



CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES

Service Culture Spatiale du CNES

18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 9
Tél. : ()5 61 27 31 14 / Fax : ()5 61 28 27 67
Site Internet : www.cnes-edu.org



PLANETE SCIENCES - Secteur Espace

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

Que peut-on faire avec un ballon ?

Références	BALLON/NT/PLASCI/V.2.0
Version	2.0
Etat	Pour application
Date d'édition	avril 2006
Nb pages	40

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION	3
2.	DESCRIPTION DE L'ACTIVITE	4
2.1	DEFINITION D'UN BALLON EXPERIMENTAL	4
2.2	ORGANISATION DE L'ACTIVITE	4
2.3	DESCRIPTION DE LA CHAINE DE VOL	5
3.	LES TECHNIQUES DE FABRICATION	6
3.1	LA NACELLE	6
3.2	LA MECANIQUE.....	6
3.3	L'ELECTRICITE, L'ELECTRONIQUE	7
4.	LES EXPERIENCES LIEES AU FONCTIONNEMENT DES BALLONS	9
4.1	LA POUSSEE D'ARCHIMEDE	9
4.2	RECHERCHE DOCUMENTAIRE	11
4.3	PRINCIPE DES BALLONS FERMEES DILATABLES	11
4.4	AUTRES TYPES DE BALLONS	12
4.5	LA VITESSE ASCENSIONNELLE.....	13
4.6	LA VITESSE HORIZONTALE.....	13
4.7	MOUVEMENTS DU BALLON	13
4.8	LE PARACHUTE	14
4.9	L'HELIUM.....	15
5.	EXPERIENCES SUR L'ATMOSPHERE	15
5.1	LA TEMPERATURE	17
5.2	LA PRESSION / L'ALTITUDE.....	20
5.3	LA MASSE VOLUMIQUE DE L' AIR	22
5.4	L'HUMIDITE.....	23
5.5	LA PROPAGATION DU SON.....	24
5.6	LA POLLUTION	25
6.	EXPERIENCES SUR LE RAYONNEMENT	25
6.1	LE RAYONNEMENT SOLAIRE.....	25
6.2	L'ENERGIE SOLAIRE	27
6.3	LE RAYONNEMENT COSMIQUE	28
7.	EXPERIENCES EN TELEDETECTION	28
7.1	L'ALBEDO	28
7.2	LA PHOTOGRAPHIE COULEUR	29
7.3	LA PHOTOGRAPHIE NOIR ET BLANC	29
7.4	LA PHOTOGRAPHIE NUMERIQUE	30
7.5	LA VIDEO	30
8.	EXPERIENCES EN BIOLOGIE	31
9.	LES NACELLES LARGABLES	31
10.	LA TRANSMISSION DES DONNEES	31
10.1	L'ENREGISTREMENT A BORD	32
10.2	LA TELEMESURE.....	33
11.	METHODOLOGIE	34
11.1	APPORTS AUX ENSEIGNEMENTS DE BASE.....	34
11.2	DEMARCHE DE PROJET	34
11.3	DEMARCHE EXPERIMENTALE.....	35
12.	BIBLIOGRAPHIE	36
13.	LES PARTENAIRES	37
13.1	LE DEPARTEMENT EDUCATION-JEUNESSE DU CNES	37
13.2	PLANETE SCIENCES	39

Document rédigé par M. Maignan en regroupant les idées et les pratiques des animateurs de Planète Sciences

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 une altitude de 25 à 30 km,
- voler deux heures 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 aborder les loisirs et activités d'initiation scientifique mais 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, associé à quelques lettres pour décrire le domaine de compétences requis : Méca = Réalisation mécanique, Elec = Electronique.

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

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 oeuvre 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 dont les principales étapes sont :

- Tout groupe de jeunes qui souhaite construire une nacelle de ballon commence par contacter Planète Sciences en écrivant une lettre décrivant ses intentions,
- Un animateur suiveur est alors désigné par Planète Sciences. Il accompagne l'équipe tout le long de 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 télémesure, 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.

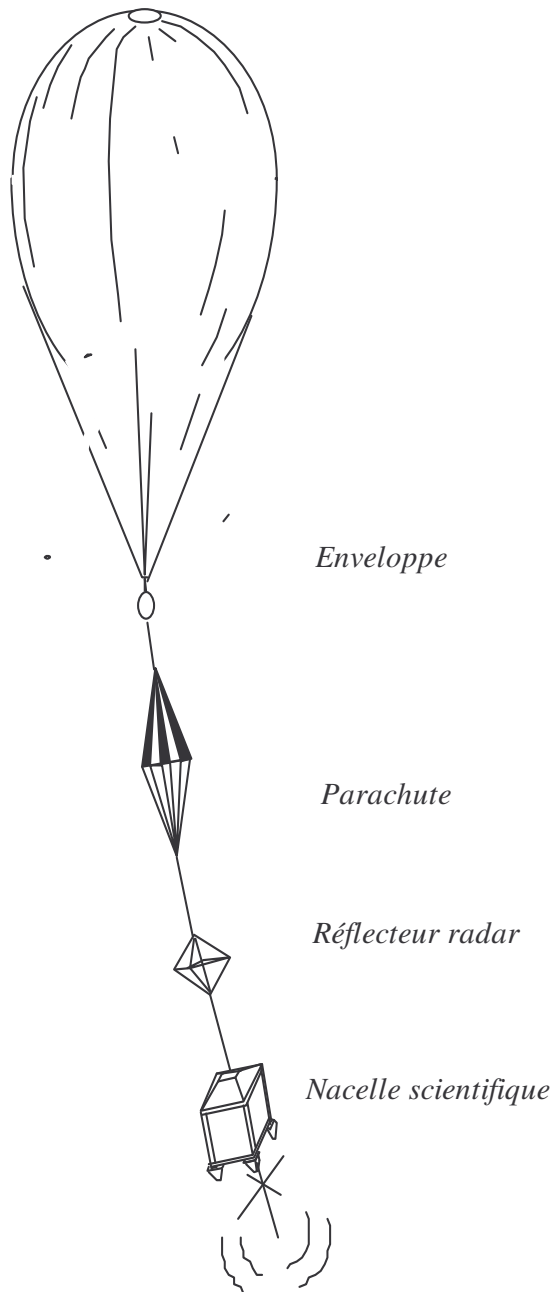
- Après le vol, l'équipe de jeunes dépouille les résultats et rédige dans les semaines qui suivent un compte rendu dont un exemplaire doit être envoyé à Planète Sciences et au CNES dans les trois mois qui suivent la fin du projet.
- Le CNES soutient Planète Sciences dans cette démarche grâce à une contribution financière, aux prêts de matériel (émetteurs, stations de réception sol,) et une participation à la définition des objectifs éducatifs.

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

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 oeuvre.

L'altitude moyenne avant l'éclatement est de 25 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.



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 donc parfaitement sans danger, à la différence de l'hydrogène dont l'utilisation est maintenant 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 : compte tenu des altitudes atteintes, le ballon est équipé d'un réflecteur radar permettant aux avions et aux aiguilleurs du ciel de l'identifier.

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

3. Les techniques de fabrication

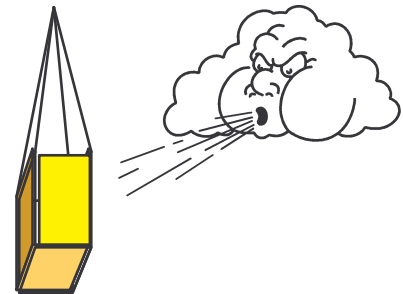
3.1 La nacelle

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 souvent utilisé est le polystyrène extrudé ² en plaque de 20 à 40 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. On peut renforcer les liaisons entre plaques en piquant des cures dents entre elles. 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 soignés 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 0 °C d'autant que l'électronique, quand il y en a, dissipe elle-même un peu de chaleur.



A l'intérieur de la nacelle les objets doivent être disposés de façon rationnelle afin qu'ils ne se perturbent pas mutuellement, et qu'ils soient accessibles pour être démontés sans avoir à casser toute la nacelle pour en extraire un élément, etc., d'où le besoin de réfléchir et de dessiner quelques plans. 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® Technique ou équivalent (N2-Meca). On trouve aussi des boutiques ³ qui proposent des moteurs avec des jeux d'engrenages permettant de réaliser des réducteurs de vitesse.

² 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.

³ Catalogue Opitex par exemple. <http://db.opitex.com>

3.3 L'électricité, l'électronique

En électricité, on apprend à dessiner, à lire des schémas de câblage simples, à reconnaître les composants de base : piles, interrupteurs, moteurs etc.. Pour les nacelles très 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 prohiber car trop cassant.

Le câblage électrique ou électronique est une bonne école de rigueur. Axiome de base : un montage ne fonctionne pas car l'on ne sait pas 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 à 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 ne lui est pas nécessaire de suer une heure sur un montage pour aider à trouver l'origine de la panne !

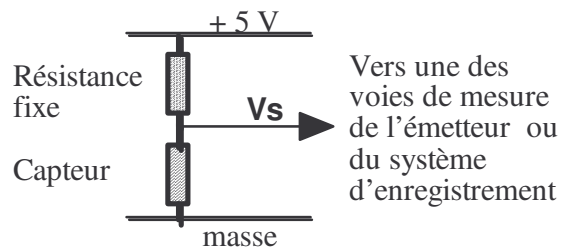
On peut réaliser le montage à plat sur table pour bien le comprendre et le vérifier, ensuite on l'installe dans la nacelle.

