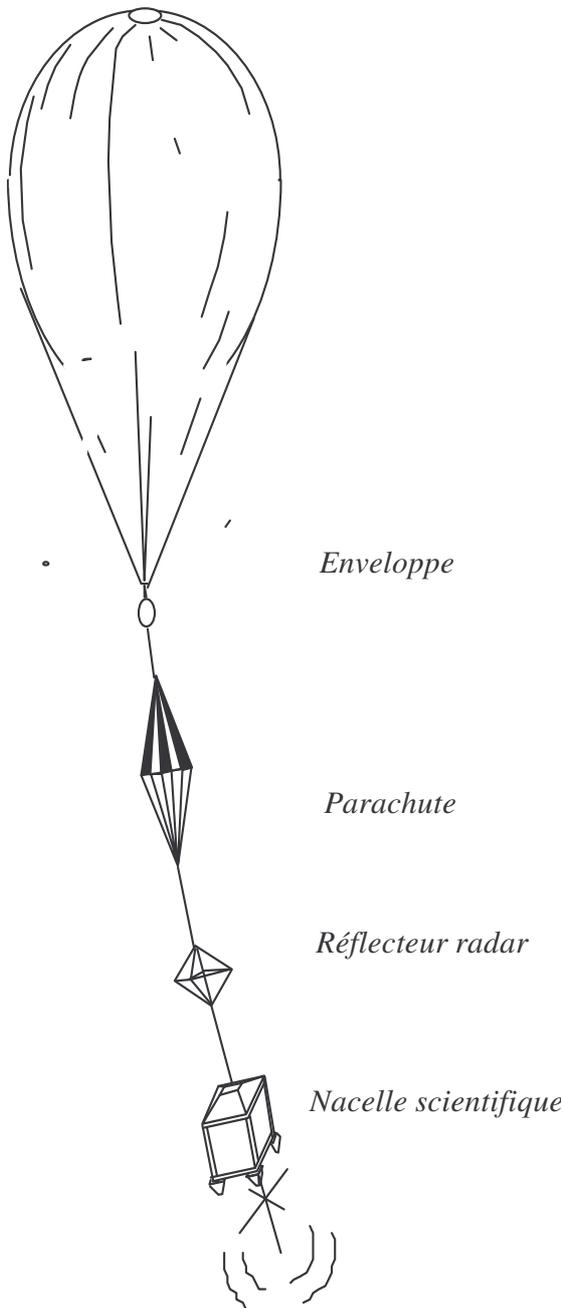


Figure 1

L'enveloppe : fabriquée avec un matériau très élastique (latex ou chloroprène) de quelques microns d'épaisseur. Elle est donc assez fragile et les opérations de gonflage doivent être effectuées avec précaution. Elle est gonflée à l'hélium, gaz inerte moins dense que l'air et sans danger, à la différence de l'hydrogène dont l'utilisation est interdite pour cette application.

Le parachute : préalablement inséré dans la chaîne de vol, il s'ouvre pour freiner la descente de la nacelle après l'éclatement du ballon. Un anneau de pré-déploiement facilite son ouverture.

Le réflecteur-radar : le ballon est équipé d'un réflecteur radar facilitant son repérage par les services de navigation aérienne.

La nacelle (ou charge utile) contient l'expérience scientifique. Elle peut embarquer un système de télémétrie qui retransmet au sol les résultats des mesures effectuées en temps réel.

3. Les techniques de fabrication

3.1 La nacelle

La fabrication d'une nacelle est l'occasion de s'initier à diverses techniques de construction : dessiner, coter des plans, mesurer, découper, scier, assembler, coller, câbler, souder, etc.

La nacelle a pour rôle d'emballer les expériences. La protection recherchée est d'abord thermique et mécanique.

Le matériau de construction recommandé est le polystyrène extrudé⁴ en plaque de 20/30 mm d'épaisseur, découpé à la scie ou au cutter et assemblé à la colle blanche à bois. Ce matériau se ponce facilement avec des papiers abrasifs à gros grain. En attendant que la colle sèche les liaisons peuvent être renforcées en piquant entre les plaques des cure-dents en guise de clous. La nacelle est parfois emballée dans une couverture de survie dorée ou argentée. Sans être très difficile à réaliser, le travail de découpe et l'assemblage doivent être un minimum soigné pour éviter les courants d'air (N2-Meca).

En effet à haute altitude, la température extérieure va descendre jusqu'à -50 °C, voire -60 °C. Les piles, les capteurs, les appareils photos et les circuits électroniques sont incapables de fonctionner à d'aussi basses températures. Le polystyrène étant un bon isolant, la nacelle va limiter le refroidissement de son contenu. A l'intérieur d'une nacelle bien faite, la température ne descend guère en dessous de -20 °C, d'autant que l'électronique, et les piles quand il y en a, dissipent un peu de chaleur.

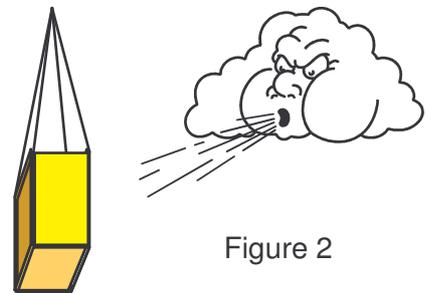


Figure 2

Les piles doivent être placées à l'intérieur de la nacelle et protégées une seconde fois dans une boîte en polystyrène réalisée de la même manière que la nacelle.

A l'intérieur de la nacelle les objets sont disposés de façon rationnelle afin de ne pas se perturber mutuellement, et être accessibles pour être démontés sans avoir à « casser » toute la nacelle pour en extraire un élément, d'où le besoin de réfléchir et de dessiner quelques plans avant d'attaquer les découpes. Les capteurs et les plaques électroniques sont montés et calés par des blocs et des entretoises de polystyrène. Des plaques de support peuvent être réalisées en bois léger (balsa) ou en plastique.

Le métal, la fibre de verre sont prohibés car lourds et trop résistants en cas de choc.

La fabrication du contenu de la nacelle fait appel principalement à de la petite mécanique et à du câblage électrique et/ou électronique.

3.2 La mécanique

La petite mécanique consiste à fabriquer quelques pièces, des équerres, des supports, etc. en plastique et/ou en métaux légers, puis à les assembler par vissage, rivetage aux rivets pop, collage, etc. Des montages à base de petits moteurs électriques et d'engrenages sont courants en particulier pour déclencher des appareils photos à intervalles de temps réguliers. On récupère les moteurs en démontant de vieux jouets, en exploitant les possibilités, des boîtes de Lego®

⁴ Le polystyrène extrudé s'achète en plaque chez les fournisseurs de matériaux pour l'habitat. Le polystyrène expansé (le « blanc » fait par assemblage de billes) est à proscrire car il ne supporte pas la baisse de pression rencontrée en altitude.

Technique ou équivalent (N2-Meca). On trouve aussi des boutiques ⁵ qui proposent des moteurs avec des jeux d'engrenages permettant de réaliser des réducteurs de vitesse.

3.3 L'électricité, l'électronique

En électricité, on apprend à dessiner, à lire des schémas de câblage, à reconnaître les composants de base : piles, interrupteurs, moteurs etc.. Pour les nacelles simples, le câblage des fils est possible par épissures et/ou en utilisant des dominos (N2-Elec). Quand le câblage des nacelles se complique, la soudure à l'étain devient nécessaire et on peut alors s'initier à la réalisation de quelques câblages sur des plaques à trous (N3-Elec). Il faut utiliser du fil de câblage multibrins isolé, le fil monobrin est à proscrire car trop cassant. On peut aussi réaliser quelques circuits imprimés.

Le câblage électrique ou électronique est une bonne école de rigueur. Axiome de base : un montage ne fonctionne pas, faute de savoir le dépanner. Quand un circuit est monté sans rigueur, on est très vite "paumé" dans tous les fils. Il faut apprendre à s'imposer des règles : le fil rouge est destiné au + de la pile, le noir au -, le violet au capteur, le vert au voyant marche/arrêt, etc. et reporter cela sur les schémas de câblage. On s'initie à tenir à jour la documentation. Les jeunes comprennent très vite que si le capteur ne fonctionne plus, il faut commencer par vérifier l'état du fil violet.

Le prestige et le moral de l'encadrement s'en trouvent renforcés quand, grâce à des câblages propres, il n'est pas nécessaire de suer une heure sur un montage pour aider à trouver l'origine de la panne !

On peut réaliser le montage à plat sur table pour bien le comprendre et le vérifier, ensuite on l'installe dans la nacelle.

En électronique, nous définissons deux niveaux de difficulté :

- un niveau simple où l'on utilise exclusivement des composants passifs (résistances, condensateurs, contacts, relais, interrupteurs, led, ampoules, photodiodes, photo résistances, CTN, etc.)
- un niveau plus complexe où, en plus des composants passifs, on emploie des composants actifs (amplificateurs opérationnels, transistors, diodes, etc.).

Avec les composants passifs, le schéma de base que nous proposons est le pont diviseur de tension. Comme les différents montages le montrent, une seule résistance est à câbler en plus du capteur. Dans ce montage, la tension de sortie V_s est donnée par la célèbre formule du "pont diviseur" :

$$V_s = 5 \text{ V} \frac{\text{Résistance du capteur}}{\text{Résistance du capteur} + \text{Résistance fixe}}$$

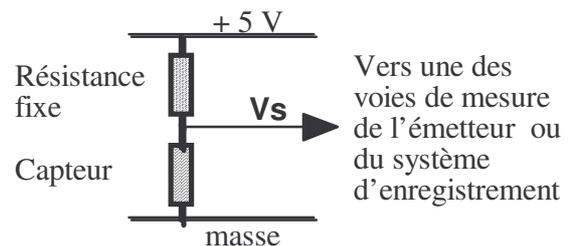


Figure 3

Comme la résistance du capteur dépend du paramètre physique que l'on mesure, la tension V_s dépend de ce paramètre. Ainsi, on transforme les évolutions d'un paramètre physique en grandeur électrique. Pour obtenir la plus grande variation de tension, il faut que la résistance fixe ait une valeur proche de celle du capteur pour la valeur médiane du paramètre mesuré.

La tension V_s porteuse de l'information souhaitée est destinée soit à être enregistrée à bord soit à être transmise par radio. Des détails sont donnés sur ces procédés au paragraphe 11. Les

⁵ Catalogue Opitec par exemple. <http://db.opitec.com> qui propose un kit de moteur électrique, des engrenages et une carcasse pour son montage.

schémas ci-dessous, avec le choix de la tension de 5 V, sont donnés pour être compatibles avec le système de télémessure KIWI décrit au paragraphe 11.2. Pour être compatible du système Kikiwi la tension est de 3 V comme décrit au paragraphe XXX.

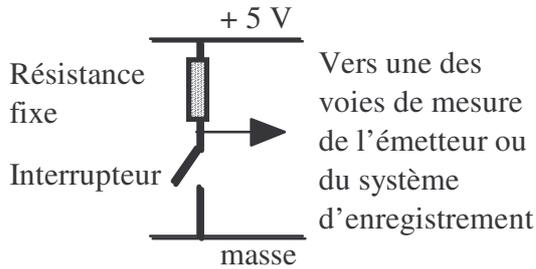


Figure 4 :Capteur d'état ⁶

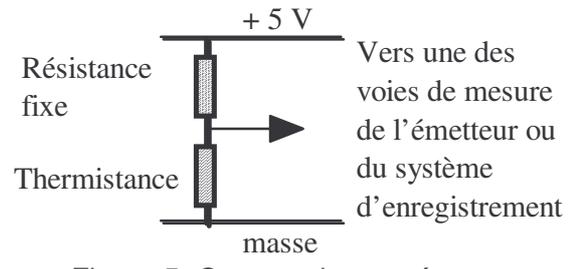


Figure 5 :Capteur de température

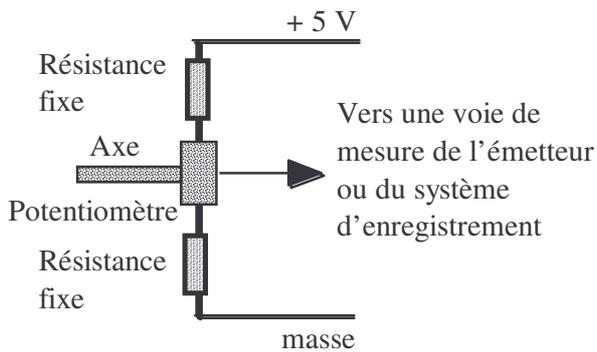


Figure 6 : Capteur de position angulaire

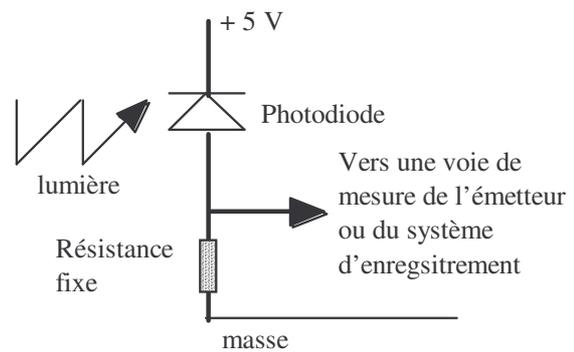


Figure 7 : Capteur de lumière à photodiode

Un faisceau lumineux émis par une ampoule ou une LED et masqué partiellement par une pièce en mouvement, permet de connaître la position de cette dernière sans contact.

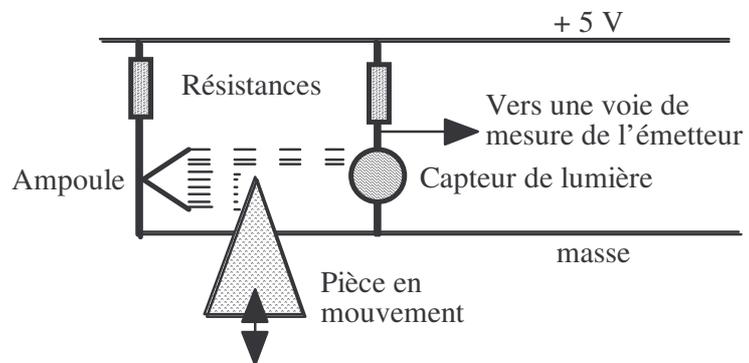


Figure 8

Des capteurs d'état sans contact peuvent aussi être réalisés avec des détecteurs magnétiques, des relais magnétiques, des fourches magnétiques. Le mouvement est détecté sans contact physique ce qui simplifie souvent la réalisation mécanique.

Exemple de fourche magnétique ⁷, le passage d'une pièce métallique entre les doigts de la fourche est détecté.



Figure 9

⁶ Un état décrit la situation d'un système. Exemple : une boîte est à l'état ouvert ou à l'état fermé.

⁷ SR16/17 de chey Honeywell

Très simple de mise au point, ayant une précision de mesure le plus souvent suffisante, facile à comprendre et à calculer, facile à dépanner, ce type de montage et ses variantes sont à notre avis les seuls utilisables en milieu scolaire, primaires, collèges et lycées.

Pratiquer une électronique plus complexe à pour conséquence de déposséder le jeune de sa réalisation car quand les montages sont plus élaborés, leur mise au point finale est le plus souvent effectuée par l'encadrement.

L'utilisation de composants actifs, principalement des amplificateurs opérationnels destinés à amplifier de faibles signaux issus de capteurs, nécessite des connaissances en électronique de la part de la personne encadrante et un peu de pratique préalable.

Nous ne surprendrons personne en affirmant qu'avant d'enseigner une discipline, il est nécessaire de la maîtriser quelque peu, même si les notions mises en jeu sont du niveau des premiers chapitres d'un bouquin d'électronique.

Il faut savoir choisir et calculer le montage adapté en fonction du type de capteur.

En particulier, dans le cas de l'embarquement simultané d'ampli op. et d'un émetteur KIWI, des règles de choix de montage et de câblage⁸ doivent être appliquées pour éviter que l'émetteur ne perturbe le reste de l'électronique par son rayonnement. En effet, en l'absence de précaution, le champ électrique rayonné par l'émetteur perturbe les autres circuits au point parfois d'arrêter leur fonctionnement.

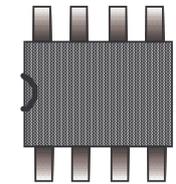
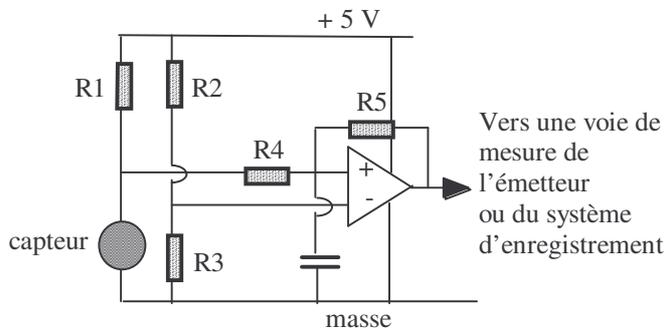


Figure 10

Figure 11 : Schéma typique pour un capteur petits signaux, équipé d'un amplificateur opérationnel.

Des circuits électroniques utilisant des composants actifs sont, à notre avis, réservés aux équipes dont l'encadrement a quelques compétences dans le domaine et un peu de temps à consacrer à leur mise au point (lycées techniques, clubs, etc.).

4. Les expériences liées au fonctionnement des ballons

4.1 La poussée d'Archimède

Monsieur, pourquoi le ballon monte-t-il ? La poussée d'Archimède est bien sûr l'explication du fonctionnement d'un ballon. "Tout corps plongé dans un fluide.... etc." La poussée d'Archimède est un peu le moteur ascensionnel des ballons.

De nombreuses expériences permettent de mettre en évidence la poussée d'Archimède :

- en gonflant des ballons de fête avec de l'hélium ; un même ballon gonflé à la bouche aura tendance à descendre (N1),
- en tentant bien sûr d'enfoncer dans de l'eau divers objets ayant tendance à flotter,
- en faisant barboter l'extrémité d'un tuyau raccordé à une bouteille d'hélium dans de l'eau savonneuse. Les bulles produites montent franchement (N1)⁹,

⁸ Technique de découplage des circuits, gestion des masses, blindage des circuits, agencement de la nacelle etc.

⁹ Des recettes pour faire de jolies bulles

http://www-lsp.ujf-grenoble.fr/vie_scientifique/fete_de_la_sciences/bulles_geantes/recette.htm

- en procédant par analogie avec de l'huile et de l'eau. L'huile flotte sur l'eau car elle est moins dense (et non moins lourde). On peut comparer le poids d'un verre d'huile et le poids du même verre rempli d'eau (N1),
- en découpant le haut d'une petite bouteille plastique et en lui accrochant 3 tiges en fil de fer fin. On imite ainsi la forme d'un ballon. On place le tout dans un aquarium, tiges vers le bas, sans piéger d'air, le pseudo ballon s'enfonce. On fixe dans le fond l'extrémité d'un tuyau pour bulleur d'aquarium dont l'autre extrémité est raccordée à un entonnoir. En versant de l'huile dans l'entonnoir, on produit des "bulles" d'huile qui remontent vers la surface. En les piégeant dans le fond de la bouteille on obtient une poche d'huile qui finit par faire remonter le ballon. L'analogie ballon bathyscaphe est directe (N2-Méca)¹⁰,

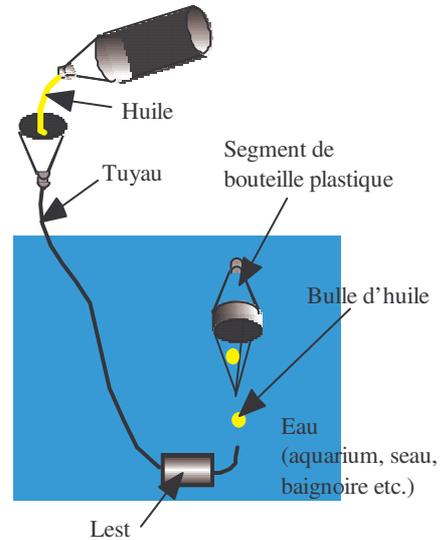


Figure 12

- en réalisant un baroscope¹¹, un balancier à l'équilibre à l'air libre avec deux objets de tailles très différentes mais de masse égale placés dans une cloche à vide. Dans le vide l'équilibre est rompu, l'objet de grande taille descend car la poussée d'Archimède qui le soutenait a disparu. Dans le vide, il n'y a plus de fluide déplacé donc plus de poussée. Comme en général, on ne dispose que d'une petite cloche à vide, il faut réaliser un balancier sensible car la poussée d'Archimède ne varie que d'une fraction de gramme¹².

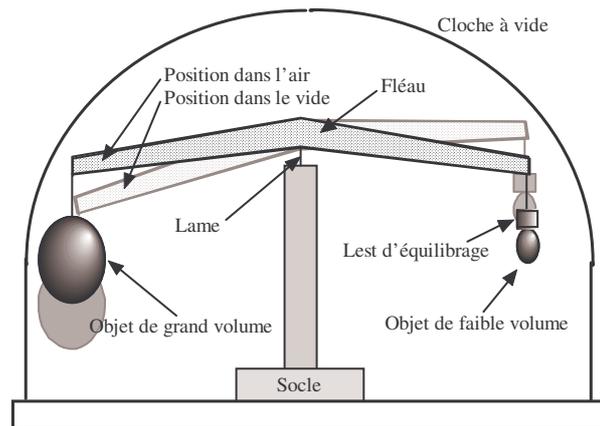


Figure 13

Une solution possible est de tailler le balancier légèrement en V dans du balsa. On réalise le couteau avec un segment de lame de cutter posé sur une surface dure (N5-Méca).

- en imaginant qu'un spationaute gonfle un ballon à l'hélium dans une station spatiale ; comment va se comporter le ballon une fois lâché dans la station ?

¹⁰ Auguste Picard a battu en 1932 avec son ballon le FNRS I le record d'altitude de l'époque : 16 km. Par la suite il transposa le même principe (utilisation de la poussée d'Archimède) pour réaliser un premier bathyscaphe qu'il appela FNRS II. <http://houot.alain.pagesperso-orange.fr/bathyscaphe/sommaire.htm>

¹¹ http://www.masc.ulg.ac.be/fiches/FR/1146701143_baroscope.pdf

¹² 1 litre d'air pèse 1,3 g.

On peut mesurer la poussée d'Archimède :

- en plongeant un corps dans un fluide.

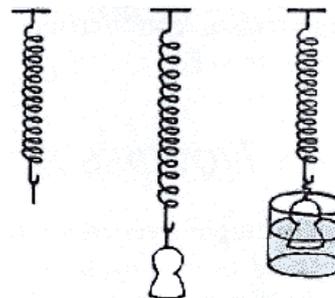


Figure 14

- en gonflant à l'hélium des ballons de fête que l'on équilibre avec une tare. Equilibrer un ballon consiste à le charger d'une tare de façon à ce qu'il flotte sans monter ni descendre. Le poids de la tare additionné au poids du ballon donne la poussée d'Archimède que l'on peut ramener au volume du ballon en mesurant son diamètre. On obtient directement la différence : poids de l'air moins poids de l'hélium. Avec des ballons de fête de petite taille, l'évaluation du volume du ballon à partir de la mesure de ses dimensions est souvent approximative à cause de leurs formes variées. Il est possible d'utiliser des ballons sphériques¹³ ou des ballons météorologiques de sondage du vent. Ces ballons sphériques et de plus grande taille (environ 1 m de diamètre) facilitent l'évaluation du volume et la mise en évidence du phénomène (N2).
- en mesurant la force ascensionnelle du ballon expérimental avec un dynamomètre ou avec une tare à la fin du gonflage. Ces manipulations ne sont possibles que si le gonflage du ballon est effectué à l'abri du vent, ou dans un hangar, un gymnase, un préau. (N2)¹⁴.

4.2 Recherche documentaire

La fabrication et le lâcher d'une nacelle de ballon expérimental peuvent être l'occasion de recherches sur l'histoire des ballons, sur le rôle des ballons dans l'histoire (Gambetta¹⁵, les Zeppelins¹⁶, la bataille de Fleurus, etc.), sur l'emploi des ballons modernes à des fins scientifiques, météorologiques et industrielles¹⁷, sur les projets de grands ballons destinés à l'exploration des atmosphères extraterrestres. Tous les outils traditionnels de recherche sont disponibles (livres, encyclopédies, etc.), et la recherche peut être un prétexte à s'initier à Internet.¹⁸



4.3 Principe des ballons fermés dilatables

Les ballons mis à disposition sont des ballons à enveloppe fermée et dilatable. Au cours de l'ascension, la pression atmosphérique baissant, leur volume augmente car enfermé, l'hélium ne peut s'échapper. En plaçant dans une cloche à vide un petit ballon de fête, on observe aisément cette dilatation au fur et à mesure du pompage jusqu'à éclatement (N1).

