



**Service Culture Spatiale du CNES**  
18, avenue Edouard Belin - 31401 TOULOUSE CEDEX 4  
Tél. : ( ) 5 61 27 31 14 / Fax : ( ) 5 61 28 27 67  
[www.cnes-edu.org/](http://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  
[www.planete-sciences.org/espace/](http://www.planete-sciences.org/espace/)

## **LE SYSTEME KIWI MILLENIUM**

***Télémesure ballon à  
l'usage des écoles***

**Version 4 (Juin 2008)**

*Note technique Planète Sciences*

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>QU'EST CE QU'UN SYSTEME DE TELEMESURE ? .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>SURVEILLER L'EXPERIENCE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2</b>	<b>TRANSMETTRE L'INFORMATION .....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>LA CHAINE DE TELEMESURE A BORD.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>LES CAPTEURS .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2</b>	<b>L'INTERFACE D'ADAPTATION .....</b>	<b>5</b>
<b>3.3</b>	<b>L'EMETTEUR KIWI .....</b>	<b>6</b>
3.3.1	<i>Plan et câblage de l'émetteur KIWI.....</i>	<i>6</i>
3.3.2	<i>Caractéristiques de l'émetteur KIWI.....</i>	<i>8</i>
3.3.3	<i>Comment fournir les mesures à l'émetteur KIWI ?.....</i>	<i>9</i>
3.3.4	<i>La station au sol.....</i>	<i>9</i>
3.3.5	<i>L'ordinateur.....</i>	<i>9</i>
<b>4.</b>	<b>COMMENT DISPOSER DU SYSTEME KIWI ? .....</b>	<b>10</b>
<b>5.</b>	<b>REALISATION DES CAPTEURS .....</b>	<b>10</b>
<b>5.1</b>	<b>EXEMPLES DE CAPTEURS DE MISE EN ŒUVRE SIMPLE .....</b>	<b>10</b>
5.1.1	<i>Capteurs d'état .....</i>	<i>10</i>
5.1.2	<i>Capteurs multi-états.....</i>	<i>11</i>
5.1.3	<i>Capteurs à base de potentiomètres.....</i>	<i>13</i>
5.1.4	<i>Capteurs à base de photorésistances.....</i>	<i>13</i>
5.1.5	<i>Capteurs à base de photodiodes .....</i>	<i>15</i>
<b>6.</b>	<b>ETALONNAGE .....</b>	<b>15</b>
<b>7.</b>	<b>PRECISION .....</b>	<b>17</b>
<b>8.</b>	<b>SAVOIR-FAIRE .....</b>	<b>18</b>
<b>9.</b>	<b>COMMENT EXPLOITER LES MESURES OBTENUES ? .....</b>	<b>21</b>
<b>9.1</b>	<b>PENDANT LE VOL .....</b>	<b>21</b>
<b>9.2</b>	<b>APRES LE VOL .....</b>	<b>21</b>
<b>10.</b>	<b>PANNE D'UN EMETTEUR KIWI .....</b>	<b>23</b>
<b>11.</b>	<b>AUTRES PUBLICATIONS CONSACREES A L'ACTIVITE BALLON .....</b>	<b>24</b>

*Ce document a été rédigé par Michel Maignan  
Le système KIWI a été mis au point par Nicolas Verdier et Sébastien Hémard  
Le logiciel Kicapt est réalisé par Frédéric Bouchar  
Les émetteurs Kiwi sont produits par la société Tenum grâce à un financement du CNES*

## 1. Introduction

Ce document est destiné aux animateurs et aux enseignants qui souhaitent connaître les possibilités offertes par le système de télémétrie KIWI afin d'encadrer les équipes de jeunes, constructeurs de nacelles de ballons et utilisateurs de ce système. Au préalable, une connaissance pratique de la mise en œuvre de circuits électroniques simples est souhaitable. Ce document donne les informations de base nécessaires pour l'activité *Ballon à l'école* (Kiwi utilisé en mode modulation interne). Une version plus complète adaptée à une utilisation en enseignement supérieur ou par des clubs est disponible sous le titre « Le système KIWI à l'usage des clubs ».