En électronique, on peut définir deux niveaux de difficulté :

- le niveau simple où l'on utilise exclusivement des composants passifs (résistances, condensateurs, contacts, relais, interrupteurs, led, ampoules, photodiodes, photo résistances, etc.)
- le 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" :

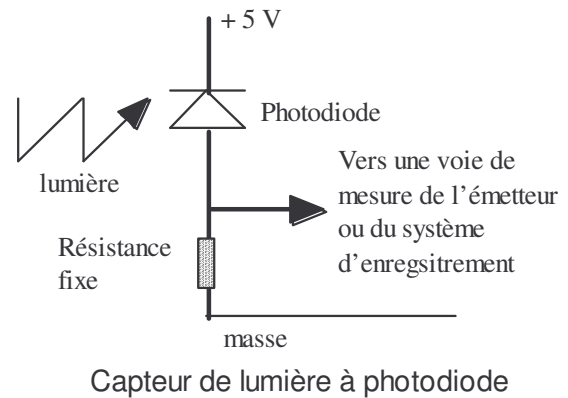
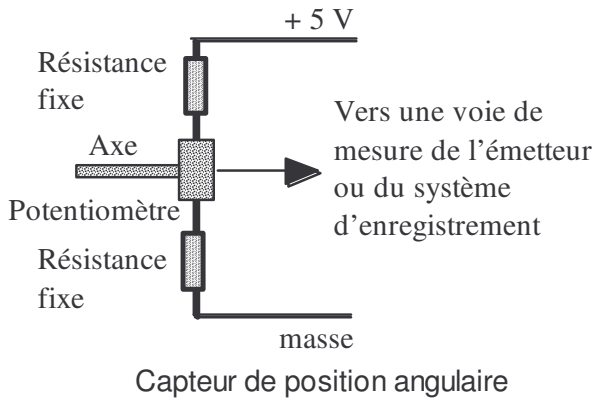
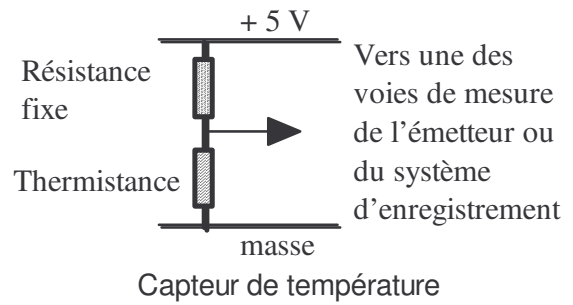
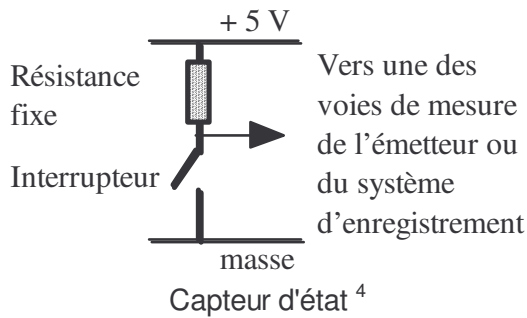
$$V_s = 5 \text{ V} \frac{\text{Résistance du capteur}}{\text{Résistance du capteur} + \text{Résistance fixe}}$$



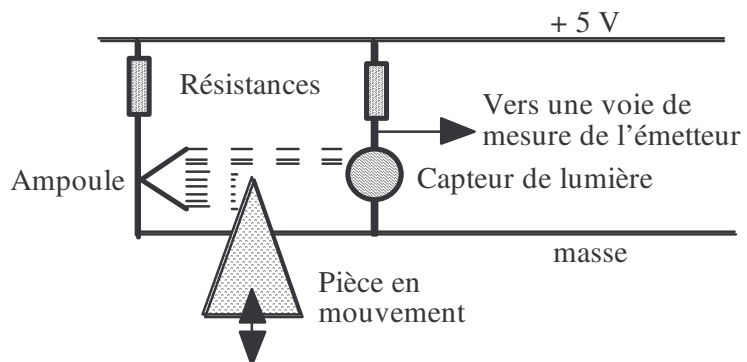
Comme la résistance du capteur dépend du paramètre physique que l'on mesure, la tension V_s dépend de ce paramètre. Ainsi, on transforme les évolutions d'un paramètre physique en grandeur électrique. Pour obtenir la plus grande variation de tension, il faut que la résistance fixe ait une valeur proche 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 10. Les 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 10.2.

Ci-dessous différents exemples de capteurs utilisant ce montage :



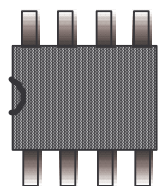
Un faisceau lumineux émis par une ampoule ou une LED et masqué partiellement par une pièce en mouvement, permet de connaître la position de cette dernière sans contact.



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 a 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.



⁴ Un état décrit la situation d'un système. Exemples : une porte est à l'état ouvert ou à l'état fermé.

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 câblage⁵ 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.

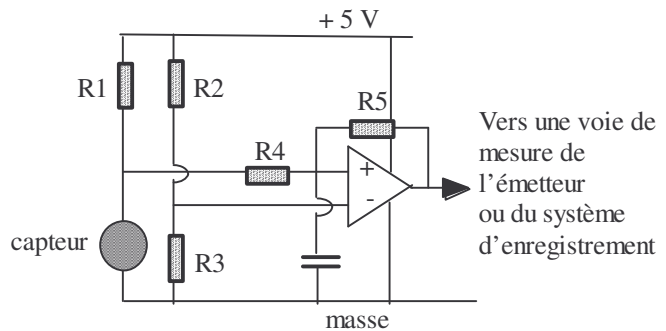


Schéma typique pour un capteur petits signaux, équipé d'un amplificateur opérationnel.

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

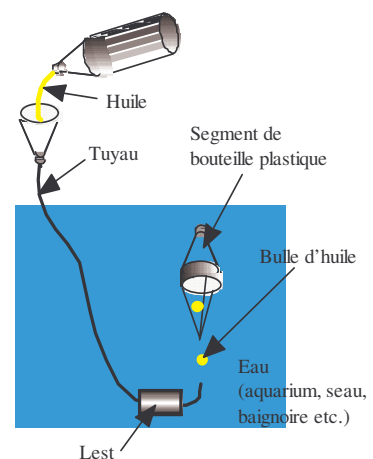
4. Les expériences liées au fonctionnement des ballons

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 des ballons.

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

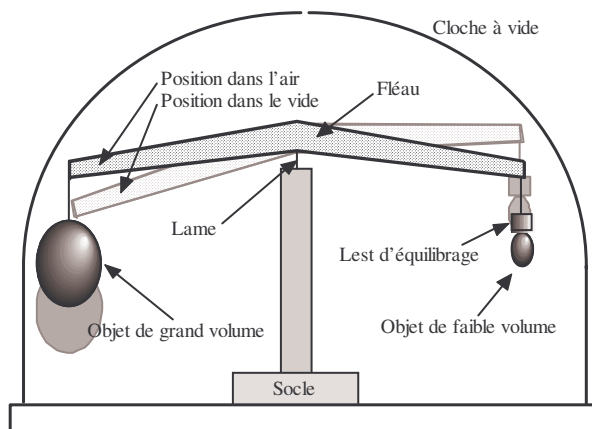
- en gonflant des ballons de fête avec de l'hélium ; un même ballon gonflé à la bouche aura tendance à descendre (N1),
- en tentant bien sûr d'enfoncer dans de l'eau divers objets ayant tendance à flotter⁶,
- en faisant barboter l'extrémité d'un tuyau raccordé à une bouteille d'hélium dans de l'eau savonneuse. Les bulles produites montent franchement (N1),
- 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. 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),



⁵ Technique de découplage des circuits, gestion des masses, blindage des circuits, agencement de la nacelle etc.

⁶ Voir le site www.inrp.fr/lamap/activités/eau/sequence/archimede.htm

- en réalisant 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 gramme⁷.

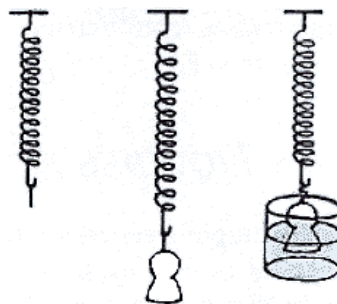


Une solution possible est de tailler le balancier légèrement en V dans du balsa. On réalise le couteau avec un segment de lame de cutter posé sur une surface dure (N5-Méca).

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

On peut mesurer la poussée d'Archimède :

- en plongeant un corps dans un fluide⁸



- 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 sphériques⁹ ou des ballons météorologiques de sondage du vent, plus cher bien sûr. 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 et avant le lâcher. Ces manipulations ne sont possibles que si le gonflage du ballon est effectué à l'abri du vent, dans un hangar, un gymnase, un préau. (N2)¹⁰.

⁷ 1 litre d'air pèse 1,3 g.

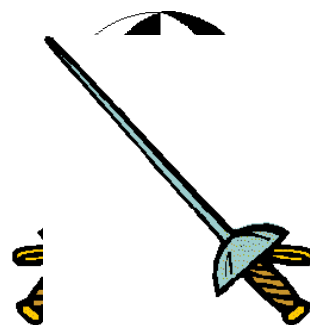
⁸ voir le site www.inrp.fr/lamap/scientifique/etats_de_la_matiere/savoir/poussee/archimede.htm

⁹ Certaines boutiques d'accessoires de fête ou des boutiques de farces et attrapes en proposent

¹⁰ Voir note technique PLANÈTE SCIENCES : "Le jour du lâcher".