¹³ Certaines boutiques d'accessoires de fête ou des boutiques de farces et attrapes en proposent

¹⁴ Voir note technique PLANÈTE SCIENCES : "Le jour du lâcher".

¹⁵ <http://www.coppoweb.com/ballons/fr.ballons1.php>

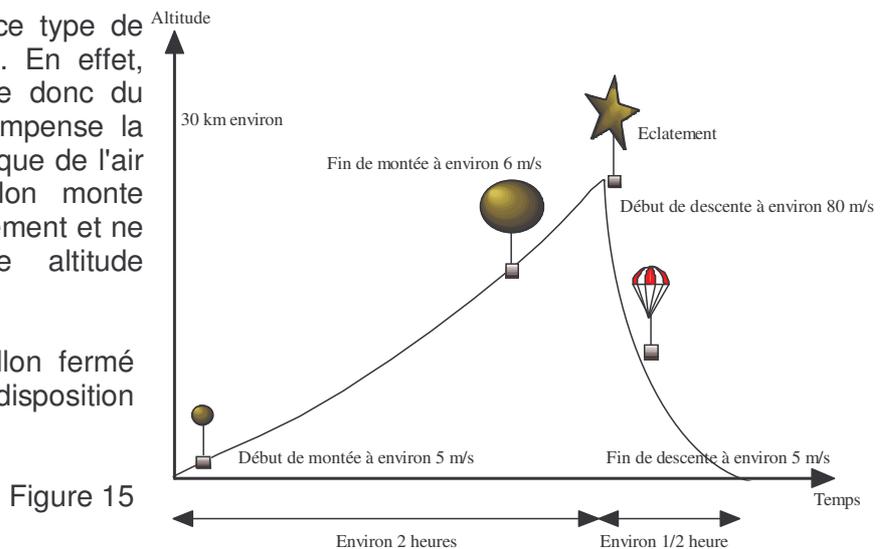
¹⁶ <http://www.techno-science.net/?onglet=articles&article=22>

¹⁷ Voir par exemple le site web du CNES : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/3547-ballons-stratospheriques.php>

¹⁸ Planète Sciences met à disposition une présentation Power Point sur l'histoire des ballons.

La poussée d'Archimède de ce type de ballons reste quasi constante. En effet, l'augmentation de leur volume donc du volume de fluide déplacé, compense la diminution de la masse volumique de l'air en altitude. De fait, le ballon monte continuellement jusqu'à l'éclatement et ne peut se maintenir à une altitude constante.

Profil de vol typique d'un ballon fermé dilatable tel que ceux mis à disposition pour les jeunes par le CNES.



On peut aussi constater cette dilatation en installant un appareil photo tourné vers le haut qui photographie à intervalles réguliers le ballon lors de son vol (N3-Méca). Espérer photographier l'éclatement est plus une affaire de chance que de science.

La modélisation du profil de vol à partir des caractéristiques de l'atmosphère est un bon exercice de physique (N4)¹⁹.

4.4 Autres types de ballons

D'autres types de ballons ont été mis au point. Comprendre leur fonctionnement est un autre moyen pour se familiariser avec la poussée d'Archimède. Ainsi pour le vol humain, les ballons à gaz sont non dilatables et ouverts. Au sol, le volume de gaz n'occupe pas tout le volume de l'enveloppe disponible. Au cours de l'ascension, le gaz se dilate et remplit progressivement toute l'enveloppe qui ne risque pas l'éclatement puisqu'elle est ouverte à sa base. L'excès de gaz s'échappe alors et la poussée d'Archimède diminue. Quand elle équilibre le poids, le ballon s'arrête de monter et plafonne à une altitude constante. Pour rompre cet équilibre, il faut lâcher du lest, le ballon remonte. Comme il est déjà plein, le gaz qui se dilate encore pendant l'ascension s'échappe de nouveau, et un nouvel équilibre est obtenu à une altitude plus élevée. Pour descendre, on évacue volontairement du gaz par une soupape.

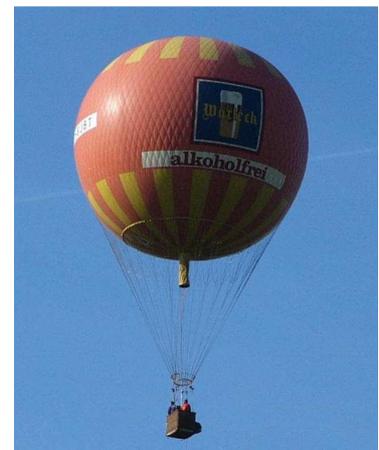
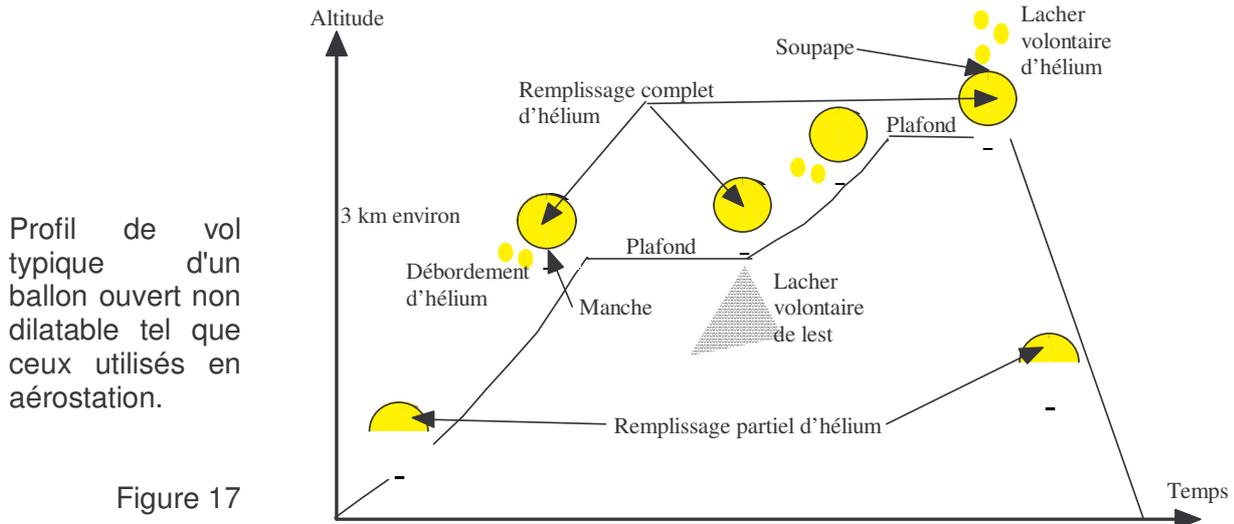


Figure 16²⁰

¹⁹ Voir document Planète Sciences : Prédiction de la trajectoire d'un ballon

²⁰ http://ballongaz.free.fr/nos_ballons.htm



Les ballons non dilatables ouverts sont aussi très utilisés pour la recherche scientifique dans la stratosphère car ils atteignent l'altitude de 40 km avec des charges utiles de plusieurs centaines de kilos. Le CNES a développé toute une gamme de ballons et de techniques de lâcher et la propose à la communauté scientifique.



Figure 18 ²¹

Une montgolfière est un ballon non dilatable ouvert et le gaz enfermé est de l'air chaud plus léger que l'air froid extérieur.

La montgolfière est devenue une activité sportive. L'air chauffé par des brûleurs au propane revient bien moins cher que l'hélium ou l'hydrogène des ballons à gaz.



Figure 19

Certains réalisent des montgolfières miniatures en papier. Leurs mises en œuvre demandent un peu de discipline avec les jeunes à cause de la manipulation d'une source chaude pour chauffer l'air ²².

Une alternative est la montgolfière solaire. Avec du film plastique 15 microns noir, genre sac poubelle bas de gamme et du ruban adhésif, on peut réaliser un ballon à air qui, chauffé par le soleil, va flotter. Le ballon solaire doit toujours être captif, c'est-à-dire rattaché au sol par une cordelette.

²¹ <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/3645-comment-a-marche-un-ballon-stratospherique-.php>

²² <http://www.php.ac-orleans-tours.fr/prest45/RESSOURCES/PREPARATIONS/CYCLE3/MONGOLFIERE/MONGOL.html>

4.5 La vitesse ascensionnelle

Au cours du vol, la vitesse de montée commence entre 4 et 5 m/s et tend progressivement vers 7 m/s. Il est possible de la mesurer au début du vol,

- en laissant traîner derrière le ballon une surface plane et en mesurant la force exercée par l'air sur cette surface (N3-Méca) (voir paragraphe 5.3). La formule de la résistance de l'air est :

$$R = \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} S C_x V^2 \quad \text{avec}$$

ρ_{air} = masse volumique de l'air
 S = surface (maître couple)
 C_x = coefficient de forme = 1 pour une surface plane,
 V = vitesse du déplacement

Ainsi au moment du décollage, $\rho_{\text{air}} = 1,3 \text{ kg/m}^3$ et l'air exerce une force d'environ 4 N sur une surface de 50 x 50 cm, force aisément mesurable.

- à l'aide d'un anémomètre dont l'axe est horizontal et qui dépasse de la nacelle. Pour compter les tours de roue, un procédé consiste à construire une roue qui coupe un faisceau lumineux émis par une LED. Ensuite une photo-résistance détecte la lumière et les impulsions sont comptées par un circuit logique. (N3-Elec). On peut aussi utiliser une fourche magnétique (N3-Elec).
- en déduisant la vitesse ascensionnelle de la mesure d'altitude et du temps (voir le paragraphe mesure d'altitude) (N1).
- En se servant des indications d'un GPS embarqué (voir chapitre 9)

4.6 La vitesse horizontale

La vitesse horizontale relative entre le ballon et l'air étant toujours nulle, il est impossible de mesurer la vitesse horizontale sans repère au sol. Pour la mesurer, on peut utiliser :

- l'analyse du point de chute quand la nacelle est récupérée, croisée avec les données météorologiques du jour du lâcher que l'on peut récupérer auprès des centres météorologiques départementaux de Météo France (N2).
- par l'interprétation de photos aériennes obtenues en plaçant dans la nacelle un appareil photo dirigé vers le sol (voir le paragraphe sur la télédétection) (N4).
- le système GPS de positionnement par satellite. Il existe dans le commerce des cartes électroniques GPS miniatures dont les données peuvent être transmises par les émetteurs KIWI moyennant la mise au point d'une carte électronique d'adaptation. Bien sûr, une telle expérience ne peut être menée que par une équipe et un encadrement maîtrisant très bien l'électronique (N5-Elec) et qui n'en est pas à sa première expérience dans ce domaine.
- En utilisant un tracker GPS,
- En utilisant le tableur EXCEL « Prévion de la trajectoire d'un ballon » développé par Planète Sciences qui permet d'évaluer par avance la trajectoire probable du ballon.

4.7 Mouvements du ballon

Au cours du vol, la nacelle se balance et tourne sous le ballon. Compte tenu des moments d'inertie relatifs entre le ballon et la nacelle, on peut considérer que la nacelle se comporte comme un pendule de torsion dont la fréquence d'oscillation dépend de la longueur et de la rigidité de la cordelette d'accrochage. On peut mesurer cela au sol avant le lancement en accrochant la nacelle par la même cordelette et le parachute. Le plus souvent, la nacelle effectue plusieurs tours dans un sens, ralentit puis recommence dans l'autre sens.

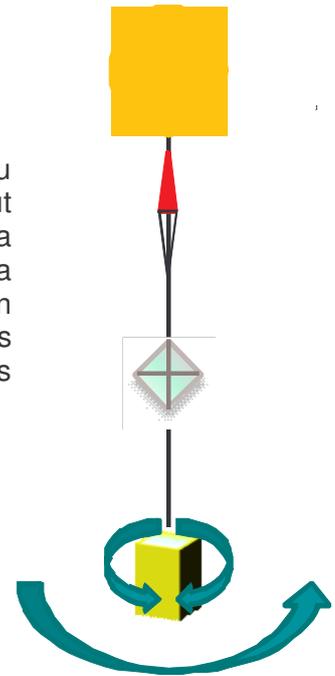


Figure 20

Pendant le vol, la rotation peut être détectée :

- Par la position de la nacelle par rapport au soleil (N2-Elec, N2-Méca2). On place une photo-résistance au fond d'un tube. Elle ne sera éclairée que quand le tube sera en direction du soleil. On peut par exemple se servir de cette information pour arrêter des prises de vue quand l'appareil photo est face au Soleil et éviter ainsi le contre-jour. Le champ de vue du soleil se règle par la longueur du tube.

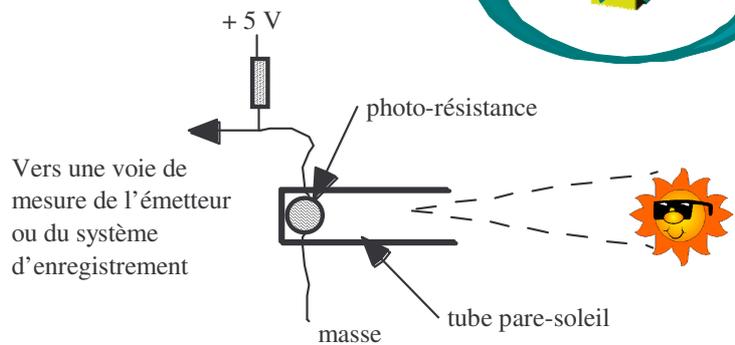


Figure 21

Exemple de résultat expérimental

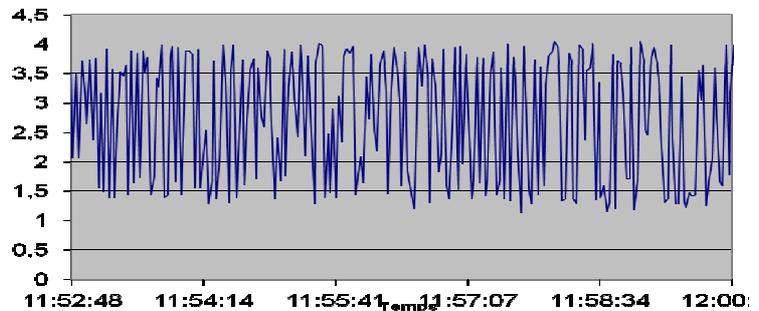


Figure 22

- Avec deux tubes formant un angle, on en déduit le sens de rotation. (N2-Elec, N2- Méca2).

Avec un émetteur Kiwi, ces capteurs ne sont capables de détecter que des rotations lentes car la prise de mesure a lieu seulement toutes les 2 secondes.

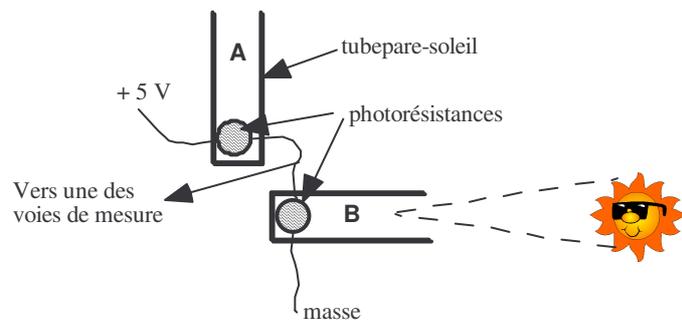


Figure 23

- en détectant la direction du champ magnétique terrestre à l'aide d'un capteur à effet Hall (N5-Elec). La difficulté réside entre autre dans le fait que le champ magnétique terrestre est faible et il est donc nécessaire d'utiliser des amplificateurs opérationnels. De plus la présence de la nacelle perturbe la mesure.
- en détectant la vitesse de rotation à l'aide d'un gyromètre (N5-Elec)²³.

Une fois les secousses du décollage amorties, les autres mouvements de balancement sont faibles et difficiles à détecter.

4.8 Le parachute

Au sol, on retrouve la formule de la résistance de l'air déjà citée : $R = 1/2 \rho S C_x V^2$

On tracte le parachute avec un vélo et on mesure la force de traction avec un dynamomètre et la vitesse (N2). En appliquant la formule on évalue le C_x . En descente, c'est plus facile !

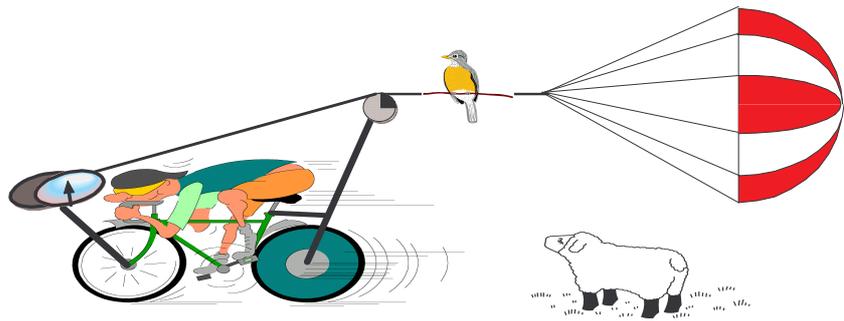


Figure 24

En vol, l'éclatement du ballon et l'ouverture du parachute sont détectables en mesurant la traction de la sangle qui relie le parachute à la nacelle. La traction s'annule quelques instants entre l'éclatement du ballon et l'ouverture effective du parachute. La nacelle est beaucoup plus secouée à la descente qu'à la montée.

4.9 L'Hélium

L'origine de l'hélium et son utilisation industrielle peuvent faire l'objet de recherches et d'exposés.

L'Hélium fut découvert simultanément dès 1868 par le Français Jules Jansen et l'Anglais Joseph N. Lockyer dans le Soleil (Hélios) d'où son nom. Luigi Plamieri découvrit par la suite en observant la lave du Vésuve, qu'il est présent sur Terre en faible quantité. Il résulte des réactions nucléaires produites naturellement dans l'écorce terrestre par la désintégration spontanée des minéraux radioactifs. Il s'échappe lentement du sol dans l'atmosphère puis, du fait de sa légèreté, traverse l'atmosphère et la quitte. Sa concentration dans l'atmosphère (5 ppm) résulte de cet équilibre. Certaines structures géologiques étanches le piègent et on peut l'extraire par forage. On le trouve ainsi mélangé au gaz naturel à quelques % et l'hélium est aujourd'hui un sous-produit de l'exploitation gazière. Séparé du gaz sur les lieux de production, il est le plus souvent liquéfié pour diminuer son volume et le rendre ainsi transportable. Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis, la Russie, l'Algérie, le Qatar etc. Atome de structure simple, il a beaucoup aidé les physiciens à comprendre la structure de la matière. Son utilisation industrielle etc. etc. bref, il y a vraiment de quoi apprendre sur l'hélium !

Bien qu'étant un des gaz les plus répandus dans l'univers, l'hélium est un gaz rare sur Terre et l'augmentation de sa production ne suit pas la croissance des besoins au point de créer des périodes de pénurie. L'hélium, un prétexte donc pour sensibiliser les jeunes sur les ressources limitées de la Terre.

²³ Série Gyrostar chez Murata. www.murata.com

5. Expériences sur l'atmosphère

L'atmosphère possède une structure complexe. Elle est modélisée en couches successives : de 0 à 12 km, c'est la Troposphère puis de 12 à 50 km la Stratosphère, la limite entre les deux étant appelée la Tropopause. Le ballon est un excellent outil de sondage de ces deux couches atmosphériques. A 16 km, altitude atteinte et dépassée par la plupart des ballons expérimentaux de jeunes, 90 % de la masse de l'atmosphère ont été traversés²⁴.

Les caractéristiques de l'atmosphère varient constamment autour de valeurs moyennes. L'analyse et la prévision de ces variations sont du ressort de la météorologie.

Des tables des valeurs moyennes de l'atmosphère ont été mises au point par les scientifiques en s'appuyant sur des modèles et des campagnes de mesures. Divers organismes proposent des tables accessibles sur le web : la NOAA, l'Université de Stanford, JD Home.

De son côté, Planète Sciences a regroupé dans un fichier EXCEL[®]²⁵ les données issues de la table GOST et intéressant le vol des ballons. La lecture de la table et surtout sa conversion en courbes est déjà en soit source de connaissances sur les propriétés de l'atmosphère et l'utilisation d'un logiciel tableur.



5.1 La température

La température de l'atmosphère décroît régulièrement jusqu'à -50° environ vers 12 km d'altitude puis reste presque constante jusqu'à l'éclatement du ballon. Le coude dans la courbe de température permet de détecter la Tropopause qui est la limite entre la Troposphère et la Stratosphère. A l'altitude de la Tropopause circulent des vents Ouest-Est violents, les fameux jets²⁶ ce qui explique les grandes distances parcourues par les ballons. La courbe de droite est obtenue à partir des données EXCEL[®] citées plus haut.

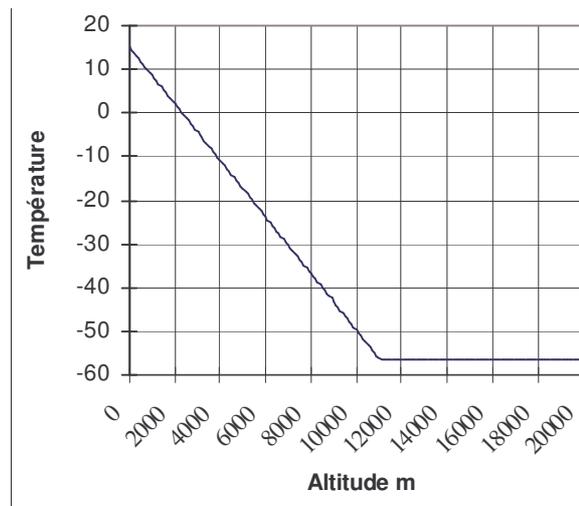


Figure 25

La forme la plus dépouillée de mesure de température que nous ayons rencontrée est l'embarquement d'un thermomètre minima / maxima associé à un message. Celui-ci invitait le découvreur de la nacelle à renvoyer une carte postale, placée dedans, après y avoir inscrit les valeurs lues sur le thermomètre ! La faible probabilité de revoir la carte postale est compensée par la simplicité du procédé.

Plus sérieusement il est possible :

- de placer un thermomètre à aiguille dans le champ d'un appareil photo, déclenché à intervalles réguliers (voir paragraphe 0), la difficulté vient du fait que, dans le commerce, les thermomètres

²⁴ <http://www.educnet.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos21.htm>

²⁵ Caractéristiques standard de l'atmosphère moyenne, disponible sur le site Internet de PLANÈTE SCIENCES.

²⁶ <http://www.astrosurf.com/luxorion/meteo-jetstream2.htm>

proposés descendent rarement en dessous de - 20 °C. On peut se procurer un thermomètre de laboratoire qui couvre cette gamme de température ou réaliser un thermomètre adapté à l'aide d'un ruban bilame ²⁷ (N2-Méca).

- de réaliser un thermomètre à l'aide d'un bilame qui déplace un crayon sur un disque en carton qu'un moteur entraîne lentement en rotation (N3-Méca).
- de réaliser un thermomètre à l'aide d'un bilame qui, via un mécanisme, entraîne la rotation d'un potentiomètre et transcrit la température en tension électrique (N3-Méca, N2-Elec).

- de réaliser un thermomètre à l'aide d'un bilame équipé d'un cache qui module l'intensité d'un pinceau lumineux (N3-Méca, N3-Elec),

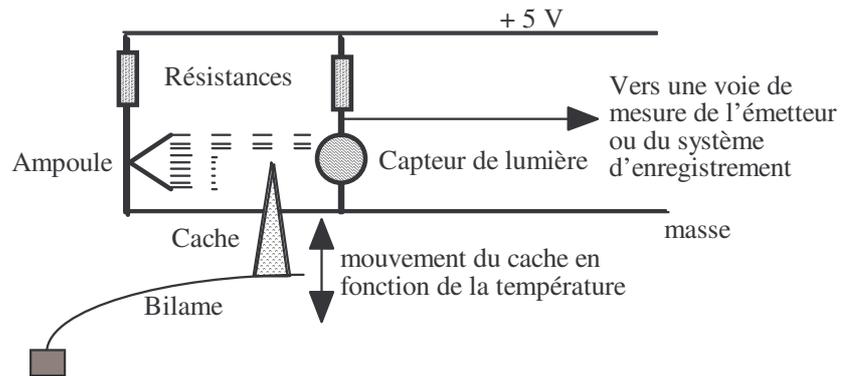


Figure 26

- de réaliser le montage suivant qui, comme chacun pourra le voir, représente un thermomètre !