Il est rappelé que la fabrication d'une nacelle doit respecter les règles décrites dans le document :

**"Les ballons expérimentaux : Mise en œuvre & Cahier des charges <sup>1</sup>".**

## 2. Qu'est ce qu'un système de télémétrie ?

Une grande part de l'activité expérimentale consiste à effectuer des mesures sur des grandeurs physiques pour ensuite les interpréter et les comparer aux hypothèses. Une nacelle de ballon est un véhicule qui permet d'explorer une partie de l'atmosphère ; si vous pouviez accompagner la nacelle, vous seriez monté à bord avec un crayon et du papier et vous auriez surveillé l'évolution des phénomènes que vous vous proposez d'étudier. Vous auriez transcrit vos observations sous forme de courbes ou de chiffres et vous auriez rapporté précieusement le tout au sol. Pour pallier votre absence à bord, il faut concevoir un système, à côté de votre expérience, apte à rendre ce service, tout en supportant les contraintes du vol, un système capable de mesurer automatiquement et de transmettre les résultats afin d'être lus et exploités.

Il y a deux tâches distinctes à remplir : la prise de mesures et la transmission des informations vers le sol. Le système doit donner l'impression que vous êtes intellectuellement à bord tout en restant physiquement au sol, et donc écrire à votre place, sur du papier au sol, les informations générées dans la nacelle. On regroupe sous le terme de télémétrie ce procédé qui permet de mesurer et transmettre les résultats à distance. Il est couramment utilisé pour surveiller et suivre toutes sortes d'objets : fusées, satellites, voitures de course, avion en vol, animaux dans leur milieu naturel, etc.

### 2.1 Surveiller l'expérience

Bien que vous ayez à apprécier des paramètres aussi variés que des forces, des températures, des pressions, des vitesses, des positions, des couleurs, vous les transcrirez finalement toujours sous la même forme, souvent une donnée écrite. Avant l'étape de l'écriture, il est souvent astucieux de passer par des formes intermédiaires plus faciles à manipuler. Les signaux électriques ont cette qualité et pour en profiter vous allez être amenés à concevoir des appareils capables de lire des grandeurs physiques et de les transformer en grandeurs électriques, ce sont les **capteurs**.

Aux centaines de grandeurs physiques différentes correspondent des milliers de capteurs différents, mais ils ont une caractéristique commune : ils convertissent sous forme de signaux électriques les **informations** mesurées. Ceci réduit singulièrement la complexité de la transmission des informations car quel que soit le capteur, vous n'aurez qu'un seul type de message à transmettre : des messages électriques.

---

<sup>1</sup> Disponible sur simple demande auprès de Planète Sciences et sur son serveur Internet.

## 2.2 Transmettre l'information

Il existe de nombreuses méthodes pour échanger des messages : le courrier en est une, la nacelle produit un document et l'éjecte en direction du sol. Impossible ? et bien sachez que plusieurs séries de satellites américains de surveillance, les Corona (1959-1972), les "Big Bird" (1971-1986), étaient équipés de tubes qu'un système automatique éjectait vers la Terre après l'avoir rempli d'un film photographique. Un avion spécial l'attrapait en vol au cours de la descente. La station MIR renvoyait parfois au sol des échantillons par un procédé similaire <sup>2</sup>.

Il existe bien sûr d'autres procédés comme la radio. Les signaux électriques sont bien adaptés à ce type de transmission. De nombreuses méthodes ont été inventées. L'emploi journalier de votre poste de radio vous a familiarisé avec des termes aussi variés que fréquence, canal, AM, FM, mono, stéréo, etc.

Le physicien Branly avait constaté que des tensions électriques rapidement variables avaient la propriété de produire des ondes pouvant se propager dans l'Espace. Il suffisait de les produire à l'aide d'une antenne. Ces ondes pouvaient donc servir de support à la transmission d'informations puisqu'un système appelé récepteur permettait de les recevoir à grande distance. Une des premières transmissions radio fut faite par ce physicien entre le sommet de la Tour Eiffel et le parvis du Panthéon à Paris en 1890.

Votre problème est similaire à celui de Branly, vous placerez dans votre nacelle une **antenne** alimentée par un générateur de tension électrique rapidement variable que l'on appelle communément **un émetteur**. Au sol, vous utiliserez un **récepteur** de radio. Vous venez de franchir une étape importante en jetant un pont immatériel capable de véhiculer de **l'information** entre la nacelle et vous à l'aide d'une **porteuse radioélectrique**.

L'information correspond au flux de renseignements que vous souhaitez extraire de votre expérience. Allumez un poste de radio à l'heure d'un bulletin et écoutez successivement des stations : françaises, anglaises, allemandes. Si un événement d'importance mondiale occupe l'actualité, il est fort probable qu'elles transmettront la même information, mais dans des langues variées. Les spécialistes disent que l'information a été **codée** de manières différentes mais c'est la même information. C'est notre cerveau qui, à l'écoute des messages, interprète les mots et les considère comme des informations. Les techniciens appellent cette opération le **décodage**.