4.2 Recherche documentaire

La fabrication et le lancement 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 (Gambetta, les Zeppelins, la bataille de Fleurus, etc.), sur l'emploi des ballons modernes à des fins scientifiques, météorologiques ¹¹ et industrielles ¹², sur les projets de grands ballons destinés à l'exploration des atmosphères extraterrestres. Tous les outils traditionnels de recherche sont disponibles (livres, encyclopédies, etc.) mais cela peut être aussi un prétexte à s'initier à Internet.

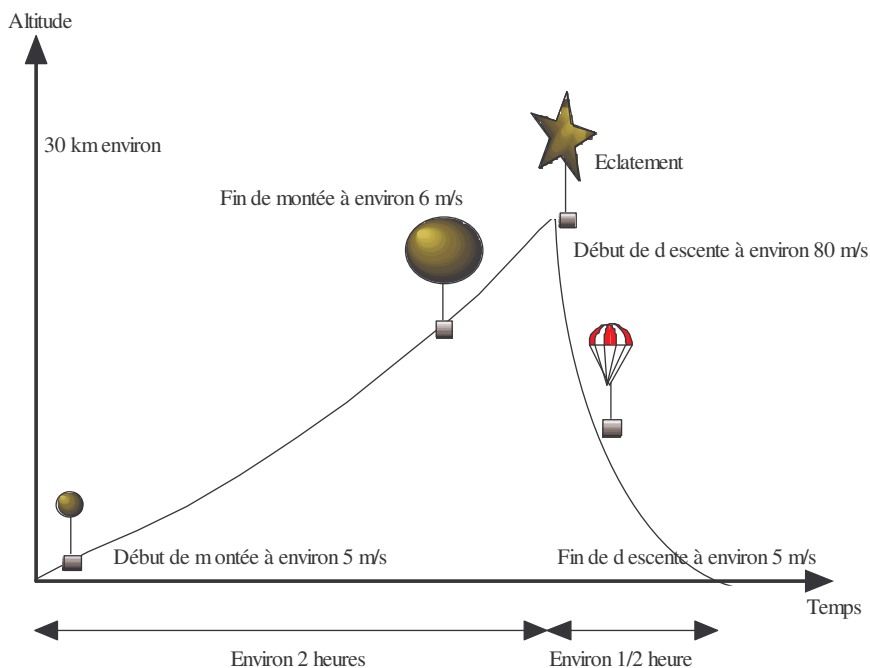


4.3 Principe des ballons fermés dilatables

Les ballons mis à disposition pour les activités de jeunes 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. Avec une cloche à vide dans laquelle on place un petit ballon de fête, on montre aisément cette dilatation au fur et à mesure du pompage jusqu'à éclatement (N1).

La poussée d'Archimède de ce type de ballons reste 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.



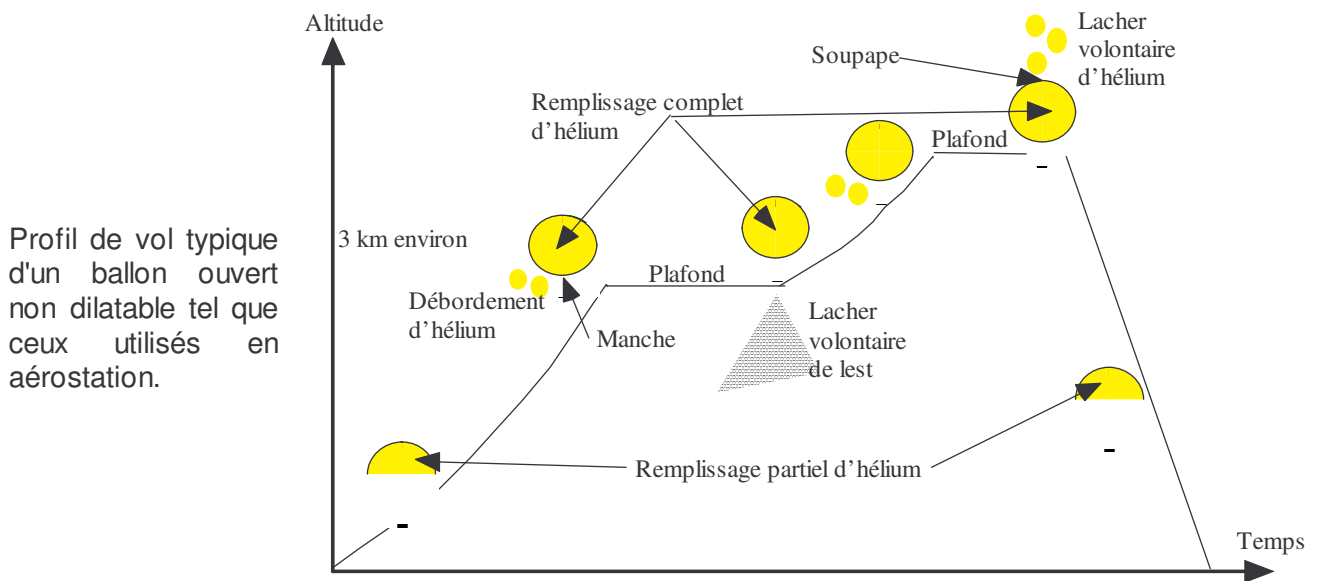
On peut aussi constater cette dilatation en installant un appareil photo tourné vers le haut qui photographie à intervalles réguliers le ballon lors de son vol (N3-Méca). Espérer photographier l'éclatement est plus une affaire de chance que de science.

¹¹ Voir par exemple le site web de Météo France www.meteo.fr

¹² Voir par exemple le site web du CNES www.cnes.fr

4.4 Autres types de ballons

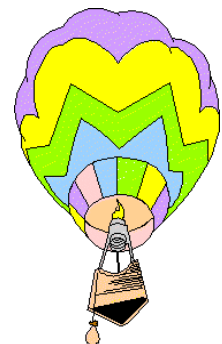
D'autres types de ballons ont été mis au point. Comprendre leur fonctionnement est un autre moyen pour se familiariser avec la poussée d'Archimède. Ainsi pour le vol humain, les ballons à gaz sont non dilatables et ouverts. Au sol, le volume de gaz n'occupe pas tout le volume de l'enveloppe disponible. 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.



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 kg. Le CNES a développé toute une gamme de ballons et de techniques de lâcher et la propose à la communauté scientifique¹³.

Une montgolfière est un ballon non dilatable ouvert et le gaz enfermé est de l'air chaud plus léger que l'air froid extérieur. Certains réalisent des montgolfières miniatures en papier mais cela pose quelques problèmes de sécurité avec des jeunes à cause de la manipulation d'une source chaude pour chauffer l'air.

Une alternative possible 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 flotter¹⁴.



¹³ Voir le site web du CNES.

¹⁴ Voir par exemple les sites <http://perso.wanadoo.fr/ballonsolaire>, <http://laurent.saintmarcel.free.fr/ballon>,

4.5 La vitesse ascensionnelle

Au cours du vol, la vitesse de montée est de l'ordre de 5 m/s et c'est un paramètre qu'il est possible de 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). La formule de la résistance de l'air est :

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

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, $P = 1,3 \text{ kg/m}^3$ 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 très simple consiste à pousser un interrupteur par une came placée sur la roue,
- en déduisant la vitesse ascensionnelle de la mesure d'altitude et du temps (voir le paragraphe mesure d'altitude) (N1).

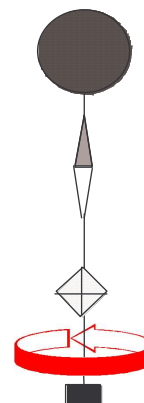
4.6 La vitesse horizontale

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 ¹⁵ 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.

4.7 Mouvements du ballon

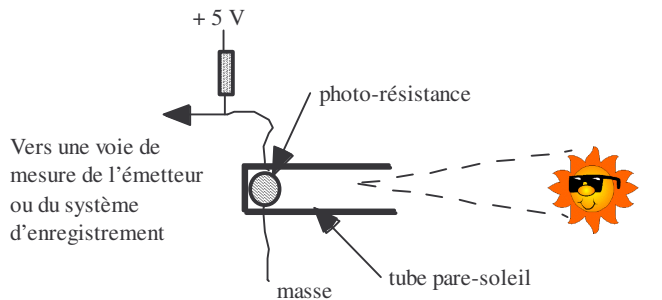
Au cours du vol, la nacelle se balance et tourne sous le ballon. Compte tenu des moments d'inertie relatifs entre le ballon et la nacelle, on peut considérer que la nacelle se comporte comme un pendule de torsion dont la fréquence d'oscillation dépend de la longueur et de la rigidité de la cordelette d'accrochage. Si besoin, 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.



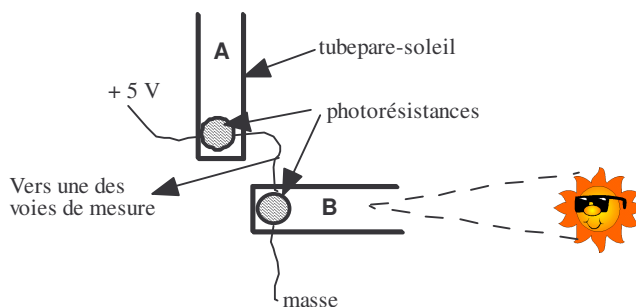
¹⁵ Compter 300 E par carte

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.