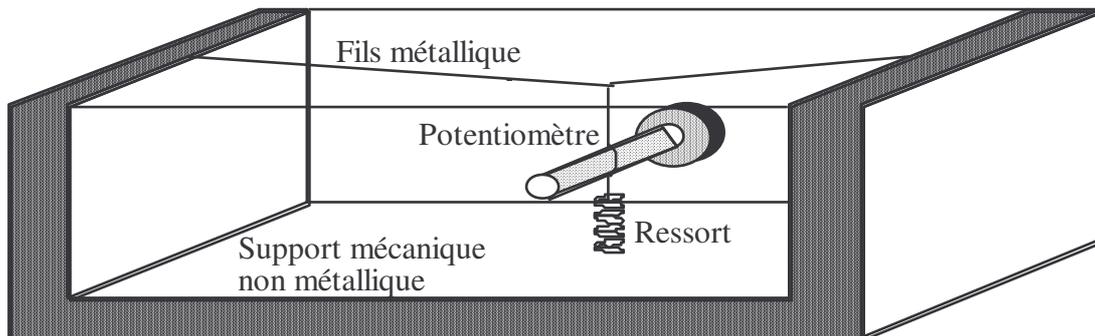


Figure 27

En effet, le fil métallique change de longueur en fonction de la température. Le phénomène de dilatation /contraction des métaux sous l'action de la température est ici exploité. Tendu par un ressort, le point milieu du fils se déplace verticalement. Le ressort et le fil métallique sont reliés par un autre fil qui effectue deux ou trois tours autour de l'axe du potentiomètre afin de le faire adhérer. L'allongement du fil métallique provoque la rotation du potentiomètre qui, câblé comme indiqué sur le schéma de base, transmet au KIWI une tension dépendant de la température ²⁸. Pour faciliter la compréhension du schéma, les parois verticales de face et de fond n'ont pas été représentées mais le potentiomètre est bien sûr fixé dessus ²⁹. La boîte support est bien sûr en plastique dont le coefficient de dilatation est plus faible que celui du fil métallique.

²⁷ Voir le catalogue OPITEC, compter quelques Euros pour un bilame. <http://db.opitec.com>

²⁸ Pour une différence de température de 70 °C (de 20 °C à - 50 °C), la rotation du potentiomètre est d'environ 1/2 de tour. Hypothèse d'un fil en cuivre de 20 cm, coefficient de dilatation de 2×10^{-5} , potentiomètre de diamètre 4 mm.

²⁹ Ce type de capteur a surtout un intérêt pédagogique puisqu'il fait intervenir de façon visible la dilatation. Si l'on souhaite vraiment connaître la température une thermistance est nettement plus efficace !

- d'utiliser un capteur de température électronique et d'enregistrer à bord ou transmettre par radio le signal (voir paragraphe 11.2) (N2-Elec), etc. Par exemple, une CTN³⁰ est un composant électronique très courant dont la résistance décroît quand la température augmente.

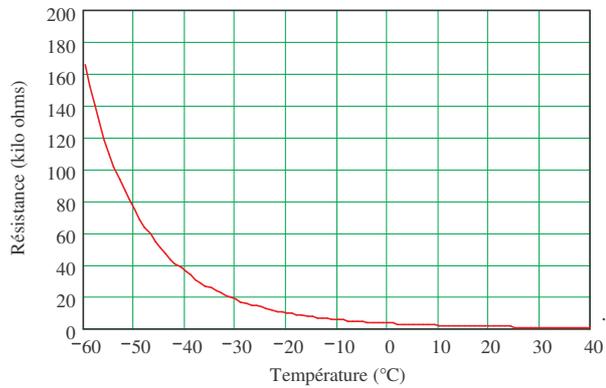
La formule donnant cette évolution est :

$$R(T) = R_0 \cdot \exp(\beta (1/T - 1/T_0))^{31}$$

avec R₀ résistance de la CTN à la température T₀.

Les fabricants de CTN fournissent les valeurs de R₀, β, T₀. Un modèle courant est R₀ = 1 KΩ, β = 3825, T₀ = 298 K. On en déduit la courbe d'un tel capteur.

Figure 28



Si l'on souhaite faire une mesure de température sur la gamme -60 °C / + 20 °C, la température médiane est -20 °C. A -20 °C la résistance de la CTN est proche de 10 KΩ. En utilisant cette valeur pour réaliser la résistance fixe d'un pont diviseur de tension, on obtient la courbe de réponse suivante pour l'ensemble du montage.

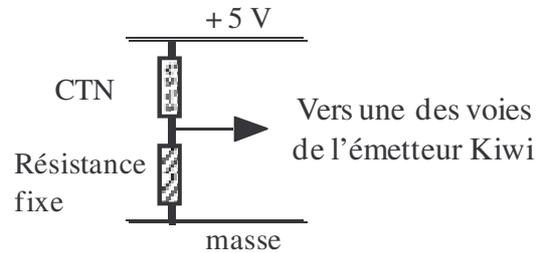
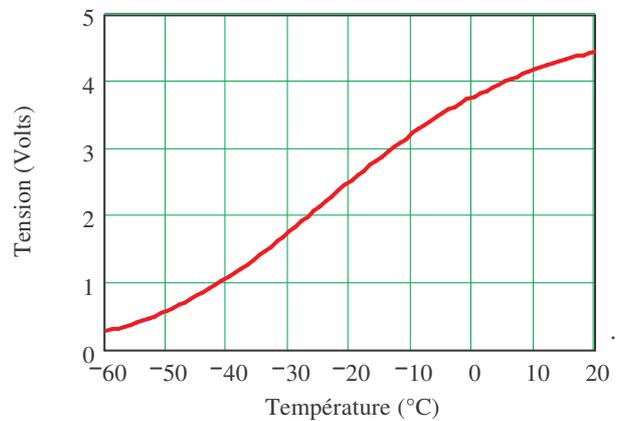


Figure 29

On constate une réponse presque linéaire. Suivant le niveau des élèves, cette courbe peut être établie par calcul, comme expliqué au-dessus, ou bien retrouvée par mesures expérimentales point par point. Et pourquoi pas par les deux méthodes.

On s'intéresse à la température extérieure comme à la température intérieure pour contrôler l'isolation de la nacelle.

Figure 30



Pour l'étalonnage des capteurs "maison", le congélateur familial est l'outil indispensable.

Voici une autre astuce pour obtenir une basse température relativement facilement. On commence par remplir une bouteille thermos avec de la glace pilée. On plonge le thermomètre étalon³² et celui à étalonner dans la glace et on attend l'équilibre ce qui permet de faire un point d'étalonnage vers 0°C. Puis on sale le mélange, en brassant énergiquement le sel et la glace pilée. On constate que la température baisse vers un nouveau point d'équilibre. En faisant la manipulation en plusieurs fois avec de plus en plus de sel, on arrive à descendre par équilibres successifs jusqu'à

³⁰ Voir catalogue RadioSpares

³¹ T et T₀ sont des températures absolues exprimées en Kelvin.

³² Un thermocouple de multimètre par exemple.

-18 °C environ. Il faut rendre étanche les thermomètres avant de les plonger dans la glace car l'électronique et le sel ne font pas bon ménage³³.

Attention, faire une mesure de température précise demande du savoir-faire. En altitude, les échanges thermiques par convection disparaissent car l'air se raréfie et des phénomènes secondaires au sol, comme la conduction et le rayonnement, deviennent prépondérants en altitude.

Ainsi le soleil chauffe le capteur et la température mesurée peut être très différente de celle de l'atmosphère que l'on souhaite mesurer. Sans précaution, un capteur noir en vue directe du soleil peut indiquer +10 °C à 15 km alors qu'à cette altitude une température de -50 °C est une valeur attendue. La nacelle elle-même, plus chaude que l'air ambiant, perturbe aussi la mesure. Quelques astuces permettent de minimiser ces perturbations. Ce schéma en propose quelques unes : le capteur est protégé du rayonnement direct par un pare soleil blanc (une petite assiette en carton), le capteur est peint en blanc, le capteur est éloigné de la nacelle et les fils de liaison sont en cuivre fin.

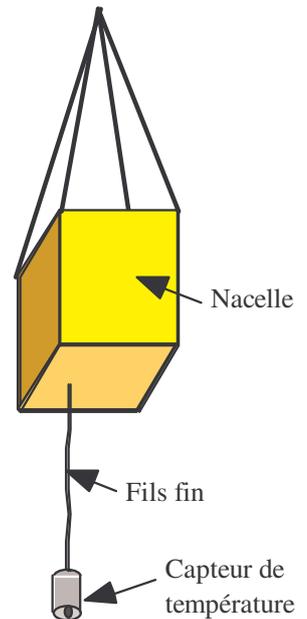


Figure 31

A titre d'exemple voici des résultats transmis par une nacelle réalisée en polystyrène de 30 mm d'épaisseur et contenant un lot de 2 piles plates de 4,5 V elles même réemballées dans une boîte faite du même matériau. Un capteur de température avait été placé à l'extérieur (courbe bleu), un autre à l'intérieur de la nacelle (courbe jaune) et un dernier dans le boîtier des piles (courbe violette)

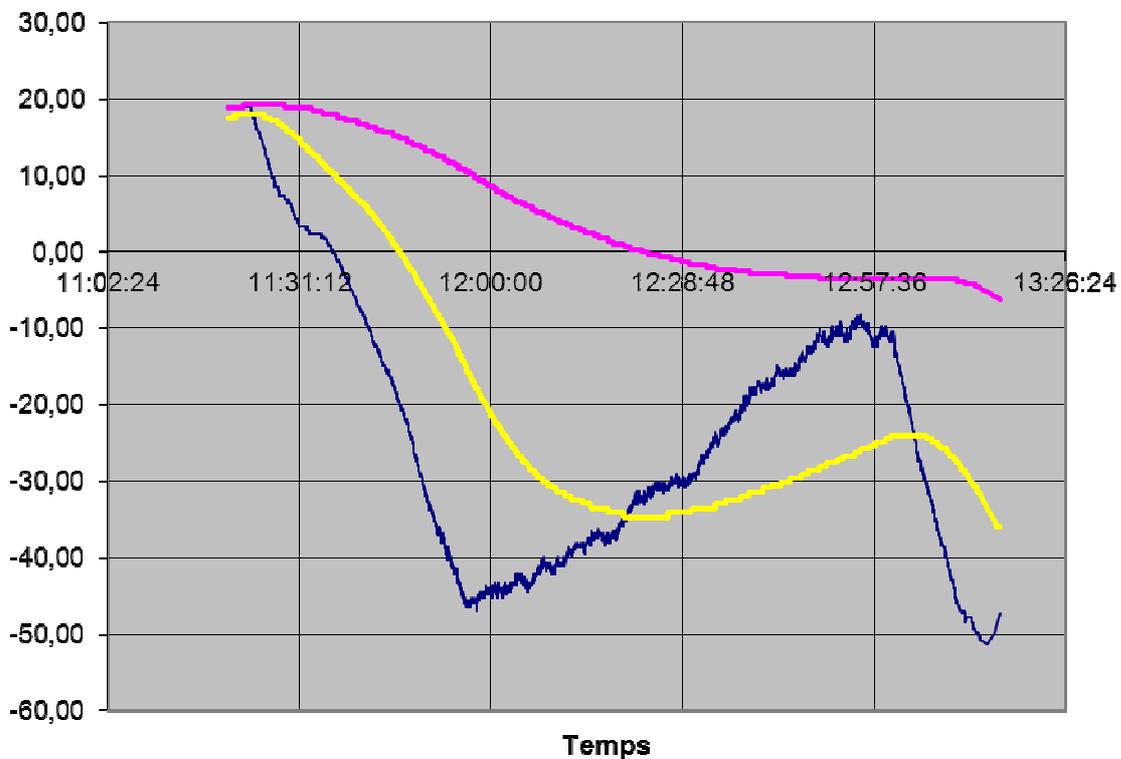


Figure 32

³³ On glisse les capteurs dans un ballon de baudruche que l'on ligature.

La température extérieure décroît pour approcher les $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ vers 12 h, puis elle remonte, ceci en contradiction avec la valeur attendue d'une température constante de l'ordre de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans la haute atmosphère.

Dans ce cas, le capteur n'était pas très bien protégé du soleil et il est devenu sensible au rayonnement direct car l'air se raréfiant, les échanges thermiques entre le capteur et l'air deviennent moins efficaces. L'intérieur de la nacelle suit la même tendance avec du retard. En altitude, le soleil réchauffe la nacelle. Vers 12 h 57, le ballon éclate et la chute a pour effet de brasser l'air et d'améliorer les échanges thermiques. Ainsi le capteur extérieur s'approche de la « vraie » température $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$, celle de l'air que l'on souhaite mesurer. Vers 13 h 13, la température commence à remonter indiquant la traversée de la Tropopause vers 12 km d'altitude et le début de la Troposphère. Ensuite la liaison radio a été perdue (ce jour-là, vol de plus de 200 km)

La température des piles décroît pour atteindre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ démontrant ainsi que leur réemballage n'était pas superflu. Placées directement dans la nacelle les piles seraient descendues à $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ (courbe jaune) ce qui aurait altéré leur fonctionnement.

Conclusions : protégé les capteurs de température extérieure par des dispositifs pare soleil, peigné les en blanc pour limiter le rayonnement direct, éloigné les de la nacelle. Protégé les piles du froid.

Il existe sur le marché des capteurs de température électronique compatibles d'un câblage directe sur les entrées du Kiwi. Le LM 19 en est un exemple. Ne pas oublier de le découpler par deux condensateurs pour lui permettre de supporter le champ de l'émetteur.

5.2 La pression / L'altitude

La connaissance de l'altitude du ballon étant quasiment indispensable, presque toutes les nacelles embarquent une mesure de pression. A partir de la pression, on remonte facilement à l'altitude en exploitant une table ou un modèle d'atmosphère standard La courbe de droite est obtenue à partir des données EXCEL[®] citées plus haut.

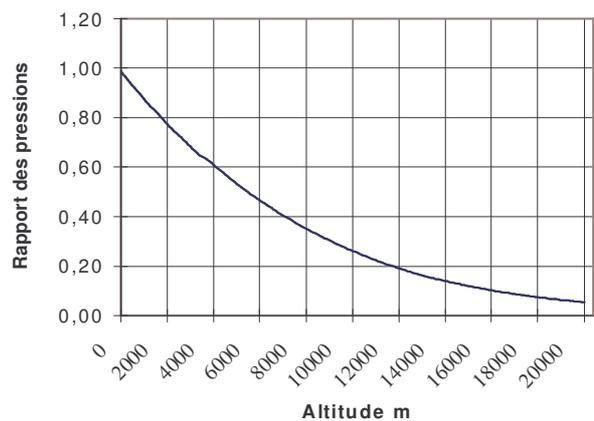
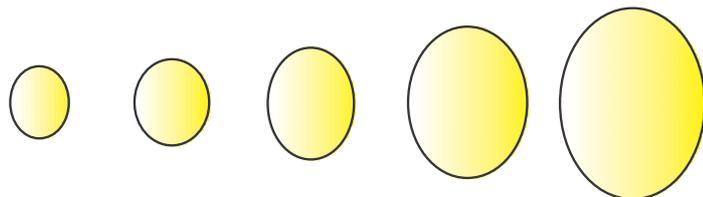


Figure 33

De nombreux procédés ont été expérimentés pour réaliser un capteur de pression :

- Le ballon de fête. Le procédé consiste à accrocher un ballon de fête à la nacelle et à le placer dans le champ d'un appareil photo. Au cours de l'ascension celui-ci se dilate et la mesure du diamètre permet de connaître la pression tant qu'il n'a pas éclaté bien sûr !

Le schéma ci-contre montre, à la même échelle, la taille d'un ballon à différentes altitudes.

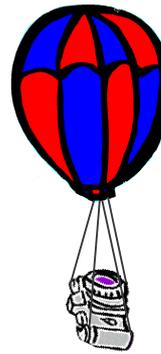


Au sol. A 5 000 m. A 10 000 m. A 15 000 m. A 20 000 m

Figure 34

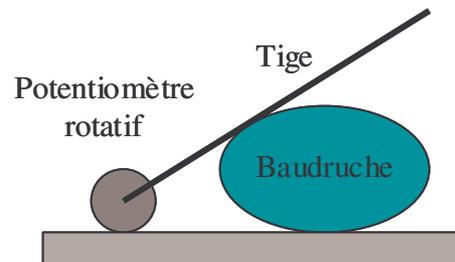
- On peut aussi tenter de mesurer le diamètre du ballon qui emporte la nacelle en le photographiant vers le haut avec un appareil à focale courte (28 ou 35 mm) de manière à ce que l'angle³⁴ de vue permette de le saisir complètement.

Figure 35



- Un capteur avec un ballon de baudruche qui en se dilatant pousse une tige reliée à un potentiomètre,

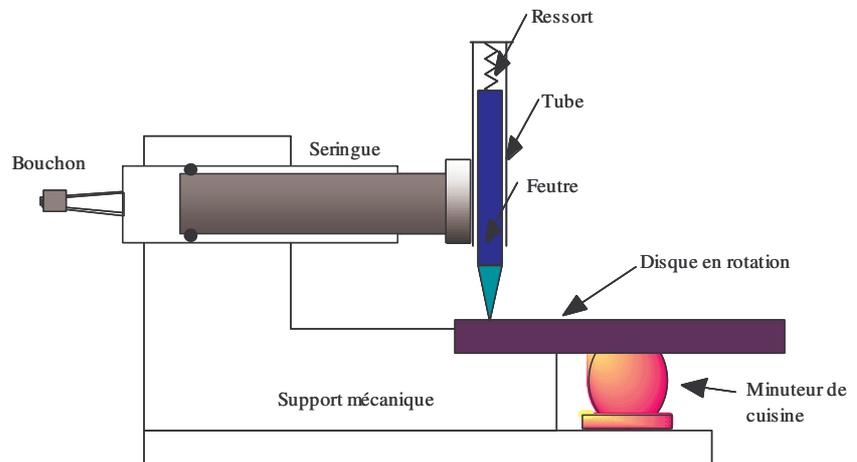
Figure 36



- La seringue

Une seringue en plastique dont l'extrémité est bouchée, voit son piston sortir au fur et à mesure que la pression baisse, puisque l'air enfermé tend à se dilater. Le piston déplace un feutre qui trace un trait sur un disque entraîné par un minuteur de cuisine (1 heure d'enregistrement) ou un petit moteur.

Figure 37



Attention quelques précautions sont à prendre pour que ce capteur fonctionne : utiliser une seringue plastique de grande taille (seringue jetable de vétérinaire pour le bétail), la roder pour diminuer au minimum les frottements sans remettre en cause l'étanchéité, mettre en place une butée mécanique pour éviter que le piston soit extrait de la seringue en fin de course, équiper le feutre d'un ressort pour le maintenir constamment en pression sur le disque.

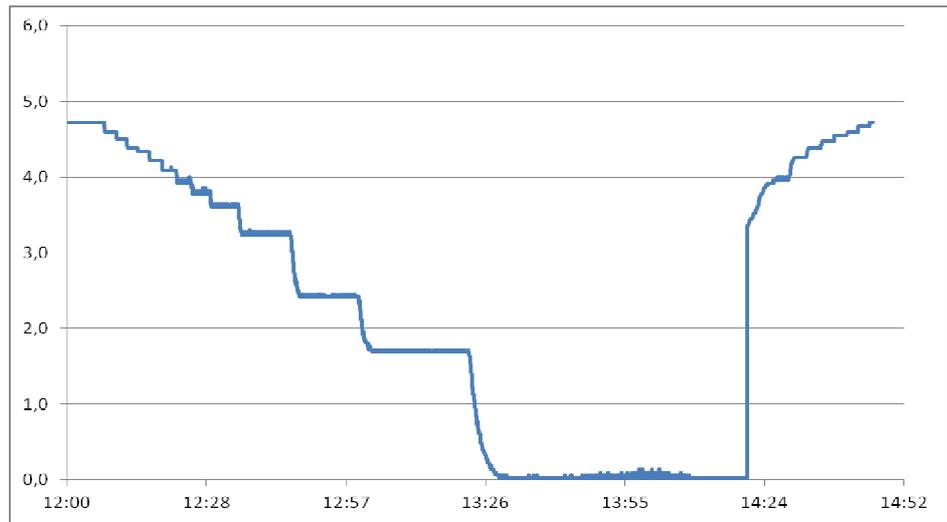


Exemple de réalisation Figure 38

³⁴ En format 24 x 36 l'angle de vue d'un objectif 28 mm est de 75 ° et pour un 35 mm de 64 °.

En remplaçant le feutre par un potentiomètre, on peut disposer de la pression sous forme électrique et le transmettre par radio (voir paragraphe 8).

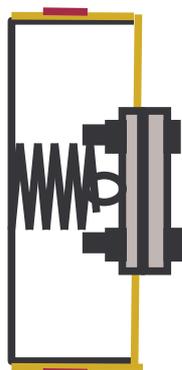
L'ensemble est simple (N2-Méca) et peut être testé dans une cloche à vide avant le vol et ainsi être très pédagogique. La précision de mesure reste très très modeste ! le piston progressant par à-coups.



Exemple de résultat obtenu Figure 39

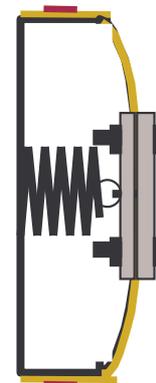
En choisissant comme volume initial le dixième du volume de la seringue ³⁵, on obtient un capteur capable de fonctionner jusqu'à 15 km puisque à cette altitude la pression est le dixième de celle au sol.

- Le capteur à membrane. Le principe est de mesurer le déplacement d'une surface qui se déforme sous l'action de la pression. Les frottements doivent être diminués autant que faire se peut car ils limitent la précision. Les schémas suivants décrivent une solution possible. Une boîte métallique (boîte de conserve de faible épaisseur) est fermée de manière étanche par une membrane (morceau de chambre à air) qui est maintenue par un cerclage (collier de serrage de plomberie). En altitude, la diminution de la pression externe déplace la membrane vers l'extérieur. Pour éviter qu'elle éclate, un ressort limite son mouvement. Le ressort est accroché au fond de la boîte et a deux rondelles qui pincent la membrane. Le déplacement des rondelles peut être exploité pour actionner un potentiomètre ou un capteur optique et ainsi mesurer électriquement le déplacement (N4-Méca). L'étanchéité de l'ensemble est indispensable au bon fonctionnement.



Position des pièces au sol

Figure 40



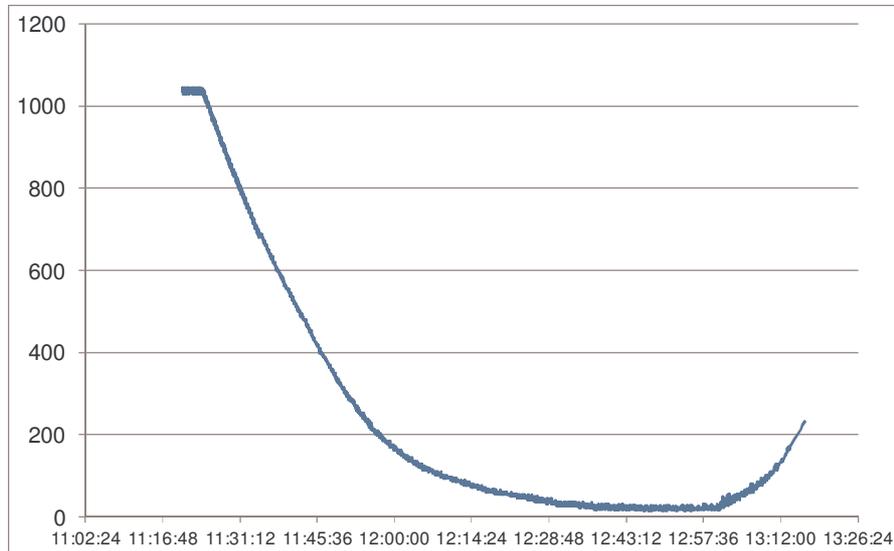
Position des pièces en altitude

Figure 41

- Le capteur électronique professionnel. On trouve dans les catalogues d'électronique différents modèles qui traduisent directement en tension électrique la pression (N2-Elec). Certains sont

³⁵ Facile à faire, une seringue médicale est graduée.