Si vous ne connaissez pas la langue, c'est-à-dire si vous ne connaissez pas le code <sup>3</sup>, vous restez ignorant des informations. Le canal de transmission, ici la radio, se contente de passer des messages codés auxquels vous attribuez une valeur d'information.

Parmi tous les procédés possibles de transmission et de codage, l'un d'eux a été retenu par le CNES et un matériel adapté pour la télémesure des nacelles de ballons de jeunes a été développé : **le système KIWI**, dont la version la plus aboutie s'appelle **KIWI Millénium V4**.

Il est constitué d'un émetteur KIWI et d'une antenne radio, placés à bord de la nacelle et, au sol, d'un récepteur relié à un ordinateur. La lecture des mesures se fait sur l'écran de l'ordinateur à l'aide d'un logiciel adapté. 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 à bord et transmet les valeurs au sol.

---

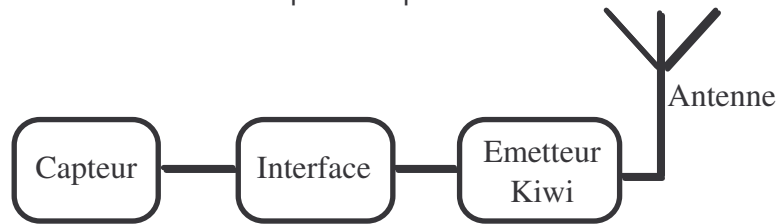
<sup>2</sup> VBK – Raduga. Capsule de retour d'échantillons depuis la station Mir. Un exemplaire est exposé à la Cité de l'Espace à Toulouse.

<sup>3</sup> Ne pas confondre codage et cryptage.

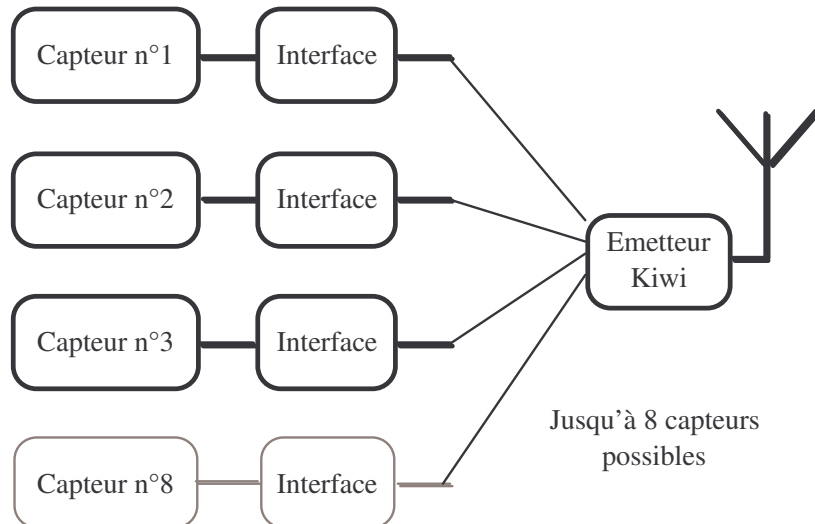
### 3. La chaîne de télémétrie à bord

La chaîne de télémétrie regroupe l'ensemble des éléments qui prélèvent l'information, la traitent, la transmettent et la restituent. Elle se décompose en plusieurs blocs fonctionnels.

Ci-contre le schéma de base :



Comme l'émetteur Kiwi est capable de transmettre jusqu'à 8 informations simultanément le schéma complet est le suivant :



#### 3.1 Les capteurs

Les capteurs traduisent en grandeur électrique (une tension) la grandeur physique. Ils doivent être petits et légers, car la place et le poids sont limités à bord d'une nacelle. Ils doivent être **solides** car ils sont soumis aux contraintes du vol.

Ils doivent être **précis**. Sinon, quel est intérêt de réaliser une expérience si les capteurs qui la surveillent transmettent des informations erronées ? Ils ne doivent pas être influencés par des paramètres autres que ceux qu'ils mesurent. Quel crédit apporte-t-on à un compteur de vitesse dont les indications dépendent de la température ?

Ils doivent être **étalonnés**, c'est-à-dire que la relation qui relie le paramètre physique au signal électrique doit être connue.

Ces qualités font que les capteurs sont des objets dont la réalisation nécessite de la minutie.

#### 3.2 L'interface d'adaptation

Le signal sortant du capteur a des caractéristiques qui varient d'un capteur à l'autre. Le rôle de l'interface est de mettre ces signaux sous une forme adaptée à l'émetteur. Cette interface peut être supprimée quand le capteur produit des signaux directement utilisables par l'émetteur KIWI.