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



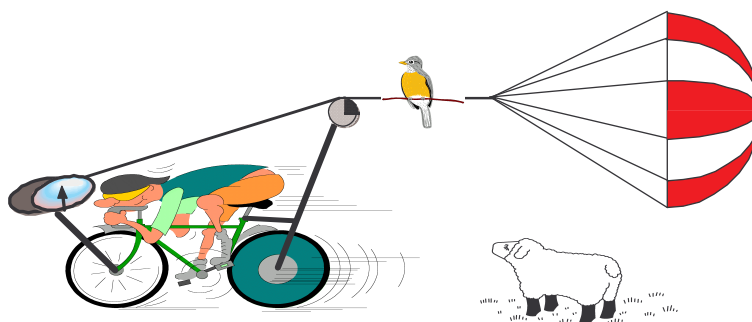
- en détectant la direction du champ magnétique terrestre à l'aide d'un capteur à effet Hall (N5-Elec). La difficulté réside entre autres dans le fait que le champ magnétique terrestre est faible et il est donc nécessaire d'utiliser des amplificateurs opérationnels. De plus la présence de la nacelle perturbe la mesure.
- en détectant la vitesse de rotation à l'aide d'un gyromètre (N5Elec)¹⁶. Une fois encore, il faut utiliser des amplificateurs opérationnels.

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 (N2). En appliquant la formule on évalue le C_x . En descente, c'est plus facile !



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.

¹⁶ Série Gyrostar chez Murata, compter de 150 à 200 E suivant les modèles.

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. Sur Terre, l'hélium 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 et la Russie. 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 !

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 20 km, altitude atteinte par la plupart des ballons expérimentaux de jeunes, 90 % de la masse de l'atmosphère ont été traversés.

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

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

De son côté, Planète Sciences a regroupé dans un fichier EXCEL[®] ¹⁷ 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 du logiciel.



L'exploitation de ces courbes est l'occasion de mettre au point une modélisation mathématique du vol d'un ballon. En voici une à titre d'exemple, destinée aux lycéens : ici nous cherchons à prédire la quantité d'hélium nécessaire pour que le ballon monte à une vitesse donnée .

¹⁷ Caractéristiques standard de l'atmosphère moyenne, disponible sur le site Internet de PLANÈTE SCIENCES.

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

$$\text{Poussée d'Archimède} = \text{Poids de la chaîne de vol} + \text{Traînée aérodynamique du ballon}^{18} \quad (1)$$

$$\text{Soit } V_b \cdot \rho_{\text{air}} \cdot G^{19} = P_b + \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot S_b \cdot C_x \cdot V^2^{20} \quad (2)$$

- ❖ V_b = volume de gaz du ballon, que l'on peut connaître au moment du gonflage.
- ❖ G = attraction terrestre, (9.81 m/s²)
- ❖ 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 livres²¹,
- ❖ 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'équateur²²,
- ❖ 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. Elle se mesure à l'aide d'un dynamomètre.

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 :

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

Ne reste plus qu'à évaluer le C_x pour en déduire V . Comme son nom l'indique 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

¹⁸ Traînée aérodynamique du ballon = résistance de l'air sur le ballon quand il monte.

¹⁹ Formule de la poussée d'Archimède.

²⁰ Formule donnant la force que subit un objet se déplaçant dans l'air.

²¹ 1.3 kg/m³

²² Volume d'une sphère : $\frac{4}{3} \pi R^3$

la vitesse ascensionnelle. Avec tous ces éléments et en utilisant de nouveau la formule de la traînée, on en déduit le Cx de la sphère ²³ :

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

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.

Et à ceux qui auront apprécié 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 jusqu'à 15 km :

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

avec Z exprimé en mètres,

La pression aussi diminue suivant une formule approchée valable aussi jusqu'à 15 km :

$$P (\text{à l'altitude } Z) = P (\text{au sol}) (3 \cdot 10^{-9} Z^2 - 10^{-4} Z + 0,97)^{24} \quad (7)$$

Et comme le volume du ballon dépend directement de la pression atmosphérique :

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

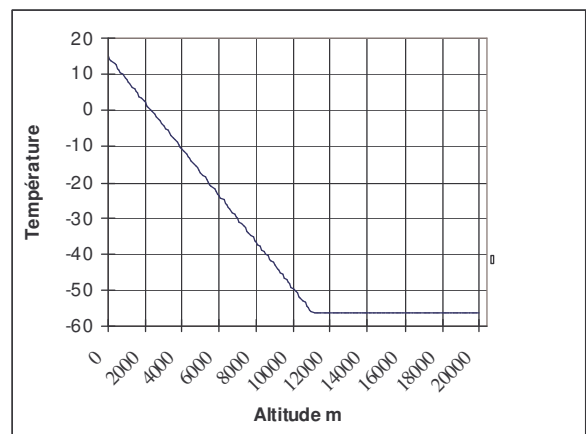
En injectant (6) et (8) dans (2) on obtient

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

Ce qui permet de connaître la vitesse ascensionnelle du ballon à n'importe quelle altitude. En traçant la courbe donnant V en fonction de Z on constate que cette vitesse évolue peu.

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, atteignant 200 km/h selon les saisons ce qui explique les grandes distances parcourues par les ballons. La courbe de droite est obtenue à partir des données EXCEL[®] citées plus haut.



²³ Pour ceux qui souhaitent shunter cette étape, on peut utiliser 0,5 comme valeur de Cx pour une sphère.

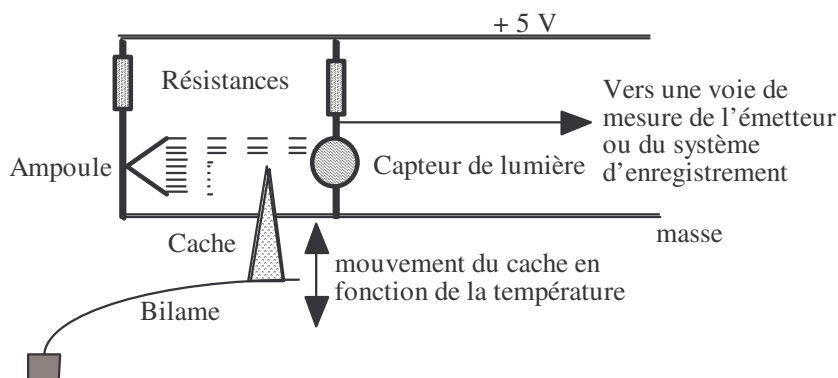
²⁴ Cette formule peut être retrouvée à partir de la table GOST et en utilisant l'outil « courbes de tendances » d'EXCEL[®]

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.

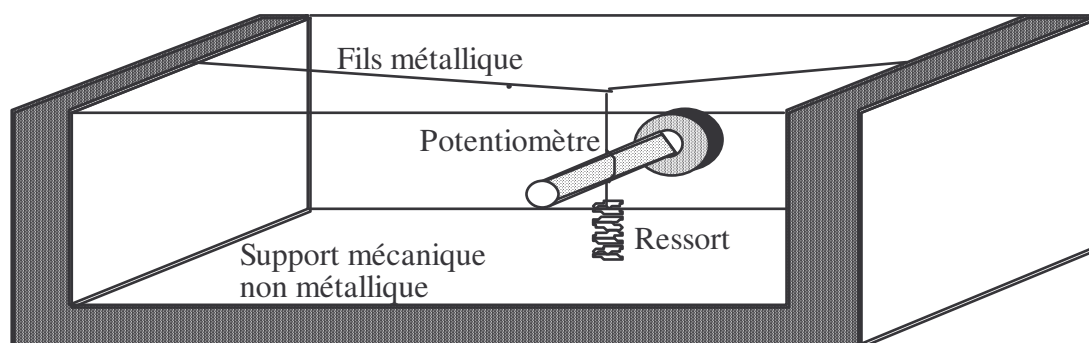
Plus sérieusement il est possible :

- d'embarquer un thermomètre minima / maxima et de le lire au retour pour connaître les températures extrêmes subies par la nacelle (N1).
- de placer un thermomètre à aiguille dans le champ d'un appareil photo, déclenché à intervalles réguliers (voir paragraphe 10.1), la difficulté vient du fait que, dans le commerce, les thermomètres 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 ²⁵ (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 (N2-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),



- de réaliser le montage suivant qui comme chacun a pu le voir représente un thermomètre !



En effet, le fil métallique change de longueur en fonction de la température. Tendu par un ressort, son point milieu 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 ²⁶. Pour faciliter la compréhension

²⁵ Voir le catalogue OPITEC, compter quelques francs pour un bilame. <http://db.opitec.com>

²⁶ 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.

du schéma, les parois verticales de face et de fond n'ont pas été représentées mais le potentiomètre est bien sur fixé dessus ²⁷.

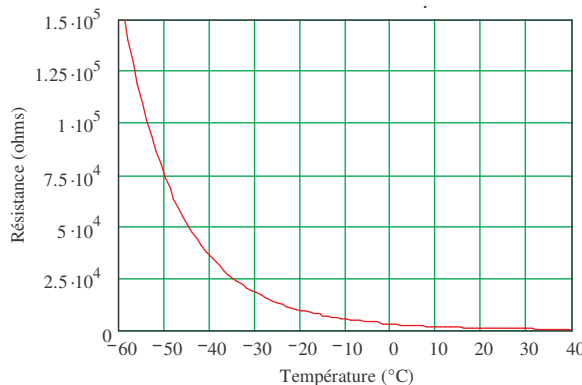
- d'utiliser un capteur de température électronique et d'enregistrer à bord ou transmettre par radio le signal (voir paragraphe 10) (N2-Elec), etc. Par exemple, une CTN ²⁸ est un composant électronique très courant dont la résistance décroît quand la température augmente.