équipés d'un amplificateur interne qui les rend directement compatibles avec le système KIWI³⁶. La mesure est correcte jusqu'à 12 km d'altitude environ, soit 15 mbars. Au delà la sensibilité de ce type de capteur n'est plus suffisante pour mesurer la faible pression atmosphérique. Les capteurs de pression plus sensibles étant trop couteux, il est possible de déduire l'altitude à partir du temps de vol et d'un modèle temps / altitude dont les paramètres sont calés sur la courbe mesurée lors des 12 premiers km³⁷.



Exemple de résultat expérimental de l'évolution de la pression (mbar) en fonction du temps.

Figure 42

- Parfois seule, la détection d'un seuil d'altitude est nécessaire, déclencher un appareil photo au-dessus de 15 km par exemple. A l'aide de la table d'atmosphère standard, on remarque que la pression à 15 km est 10 fois plus faible qu'au sol. Donc si dans une boîte, on enferme un ballon de fête gonflé au 1/10 du volume de la boîte, celui-ci se dilatera au cours de la montée et occupera tout le volume de la boîte à 15 km et l'on se servira de ce mouvement pour déclencher un interrupteur (N2-Méca). Avec une cloche à vide équipée d'un manomètre, il est possible de tester le système avant le vol et d'ajuster le volume initial.

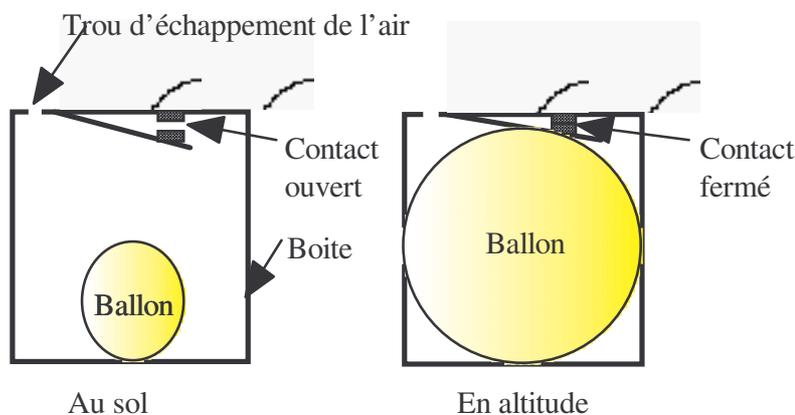


Figure 43



³⁶ Exemple MPX5100 ou MPX4115A de Motorola

³⁷ Voir note technique Planète Sciences « La prévision de trajectoire d'un ballon »

5.3 La masse volumique de l'air

Le capteur ci-dessus mesure la masse volumique de l'air atmosphérique.

Une surface plane rigide, réalisée en planche de balsa est pendue sous la nacelle par une cordelette. Celle-ci est attachée à un ressort dont le déplacement est mesuré par un potentiomètre.

Quand la nacelle monte le frottement de la planchette dans l'air produit une force qui allonge le ressort suivant la formule :

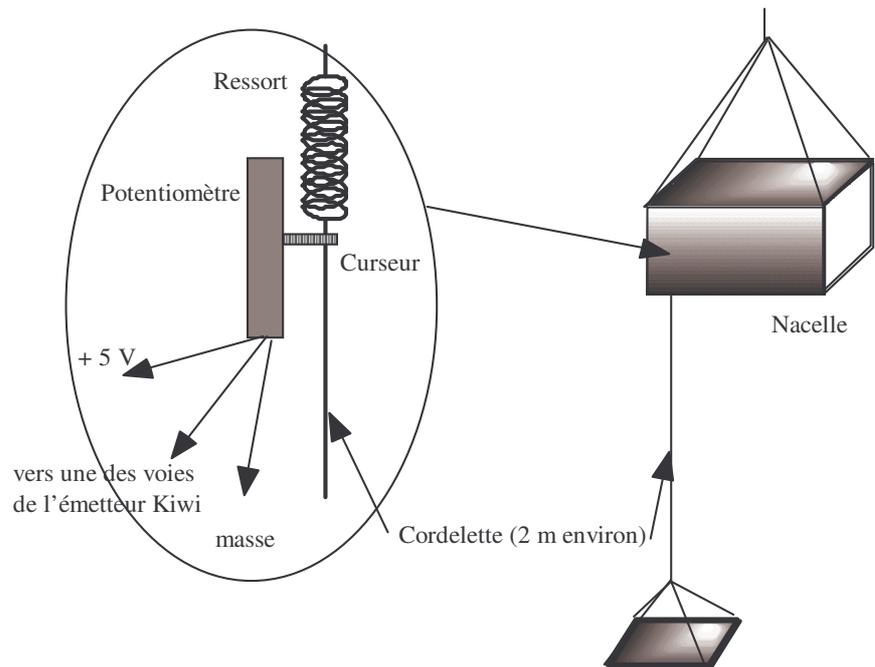


Figure 44

$$R = \frac{1}{2} \rho S C_x V^2$$

avec R : résistance de l'air (Newton)

ρ : masse volumique de l'air (kg/m^3)

S : surface de la planchette (m^2)

C_x : 1 (sans dimension)

V : vitesse ascensionnelle (m/s)

En connaissant la vitesse ascensionnelle avec un capteur de pression dont on déduit l'altitude, la masse volumique devient l'inconnue et il est ainsi possible de montrer que l'atmosphère devient moins dense au fur et à mesure de l'ascension. Une surface de $0,1 \text{ m}^2$ permet d'obtenir une force d'environ 100 grammes au décollage.

5.4 L'humidité

L'humidité, paramètre météorologique fondamental, n'est pas très facile à appréhender pour les raisons suivantes :

- Sur le plan théorique, si l'humidité peut s'exprimer en valeur absolue en masse de vapeur d'eau par m^3 d'air, elle est surtout connue par la notion de taux d'humidité ou humidité relative qui est le rapport entre la masse de vapeur d'eau contenue dans un volume d'air et la masse maximale de vapeur d'eau que peut transporter ce même volume avant l'apparition du brouillard. Or la masse maximale de vapeur que peut contenir un volume d'air dépend de sa température et de sa pression, ce qui implique que le taux d'humidité est fonction de trois variables : la vapeur d'eau, la température et la pression. La mesure n'est donc pas directe à partir d'un seul capteur et surtout pas très facile à expliquer. Un taux de 100% correspond à de l'air saturé en humidité, avec apparition du phénomène de condensation ou point de rosée³⁸.
- Certains capteurs ont des temps de réponse longs et donc au cours du vol d'un ballon on n'obtient jamais de valeurs stabilisées (exemple : l'hygromètre à cheveux).
- Le calibrage absolu des capteurs est délicat. On peut réaliser de l'air sec en enfermant le capteur dans un volume fermé avec des produits dessiccateurs ; de l'air humide avec 100 % d'humidité en le plaçant au-dessus d'une casserole d'eau en ébullition ; des valeurs

³⁸ <http://www.cactus2000.de/fr/unit/masshum.shtml>

intermédiaires en enfermant dans le même sac plastique, le capteur et un récipient d'eau salée³⁹ ; en pratique cela est long et pas très fiable. Bien sûr, on peut étalonner par comparaison avec un hygromètre de salon. Dans tous les cas, la dépendance en température et en pression n'est pas prise en compte au cours du vol.

- Les ballons atteignent vite l'isotherme 0 °C et si le taux d'humidité a toujours un sens quand il gèle, il ne se mesure plus avec les mêmes capteurs.

En pratique nous connaissons deux méthodes pour réaliser une mesure d'humidité :

- Des capteurs d'humidité électroniques calibrés, dont les temps de réponse sont compatibles avec une utilisation sur un ballon⁴⁰ (N2-Elec).
- Un capteur d'humidité efficace et assez rapide est le psychromètre à deux thermomètres. Le premier thermomètre mesure la température ambiante, le second mesure la température d'un coton humide. La mèche de coton est plongée dans un petit flacon d'eau pour être constamment humide. Quand l'air est saturé d'humidité, le coton ne sèche pas et les thermomètres indiquent la même valeur. Quand l'air n'est pas saturé, le coton humide s'évapore ce qui produit du froid. La mesure de l'écart de température entre les deux thermomètres permet de remonter à l'humidité moyennant l'exploitation d'une table psychrométrique. Ce type de capteur est assez connu en milieu scolaire car il est souvent utilisé dans les stations météorologiques réalisées par les jeunes⁴¹. Bien sur un psychromètre fonctionne tant que la température est au dessus de 0°C et que l'eau du flacon ne gèle pas.

Les thermomètres peuvent être des capteurs électroniques de type CTN. La difficulté réside dans la mesure de l'écart de température entre le capteur sec et le capteur humide qui en pratique n'est que de quelques degrés. Une astuce consiste à faire une mesure par différence entre les deux capteurs (N2-Elec).

On réalise une première mesure de température absolue avec un capteur sec suivant le schéma déjà expliqué. On obtient la température ambiante qui est le premier paramètre dont on a besoin pour utiliser une table psychrométrique.

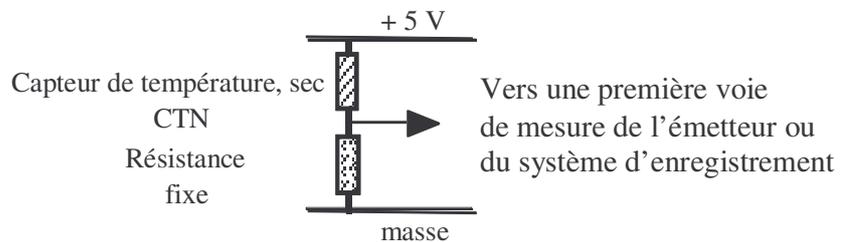


Figure 45

Simultanément on réalise une seconde mesure avec deux capteurs, l'un sec, l'autre humide. Quand les deux capteurs sont à la même température (air humide), ils ont la même résistance et la tension est divisée par deux (voir la formule du pont diviseur).

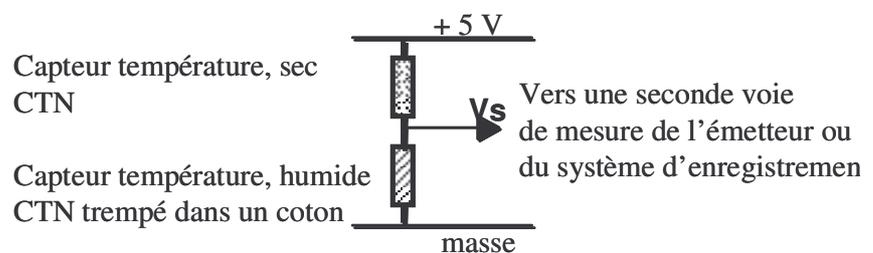


Figure 46

³⁹ Nous avons trouvé cette astuce sur le web. Il faut dissoudre 125 ml de sel de table dans 50 ml d'eau et placé le tout dans un sac plastique à température ambiante. Il paraît que le taux d'humidité est alors proche de 75 %.

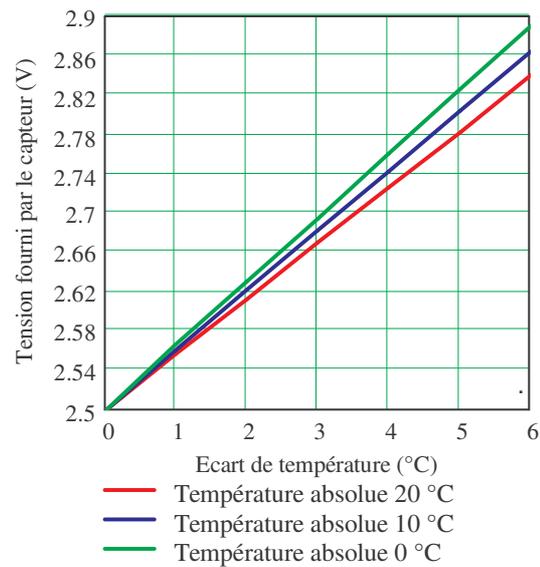
⁴⁰ Exemple : capteur Honeywell série HIH-4000 capteur d'humidité 35 E environ disponible chez Radiospares. Ce type de capteur est directement compatible avec un émetteur Kiwi.

⁴¹ <http://www.educnet.education.fr/meteo/observ/poix/html/poix1132.htm>, <http://meteochalon.free.fr/psychrometre.html>

Quand l'air est sec, le capteur humide est plus froid à cause de l'évaporation que le capteur sec, sa résistance augmente et en conséquence augmente aussi la tension produite par le pont diviseur. La courbe ci-jointe est obtenue avec des CTN modèle R0 = 1 K Ω , β = 3825, T0 = 298 K.

Cet écart de température est le second paramètre nécessaire pour utiliser la table psychrométrique.

Figure 47



		Ecart de température en °C													
		0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	
Température absolue en °C	0	100	90	81	72	64	56	50	42	36	30	25	20	16	
	1	100	91	82	74	66	58	52	45	39	34	28	23	18	
	2	100	91	83	75	67	60	54	48	42	36	31	26	22	
	3	100	92	84	76	69	62	56	50	44	39	34	29	25	
	4	100	92	84	77	70	64	57	52	47	41	36	32	28	
	5	100	93	85	78	71	65	59	54	48	43	39	34	30	
	6	100	93	85	79	72	66	61	55	50	45	41	36	33	
	7	100	93	86	79	73	67	62	57	52	47	43	39	35	
	8	100	93	87	80	74	69	63	58	54	49	45	41	37	
	9	100	94	87	81	75	70	65	60	55	51	47	43	39	
	10	100	94	87	82	76	71	66	61	57	53	49	45	41	
	11	100	95	89	83	77	72	67	62	58	54	50	47	43	
	12	100	95	89	83	78	73	68	63	59	56	52	48	44	
	13	100	95	89	84	78	74	69	65	61	57	53	50	46	
	14	100	95	89	84	79	74	70	66	62	58	54	51	47	
	15	100	95	89	84	80	75	71	67	63	59	55	52	49	
	16	100	95	90	85	80	76	72	68	64	60	57	54	50	
	17	100	95	90	85	81	77	72	69	65	62	58	55	52	
	18	100	95	90	86	81	77	74	70	66	63	59	56	53	
	19	100	95	91	86	82	78	74	70	66	63	60	57	54	
	20	100	96	91	87	82	78	74	71	67	64	61	58	55	
	21	100	96	91	87	83	79	75	72	68	65	62	59	56	
	22	100	96	91	87	83	80	76	72	69	66	63	60	57	
23	100	96	91	87	84	80	76	73	69	67	63	61	58		

Figure 48 : Table psychrométrique

Le capteur suivant est un détecteur de point de rosée plutôt qu'un réel capteur d'humidité. Il est construit à partir d'un circuit imprimé à bandes de cuivre dont on relie les bandes une sur deux. Une des séries est reliée au +5 V via une résistance de l'ordre de 100 kohms, l'autre série est reliée à la masse. En absence d'humidité la tension de sortie du détecteur est de + 5 V. Lors du passage dans un nuage, l'humidité dépose des gouttelettes qui court-circuitent les bandes de cuivre et ramènent la tension vers 0 volts. A la sortie du nuage le capteur sèche et la tension revient à 5 volts (N2-Elec, N2-Meca). La tache jaune symbolise une goutte d'eau.

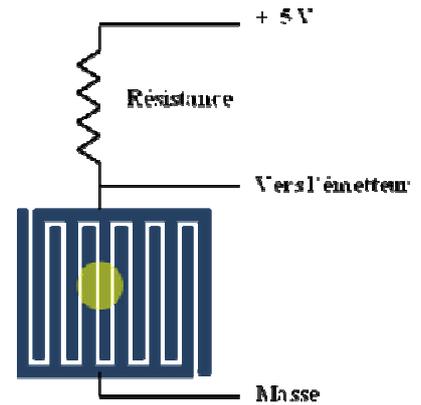
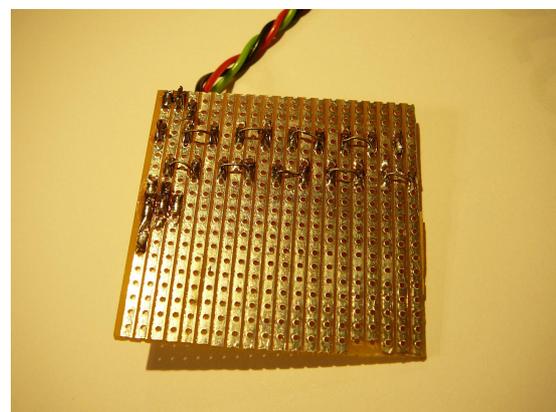
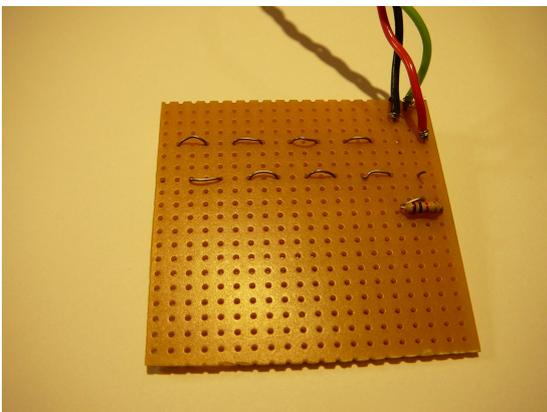


Figure 49



Un exemple de réalisation recto verso

Figure 50

5.5 La propagation du son

La présence de l'air est indispensable à la propagation du son. En plaçant un poste de radio dans une cloche à vide, on constate que le son s'atténue au fur et à mesure du pompage (N1). On peut réaliser la même expérience à bord d'une nacelle en plaçant un buzzer à une distance fixe d'un micro et en mesurant le niveau sonore (N4-Elec).

5.6 Le profil de montée

L'exploitation des données sur l'atmosphère standard est l'occasion de mettre au point une modélisation mathématique du vol d'un ballon. En voici une à titre d'exemple : ici nous cherchons à prédire la quantité d'hélium nécessaire pour que le ballon monte à une vitesse donnée.

En vol, le bilan des forces sur le ballon est le suivant :

$$\text{Poussée d'Archimède} = \text{Poids de la chaîne de vol} + \text{Traînée aérodynamique du ballon} \quad (1)$$

$$\text{Soit } V_b \cdot (\rho_{\text{air}} - \rho_{\text{hélium}}) \cdot G = P_b + \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot S_b \cdot C_x \cdot V^2 \quad (2)$$

- ❖ V_b = volume de gaz du ballon, que l'on peut connaître au moment du gonflage.
- ❖ G = attraction terrestre, (9.81 m/s²)

⁴² Traînée aérodynamique du ballon = résistance de l'air sur le ballon quand il monte.

⁴³ Formule donnant la force que subit un objet se déplaçant dans l'air.

- ❖ P_b = poids de la chaîne de vol c'est-à-dire, le ballon + la nacelle + tous les autres accessoires,
- ❖ ρ_{air} = masse volumique de l'air, valeur que l'on trouve facilement dans les livres ⁴⁴,
- ❖ $\rho_{\text{hélium}}$ = masse volumique de l'hélium, valeur que l'on trouve facilement dans les livres ⁴⁵,
- ❖ S_b = maître couple du ballon, facile à calculer à partir de V_b si l'on fait l'hypothèse que le ballon est une sphère. En effet, pour une sphère, le maître couple est égal à la surface du cercle qui passe par l'équateur ⁴⁶,
- ❖ V = vitesse ascensionnelle,
- ❖ C_x = coefficient aérodynamique de forme, ici la sphère,

Une fois gonflé, et avant le décollage, le ballon est immobile, et exerce une force de traction vers le haut pour se libérer. On appelle cette force, la force ascensionnelle libre ou FAL.

Au sol, le ballon ne volant pas, il n'y a pas de traînée aérodynamique et le bilan des forces est donc :

$$\text{Poussée d'Archimède} = \text{Poids de la chaîne de vol} + \text{Force ascensionnelle libre} \quad (3)$$

En comparant (1) et (3), on remarque que la force ascensionnelle libre du ballon avant le lâcher est égale à la traînée pendant le vol d'où :

$$\text{Force ascensionnelle libre} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot S_b \cdot C_x \cdot V^2 \quad (4)$$

Ne reste plus qu'à évaluer le C_x pour en déduire V . Le C_x est un coefficient de forme et il est donc possible de le mesurer sur une sphère de diamètre différent de celui du ballon, l'important est de travailler avec des formes proches. Pour cela nous gonflerons un ballon de fête sphérique dont il sera facile de mesurer la circonférence avec un mètre de couturière afin d'en déduire son volume et son maître couple.

Puis nous chercherons à connaître la force ascensionnelle libre (FAL) de ce ballon de fête. Plusieurs méthodes sont disponibles :

- en le lestant pour obtenir un vol à l'équilibre dans une salle, le ballon flottant sans monter ni descendre. La FAL est égale au poids de la tare.
- en le lestant avec une ficelle qui joue le rôle de guiderope. Le ballon déroule la ficelle en s'élevant puis s'équilibre. En pesant la longueur de ficelle que le ballon a été capable de soulever, on déduit sa FAL.
- en pesant un objet sur une balance, puis en repesant le même objet après l'avoir accroché au ballon. La différence entre les deux pesées donne la FAL.

Ensuite nous lâcherons le ballon de fête devant un bâtiment de hauteur connue. Un premier observateur placé au pied lâchera le ballon à un instant convenu tandis qu'un second placé dans les étages surveillera le passage du ballon et mesurera avec un chronomètre le temps de vol et calculera la vitesse ascensionnelle. Avec tous ces éléments et en utilisant de nouveau la formule de la traînée, on en déduit le C_x de la sphère ⁴⁷ :

$$C_x(\text{sphère}) = \frac{2 \text{ FAL}}{\rho S_b \cdot V^2} \quad (5) \quad ^{48}$$

Que l'on réinjecte alors dans la formule (2) pour en déduire le volume de gaz nécessaire au gonflage sachant que la vitesse ascensionnelle recommandée est de 4 à 5 m/s.

⁴⁴ 1.3 kg/m³ au sol

⁴⁵ 0.18 kg/m³ au sol

⁴⁶ Volume d'une sphère : $\frac{4}{3} \pi R^3$

⁴⁷ Pour ceux qui souhaitent shunter cette étape, on peut utiliser 0,45 comme valeur de C_x pour une sphère.

⁴⁸ On doit trouver en final un C_x proche 0.45.

Et pour ceux qui apprécient cette première étape, nous pouvons maintenant leur proposer de s'intéresser à l'évolution de la vitesse ascensionnelle en fonction de l'altitude du ballon. En altitude l'air se raréfie ce qui signifie que la masse volumique de l'air diminue. La formule suivante donne une bonne approximation de cette évolution sur les premiers km de l'atmosphère :

$$\rho_{\text{air}} \text{ (à l'altitude } Z) = \rho_{\text{air}} \text{ (au sol)} \frac{20\,000 - Z}{20\,000 + Z} \quad (6)$$

avec Z exprimé en mètres,

La pression aussi diminue suivant une formule approchée valable aussi jusqu'à 10 km :

$$P \text{ (à l'altitude } Z) = P \text{ (au sol)} \times (3 \cdot 10^{-9} Z^2 - 10^{-4} Z + 0,97)^{49} \quad (7)$$

Et comme le volume du ballon dépend inversement de la pression atmosphérique (quand la pression diminue le ballon gonfle) :

$$V_b \text{ (à l'altitude } Z) = V_b \text{ (au sol)} / (3 \cdot 10^{-9} Z^2 - 10^{-4} Z + 0,97) \quad (8)$$

En injectant (6) et (8) dans (2) on obtient :

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot (V_b(Z) \cdot \rho_{\text{air}}(Z) \cdot G - P_b)}{\rho_{\text{air}}(Z) \cdot \pi \cdot \left(\frac{3 \cdot V_b(Z)}{4 \cdot \pi}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot C_X}}$$

Ce qui permet de connaître la vitesse ascensionnelle du ballon sur les premiers kilomètres. En traçant la courbe donnant V en fonction de Z, on constate que cette vitesse évolue un peu.⁵⁰

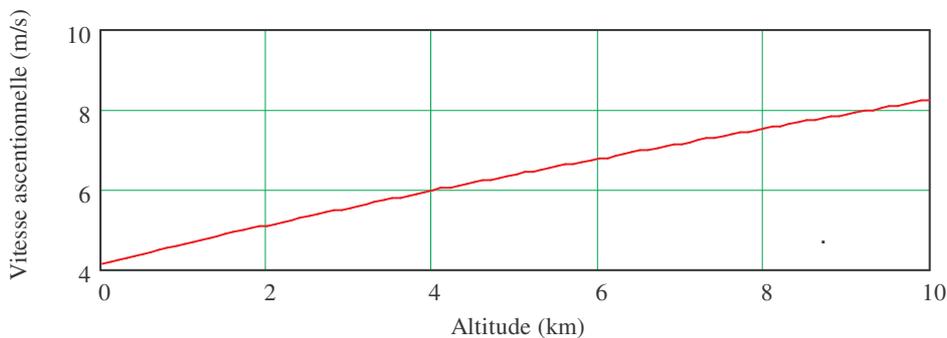


Figure 51

5.7 La pollution

L'étude de la pollution atmosphérique est un thème souvent proposé par les jeunes ; un grand classique étant le "trou d'Ozone". Heureusement pour nous, Terriens, les polluants atmosphériques, aussi préoccupants soient-ils, sont des corps à l'état de traces et donc difficiles à détecter. Il faut mettre en œuvre des réactions chimiques ou physiques complexes et délicates à calibrer. De ce fait, nous conseillons d'inciter les jeunes à s'orienter vers d'autres thèmes.