### 3.3 L'émetteur KIWI



Ci-joint une photo de l'émetteur Kiwi.

#### 3.3.1 Plan et câblage de l'émetteur KIWI

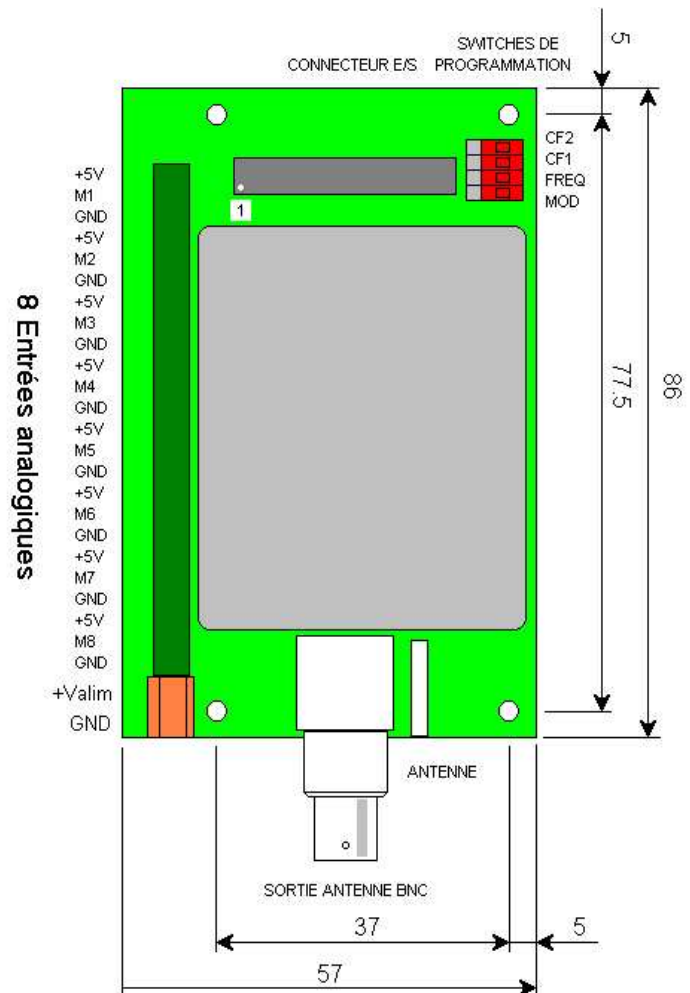
L'émetteur est constitué d'un circuit imprimé sur lequel sont implantés des composants. Un capot les protège. Attention à ne pas l'écraser.

Au dos, les connexions du circuit imprimé sont visibles. Attention à ne pas les court-circuiter. L'émetteur doit être installé sur un matériau isolant et non pas directement sur une surface métallique. Les 4 trous près des angles sont destinés à sa fixation avec des vis de 3 mm.

Les entrées électriques sont accessibles sur le bord du circuit par un bornier à vis. L'utilisateur introduit directement les fils de liaison dans le bornier et serre les vis à l'aide d'un tournevis d'horloger. Serrez ce qu'il faut mais n'exagérez pas.

Pour un usage en ballon, le Kiwi est fourni avec une antenne, un brin en laiton d'environ 50 cm. L'antenne se soude à l'étain sur la connexion prévue à cet effet.

Attention de ne pas court-circuiter l'antenne au plan de masse par des bavures de soudure. Quand l'émetteur est équipé de cette antenne, le connecteur « sortie antenne BNC » ne doit pas être utilisé <sup>4</sup>.



**L'émetteur ne doit jamais être mis en marche sans antenne <sup>5</sup>.**

<sup>4</sup> Ce connecteur est utilisé quand l'émetteur KIWI est embarqué sur une fusée expérimentale de jeunes. Le fait de brancher 2 antennes ne fera pas émettre le KIWI Millenium plus loin, et risque au contraire d'être destructeur pour l'amplificateur de sortie RF.