La formule donnant cette évolution est :

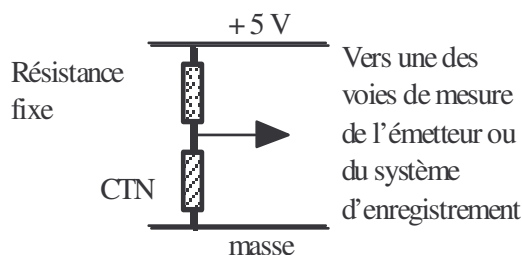
$$R(T) = R_0 \cdot \exp(\beta (1/T - 1/T_0))^{29}$$

avec R0 résistance de la CTN à la température T0.

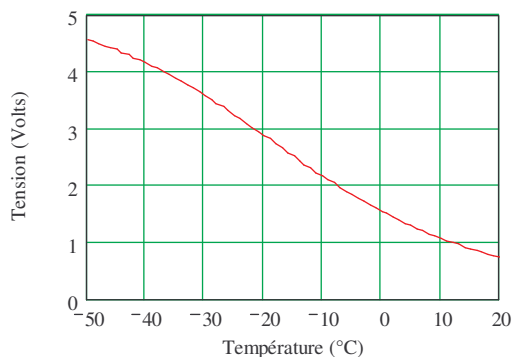
Les fabricants de CTN fournissent les valeurs de R0, β, T0. Un modèle courant est R0 = 1 KΩ, β = 3825, T0 = 298 K. On en déduit la courbe d'un tel capteur.



Si l'on souhaite faire une mesure de température sur la gamme -50 °C / 20 °C, la température médiane est -15 °C. A -15 °C la résistance de la CTN est de 7.2 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.



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.

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 à remplir un récipient avec de la glace pilée. On enveloppe le récipient avec des torchons pour l'isoler ou mieux on utilise une bouteille thermos. On plonge le thermomètre étalon 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 -18 °C environ.

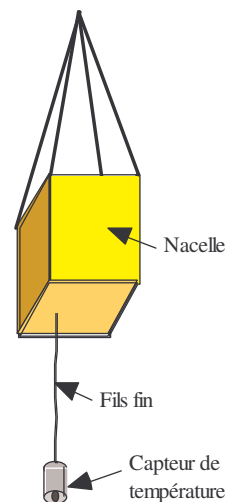
²⁷ Ce type de capteur a surtout un intérêt pédagogique puisqu'il fait intervenir de façon visible la dilatation. Si l'on souhaite vraiment connaître la température une thermistance est nettement plus efficace !

²⁸ Voir catalogue RadioSpares

²⁹ T et T0 sont des températures absolues exprimées en Kelvin.

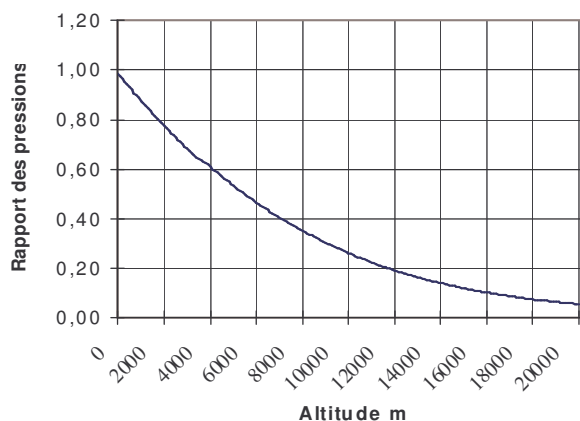
Attention, faire une mesure de température précise demande du savoir-faire. En altitude, les échanges thermiques par convection disparaissent car l'air se raréfie et des phénomènes, secondaires au sol comme la conduction et le rayonnement, deviennent prépondérants en altitude.

Ainsi, quand le soleil chauffe le capteur, la température mesurée peut être très différente de celle de l'atmosphère que l'on souhaite mesurer. Sans précaution, un capteur noir en vue direct 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 (un pot de yaourt vide), le capteur est éloigné de la nacelle et les fils de liaison sont en cuivre fin. Faites vous conseiller avant d'entreprendre.



5.2 La pression / L'altitude

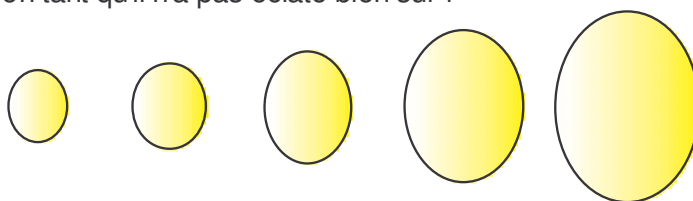
La connaissance de l'altitude du ballon étant quasiment indispensable, presque toutes les nacelles embarquent une mesure de pression. A partir de la pression, on remonte facilement à l'altitude en exploitant une table ou un modèle d'atmosphère standard. La courbe de droite est obtenue à partir des données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



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

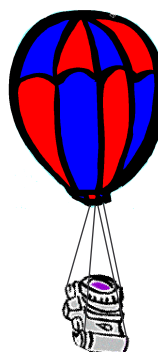
- Le ballon de fête. Le procédé consiste à accrocher un ballon de fête à la nacelle et à le placer dans le champ d'un appareil photo. Au cours de l'ascension celui-ci se dilate et la mesure du diamètre permet de connaître la pression tant qu'il n'a pas éclaté bien sûr !

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

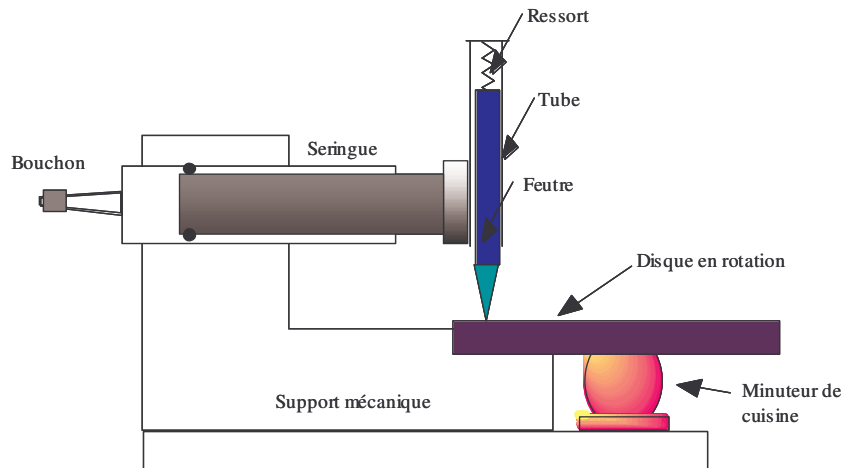
On peut aussi tenter de mesurer le diamètre du ballon qui emporte la nacelle en le photographiant vers le haut avec un appareil à focale courte (28 ou 35 mm) de manière à ce que l'angle³⁰ de vue permette de le saisir complètement



³⁰ En format 24 x 36 l'angle de vue d'un objectif 28 mm est de 75 ° et pour un 35 mm de 64 °.

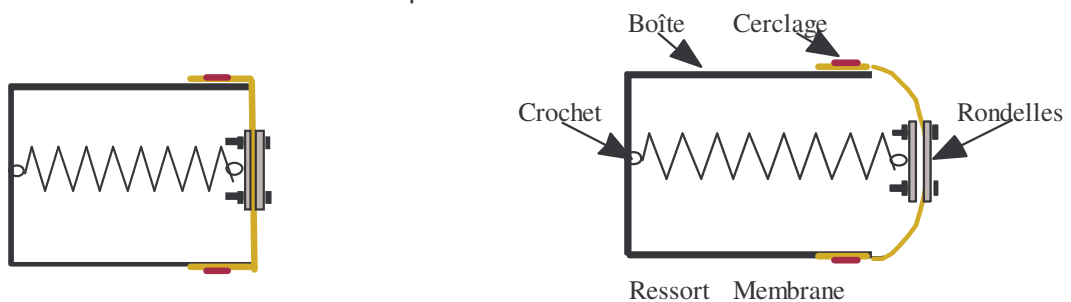
- La seringue

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.



Attention quelques précautions sont à prendre pour que ce capteur fonctionne bien : 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. 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 modeste, le piston progressant par à-coups.

- 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) 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. Un petit calcul montre en effet qu'une membrane de 6,5 cm³¹ supporte une force d'environ 30 kg en altitude. 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

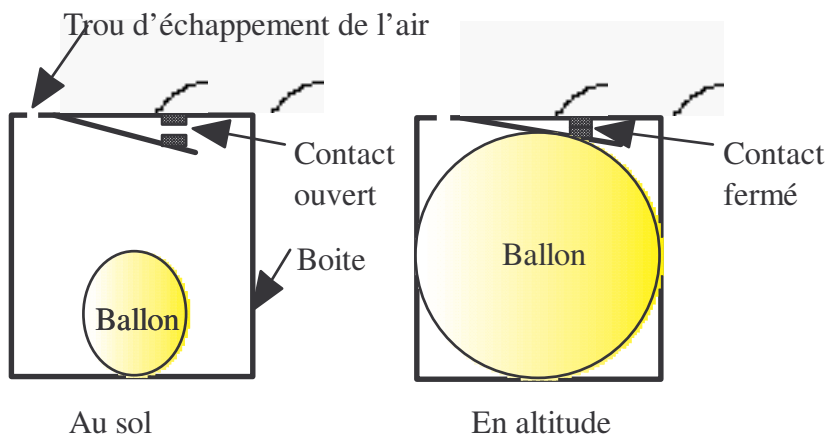
Position des pièces en altitude

- 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 équipés d'un amplificateur interne qui les rend directement compatibles avec le système KIWI³².
- 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

³¹ Diamètre de boîte de conserve courante.

³² Exemple MPX5100 de Motorola.