Le piégeage de poussières sur des filtres ou des surfaces collantes a été essayé mais les résultats sont décevants. Les systèmes consistant à forcer le passage de l'air à travers des filtres à l'aide d'un ventilateur comme cela se pratique couramment au sol, ne fonctionnent pas en altitude faute d'air. L'identification de la nature des particules n'est pas, à notre avis, à la portée d'un groupe de jeunes.

⁴⁹ Cette formule peut être retrouvée à partir de la table GOST et en utilisant l'outil « courbes de tendances » d'EXCEL®

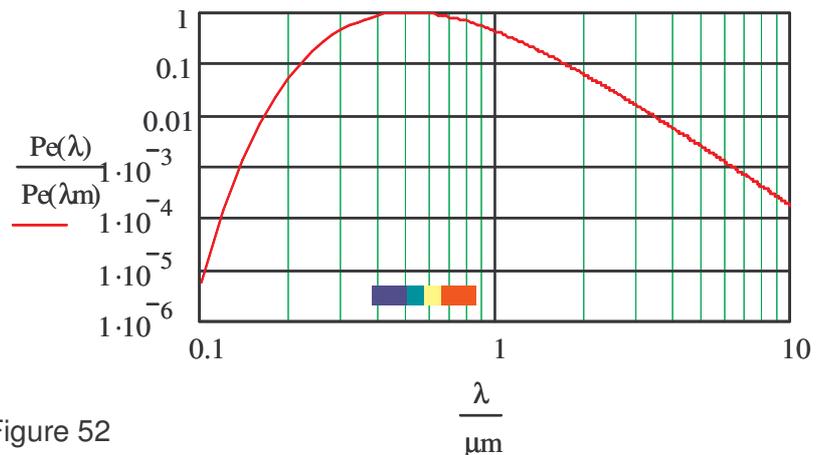
⁵⁰ La note technique portant sur la prévision de la trajectoire d'un ballon décrit en détail un modèle plus précis pour évaluer la vitesse ascensionnelle.

6. Expériences sur le rayonnement

6.1 Le rayonnement solaire

Vers 30 km d'altitude, le ballon reçoit un rayonnement proche de celui reçu par un satellite, la plus grande partie de l'atmosphère étant placée sous le ballon. Son intensité, toutes longueurs d'ondes confondues, est de 1370 watt/m². En traversant l'atmosphère, le rayonnement est en partie absorbé et diffusé par les molécules gazeuses, les gouttelettes d'eau et les poussières en suspension. 34% environ sont renvoyés vers l'espace, 18 % absorbés par l'atmosphère et 48 % arrivent au sol, soit directement soit après diffusion. On en conclut qu'en moyenne, une surface au sol perpendiculaire aux rayons du soleil reçoit environ 700 watt/m² avec d'importantes variations suivant la météorologie du moment.

Le soleil est comparable à un corps noir chauffé à 5800 K. En s'appuyant sur cette hypothèse, le physicien Max Plank, prix Nobel de 1918, a calculé un modèle qui prédit l'intensité de chaque couleur émise, appelé le spectre du soleil. La courbe ci-contre représente ce spectre : l'axe horizontal indique les longueurs d'onde, tandis que l'axe vertical, la puissance de lumière relative émise pour chacune de ces longueurs d'onde. Figure 52



Sur le graphique, nous avons superposé la partie du spectre visible. Pour rendre notre vision plus efficace, la nature a rendu l'œil humain sensible dans les longueurs d'ondes les plus intenses émises par le soleil.

Pour détecter la lumière deux familles de photo-capteurs sont disponibles :

- Les photo-résistances (LDR) qui comme leur nom l'indique, sont des composants électroniques dont la résistance évolue en fonction de la lumière. Dans l'obscurité, leur résistance est élevée (quelques Mohms). Elle diminue en lumière vive (quelques Kohms)⁵¹. La réponse n'est pas linéaire et dépend de la température. Elles ont une sensibilité proche de celle de l'œil. Leur utilisation est très facile mais leur étalonnage est difficile.

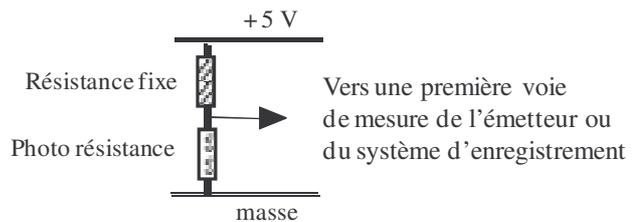


Figure 53

⁵¹ Exemple modèle Silonex NSL19-M51 moins de 2 E catalogue Radiospares.

- Les photodiodes produisent un courant proportionnel à l'éclairement et indépendamment de la température. La propriété de proportionnalité facilite l'étalonnage.

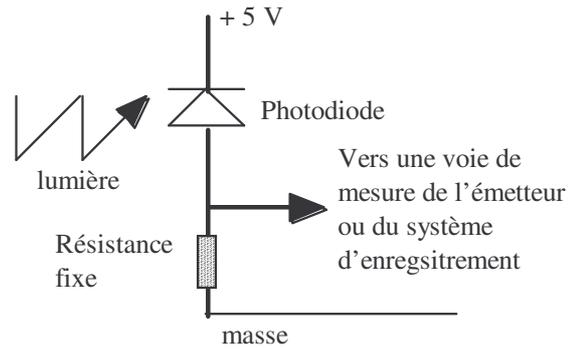


Figure 54

Les choses se compliquent un peu car les photo-capteurs ne sont pas sensibles à toutes les longueurs d'onde. Les capteurs courants sont plutôt sensibles dans le visible, le rouge et l'infrarouge et peu sensibles au bleu⁵². En fonction du phénomène que l'on souhaite observer, on choisira un type de photodiode. Le schéma suivant superpose les fenêtres de sensibilité de quelques photo-capteurs usuels.

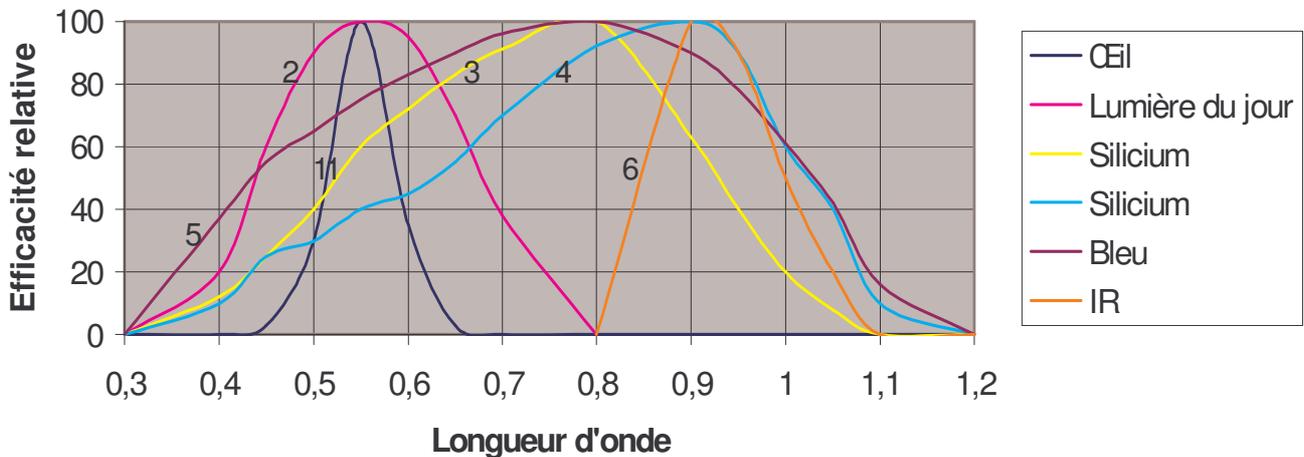


Figure 55

La courbe 1 donne la sensibilité de l'œil humain.

La courbe 2 donne la sensibilité d'une photodiode optimisée pour être sensible à la lumière du jour.

Les courbes 3 et 4 donnent les sensibilités de photodiode silicium d'usage courant.

La courbe 5 donne la sensibilité d'une photodiode améliorée pour être plus sensible dans le bleu.

La courbe 6 donne la sensibilité d'une photodiode fonctionnant dans l'infrarouge.

Avec une photodiode, l'étalonnage est relativement simple. A midi par grand soleil, on expose le capteur et on mesure le courant I produit. On peut alors faire l'hypothèse que le capteur reçoit un flux de lumière équivalent à 1000 W par mètre carré. Comme le courant produit est directement proportionnel au flux de lumière, on a la relation :

$$\frac{I \text{ en vol}}{I \text{ au sol}} = \frac{\text{Flux de lumière en vol}}{1000 \text{ Watt.}}$$

L'étalonnage peut aussi être réalisé après le vol. En effet, si en fonction des saisons on peut avoir quelques doutes sur la valeur de 500 à 1000 Watt/m² pour le flux au sol, la valeur de 1370 Watt/m² (constante solaire) en haute altitude est stable dans le temps. On relève après le vol la valeur du

⁵² Pour les petits malins qui espèrent changer la sensibilité d'un capteur rouge en plaçant un filtre bleu devant, nous sommes désolés, cela ne donnera pas le résultat escompté ! Comme son nom l'indique, le filtre bleu ne laisse passer que le bleu et arrête donc le rouge. Le photo-capteur sensible seulement au rouge n'en reçoit pas et donc ne détecte rien.

courant produit par la photodiode quand le ballon est à sa plus haute altitude et on fait alors l'hypothèse qu'elle correspond à 1370 Watt/m^2 . Ceci permet d'étalonner le reste de la courbe.

Il existe aussi des luxmètres permettant de mesurer le flux solaire en même temps que l'on relève le courant ou la résistance de son propre capteur.

En pratique, comme la nacelle tourne sur elle-même, le capteur n'est pas toujours bien orienté et on obtient des courbes comme présentée Figure 62 avec beaucoup de fluctuations. Néanmoins on peut raisonnablement faire l'hypothèse que les pics maximaux de courant de la courbe correspondent aux instants où le capteur est face au soleil et relever la valeur du courant à ces instants.

On peut s'intéresser à l'évolution du spectre. Le bleu étant un peu plus diffusé que le rouge, la proportion de bleu augmente un peu en altitude. On peut tenter de la mettre en évidence en équipant deux photodiodes sensibles à la lumière du jour, l'une d'un filtre rouge, l'autre d'un filtre bleu, et tracer le rapport courant de la photodiode rouge/courant de la photodiode bleu en fonction de l'altitude.

L'atmosphère joue aussi le rôle d'un filtre sélectif, c'est-à-dire que seules certaines longueurs d'ondes (couleurs) sont absorbées. L'étude de ces absorptions, basée sur une analyse spectrale fine, permet d'étudier sa composition mais elle nécessite du matériel hors de portée des jeunes. En effet, les capteurs et filtres courants dont on peut disposer n'ont pas la sélectivité suffisante.

6.2 Calibration d'une photodiode

Nous proposons quelques lignes plus détaillées pour expliquer et calibrer une photodiode comme capteur de lumière.

Par construction une photodiode est d'abord une diode polarisée en inverse. En absence de lumière, elle ne laisse pas passer le courant. Elle est constituée d'un empilement de couches N et P de semi-conducteurs séparées par une zone non dopée I (zone intrinsèque). Quand un photon est absorbé dans la zone I, il arrache un électron d'un atome ce qui produit une paire électron / trou. Le trou correspond à l'absence d'un électron sur un atome. Dans un matériau classique l'électron ou un de ses copains à de fortes chances de retomber dans le trou et le phénomène s'arrête là, en dégageant un peu de chaleur. Quand la diode est polarisée, il règne un champ électrique intense entre la zone P et N qui a pour effet de séparer le trou de l'électron. L'électron négatif tend à rejoindre la zone P et inversement pour le trou positif et cela crée un courant.

Donc 1 photon = 1 électron, 2 photons = 2 électrons etc. ceci explique la proportionnalité.

En pratique, il y a des photons perdus : lumière réfléchi sur la surface de la photodiode, recombinaison de quelques paires d'électrons trous etc. mais pour une photodiode donnée la proportionnalité reste. La proportion de photons qui produisent des électrons s'appelle le rendement quantique η et est souvent donné par les « data sheet » des diodes. C'est un chiffre entre 0 (photodiode inefficace) et 1 (photodiode idéale).

On préfère utiliser un paramètre S qui s'appelle la sensibilité de la photodiode et qui s'exprime en amp / watt. Ce paramètre indique quel courant la photodiode produit quand elle est éclairée par une puissance optique. Les fabricants indiquent aussi ce paramètre. Il est facile de passer du rendement quantique à la sensibilité par la formule suivante :

$$S := \frac{e}{h \cdot \nu} \cdot n \quad \text{avec} \quad 53$$

e : charge de l'électron = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb h : constante de Planck $h := 6,62 \cdot 10^{-34}$ joule · sec,

ν : fréquence optique que l'on calcule à l'aide de la formule $\nu := \frac{C}{\lambda}$

C = vitesse de la lumière $C := 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$,

λ = longueur d'onde optique = 565 nm,

rendement quantique = $n = 0,8$ valeur classique pour une photodiode moderne,

$$\text{d'où } S = 0.364 \frac{\text{amp}}{\text{watt}}$$

La sensibilité d'une photodiode fournie par le fabricant correspond au pic de sensibilité du composant, c'est à dire à la longueur d'onde où la photodiode est la plus efficace. Mais en pratique la sensibilité dépend de la longueur d'onde de la lumière et de l'angle de l'arrivée du faisceau lumineux sur sa surface. Les fabricants indiquent ces évolutions par des diagrammes sur les « data sheet ».

Pour pouvoir exploiter une photodiode, il faut donc déterminer sa sensibilité dans les conditions réelles d'emploi qui sont rarement au pic de sensibilité. En s'appuyant sur l'exemple de la photodiode BPW 21 ⁵⁴ voici la marche à suivre. Le dessin ci-dessous superpose la courbe de sensibilité de la diode BPW21 au spectre solaire. On remarque que la BPW21 a une sensibilité centrée sur celle de l'œil humain mais elle est à la fois plus sensible que l'œil dans le rouge et le bleu. Le choix d'une photodiode dépend de ce que l'on souhaite mesurer. Ainsi la BP104 est particulièrement efficace dans l'infrarouge.

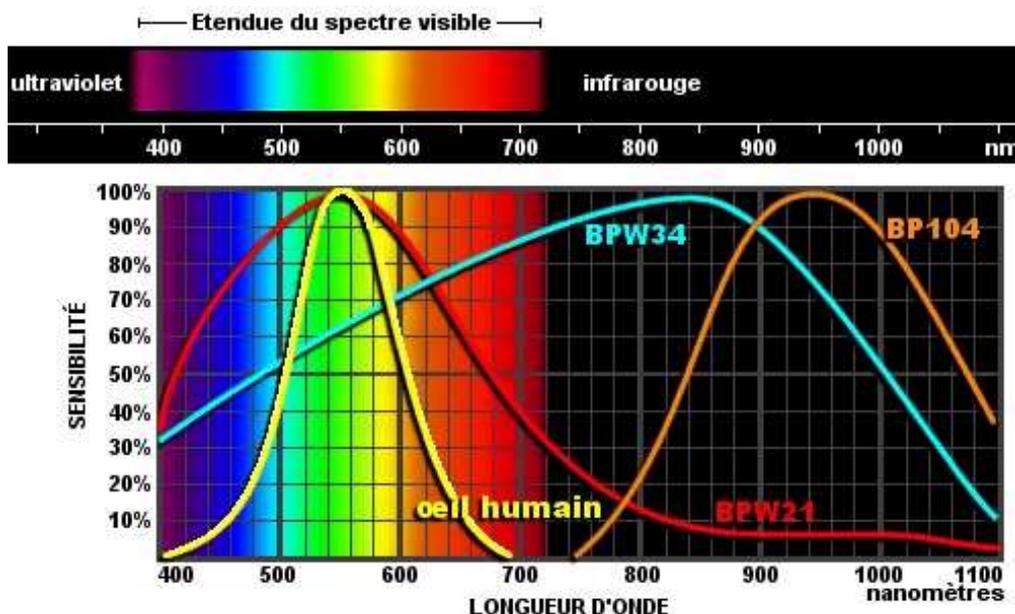


Figure 56

⁵³ Ne pas se laisser impressionner par les constantes. La formule est très simple des multiplications et divisions seulement !

⁵⁴ Photodiode BPW21 produite par Osram et disponible chez Radiospares 10 E environ

L'intensité du spectre du soleil est très proche de celle d'un corps noir chauffé à 5700 K. Le physicien Planck proposa une formule qui permet de calculer cette intensité.

$$C1 := C^2 \cdot h \quad T_{\text{soleil}} := 5700 \cdot K \quad k : \text{constante de Boltzman} \quad k := 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{joule}}{K}$$

$$Pe(\lambda) := \frac{2 \cdot C1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\left(\exp\left(\frac{h \cdot C}{k \cdot T_{\text{soleil}} \cdot \lambda} \right) - 1 \right)}$$

55

Qui tracée en échelle log donne la courbe suivante. Cette courbe fit la célébrité de Planck. Elle indique pour chaque longueur d'onde la puissance optique rayonnée par chaque m² d'une surface chauffée, ici la surface du soleil à 5700 K.

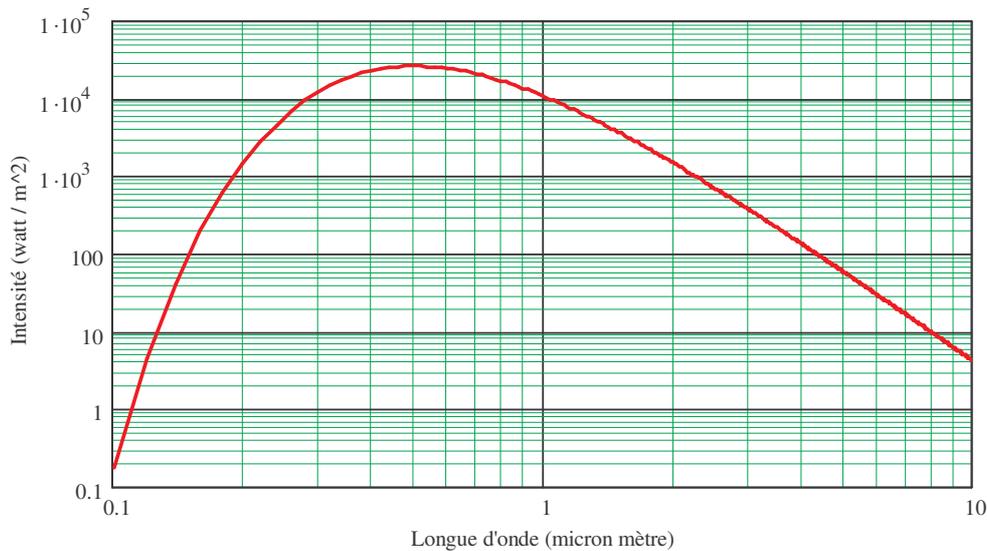


Figure 57

Pour nous, il est plus facile de l'utiliser en échelle linéaire et la normaliser à 1 et dans ce cas elle a l'allure suivante (courbe violette).

On a approximé par un triangle la réponse de la photodiode BPW21 donnée par le fabricant (courbe bleu).

En effet d'après la documentation, la BPW21 a son pic à 0.565 μm et est sensible entre 0.34 μm et 0.9 μm.

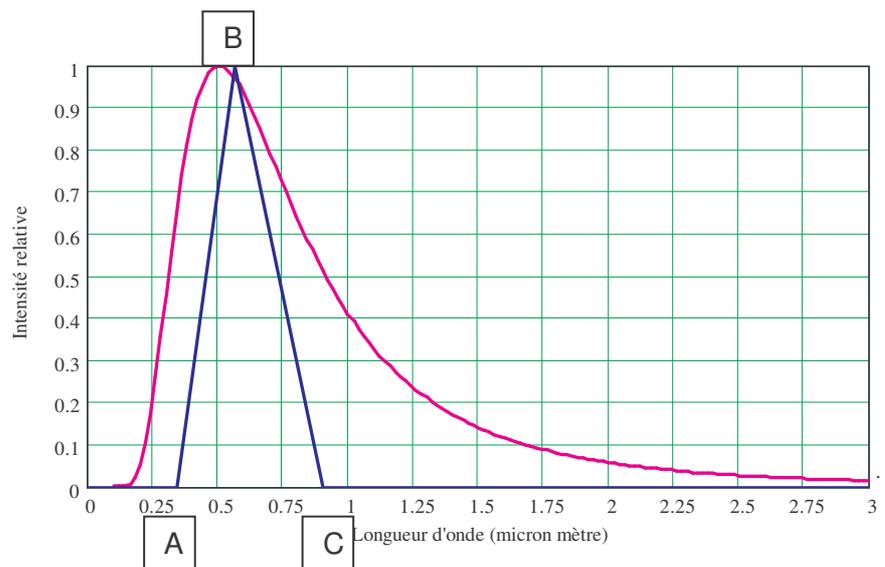


Figure 58

⁵⁵ Cette courbe peut être tracée sur EXCEL

Nous savons que hors de l'atmosphère, quand la nacelle va être à culmination, la Terre reçoit du Soleil 1370 watts/m² (constante solaire) et cela pour tout le spectre allant du rouge au bleu et en toutes saisons. Ces 1370 watts/m² correspondent donc à toute la surface sous la courbe violette. Toutes les couleurs émises par le soleil contribuent à chauffer la Terre. La photodiode n'est sensible qu'à une partie puisque la surface du triangle bleu est plus petite que la surface violette. En calculant le rapport des surfaces, on en déduit la puissance à laquelle la photodiode est sensible. Pour cela il suffit de compter le nombre de carreaux sous chacune des courbes ⁵⁶.

La courbe violette a une surface d'environ 30 carreaux et la courbe bleu environ 11.

Hors atmosphère et face au soleil la BPW21 sera sensible à :

$$1370 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \cdot \frac{11}{30} = 502.333 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

et comme d'après le fabricant, la surface de la photodiode n'est pas de 1 m² mais seulement de 7.34 mm² elle recevra une puissance de :

$$502 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \cdot 7.34 \text{mm}^2 = 3.685 \text{mW}$$

La photodiode va transformer cette puissance en un courant grâce à sa sensibilité.

En observant de nouveau, de façon grossière, la superposition du spectre solaire avec la réponse de la BPW21, on remarque que l'intensité de Soleil aussi décroît de chaque côté du pic de la photodiode. En simplifiant on peut tenter d'évaluer cet effet et la aussi on va approximer la surface sous la courbe violette comprise dans la fenêtre de sensibilité de la photodiode soit ici 90 carreaux et la comparer à la surface qu'aurait le soleil avec un spectre plat soit ici 110 carreaux (voir courbe ci-dessous).

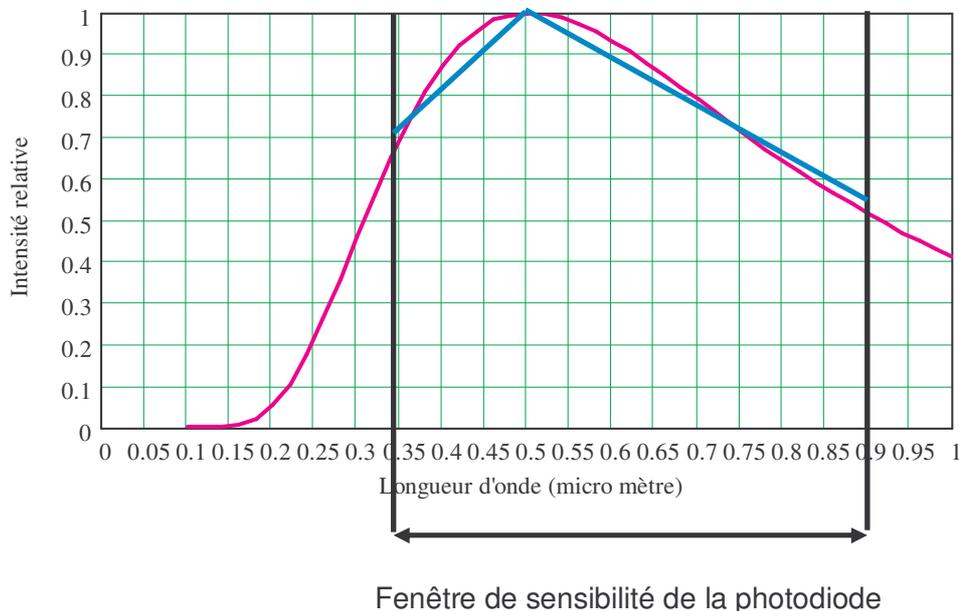


Figure 59

La sensibilité réelle de la BPW21 dans les conditions où nous allons l'employer est de :

$$0.364 \frac{\text{amp}}{\text{watt}} \cdot \frac{90}{110} = 0.298 \frac{\text{amp}}{\text{watt}}$$

⁵⁶ En fait en comptant les carreaux, on mesure l'intégral de chacune des courbes.

Donc sous l'action des 3,7 mW de puissance optique reçue que nous avons calculée plus haut, la BPW21 produira :

$$3.7 \cdot \text{mW} \cdot 0.298 \frac{\text{amp}}{\text{watt}} = 1.103 \text{mA}$$

Notre souhait est que ce courant produise une tension d'environ 4 V aux bornes du Kiwi. il faut donc faire traverser ce courant par une résistance de :

$$\frac{4 \cdot \text{volt}}{1.1 \text{mA}} = 3.636 \text{k}\Omega$$

En pratique Il faut mieux utiliser une résistance de 2,7 kohms pour ne pas saturer le Kiwi compte tenu des approximations que nous avons utilisées pour mener le calcul et du fait que les valeurs fournies par le fabricant sont des valeurs typiques et que le plus souvent la photodiode est plus sensible qu'annoncée :

En résumé le montage est donné par la figure :

On en rappelle le fonctionnement,

- Dans le noir la diode bloque le courant et la tension aux bornes du Kiwi est nulle.
- Avec de la lumière, la diode laisse passer du courant qui en traversant la résistance produit une tension lue par le Kiwi.

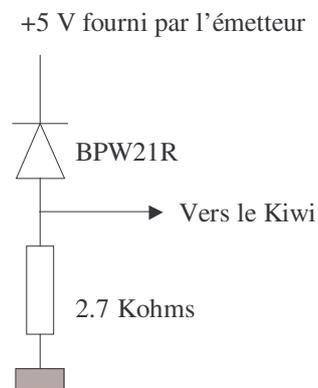


Figure 60

De plus nous l'avons calculé, pour que l'action de 1370 watt/m² produise une tension de 4 V et nous savons que la photodiode est linéaire. La loi d'étalonnage est donc :

$$V(\text{Lumière}) := 4 \text{volt} \cdot \frac{\text{Lumière}}{1370 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}}$$

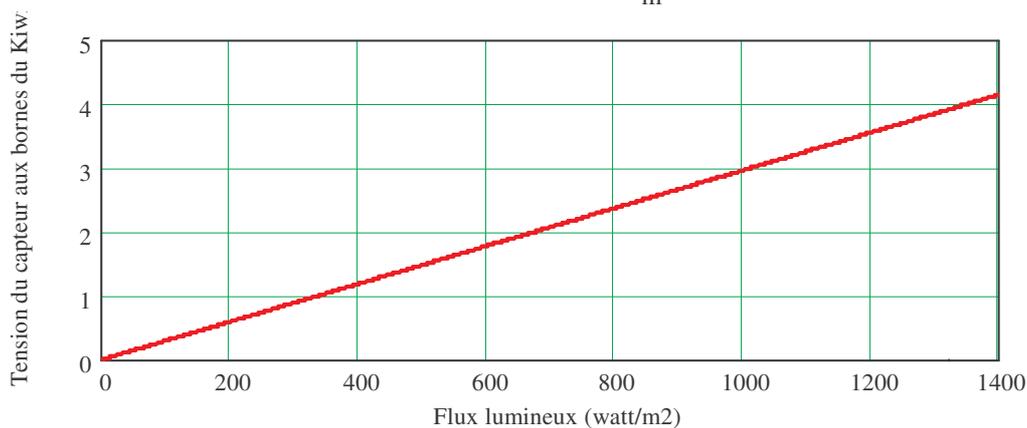


Figure 61

On montre ici qu'un étalonnage n'est pas obligatoirement le résultat d'une mesure expérimentale mais peut aussi être obtenu par un raisonnement physique.

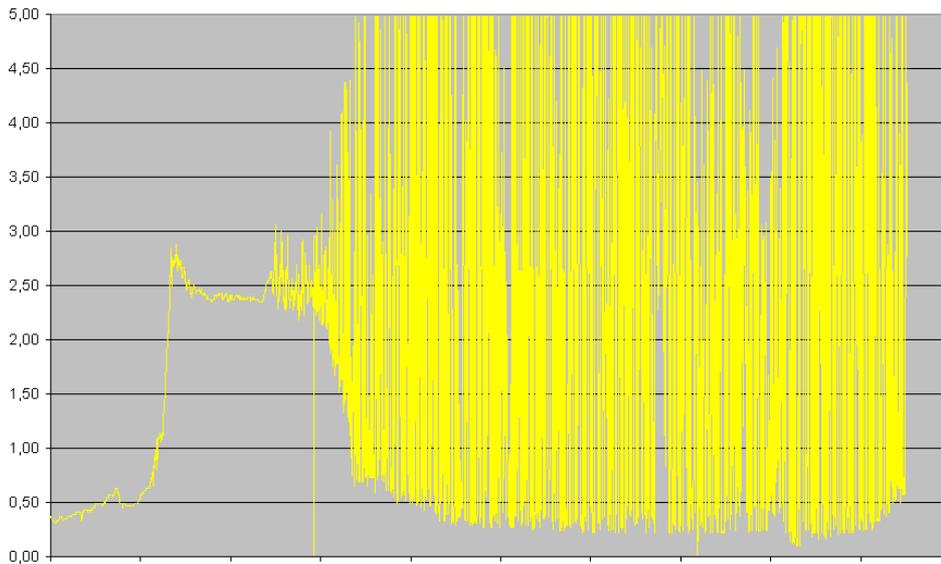


Figure 62

Un résultat expérimental est présenté Figure 62. Le jour de ce lâcher le temps était pluvieux. Nous remarquons une courbe monotone pendant la période de vol dans les nuages, suivi d'une suite de pics, indiquant que la photodiode est alternativement face et dos au soleil.

Et au cas où la beauté de ce raisonnement vous laisse de marbre, retenez simplement qu'une photodiode BPW21 câblée suivant le montage de la Figure 60 est un excellent capteur du flux solaire dont la courbe d'étalonnage est donnée en

Figure 61.

Il est possible aussi d'étalonner le capteur après le vol en faisant l'hypothèse que le plus grand pic situé près de l'instant d'éclatement correspond à une mesure de la lumière à l'altitude maximale lorsque le flux solaire reçu correspond à la constante solaire de 1370 Watt/m².

Pour les pros le calcul exact est le suivant mais reconnaissons le, il est un peu difficile à expliquer à des collégiens.

Soit :
$$Pe(\lambda) := \frac{2 \cdot C1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\left(\exp\left(\frac{h \cdot C}{k \cdot T_{\text{soleil}} \lambda} \right) - 1 \right)}$$
 la densité de puissance par mètre carré du spectre solaire à

la surface du soleil (voir plus haut),

Soit le spectre solaire s'étalant entre 0.1 μm et 10 μm.

Soit la réponse de la photodiode approximée par une courbe en triangle avec A = 0.34 μm, B = 0.565 μm, C = 0.9 μm (voir Figure 58)

La fraction de spectre vue par la photodiode et pondérée par sa sensibilité vaut :

$$\frac{\int_{0.34 \cdot \mu\text{m}}^{0.565 \cdot \mu\text{m}} \text{Pe}(\lambda) \cdot \left(\frac{\lambda - 0.34 \mu\text{m}}{0.565 \mu\text{m} - 0.34 \mu\text{m}} \right) d\lambda + \int_{0.565 \cdot \mu\text{m}}^{0.9 \cdot \mu\text{m}} \text{Pe}(\lambda) \cdot \left(\frac{0.9 \mu\text{m} - \lambda}{0.9 \mu\text{m} - 0.34 \mu\text{m}} \right) d\lambda}{\int_{0.1 \cdot \mu\text{m}}^{3 \cdot \mu\text{m}} \text{Pe}(\lambda) d\lambda} = 0.256$$

57

Dans cette formule, a chaque longueur d'onde λ , on calcule le produit de la densité de puissance $\text{Pe}(\lambda)$ avec la réponse de la photodiode $\left(\frac{\lambda - A}{B - A}\right)$ pour la première partie du triangle, $\left(\frac{B - \lambda}{C - B}\right)$ pour la seconde et on somme toutes les contributions (intégration) sur la plage de sensibilité de la photodiode (voir Figure 58). On divise l'ensemble par la puissance totale émise sur tous le spectre solaire.

$$\frac{4 \cdot \text{volt}}{S \cdot 0.256 \cdot 1370 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 7.34 \text{mm}^2} = 4.267 \text{k}\Omega$$

En pratique une résistance de 2,7 kohms est préférable pour les raisons expliquées plus haut.

6.3 L'énergie solaire

Avec quelques cellules solaires ⁵⁸, il est possible de réaliser un petit panneau solaire qui alimentera l'électronique de la nacelle, comme pour les satellites (N2-Elec, N2-Méca). L'apport énergétique est symbolique et ne dispense pas des piles car le panneau solaire est rarement bien positionné par rapport au soleil mais l'expérience est démonstrative pour les équipes qui s'intéressent à l'énergie solaire.

6.4 Le rayonnement cosmique

L'atmosphère nous protège d'un ensemble de particules qui bombardent la Terre. Découverte en 1912 et probablement associée à des explosions ou implosions d'étoiles, la composition de ce rayonnement est maintenant bien connue : 90 % de protons (noyaux d'hydrogène), 9 % de particules alpha (noyaux d'hélium), 1% d'électrons et quelques autres babioles. En traversant l'atmosphère, les collisions successives des particules produisent de multiples réactions et atténuent le flux. Au sol, la cadence d'arrivée est d'environ une particule par minute et par cm^2 . Dans les hautes couches, vers 30 km, le flux est 100 fois plus grand.

Un compteur Geiger permet de détecter ce rayonnement. Des modèles relativement bon marché et suffisamment sensibles sont proposés dans les catalogues de matériel pédagogique scolaire ⁵⁹ ou chez des fournisseurs de matériel de laboratoire. Les modèles les plus simples produisent un "toc" dans un haut-parleur à chaque particule interceptée. Avec les modèles que nous avons manipulés, on détecte au sol une ou deux particules par minute. En vol, le rythme de détection atteint quelques coups par seconde. On récupère les "toc" sur la prise casque ou aux bornes du haut-parleur. A l'aide de quelques portes logiques (trigger, compteurs diviseurs,) on adapte le signal au mode d'enregistrement (N4-Elec).

⁵⁷ Vous vous doutez bien que nous n'avons pas calculé cette formule à la main ! Il existe des logiciels qui calculent les intégrales

⁵⁸ Catalogue OPITEC

⁵⁹ De l'ordre de 200 € pour un bas de gamme.

Pour tenter d'en savoir plus sur la nature des particules, on peut placer des filtres sur un barillet en rotation devant le détecteur (N3-Méca). Les filtres sont des plaquettes minces en métal (aluminium, acier, etc.). Elles arrêtent sélectivement les particules en fonction de leur nature et de leur énergie.

En 2013 pour fêter le centenaire de la découverte des rayons cosmiques par le physicien autrichien Victor Hess, 8 collèves ont réalisé cette expérience.

7. Expériences en télédétection

La télédétection est la discipline qui étudie la Terre par l'analyse du rayonnement optique qu'elle émet et que l'on peut capter en la survolant. Le ballon est un excellent outil d'observation.

7.1 L'albédo

L'albédo est la lumière réfléchiée par la Terre. La valeur varie entre 0 (la Terre ne renvoie pas de lumière exemple le survol d'un lac) et 1 (la Terre renvoie toute la lumière exemple le survol d'une zone enneigée). L'analyse de son intensité en fonction de la longueur d'onde à l'aide d'un radiomètre est une méthode très utilisée en spatial pour surveiller les océans, la végétation, etc.

Néanmoins, on peut réaliser une version simplifiée de radiomètre apte à détecter le survol par une nacelle des zones nuageuses (qui sont très réfléchissantes) ou un contraste entre la mer et la terre. Une photodiode est placée au foyer d'une lentille⁶⁰ et l'ensemble est maintenu par un tube en plastique (N2-Méca, N2-Elec). La surface couverte par un tel capteur est donnée en première approximation par la formule des lentilles :

$$\frac{\text{Diamètre de la surface au sol}}{\text{Altitude de la nacelle}} = \frac{\text{Diamètre du photo détecteur}}{\text{Focale de la lentille}}$$

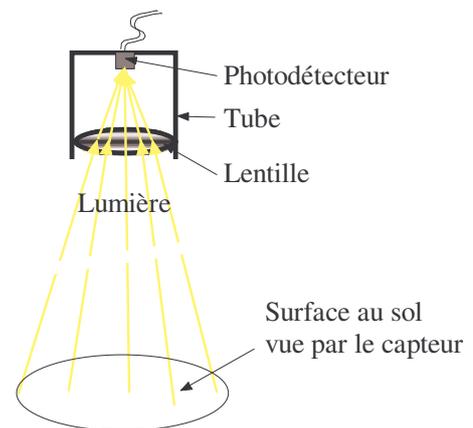


Figure 63

Ainsi, avec une lentille de 18 cm de focale et un détecteur de 3 mm de diamètre, la surface analysée au sol a un diamètre d'environ 160 mètres quand la nacelle est à 10 km d'altitude. Électriquement la photodiode est montée suivant le schéma de la Figure 60 avec une résistance fixe plus élevée car le flux lumineux reçu par le radiomètre est nettement plus faible qu'avec un éclairage direct.

Exemple de réalisation avec une grosse loupe de bureau..



Figure 64

Le radiomètre peut être calibré grossièrement en observant sa réponse, placé au-dessus d'une surface blanche⁶¹ réfléchissant la lumière du Soleil. Si en vol, sa réponse est proche de celle observée au-dessus de la surface blanche, il est fort probable que des nuages encombrant la surface au sol vue par le capteur.

⁶⁰ Catalogue OPITEC ou grosse loupe de bureau.

⁶¹ Feuille de papier

Il est possible de rendre le radiomètre sélectif à certaine longueur d'onde (couleur) en choisissant des capteurs de sensibilité différente et/ou en jouant avec des filtres devant le photo détecteur. On peut ainsi réaliser un assemblage de 4 radiomètres, l'un fonctionnant dans tout le spectre (lumière blanche), l'un dans le rouge, l'autre dans le vert et le dernier dans le bleu. En observant les ratios des courants rouge/blanc, vert/blanc, bleu/blanc et moyennant un étalonnage préalable, il est possible d'évaluer le type de territoire survolé par la nacelle ⁶².

Une mesure très simplifiée de l'albédo consiste à placer une photodiode BPW 21 sous la nacelle orienté vers la Terre suivant le montage de la Figure 60, en augmentant la résistance d'un facteur 3 (8,2 kohm) pour améliorer la sensibilité du capteur. En superposant, la courbe de la mesure du flux lumineux direct face au soleil avec celle de l'albédo on obtient ce type de graphique :

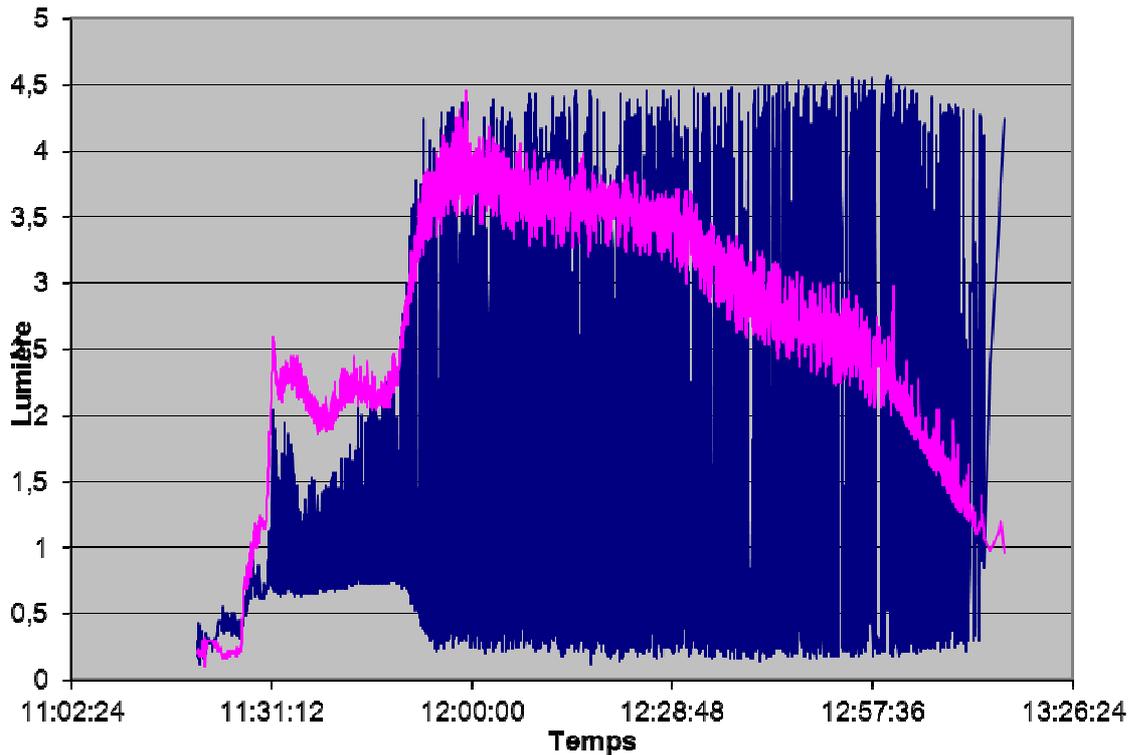


Figure 65

En bleu l'intensité mesurée par le capteur coté soleil, en rose l'intensité mesurée par le capteur d'albédo sous la nacelle coté Terre.

Pour la courbe bleue, on ne s'intéresse ici qu'aux pics correspondant au passage du capteur face au soleil à cause de la rotation de la nacelle.

Cette nacelle a décollé de Toulouse et s'est posée dans les environs de Sète. Vers midi on relève que les deux capteurs fournissent la même tension (4 V). Compte tenu du facteur 3 entre les sensibilités des deux capteurs, on déduit que l'albédo est de l'ordre de 0.3, valeur attendue pour le survol d'un territoire. Ensuite la valeur décroît car très probablement la mer dont l'albédo est faible rentre dans le champ de vue du capteur quand la nacelle arrive sur Sète.

⁶² <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7774-les-grands-principes-de-la-teledetection.php>

Type de surface	Albédo (0 à 1)
Surface de lac	0,02 à 0,04
Forêt de conifères	0,05 à 0,15
Surface de la mer	0,05 à 0,15
Sol sombre	0,05 à 0,15
Cultures	0,15 à 0,25
Sable léger et sec	0,25 à 0,45
Calcaire ¹	environ 0,40
Glace	environ 0,60
Neige tassée	0,40 à 0,70
Neige fraîche	0,75 à 0,90
Miroir parfait	1

Quelques valeurs d'albédo issues de la littérature.

7.2 La photographie argentique couleur

Ce paragraphe rédigé dans les premières versions de ce document est devenu obsolète. La photo argentique est maintenant balayée par la photo numérique et les appareils argentiques motorisés bas de gamme ne sont plus mis en vente en grandes surfaces. On en trouve par contre aisément d'occasion pour quelques euros en chinant dans les vides greniers, les dépôts vente, les sites Internet d'occasions etc. Cette solution est la moins onéreuse à ce jour pour embarquer un appareil photos en prenant le risque de ne pas le récupérer. Reste à trouver une pellicule chez un photographe qui acceptera de prendre en charge le développement. Les appareils photos numériques bas de gamme restent plus chers que les appareils argentiques d'occasion mais il est possible de trouver des modèles de premières générations d'occasion dont le nombre de pixels est réduit par rapport à ce que le marché propose aujourd'hui mais qui sont néanmoins suffisant pour expérimenter.

7.3 La photographie argentique noir et blanc

Techniquement, le montage des appareils dans la nacelle ne diffère pas de la photographie couleur, précédemment décrite. Par contre, elle permet l'utilisation de filtres de couleurs fixes ou montés sur un barillet tournant pour changer le filtre à chaque photo. Souvent utilisés en photo noir et blanc, ces filtres modifient le contraste et donc permettent de mettre en évidence dans le paysage un phénomène particulier. Un filtre laisse passer sa couleur et supprime la couleur complémentaire. Ainsi un filtre rouge favorise le rouge et absorbe le bleu et les plans d'eau ressortiront donc plus sombres. Attention, les filtres de contraste réduisent l'intensité lumineuse reçue par le film. La manière d'effectuer la compensation dépend du type d'appareil. Avec un appareil simple dont le temps d'obturation et l'ouverture sont fixes et correspondent à un éclairage moyen pour une sensibilité de film conseillé par le fabricant, il suffit de développer le film pour une sensibilité moindre à celle indiquée. Le développement noir et blanc permet ce genre de manipulation et il est aisé et conseillé de faire quelques essais au préalable (N4). Néanmoins, le noir et blanc devient de plus en plus désuet.

7.4 La photographie numérique

On place dans la nacelle un ou plusieurs appareils photo qui pointent vers le bas. Même des modèles bas de gamme permettent d'obtenir de bons résultats. Un mécanisme déclenche la prise de vue à intervalles réguliers. Classiquement, les appareils peuvent être déclenchés par un système de came qui appuie sur le déclencheur, mis en rotation par un moteur et des engrenages. (N2-Méca). Les Léo[®], le Mécano[®] et autres Duplo[®] sont très souvent exploités pour les réaliser.

Sur certains appareils, le déclencheur est un contact électrique. Un léger démontage permet d'accéder à ce contact que l'on peut déporter vers un relais commandé électriquement (N3-Elec). D'autres appareils se déclenchent et avancent d'une pose à chaque fois que l'on change les piles. On peut donc les commander en les alimentant par le boîtier des piles. Il faut faire quelques essais avec le modèle dont on dispose pour en déduire la meilleure manière de le déclencher. Le mécanisme de déclenchement peut lui-même être dépendant d'un paramètre comme le temps, la pression, la température pour démarrer la prise de vue à des moments voulus. Les photos peuvent être exploitées simplement à la main en essayant de retrouver le chemin parcouru par comparaison avec des cartes routières, en tentant de reconnaître des activités humaines ou des couvertures végétales pour faire des analyses du type X % de la surface est recouverte de forêts.

Les prises de vue horizontales permettent de faire à basse altitude de jolis panoramas et à haute altitude de photographier la rotondité de la Terre. On découvre alors des photos saisissantes en ambiance spatiale, avec l'horizon sur un fond noir car vers 30 km d'altitude la raréfaction de l'atmosphère est assez forte pour que la diffusion de la couleur "bleu ciel" ait disparu. Voir par exemple la photo de la couverture de ce document.

Plus que de l'appareil photo, la qualité des prises de vue aériennes dépend beaucoup de la météo. Un ciel voilé produit des photos laiteuses peu exploitables. Les nuages compliquent l'interprétation des clichés. Si l'on tient à la qualité des photos, il faut prévoir plusieurs dates possibles de lâcher pour reporter le vol en cas de mauvais temps lors de la première tentative.