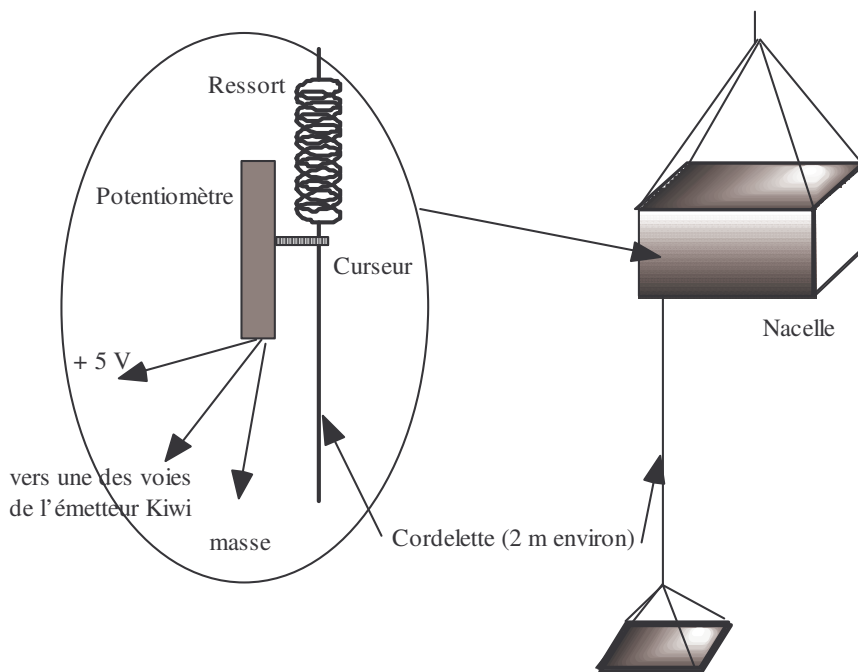
pression à 15 km est 10 fois plus faible qu'au sol. Donc si dans une boîte, on enferme un ballon de fête gonflé au 1/10 du volume de la boîte, celui-ci se dilatera au cours de la montée et occupera tout le volume de la boîte à 15 km et l'on se servira de ce mouvement pour déclencher un interrupteur (N2-Méca). Avec une cloche à vide équipée d'un manomètre, il sera même possible de tester le système avant le vol.



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 :

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

avec R : résistance de l'air (Newton)
 ρ : masse volumique de l'air (kg/m³)
 S : surface de la planchette (m²)
 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 m² permet d'obtenir une force d'environ 150 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 gramme de vapeur d'eau par m³ d'air, elle est surtout connue par la notion de taux d'humidité 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.
- Certains capteurs ont des temps de réponse longs et donc au cours du vol d'un ballon on n'obtient jamais de valeurs stabilisées.
- 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 intermédiaires en enfermant dans le même sac plastique, le capteur et un récipient d'eau salée³³ ; 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.

On trouve des capteurs d'humidité électroniques calibrés, dont les temps de réponse sont compatibles avec une utilisation sur un ballon³⁴ (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 psychrométrique³⁵. 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).

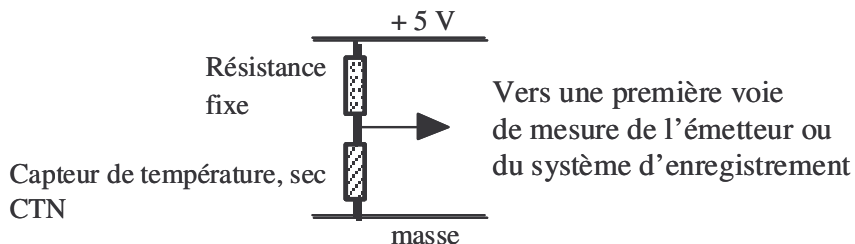
³³ Nous avons trouvé cette astuce sur le web. Il faut dissoudre 125 ml de sel de table dans 50 ml d'eau et placé le sac plastique à température ambiante. Il paraît que le taux d'humidité est alors proche de 75 %. <http://www.cmhc-schj.gc.ca...coreenlo/coprge/insevoma/ethy/index.cf>

³⁴ Exemple, Honeywell HIH-3605A capteur d'humidité 30 E environ,

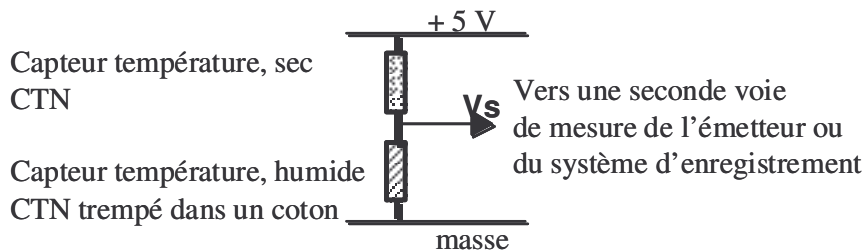
³⁵ On en trouve sur le web,

<http://www.educnet.education.fr/meteo/observ> , http://galileo.cyberscol.gc.ca/InterMet/eau/hum_rel_psychro.ht Les équipes scolaires qui réalisent des stations météorologiques connaissent bien le fonctionnement d'un psychromètre.

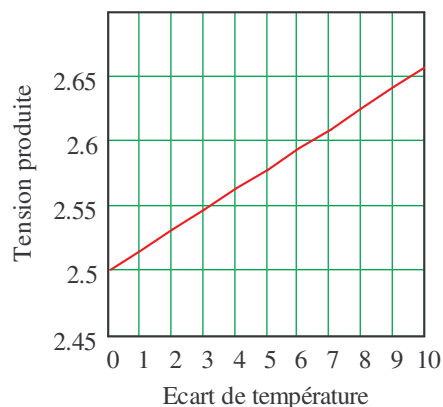
On réalise une première mesure de température avec un capteur sec suivant le schéma déjà expliqué. On obtient la température ambiante qui est le premier paramètre dont on a besoin pour utiliser une table psychrométrique.



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).



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 $R_0 = 1\text{ K}\Omega$, $\beta = 3825$, $T_0 = 298\text{ K}$



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

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 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 oeuvre 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.

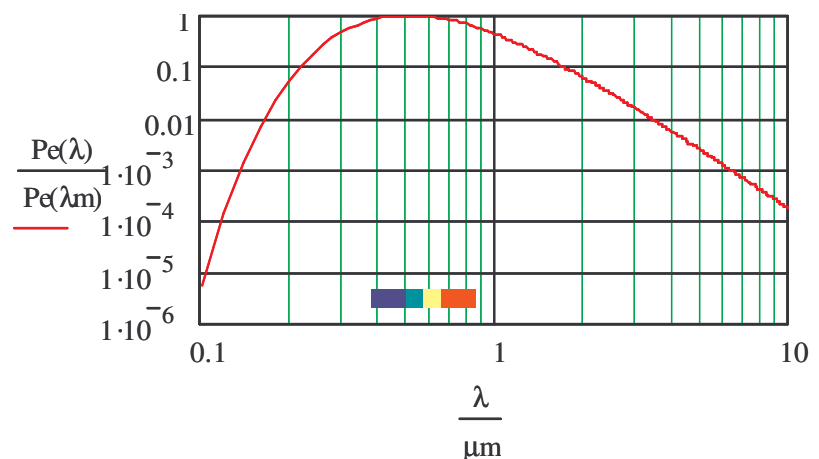
Le piégeage de poussières sur des filtres ou des surfaces collantes a été essayé mais les résultats sont décevants. Les systèmes consistant à forcer le passage de l'air à travers des filtres à l'aide d'un ventilateur comme cela se pratique couramment au sol, ne fonctionnent pas en altitude faute d'air.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

6. Expériences sur le rayonnement

6.1 Le rayonnement solaire

Vers 35 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 1350 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 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.

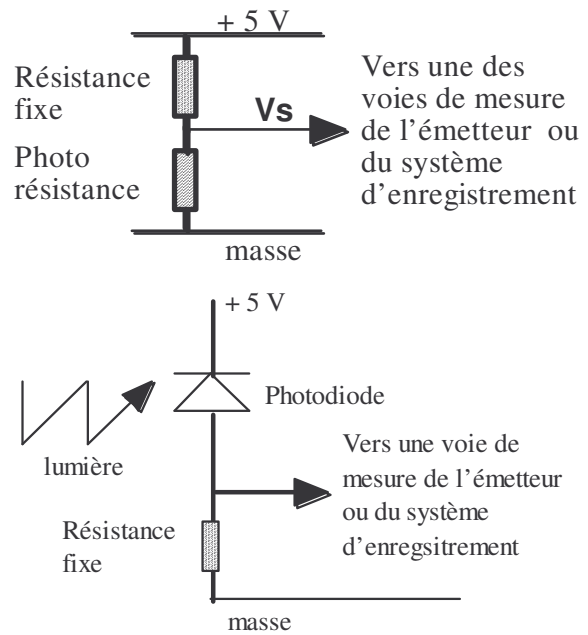


Sur le graphique nous avons superposé, la partie du spectre visible. Pour rendre notre vision plus efficace, la nature a rendu l'œil humain sensible dans les longueurs d'ondes les plus intenses émises par le soleil.