Les images sont dans un format informatique directement exploitable sur un PC. On peut se contenter de les observer à l'écran mais aussi utiliser des logiciels de traitement d'images pour faire apparaître des détails.

Attention, de nombreux modèles se mettent automatiquement en veille pour économiser les piles si la durée entre deux prises de vue est trop longue et ceci complique leur mise en œuvre.

L'usage de la photo tel que décrit dans les paragraphes précédents nécessite la récupération de la nacelle ce qui, statistiquement, se réalise une fois sur deux. En comprimant les fichiers et en étalant la transmission sur plusieurs minutes il est possible de transférer au sol les images pendant le vol par radio. La contrainte majeure est le respect d'une bande passante compatible avec les fréquences autorisées. Bien sûr pour réaliser cela, il faut aimer la photo et surtout l'électronique et l'informatique (N5-Elec), ce qui réserve ces expériences aux équipes aguerries.

Ci-dessous des exemples de prises de vue en argentique et en numérique.



Figure 66

L'atmosphère au-dessus des Alpes

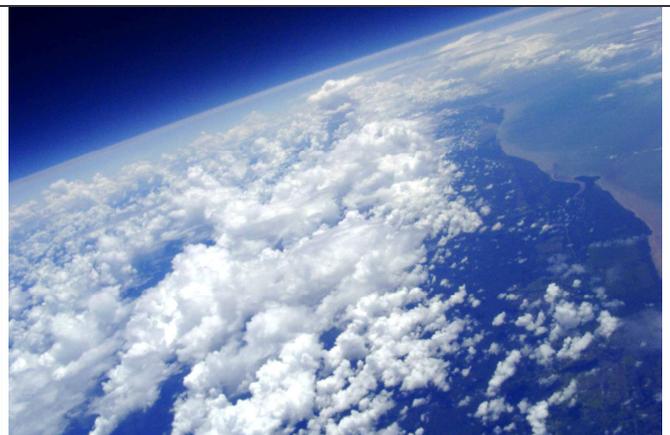


Figure 67

La côte guyanaise



Figure 68

A la vue de ce cliché, le fait que la Terre soit ronde semble être confirmé !
Audouin Dollfus fut le premier homme à voir à l'œil nu cette courbure lors de son vol en ballon pressurisé d'avril 1959.



Figure 69

Photo aérienne prise quelques instants après le décollage.



Figure 70

Photo transmise à bas débit par radio (émetteur Kiwi)



Figure 71

Photo transmise à bas débit par radio (émetteur Kiwi)



Figure 72

L'appareil photo est ici déclenché par un moteur et des engrenages issus d'un kit Opitec



Figure 73

L'appareil photo est ici déclenché par un mécanisme à base de Légo entraîné par une brosse à dent électrique.

7.5 La vidéo

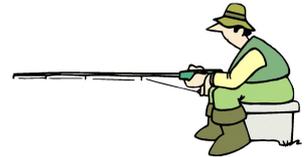
Les appareils photos numériques offrent la possibilité de réaliser des vidéos.

Des caméras miniatures de quelques dizaines de grammes, destinées à des activités de loisirs sont maintenant disponibles, néanmoins à un prix élevé. Equipée d'une carte mémoire SD elles offrent plusieurs heures d'enregistrement. Attention l'expérience nous a appris qu'elles pouvaient produire des parasites électriques sur les autres circuits de la nacelle. Quelques précautions sont à prendre.

Il existe aussi une gamme de caméra miniature de surveillance

L'embarquement de caméras noir et blanc et la transmission en directe de l'image ont déjà été réalisés. (N5-Elec). On associe alors une caméra de petite taille destinée à la surveillance de locaux avec un émetteur radio. Le problème est que pour transmettre l'image, il faut disposer d'un canal de transmission ayant une bande passante suffisante. Cela nécessite des démarches administratives auprès des autorités compétentes pour obtenir l'autorisation d'émettre pendant la durée du vol.

Nous conseillons cette expérience pour les jeunes qui souhaitent construire une nacelle pour s'initier au droit et apprendre la patience car les démarches sont complexes et longues et les autorisations pas toujours accordées.



8. Expériences en biologie

Le Cahier des Charges interdisant l'embarquement d'animaux morts ou vivants, les expériences en biologie ne sont possibles qu'avec les végétaux. Ainsi, des graines de radis, lentilles, soja ont été exposées à haute altitude (N1). Après récupération, les graines sont mises en culture dans un bac, simultanément avec celles d'un lot témoin resté au sol. L'analyse du taux de germination, de la vitesse de croissance, de la longueur des pousses, etc. permet d'apprécier les effets du vol. On constate effectivement des différences mais nous laisserons aux jeunes expérimentateurs le soin d'en trouver les causes. L'isolement des paramètres subis par les graines (froid, vide, rayonnement, manipulations excessives des graines par les élèves avides d'apprendre ! etc.) est en effet difficile et les résultats rarement probants à cause de la courte durée du vol.



Ce sont néanmoins d'excellentes études pour s'initier à la démarche expérimentale, apprendre à compter et à mesurer. Comme la pousse des graines s'étale sur plusieurs jours, il y a du suspense et la possibilité de consigner régulièrement les observations sur un cahier d'expériences.

9. La géolocalisation

9.1 Prédiction de la trajectoire

Le tableur EXCEL « Prédiction de la trajectoire d'un ballon » développé par Planète Sciences permet d'évaluer quelques jours à l'avance la trajectoire probable du ballon. Il utilise les données météorologiques de la NOAA dont l'accès est gratuit. (N2-Info)

9.2 Suivi de la trajectoire

Savoir pendant le vol où est le ballon et après le vol pouvoir reconstituer sa trajectoire est devenu plus accessible ces dernières années grâce au GPS mais reste néanmoins relativement complexe

Il existe dans le commerce des cartes électroniques GPS miniatures dont les données peuvent être transmises par les émetteurs KIWI moyennant la mise au point d'une carte électronique d'adaptation. Bien sûr, une telle expérience ne peut être menée que par une équipe et un encadrement maîtrisant très bien l'électronique (N5-Elec) et qui n'en est pas à sa première expérience dans ce domaine. Des collaborations avec des radioamateurs qui mettent à disposition des jeunes des cartes électroniques adaptées sont courantes.

Le CNES vient de lancer un projet portant sur une nouvelle génération d'émetteur Kiwi équipé d'un GPS. Les premiers essais sont espérés pour 2014.

On trouve sur le marché des trackers GPS-GSM. Ce sont des téléphones portables aux fonctions très réduites (ils ne peuvent qu'émettre des SMS, ils n'ont pas de clavier etc)) mais ils sont équipés d'un capteur GPS. On installe le tracker dans la nacelle et on l'interroge en lui envoyant un SMS à partir d'un téléphone portable. Il y répond en fournissant sa position, son cap et sa vitesse. La plupart des modèles sont bridés en altitude (4000 m) et donc la reconstitution complète de la trajectoire n'est pas possible ; mais quand en fin de vol la vitesse est nulle, on en déduit que la nacelle s'est posée et il n'y a plus qu'à se rendre à la position indiquée pour la récupérer. Nous ne donnons pas de noms de modèles car les produits proposés sur le marché évoluent vite.

10. Les nacelles largables

Les jeunes sont motivés pour récupérer leur nacelle après le vol, en particulier quand elles embarquent des appareils photos. Comme seulement un peu plus de la moitié des nacelles est rapportée à leurs inventeurs, l'idée de placer l'appareil dans une seconde nacelle larguée au début du vol, alors qu'il est toujours possible de la voir, est une solution attrayante. Cette expérience est possible moyennant le respect de règles décrites dans le Cahier des Charges⁶³. Elle est l'occasion de mettre au point un mécanisme de largage (N3-Méca). Par expérience, nous pouvons indiquer qu'il faut larguer la nacelle dans les 2 premières minutes de vol⁶⁴ car au-delà, la distance parcourue par le ballon est telle que les chances de retrouver la nacelle diminuent très vite. Bien sûr, il faut aussi choisir une zone de lâcher permettant une récupération aisée. Les forêts denses sont donc déconseillées et les zones urbaines prohibées. Une analyse de la direction des vents et quelques amis pré-positionnés sur la zone probable de chute augmentent les chances de récupération.

Nous avons aussi assisté au vol d'un planeur largué d'une nacelle. Celle-ci poursuivait ensuite son vol avec d'autres expériences à bord.

11. La transmission des données

Pour récupérer les données produites à bord de la nacelle, deux catégories de solutions sont possibles : l'enregistrement à bord et la transmission par radio.

11.1 L'enregistrement à bord

Le stockage des données à bord de la nacelle est la méthode la plus simple pour récupérer les données après le vol. Elle souffre d'un handicap : la non garantie de la récupération de la nacelle. Suivant les régions, le taux de récupération varie de 50% à 60 %. Nous conseillons de bien

⁶³ EN particulier la nacelle larguée doit avoir une masse inférieure à 1 kg.

⁶⁴ Au bout de 2 minutes de vol, un ballon est déjà à 600 m d'altitude.

informer les jeunes de cette situation qui est un point faible de l'activité ballon. Des solutions techniques (balises satellitaires Argos) ont été envisagées pour limiter ce risque mais le coût en est encore trop élevé pour être proposé comme équipement de base par le CNES et PLANÈTE SCIENCES. On peut partiellement y remédier en particulier avec les écoles en jumelant des équipes qui ont des expériences proches. La première classe qui récupère sa nacelle partage ses données avec les autres. Chacun a ainsi matière à exploiter et, si les autres nacelles sont récupérées, les comparaisons de résultats deviennent possibles.

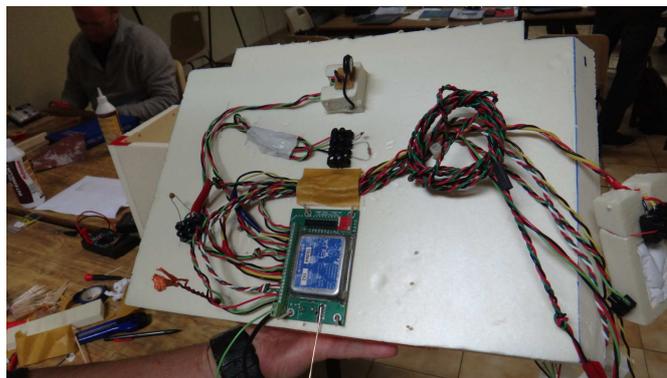
De nombreuses méthodes de stockage à bord sont disponibles :

- l'enregistrement sur papier : la solution consiste à utiliser un disque en carton entraîné durant une heure par un minuteur de cuisine placé au centre du disque. Un stylo ou mieux un feutre fin, déplacé par le capteur trace les évolutions du paramètre sur le disque. D'autres systèmes exploitent la rotation d'un cylindre ou le déroulement d'une bande de papier d'un cylindre vers un autre, etc. Les enregistreurs sur papier sont assez faciles à réaliser moyennant un peu de minutie. Leur fonctionnement est compréhensible par les plus jeunes. L'égo[®], jeux de construction sont souvent utilisés, (N3-Méca). Prévoir une nacelle un peu étanche à l'humidité pour avoir plus de chance de récupérer un enregistrement non effacé si la nacelle n'est pas récupérée immédiatement.
- la photographie : la plupart des appareils photos bas de gamme possèdent une focale grand angle et prennent des photos nettes à partir de 60-80 cm. Il est donc facile de réaliser une nacelle à une extrémité de laquelle est installé un appareil photo et à l'autre extrémité des capteurs : thermomètres, galvanomètres, capteurs de pression, boussole, réveil, etc. Un mécanisme déclenche la prise de vue à intervalles réguliers et l'on peut finalement tracer des courbes.(N3-Méca).
- Enregistrement sur des lecteurs MPG3 en mode dictaphone. L'astuce consiste à transformer le paramètre physique en un son, une note, dont la hauteur dépend du paramètre. Un petit circuit électronique associé à un capteur de température peut produire un son aigu quand la température est basse et un son grave dans le cas inverse (N3-Elec). On injecte ce signal sur la prise micro à travers une ou deux résistances d'adaptation. Ce principe peut s'appliquer à d'autres paramètres ⁶⁵. La difficulté porte sur l'étalonnage et la mesure de la fréquence enregistrée pour connaître la valeur du paramètre enregistré (oscilloscope, fréquencemètre).

11.2 La télémesure

11.2.1 Le système Kiwi

Le CNES et Planète Sciences peuvent, si les expériences le justifient, mettre à disposition un système de télémesure complet appelé système KIWI, spécialement mis au point pour les besoins des jeunes.



Exemple d'installation d'un émetteur Kiwi à l'intérieur d'une nacelle Figure 74

Ce système est constitué d'un émetteur KIWI et d'une antenne radio placés à bord de la nacelle et, au sol, d'une station de réception reliée à un ordinateur. La lecture des mesures au sol se fait sur l'écran d'un ordinateur à l'aide d'un logiciel ⁶⁶ adapté que Planète Sciences met à disposition.

⁶⁵ Autre exemple, le circuit TSL230 de chez Texas Instrument est un capteur de lumière qui produit directement un signal dont la fréquence dépend de l'intensité lumineuse. Environ 7 € chez Radiospares.

⁶⁶ Le logiciel s'appelle Kicapt et est téléchargeable sur le site web de Planète Sciences.

L'utilisation du système KIWI est à comparer avec celle d'un simple voltmètre dont les pointes de touche seraient dans la nacelle et le cadran au sol. Il mesure des tensions et transmet les valeurs au sol.

Même si la nacelle n'est pas retrouvée après le vol, les données sont récupérées et exploitables au sol. On se retrouve dans la situation de n'importe quel engin spatial qui, dans la très grande majorité des cas, n'est pas récupéré en fin de mission. L'émetteur est prêt pour la durée du vol. Sa portée est au moins de 250 km. Nous disposons de plusieurs stations de réception placées dans des valises qu'un animateur peut mettre en œuvre avec la classe. Une autre station est installée dans le camion de télémesure spécialement mis au point par le CNES pour les activités de jeunes. Quand plusieurs écoles s'organisent pour effectuer leur lâcher sur le même lieu le même jour, il est courant que le CNES le mette à disposition avec un animateur compétent pour assurer la réception et le dépouillement des télémesures.

Différentes documentations décrivent en détail le système KIWI et sa mise en œuvre. Son utilisation est courante au collège et parfois même en primaire. Elle est assez aisée (N2-Elec), surtout quand le KIWI est associé à des capteurs réalisés avec des composants passifs (résistances, condensateurs, diodes, LDR, thermistances, etc.), ce que nous conseillons.

Quand on introduit des composants actifs (transistors, amplificateurs, etc.), il faut maîtriser les notions de découplage et de blindage pour garantir que l'émission du KIWI ne perturbe par le reste de l'électronique (N5-Elec).

L'expérience et sa qualité de réalisation doivent justifier l'emploi du KIWI qui n'est pas attribué systématiquement pour toutes les nacelles. Nous conseillons aux animateurs et enseignants de se familiariser avec le système en lisant au moins la documentation ⁶⁷ et en le pratiquant par eux-mêmes, avant de le proposer aux jeunes. Planète Sciences organise chaque année des stages de formation pour les encadrants.

Au cours du vol, les données sont stockées dans un fichier informatique, exploitable avec les logiciels tableurs courants. Le traitement des données permet de s'initier à la manipulation de ces logiciels : affichages de courbes, lissages, calculs entre colonnes, etc. (N3).

Le fonctionnement même du système, décrit dans la documentation, peut être un sujet d'étude : fréquence d'émission, type de modulation, format binaire des données etc. (N5-Elec).

11.2.2 Le Système Kikiwi

Suite à l'obsolescence de certains composants, le système Kiwi va être progressivement remplacé par le système Kikiwi à partir de l'année scolaire 2016 / 2017.

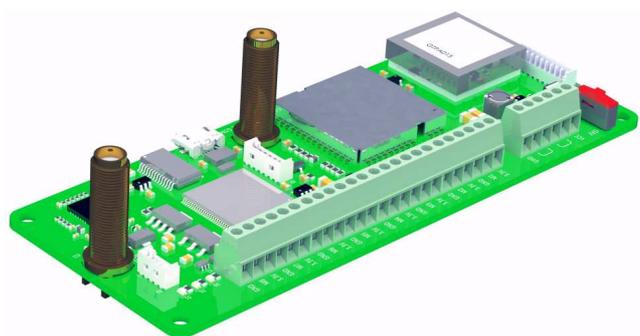


Figure 75

Une vingtaine d'années s'étant écoulé entre la conception du Kiwi et celle du Kikiwi, ce dernier bénéficie de progrès technologiques.

Ses principales fonctionnalités de base sont :

→ Transmission de 8 voies analogiques encodées sur 10 bits une fois toutes les 2 secondes. La différence importante avec le Kiwi est que la tension d'acquisition doit se situer entre 0 et 3 V.

⁶⁷ Disponible sur le site web de PLANÈTE SCIENCES.

- GPS intégré permettant la géolocalisation en continu de la nacelle. La position (longitude, latitude, altitude) est transmise via la télémesure.
- Transmission de la position par SMS et réception sur un ou des téléphones portables. Cette fonctionnalité permet de récupérer la géolocalisation de la nacelle après son atterrissage alors que la liaison de télémesure est coupée à cause de la distance ou de la rotondité de la Terre.
- Enregistrement des données à bord sur carte SD. Cette fonctionnalité permet de disposer de l'intégralité des données même si la réception de la télémesure n'a pas été complète. (fonctionnalité disponible à partir de 2017/2018).
- Transmission de données numériques externes par paquets de 48 octets. Il est ainsi possible d'interfacer un Kikiwi avec une carte Arduino ou une carte Raspberry ou d'autres cartes compatibles.
- Mise à disposition avec chaque Kikiwi d'un récepteur miniature permettant de faire des essais à courte distance.



Figure 76

Pour le vol une station spécifique capable de recevoir à grande distance est mise à disposition des équipes.

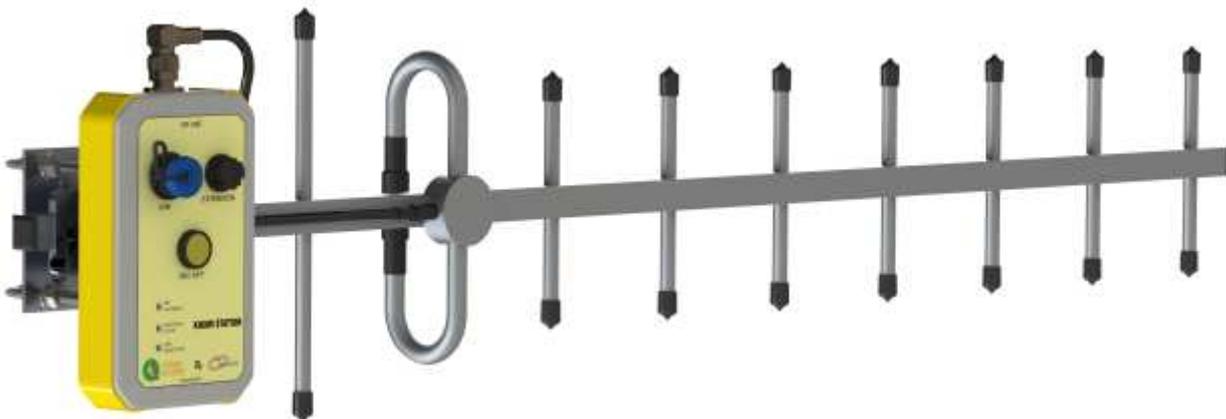


Figure 77

Fonctionnalités supplémentaires :

Ces fonctionnalités nécessitent de modifier le firmware interne du Kikiwi et donc s'adressent à des équipes de jeunes assez aguerries en électronique et en programmation (IUT, BTS, clubs compétents etc.)

- Utilisation de capteurs numériques compatibles de la norme I2C,
- Modification du protocole d'échange des données.

Nous reprenons ici quelques schémas déjà présentés en montrant comment les adapter aux entrées analogiques 3 V du Kikiwi.

Schéma de câblage générique pour un capteur électronique alimenté en 3 V et fournissant une tension de mesure entre 0 V et 3 V. Des condensateurs de découplage complètent le schéma (pour leur valeur voir la notice du fabricant du capteur)

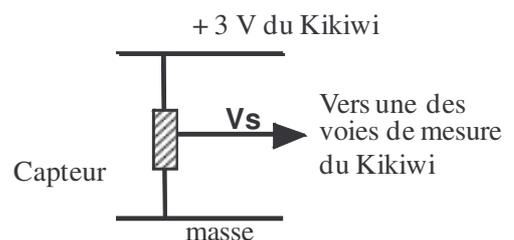


Figure 78

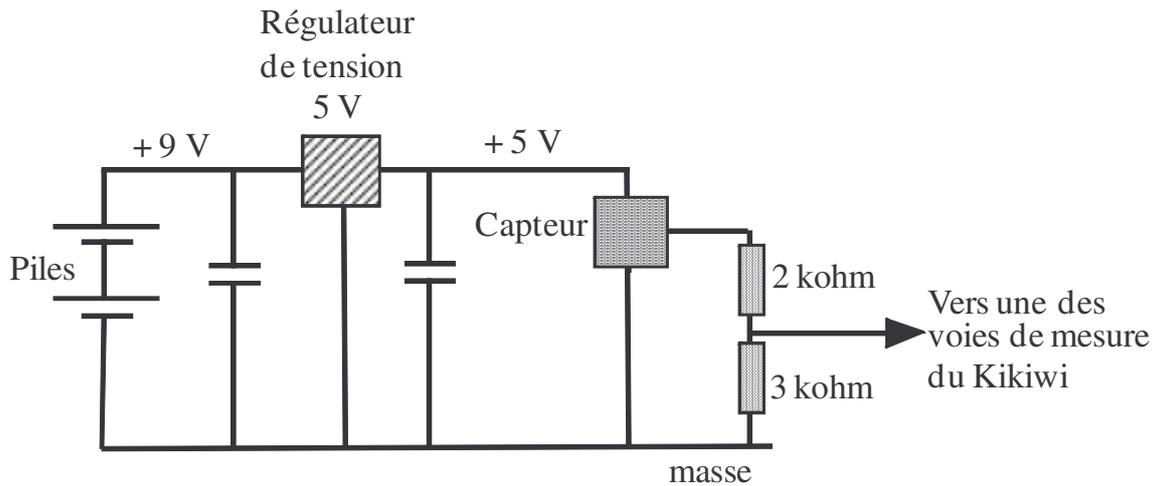
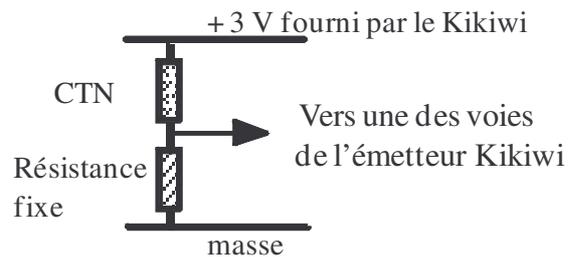


Figure 79

Schéma de câblage générique pour un capteur électronique alimenté en 5 V et fournissant une tension de mesure entre 0 V et 5 V. Le capteur est alimenté en 5 V grâce à un régulateur de tension directement alimenté par les piles. En sortie un pont diviseur dans le rapport 3/5 ($3 / (3+2)$) ramène la tension de capteur (de 0 à 5 V) à celle admise par le Kikiwi (de 0 à 3 V). Des condensateurs de découplage complètent le schéma (pour leur valeur voir la notice du fabricant du capteur et du régulateur de tension). A noter que le régulateur de tension peut alimenter simultanément plusieurs capteurs 5 V.

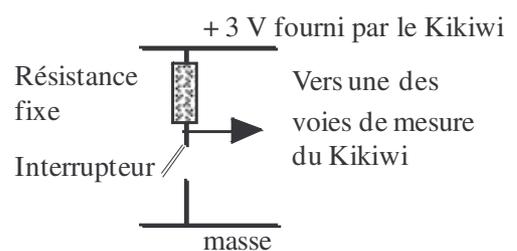
Capteur de température à thermistance CTN.

Figure 80



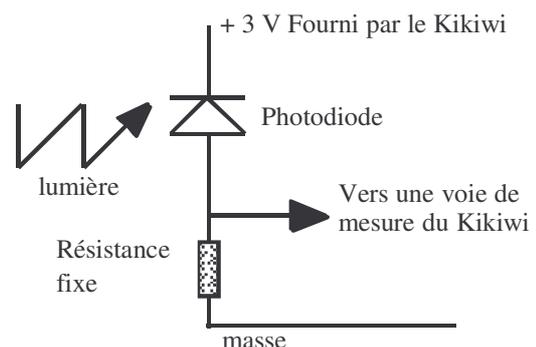
Capteur d'état

Figure 81



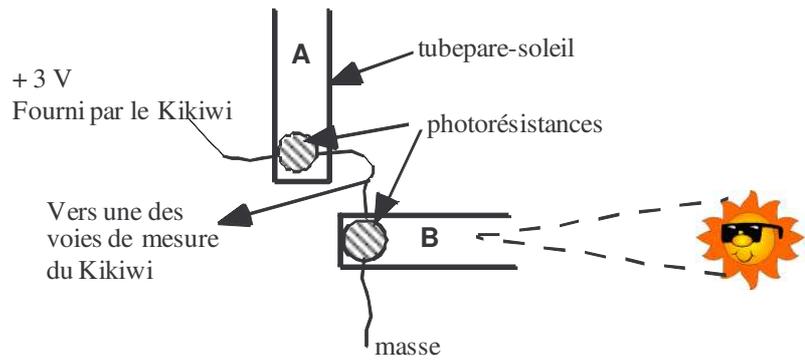
Capteur de lumière à photodiode

Figure 82



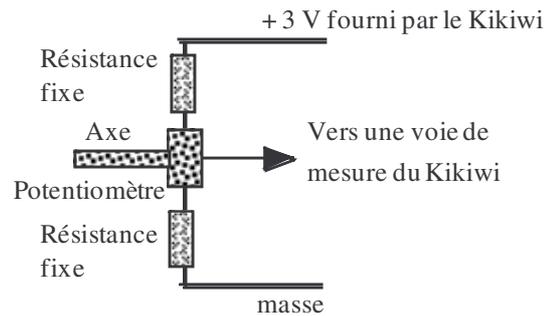
Capteur à photorésistance pour déterminer la direction du soleil

Figure 83



Capteur de position angulaire

Figure 84



Etc. etc au gré de votre imagination !

Le mode d'emploi du système Kikiwi est disponible à l'adresse :

<http://www.kikiwi.fr/index.php?page=kikiwi-doc>

11.2.3 Autres systèmes de téléméasures

Les jeunes peuvent aussi réaliser totalement ou partiellement leurs propres systèmes de téléméasures radio à condition qu'ils respectent les règles du Cahier des Charges, afin que leurs réalisations soient compatibles avec le matériel collectif et la législation. Il s'agit alors d'activité de plus haut niveau pour clubs expérimentés : IUT, BTS, Ecoles d'ingénieurs (N5-Elec).

12. Méthodologie

Les pédagogues ont montré depuis longtemps qu'une activité ludique n'est pas incompatible avec la notion d'apprentissage. De ce constat est né le concept de loisir scientifique que le CNES et Planète Sciences ont adapté au domaine de l'Espace.

12.1 Apports aux enseignements de base

La pratique expérimentale permet d'appliquer et d'enrichir les enseignements de base (français, maths, histoire, arts plastiques etc.). L'expression écrite est mise en œuvre pour la production d'articles destinés au journal de l'école, pour la rédaction des avant-projets et des comptes rendus. Récemment, une classe a réalisé un CDROM décrivant son projet et l'a placé dans la nacelle à l'intention du découvreur. Il est devenu courant que des comptes rendus d'expériences paraissent sous forme de pages web sur les sites Internet des écoles.

La diversité des écrits (textes à caractère scientifique, articles, encyclopédies, schémas, plans, etc.) permet un enrichissement de la lecture. Le dialogue suscité par l'originalité du projet favorise l'expression orale et la maîtrise de la langue.

Les mathématiques sont appliquées à travers l'utilisation d'équations simples qui modélisent les phénomènes étudiés, pour évaluer les ordres de grandeurs de ces phénomènes, pour la formulation et l'élaboration d'une démarche quantifiée, pour l'examen des marges d'erreurs, pour la pratique du calcul, etc.

Les sciences physiques sont naturellement mises en pratique par la manipulation d'une variété de paramètres (pression, altitude, vitesse, masse, poids, volume, température, tension, courant, etc.) et de leurs relations pour comprendre comment "marche" le ballon.

La technologie dispose ici d'un support idéal.

L'histoire et la géographie sont aussi présentes comme précédemment évoquées.

La construction de la nacelle ne peut s'envisager qu'à plusieurs ce qui permet de développer le travail en équipe, de s'initier à la répartition des tâches et à leur planification.

12.2 Démarche de projet

Le monde spatial fonctionne principalement par projet : projet de nouveaux satellites, projet de l'homme sur la Lune, projet de retour d'échantillons martiens, etc. Planète Sciences et le CNES souhaitent que l'activité "Ballon stratosphérique expérimental" s'appuie sur une démarche méthodologique inspirée de celle adoptée dans l'industrie. Il s'agit de sensibiliser les jeunes au fait que pour obtenir le succès de leur projet, **le savoir gérer est aussi important que le savoir technique**. La méthode de projet se décline en phases successives :

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| 1. La définition des objectifs | 4. La réalisation |
| 2. L'avant-projet | 5. Le lâcher |
| 3. Le projet | 6. L'exploitation des résultats |
| | 7. |

Chacune de ces phases se termine par la rédaction d'un document ⁶⁸. On passe d'une phase à l'autre au cours d'une réunion d'avancement que l'on appelle une revue. Tout retour en arrière vers une phase antérieure est proscrit.

La rigueur de la méthode doit bien sur être déclinée avec souplesse en fonction du niveau des jeunes et des objectifs pédagogiques visés. Une revue peut être ainsi réalisée par des exposés permettant à chaque groupe de jeunes impliqué dans un projet de présenter son avancement.

Planète Sciences met à disposition des documents qui proposent une application de la méthode dans le cadre de projets de jeunes

12.3 Démarche expérimentale

En parallèle, l'initiation à la démarche expérimentale permet de faire pratiquer une des méthodes utilisées par les scientifiques dans le cadre de leur recherche. Elle consiste à dérouler le cycle :

observations --> hypothèses --> expériences --> interprétation des résultats --> nouvelles hypothèses, etc.

A chacune des étapes, cette démarche expérimentale est matérialisée dans des documents, associés à la gestion de projet. Les revues de projet permettent à chacun d'exprimer des hypothèses et d'interpréter les résultats.

L'expérience doit être le point de départ de toute réflexion et définition.

⁶⁸ "La gestion d'un projet ballon" Disponible sur le site Internet de PLANÈTE SCIENCES.

La construction d'une nacelle de ballon est un outil pouvant donner un sens, une raison d'être aux apprentissages de base dispensés par l'école. Elle instaure une dynamique de groupe parmi les élèves. L'enseignant sera à cette occasion plus proche d'un chef de chantier que professeur dans une discipline unique.

13. Bibliographie

13.1 Exemples de compte rendu d'expériences accessibles sur le web

Nous n'assurons pas que ces sites web seront toujours accessibles.

<http://www.planete-sciences.org/espace/Un-Ballon-Pour-l-Ecole-UBPE>

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7423-toute-l-actualite.php>

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/8856-cnesmag-educ-un-ballon-pour-l-ecole.php>

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/7159-un-ballon-pour-l-ecole.php>

<http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/8450-projet-un-ballon-pour-l-ecole-dans-le-superieur.php>

<http://www.ac-grenoble.fr/lycee/triboulet.romans/spip.php?article516>

http://missiontice.ac-besancon.fr/college_mont_miroir/spip.php?article765

http://missiontice.ac-besancon.fr/college_mont_miroir/spip.php?article873

<http://www2.ac-lyon.fr/etab/ien/loire/ressources/culture-scientifique/spip.php?article59>

<http://unballonpourlecole.blogspot.fr/>

http://www.ecole-paulfort.com/ballon_sonde.php

<http://lamap93.free.fr/preparer/lml/lml-01-01/lml-01-01.htm>

http://gely.fabrice.free.fr/prof/ballon/ballon2002/pression_elec/index.htm

http://webtice.ac-guyane.fr/lgd/IMG/pdf/CR_UBPE_VdF_2008.pdf

<http://ecolelagor.free.fr/ballon/balloncestquoi.htm>

<http://www.ac-toulouse.fr/web/5637-un-ballon-au-pic-du-midi.php>

<http://www.savoirs.essonne.fr/sections/ressources/partages-dexperiences/un-ballon-pour-lecole/>

<http://pcsi.stemariebeaucamps.fr/?q=content/un-ballon-pour-l%C3%A9cole>

<http://www.college-mescoat-landerneau.ac-rennes.fr/?Club-Un-Ballon-Pour-l-Ecole>

http://www.cndp.fr/crdp-toulouse/IMG/pdf/Feuilletage_Outils_pour_les_cycles.pdf

<http://ballonsonde.voila.net/index.html>

<http://projets.rascol.net/2013/05/projet-ballon-1sen-2012-2013.html>

<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/sciences65/JOOMLA/ciel/un-ballon-pour-lecole-2012-2013.html>

<http://ubpe.sebastienjean.fr/2013/index.html>,

<http://www.ac-grenoble.fr/lycee/triboulet.romans/spip.php?article592>

<http://www.lyc-7mares-maurepas.ac-versailles.fr/spip.php?article192>

<http://webtice.ac-guyane.fr/sp/spip.php?rubrique3>

<http://www.ladepeche.fr/article/2013/06/14/1649979-tournous-darre-un-ballon-pour-etudier-l-atmosphere.htm>

http://www.dailymotion.com/video/x111zzt_cocumont-un-ballon-pour-l-ecole_people

etc. etc.

13.2 Publications CNES-Planète Sciences concernant l'activité ballons

Documents généraux sur l'activité :

- Les ballons expérimentaux : mise en œuvre & Cahier des Charges
- La gestion d'un projet ballon
- Présentation de l'opération "Un ballon pour l'école"
- Caractéristiques standard de l'atmosphère et mécanique du vol
- Caractéristiques moyennes de l'atmosphère (table GOST 4401.64),
- La prévision de la trajectoire d'un ballon,
- Hélium un peu de culture,

Documents sur les standards de télémesure :

- Le système de télémesure KIWI à l'usage des écoles,

Documents plus particulièrement destinés aux animateurs encadrant l'activité :

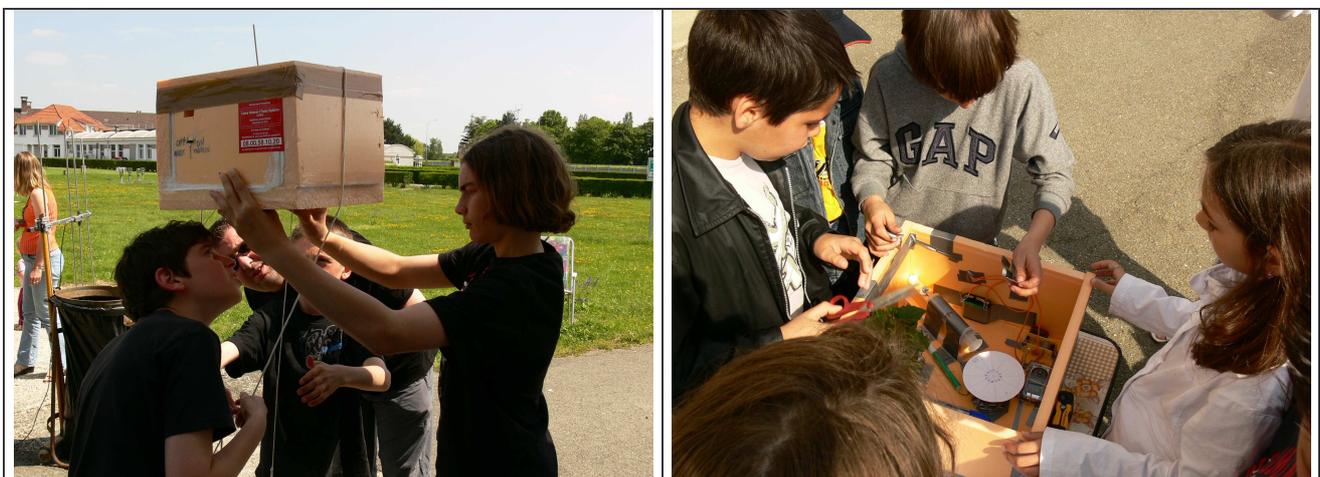
- Le jour du lâcher,
- Mode d'emploi de la station sol du système KIWI,
- Que peut-on faire avec un ballon ?

La plupart des notes techniques de Planète Sciences sont disponibles sur son serveur :

www.planete-sciences.org

Les informations sur les activités ballons du CNES sont disponibles sur son site :

www.cnes-edu.org



14. LES PARTENAIRES

14.1 Le CNES et les jeunes

La conquête spatiale a un moteur : le rêve, qui conduit l'Homme à repousser sans cesse les frontières de sa connaissance. Depuis sa création en 1961, le Centre national d'études spatiales s'appuie sur ce formidable moteur pour proposer et conduire la politique spatiale de la France au sein de l'Europe. Juste retour des choses, l'établissement public alimente depuis ses débuts ce réservoir de rêves en adoptant une politique active de formation et de transmission des savoirs et savoir-faire liés à l'espace, aux citoyens...

Parmi ce « grand public » les plus curieux et imaginatifs sont sûrement les jeunes. C'est pourquoi le CNES s'adresse à eux par l'intermédiaire du service Jeunesse et acteurs de l'Education, avec un double objectif :

- faire connaître les activités spatiales et leurs applications,
- permettre aux enseignants et aux animateurs d'utiliser l'espace comme support d'apprentissage, dans leur mission quotidienne de transmission des savoirs, d'éducation et de culture.

Ainsi, depuis plus de 45 ans, l'éducation est une priorité affirmée du CNES, autour de trois axes :

- **la sensibilisation** : mettre à la disposition du plus grand nombre des supports de découverte de la culture spatiale ;
- **l'initiation** : mettre à la disposition des jeunes et des enseignants des supports de pratique expérimentale et de découverte concrète des sciences et techniques spatiales ;
- **la formation** : proposer des cadres de formation adaptés aux enseignants et éducateurs pour un réinvestissement auprès des jeunes.

De l'espace pour tous

Des supports de découverte adaptés à tous les publics, des rendez-vous en re

La caravane de l'espace s'arrête dans le quartier de HautePierre à Strasbourg...

Virée familiale dans l'espace au bord du canal du midi dans le cadre de la Fête régionale de l'espace Midi-Pyrénées...

Voyage dans le système solaire grâce à la conférence de Francis Rocard...

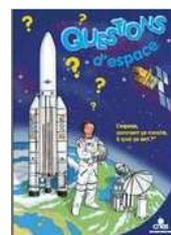
Plongée au cœur de l'histoire de l'espace avec la grande encyclopédie Big-Bang...

... la découverte de l'espace peut se faire de multiples manières, dans des lieux où on ne l'attend pas !

Chaque année, le CNES organise ou contribue à l'organisation de rendez-vous en région entre l'espace, les jeunes et le grand public, avec :

- l'opération **Espace dans ma ville**... partager l'espace,
- les **Festiciels**... l'espace en région,
- les **R2E, Rendez-vous espace étudiants**... l'espace passion,
- **l'espace à voir, à lire et à jouer**... livres, jeux, cédéroms, expositions, co-éditions... présentés dans le Spatioguide mis à jour chaque année,

L'ensemble de ces rendez-vous et manifestations fait l'objet d'une programmation annuelle accessible sur www.cnes.fr/jeunes.



L'espace à portée de mains

Qui n'a jamais rêvé de construire des fusées, voler en impesanteur, regarder la Terre depuis l'espace, étudier notre planète et comprendre son fonctionnement pour mieux la protéger ?

Dans le cadre scolaire, en école d'ingénieur ou en club, en atelier ou en centre de loisir, des activités qui contribuent à la culture scientifique des jeunes.

Grâce au CNES, les jeunes à partir de 8 ans peuvent :

- **Construire et lancer une fusée** : de la fusée à eau propulsée grâce à l'éjection d'eau sous pression, à la fusée expérimentale qui emporte plusieurs kilos d'expérience à plus de 1 500 mètres.
- **Explorer l'océan** : construire une bouée dérivante qui sera larguée dans un courant océanique et effectuera des mesures, récupérer et exploiter ces données grâce au système Argos en les comparant à des données obtenues par des satellites comme Jason 1.
- **Comprendre le climat** : réaliser des mesures environnementales locales (couverture nuageuse, données météorologiques...) et les comparer avec des données globales obtenues par satellite.
- **Expérimenter en impesanteur** : concevoir et réaliser des expériences scientifiques embarquées dans l'Airbus Zéro G du CNES, qui effectue durant son vol des paraboles d'une vingtaine de secondes de micropesanteur.
- **Faire décoller un ballon** : concevoir et réaliser des expériences scientifiques embarquées dans une nacelle qui se déplacera jusqu'à 30 km d'altitude sous un ballon gonflé à l'hélium.



A l'école ces mêmes activités sont proposées aux enseignants dans le cadre des

- **Une fusée à l'école**
- **Argonautica**
- **Calisph'Air**
- **Parabole**
- **Un ballon pour l'école**



A l'école de l'espace

Des professeurs des écoles, aux professeurs de lycées, de la physique à la géographie : le programme de formation annuel permet de mieux appréhender les techniques spatiales et l'utilisation des outils expérimentaux dans l'objectif d'un réinvestissement en classe.

- **Les Mercredis de l'espace** : des conférences le mercredi après-midi dans différentes académies de France, pour aborder un sujet scientifique et en voir les exploitations possibles en classe.
- **Les Rencontres espace éducation** : une semaine de conférences, d'ateliers scientifiques et d'ateliers pédagogiques pour découvrir et mettre à jour ses connaissances sur les techniques spatiales et leurs applications environnementales.
- **La formation à l'utilisation des outils expérimentaux** : week-ends ou stages courts pour se former à l'utilisation des outils expérimentaux (construction de fusées, de ballons...).

Chaque année plus de **100 000 jeunes** de toute la France bénéficient de ces cadres d'activités expérimentales et plus **d'un million de personnes** sont sensibilisées à la culture spatiale via l'ensemble des supports proposés.

Pour en savoir plus : www.cnes.fr/enseignants et www.cnes.fr/jeunes

14.2 Planète Sciences

Planète Sciences est née en 1962, sous le nom d'ANCS⁶⁹ puis a grandi sous le sigle ANSTJ⁷⁰, notamment pour encadrer les constructions de fusées de jeunes avec le soutien du CNES (Centre National d'Etudes Spatiales).

Le développement de projets en équipes, propre aux activités spatiales, a ensuite été appliqué à d'autres domaines d'expérimentation : l'astronomie, l'environnement, la météorologie, l'énergie, l'informatique, la robotique et la télédétection.

Plus d'un million de jeunes ont déjà participé à nos activités !

Planète Sciences et ses 10 délégations, fortes de leurs 1 000 animateurs spécialisés, soutiennent près de 600 clubs scientifiques, interviennent auprès de plus de 300 établissements scolaires et organisent des séjours et des animations durant les vacances pour plus de 20 000 jeunes. Elles s'attachent également à développer la culture scientifique et technique par la formation d'animateurs et d'enseignants.

Avec plus de 100 000 jeunes participants chaque année, Planète Sciences poursuit son objectif : rendre la pratique des sciences et des techniques accessibles au plus grand nombre.

LES DOMAINES ACTIVITES

L'astronomie

A l'aide de télescopes et de lunettes, découvrir pas à pas les secrets et les richesses de la voûte céleste et les grands mouvements qui régissent l'univers. Déterminer l'âge d'une étoile, tester des systèmes de mesure et d'analyse de la lumière, calculer la masse des astres... Un petit pas vers la compréhension de l'univers !

L'environnement, les énergies

Découvrir les milieux naturels et humanisés à travers l'observation et l'étude de leurs composantes et de leurs inter-relations. Explorer les fonds marins, Construire un véhicule solaire, analyser l'eau d'une rivière, étudier l'évolution de la forêt, évaluer l'impact d'une pollution ou restaurer une mare pour en faire un espace de découverte... *Comprendre son environnement pour mieux le protéger !*

L'espace

Concevoir, construire puis lancer une fusée ou un ballon en toute sécurité. Comprendre les lois principales de l'aérodynamique, réaliser un système mécanique d'éjection du parachute ou encore embarquer une expérience scientifique à plus de 30 000 mètres d'altitude... *Pour participer à l'aventure spatiale !*

La météo

Science de l'atmosphère, outil de la prévision du temps et de la connaissance des climats, la météorologie permet de découvrir et mieux comprendre notre environnement, son évolution, les phénomènes naturels qui l'affectent, les menaces qui pèsent sur lui. Par la description et l'interprétation scientifique de phénomènes familiers : le vent, le froid, la pluie, les nuages... elle est prétexte à la construction d'instruments de mesures. *La météo pour être dans le vent !*

La robotique

Imaginer un robot et ses fonctions, construire ses éléments mécaniques, lui donner de l'énergie en réalisant son système électrique, et enfin, avec l'informatique, le diriger, communiquer avec lui dans différents langages, commander ses mouvements et pourquoi pas, le rendre réactif par rapport à son environnement. L'ordinateur devient alors le complément indispensable de ces systèmes mécaniques et électroniques. *Quand la réalité rejoint la fiction !*

⁶⁹ Association Nationale des Clubs Spatiaux

⁷⁰ Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse

LES CADRES D'ACTIVITE

Les séjours de vacances

Pour les jeunes de 8 à 17 ans des séjours de vacances qui marient agréablement sciences et détente. Le temps de quelques semaines, découvrir et pratiquer une ou plusieurs activités scientifiques sous la responsabilité d'animateurs spécialisés.

Le club scientifique

5 à 20 jeunes qui conçoivent et réalisent en équipe un projet scientifique ou technique. Construire une fusée expérimentale ou un robot, étudier les étoiles ou la forêt, devient possible grâce au soutien des animateurs de Sciences Techniques Jeunesse.

Les stages de formation

BAFA (Brevet d'Aptitude aux Fonctions d'Animateurs), week-ends techniques, stages d'action culturelle..., pendant un week-end ou une semaine, acquérir des notions, des techniques, des méthodes pour réaliser un projet scientifique ou animer un club, un centre de vacances ou de loisirs, une classe de découvertes ou un atelier. Pour les animateurs et enseignants.

Les activités à l'école

Classes de découverte, animations thématiques (classes sciences, ateliers scientifiques...), aide à la réalisation de projets, autant de cadres pour pratiquer en équipe les sciences et les techniques de la maternelle au lycée, et aboutir à la réalisation de projets concrets.

Opérations et manifestations

Plusieurs rendez-vous annuels, co-organisés ou initiés par Planète Sciences, sont aujourd'hui devenus des manifestations importantes dans le domaine de l'animation scientifique : opérations "Un Ballon pour l'Ecole" et "Collèges et Lycées de Nuit", Rendez-Vous Espace Etudiants, Nuits des Etoiles, Coupes de France de robotique, Trophées de Robotique $e=m6$, Eurobot, Rencontre Météo Jeunes, Exposciences, Les Défis Solaires, Compétition Cansat France, Espace dan Ma Ville... Autant d'occasions de venir nous rencontrer !

Les ateliers d'initiation

Les ateliers dans le cadre de l'aménagement du temps de l'enfant permettent de prendre contact avec plusieurs disciplines ou d'approfondir une activité. C'est la possibilité de se réconcilier avec les sciences et les techniques par une pratique qui rend chaque jeune acteur du projet d'une équipe. En quelques heures ou quelques jours, c'est l'occasion de faire un premier pas vers l'aventure scientifique et humaine.

Des espaces permanents

Pour tous ceux qui souhaitent pratiquer ou animer les sciences, Planète Sciences propose des outils et des équipements : Télescope JMS, Espace des Sciences (Lieu d'expérimentation et laboratoire technique à disposition des clubs scientifiques), planétarium gonflable, salles de découvertes, sites et forums Internet, malles pédagogiques, notes techniques...

Scientificobus et ateliers d'initiation

Découvrir ou approfondir une activité pendant les vacances. En quelques heures ou quelques jours, c'est l'occasion de faire un premier pas vers l'aventure scientifique.

Sciences en Europe

En lien avec de nombreux partenaires, Planète Sciences accueille les jeunes européens sur ses opérations, incite à la mise en place de projets dans différents pays et favorise une pratique commune et interculturelle.

RETROUVER TOUTES LES INFORMATIONS ET LE CALENDRIER DES ACTIVITES SUR :
www.planete-sciences.org