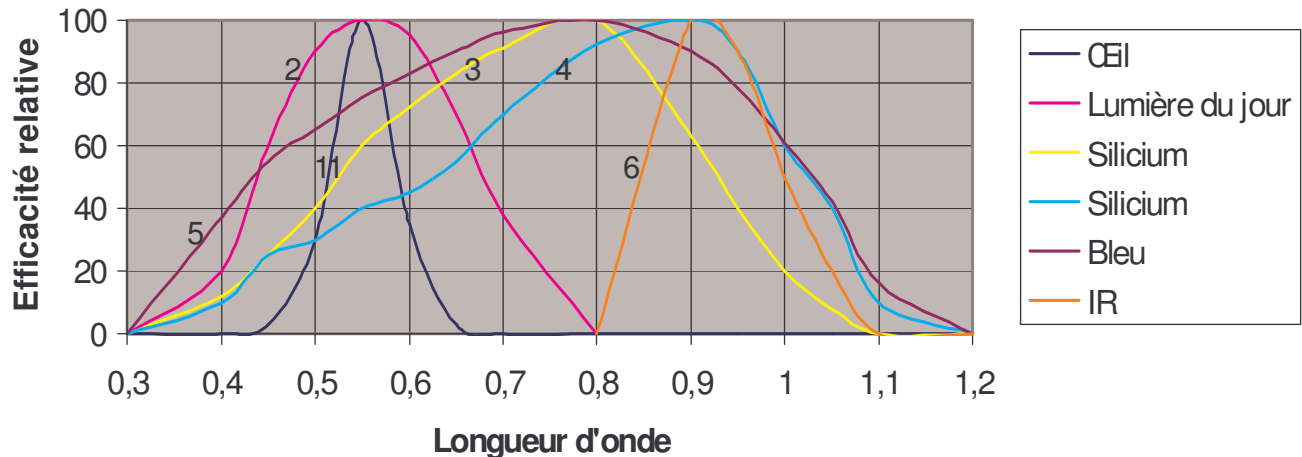
Pour détecter la lumière deux familles de photo-capteurs sont disponibles :

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)³⁶. 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.

Les photodiodes produisent un courant proportionnel à l'éclairement et indépendamment de la température. La propriété de proportionnalité facilite l'étalonnage³⁷.



Les choses se compliquent un peu car les photo-capturs 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 bleu³⁸. 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-capturs usuels.



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.

En cumulant l'énergie transmise par le Soleil du rouge au bleu, la Terre reçoit 1350 Watts par mètre carré hors atmosphère et de 500 à 1000 Watt/m² environ atteignent le sol. L'absorption relative est donc de l'ordre de 50 %. Elle est accessible à une mesure d'amateur.

³⁶ Exemple modèle Silonex NSL19-M51 moins de 2 E catalogue Radiospares.

³⁷ Dans une photodiode idéale, chaque photon reçu produit un électron. Ce phénomène explique la proportionnalité directe entre le courant produit par la photodiode et l'intensité lumineuse. En pratique, une photodiode n'est pas idéale et une partie seulement des photons contribuent au courant mais la loi de proportionnalité reste vraie. La sensibilité d'une photodiode qui s'exprime en Ampère de courant produit par Watt lumineux reçu (S=A/W) est le coefficient de proportionnalité. Il est souvent donné par le fabricant du composant pour une longueur d'onde.

³⁸ 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-captur sensible au rouge n'en reçoit pas et donc ne détecte rien.

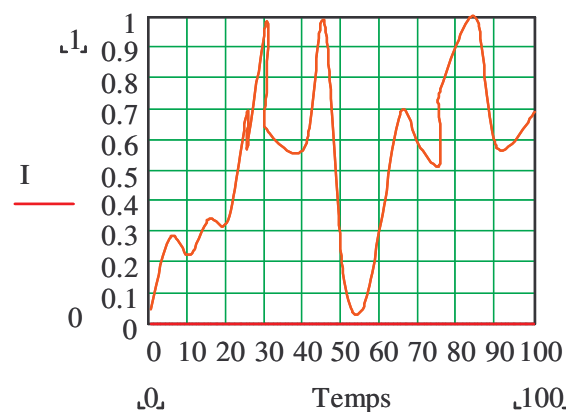
Avec une photodiode, l'étalonnage est relativement simple. A midi par grand soleil et un temps sec et dégagé, on expose le capteur de face et on mesure le courant I produit. On peut alors faire l'hypothèse que le capteur reçoit un flux de lumière équivalent à 1000 W par mètre carré. Comme le courant 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 1350 Watt/m² en haute altitude est beaucoup plus stable dans le temps. On relève après le vol la valeur du courant produit par la photodiode quand le ballon est à sa plus haute altitude et on fait alors l'hypothèse qu'elle correspond à 1350 Watt/m². 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 ce type de courbe 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 aussi 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. Cette évolution n'est pas très grande. 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 L'énergie solaire

Avec quelques cellules solaires³⁹, 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.

³⁹ Catalogue OPITEC

6.3 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 cm². 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 ⁴⁰ 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).

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.

7. Expériences en télédétection

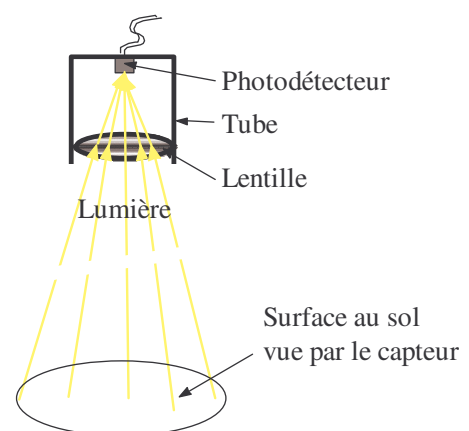
La télédétection est la discipline qui étudie la Terre par l'analyse du rayonnement optique qu'elle émet et que l'on peut capter en la survolant. Le ballon est un excellent outil d'observation.

7.1 L'albédo

L'albédo est la lumière réfléchiée par la Terre. 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. Mais comme expliqué plus haut, les possibilités d'analyse en longueur d'onde sont limitées pour les jeunes.

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 lentille ⁴¹ 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 :

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



Ainsi, avec une lentille de 18 cm de focale et un détecteur de 1 mm de diamètre, la surface analysée au sol a un diamètre d'environ 550 mètres quand la nacelle est à 10 km d'altitude.

⁴⁰ De l'ordre de 100 E pour un bas de gamme.

⁴¹ Catalogue OPITEC

Le radiomètre peut grossièrement être calibré en observant sa réponse, placé au-dessus d'une surface blanche ⁴² 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.

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. Un filtre vert permet de mettre en évidence la végétation par exemple. Néanmoins le filtre réduit l'éclairement du capteur et il est alors nécessaire d'utiliser un amplificateur, ce qui complique quelque peu le montage.

7.2 La photographie couleur

On place dans la nacelle un ou plusieurs appareils photo qui pointent vers le bas. Même des modèles bas de gamme permettent déjà d'obtenir de bons résultats. Nous conseillons d'utiliser des appareils à avancement motorisé de la pellicule, plus simples à mettre en oeuvre. 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, mise en rotation par un moteur et des engrenages. (N2-Méca). Les Légo[®], 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 acheté 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.

Pour faciliter l'exploitation, une boussole placée dans le champ de l'appareil sous la nacelle permet d'orienter le cliché. 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. On peut aussi scanner les photos et les exploiter par des logiciels de retouches d'images qui permettent de faire ressortir tel type de couleur représentative de telle activité au sol que l'on souhaite étudier.

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.

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.

7.3 La photographie 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

⁴² Feuille de papier

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).

7.4 La photographie numérique

Côté prise de vue, il y a peu de différences avec la photo argentique couleur. L'appareil photo est équipé d'une disquette qui stocke les images à bord. Côté exploitation, de nouvelles possibilités s'ouvrent. Les images sont dans un format informatique directement exploitable sur un PC. Néanmoins, le coût encore élevé des appareils est un obstacle pour un usage pédagogique compte tenu du taux moyen de récupération des nacelles.

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 par le CNES. 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.

7.5 La vidéo

Quelques caméscopes enregistreurs ont déjà été embarqués sur des ballons de jeunes. Le défi, consiste à rendre compatible le poids du caméscope, des piles, la protection thermique, la télémétrie, etc. avec les 2,5 kg autorisés alors que pour des raisons de coût et de prise de risque pour la récupération, on est tenté d'utiliser des modèles anciens un peu lourds et de les protéger des intempéries en espérant que cela donnera le temps à un promeneur de découvrir la nacelle (N5-Méca, N2-Elec).

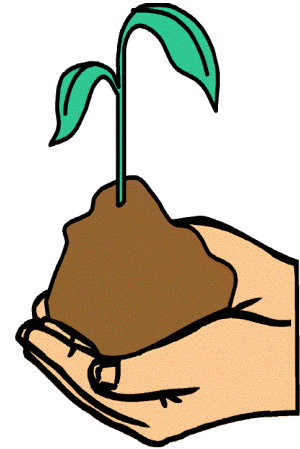
L'embarquement de caméras noir et blanc et la transmission en directe de l'image ont déjà été réalisés. On associe alors une caméra de petite taille destinée à la surveillance de locaux avec un émetteur radio. Le problème est que pour transmettre l'image, il faut disposer d'un canal de transmission ayant 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, des lentilles, du soja ont été exposés 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 la cause. 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. 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 Charges. 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 vol⁴³ 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.

10. 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.

⁴³ Au bout de 2 minutes de vol, un ballon est déjà à 600 m d'altitude.

10.1 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. Bien sûr, elle souffre d'un handicap : la non garantie que la nacelle sera récupérée. Suivant les régions, le taux de récupération varie de 50% à 60 %. Nous conseillons de bien 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/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. Légo[®], 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 installée 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 de 36 points après développement du film (N3-Méca).
- l'enregistrement magnétique. Un petit magnétophone ou un dictaphone, feront l'affaire. 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 paramètres⁴⁴. Comme la durée d'enregistrement est limitée à la durée d'une cassette, le fonctionnement du magnétophone peut être lui-même dépendant d'une minuterie et assurer une minute d'enregistrement puis deux minutes de pause, ce qui permet de disposer d'une durée de mesure 3 fois plus longue. Quand on récupère la cassette, on peut se contenter d'un dépouillement qualitatif à l'oreille ou être plus précis en mesurant la fréquence exacte à l'aide d'un oscilloscope (N3-Elec). Le défaut du procédé est qu'un seul paramètre est enregistré à la fois.
- Par un procédé de multiplexage, il est possible d'enregistrer plusieurs paramètres sur une même bande magnétique (N4-Elec) mais il faut alors disposer d'un démodulateur spécifique pour décoder la bande⁴⁵. Le procédé de multiplexage est assez souvent utilisé par les équipes de jeunes qui construisent des fusées expérimentales⁴⁶.
- les mémoires informatiques (N5-Elec). Procédé réservé à de bons électroniciens.

⁴⁴ 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 E chez Radiospares.

⁴⁵ Un démodulateur de ce type est mis à disposition à bord du camion de télémessures du service Education Jeunesse du CNES. Pour plus de détails écrire à camioncnes@libertysurf.fr

⁴⁶ Voir la note technique : "Le multiplexage en fréquence"

10.2 La télémesure

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.

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 ⁴⁷ adapté que Planète Sciences met à disposition. 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 oeuvre 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 oeuvre. 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 pas 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 ⁴⁸ 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).

Les jeunes peuvent aussi réaliser totalement ou partiellement leurs propres systèmes de télémesures 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).

⁴⁷ Le logiciel s'appelle Kicapt et est téléchargeable sur le site web de Planète Sciences.

⁴⁸ Disponible sur le site web de PLANÈTE SCIENCES.

11. 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.

11.1 Apports aux enseignements de base

La pratique expérimentale permet d'appliquer et d'enrichir les enseignements de base (français, math, histoire, arts plastiques etc).

L'expression écrite est mise en oeuvre pour la production d'articles destinés au journal de l'école, pour la rédaction des avants 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 présents comme précédemment évoqué. Certaines nacelles fabriquées par des écoles frontalières comportent des messages en plusieurs langues afin d'anticiper la récupération possible par des étrangers.

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.

11.2 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
2. L'avant-projet
3. Le projet
4. La réalisation
5. Le lâcher
6. L'exploitation des résultats

Chacune de ces phases se termine par la rédaction d'un document. 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 être 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 ⁴⁹.

11.3 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 :

observation-->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.

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 d'un professeur dans une discipline.

⁴⁹ "La gestion d'un projet ballon" Disponible sur le site Internet de PLANÈTE SCIENCES.

12. Bibliographie

Publications CNES-Planète Sciences concernant l'activité ballons

Documents généraux sur l'activité :

- Les ballons expérimentaux : mise en oeuvre & 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)
- Historique des ballons par Claudine Gory (CNES)

Documents sur les standards de télémesure :

- Le système de télémesure KIWI à l'usage des écoles
- Le système de télémesure KIWI à l'usage des clubs
- Multiplexage en fréquence et Standard IRIG
- Télémesure numérique. Standard SNR

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

13. LES PARTENAIRES

13.1 Le département Education-Jeunesse du CNES

La passion de l'espace peut se déclencher très tôt et se cultiver tout au long d'une vie. C'est pourquoi le Cnes, en appui sur les associations de jeunesse, s'est toujours tenu proche des jeunes et des éducateurs en leur proposant des stages de formation, des outils d'information et de nombreuses possibilités d'expérimentation et de découverte de l'espace.

Des activités pour les jeunes de 8 à 25 ans

Les fusées : de la micro-fusée à la fusée expérimentale

Les plus petites peuvent atteindre une centaine de mètres de hauteur. Les plus impressionnantes embarquent des expériences, pèsent une dizaine de kilos et culminent à 2 500 mètres avant de retomber sous parachute. Chaque fusée respecte des consignes de sécurité très strictes et le moteur est toujours mis en place par une personne agréée et formée par le Cnes.

Les expériences en micropesanteur

L'espace est un lieu privilégié pour l'étude de certains phénomènes impossibles à observer sur Terre. Excepté notamment grâce à l'Airbus Zéro g du Cnes, capable de "plonger" ses occupants en état d'impesanteur au cours de vols paraboliques. Chaque année, le Cnes offre à quelques groupes de jeunes la possibilité de tester une expérience dans cet Airbus ou même à bord de la Station spatiale internationale. Les équipes pédagogiques qui le souhaitent ont également la possibilité d'exploiter les résultats d'expériences scientifiques menées à bord de l'ISS.

Les ballons expérimentaux

Dans un ballon, c'est la nacelle qui est construite par les jeunes. Elle embarque les expériences que l'on a réalisées : appareil photo déclenché par une minuterie, capteurs de température ou de pression, étude de la germination de graines.... Après quelques heures de vol, le ballon atteint 30 km d'altitude avant de retomber doucement sous parachute. Tout au long du vol, les mesures envoyées par l'émetteur embarqué, sont reçues en direct par la station de réception au sol.

Les bouées dérivantes et les balises

Parce qu'ils couvrent 70% de la Terre, les océans jouent un rôle primordial dans l'équilibre climatique de notre planète. Suivre par satellite le déplacement de bouées qui dérivent au gré des courants marins, permet de mieux comprendre les relations entre l'océan et le climat. Mais les satellites permettent également de suivre le déplacement d'animaux (albatros, tortues Luth, manchots-) auxquels on a préalablement fixé des balises et d'étudier ainsi leur comportement.

Des cadres de pratique

Partout en France, des enseignants et des animateurs membres d'associations de jeunesse spécialisées dans les activités scientifiques, encadrent ces activités avec l'aide technique du CNES. Il est possible d'en bénéficier:

- à l'école, à partir du CM1 et jusqu'en école d'ingénieur;
- en club, un peu partout en France. Et quand il n'y a pas de club à proximité de chez soi, l'association Planète Sciences (ANSTJ) peut aider les passionnés à créer le leur;
- en centre de vacances ou en centre de loisirs.

Des cadres de formation pour les enseignants

Pour tous les enseignants (de l'école au lycée), de la physique à la géographie, des formations aux techniques spatiales et à l'utilisation des outils expérimentaux.

Les Mercredis de l'information

Ces conférences, animées par des scientifiques de haut niveau, sont organisées deux à trois fois par an et permettent à chaque participant de mettre à jour ses connaissances sur les grands thèmes liés à l'espace. Le Cahier de l'espace est un livret de synthèse écrit à l'issue de chaque session que l'on peut se procurer au département Education-Jeunesse.

La formation à l'utilisation des outils expérimentaux

Ces stages sont proposés sur l'initiative des associations de jeunesse à la demande des IUFM, des missions d'action culturelle... D'une durée de quelques jours, ils permettent d'acquérir la maîtrise d'un support qui sera développé en groupe de projet avec des élèves (mini-fusée, ballon, bouée dérivante ...).

Les stages d'été

Autour d'un thème fédérateur (le milieu méditerranéen, l'eau ...) ou sur l'ensemble des techniques spatiales, ces stages de 8 à 15 jours sont organisés pendant l'été pour travailler un sujet avant de le réinvestir en classe. Ces stages sont mis en place dans le cadre d'une convention avec le Ministère de la jeunesse, de l'éducation et de la recherche et rentrent dans le cadre de la formation continue des enseignants.

Des supports pédagogiques complémentaires

Du magnétoscope à l'Internet, du livre à l'exposition, une gamme d'outils favorisant la découverte et l'information sur les activités spatiales.

Des sites Internet

Pour se tenir au courant de l'actualité éducative, des programmes et rendez-vous proposés par le CNES et ses partenaires éducatifs : www.cnes-edu.org

Pour obtenir des informations détaillées sur les grands programmes du CNES: www.cnes.fr

Pour découvrir l'actualité spatiale en images : www.cnes-tv.net

Pour utiliser les images satellitaires : www.spotimage.fr

Pour échanger entre enseignants, à travers un outil de travail interactif autour de l'observation de la Terre: www.2.ac-toulouse.fr/mesoe//index.htm

L'exposition "Questions d'espace"

Découvrir « L'espace à quoi ça sert et comment ça marche ? » en 23 panneaux. Cette exposition est prêtée gratuitement (pendant une durée limitée) aux établissements scolaires ou associations, pour faire découvrir l'espace au jeune public. Elle est accompagnée d'un livret que les enfants pourront garder après avoir travaillé sur le sujet et d'une brochure permettant à l'adulte d'approfondir les thèmes traités.

Contacts et informations complémentaires

CNES

Département Education-Jeunesse

18 avenue Edouard Belin 31401 Toulouse Cedex 4

Tél : 05 6127 3114 Fax: 05 6128 27 67

Mail : educationjeunesse@cnes.

13.2 Planète Sciences

Planète Sciences est née en 1962, sous le nom d'ANCS⁵⁰ puis d'ANSTJ⁵¹, 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 6 délégations ou antennes territoriales, 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 50 000 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.

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, 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 !*

⁵⁰ Association Nationale des Clubs Spatiaux

⁵¹ Association Nationale Sciences Techniques Jeunesse

LES CADRES D'ACTIVITE

Les séjours de vacances

Pour les jeunes de 8 à 18 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 "Lycées de Nuit", Festival Européen de l'Espace, Nuits des Etoiles, Coupes de France de robotique, Trophées de Robotique e=m6, Eurobot, Rencontre Météo Jeunes, Exposciences... 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, cyberthèque, 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.