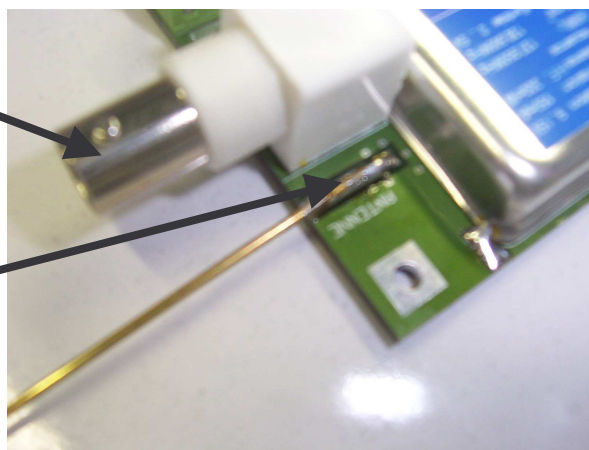
Faites attention aux éventuelles contraintes appliquées à l'antenne car sa pastille d'implantation est fragile. Toute coupure de la piste associée est indécélable lorsque l'émetteur est au sol (en raison de sa proximité) mais limitera la portée de la liaison.

**Nous conseillons vivement de plier à la pince l'extrémité libre de l'antenne pour limiter les risques de blessures aux yeux. Le dessin montre à l'échelle une forme adaptée. On peut compléter la protection en plantant la boucle dans un bloc de polystyrène.**

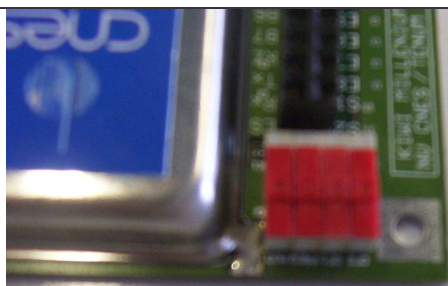

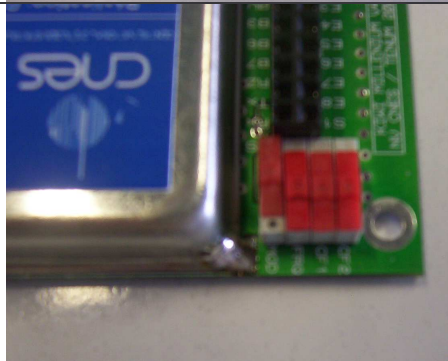



Connecteur BNC non utilisé

La photo ci-contre de l'émetteur KIWI Millénium montre l'emplacement de l'antenne.



L'émetteur possède 4 commutateurs qui doivent être placés tel qu'indiqué sur une des deux figures ci-dessous, suivant la version. La version se lit sur le capot métallique. Le connecteur gris placé à côté des commutateurs n'est pas utilisé dans le mode de fonctionnement de base.

<p>Kiwi Millenium V2</p> <p>Version autrefois distribuée dont il reste quelques exemplaires en circulation.</p> <p>Les 4 connecteurs sont placés du même côté vers l'extérieur du circuit.</p>	 
<p>Kiwi Millenium V4</p> <p>On identifie aussi cette version par la présence d'une sérigraphie au verso du circuit imprimée absente en version V2.</p> <p>Version actuellement distribuée en remplacement progressif de la précédente.</p> <p>Le 1<sup>er</sup> connecteur marqué MOD est poussé vers l'intérieur du circuit, les 3 autres vers l'extérieur du circuit.</p>	 

<sup>5</sup> Risque de destruction car l'énergie qu'il produit n'étant pas émise, elle se dissipe dans l'amplificateur de sortie au risque de le griller.

### 3.3.2 Caractéristiques de l'émetteur KIWI

- Les dimensions hors tout de l'émetteur sont de 86 mm sur 57 mm et de 11 mm d'épaisseur.
- La masse de l'émetteur KIWI est de 50 grammes.
- L'émetteur KIWI est capable de mesurer simultanément jusqu'à 8 tensions comprises entre 0 et 5 V. Il transmet aussi automatiquement la tension des piles qui l'alimentent.
- La valeur de chaque tension est transmise au sol toutes les deux secondes.
- Au sol lors des démonstrations et de la mise au point, l'émetteur KIWI doit être alimenté entre 8 et 13.5 V. La connexion des piles se fait grâce au bornier 2 points, grosse taille. Le sens de connexion (+ ou -) est indiqué sur le circuit et à défaut sur la figure. L'émetteur est protégé contre une inversion de l'alimentation.
- En vol, l'émetteur Kiwi doit être alimenté sous 9 V avec 2 piles plates alcalines de 4,5 V neuves en série. L'alimenter avec une tension supérieure 13,5 V, avec 3 piles plates par exemple, produit un échauffement aggravé par un mauvais refroidissement en vol dû à la raréfaction de l'air <sup>6</sup>,
- La consommation électrique de base est de 190 mA. Il fonctionne donc près de 5 heures avec 2 piles plates alcalines de 4,5 V neuves en série (le vol d'une nacelle n'excède pas 3 heures).
- Les sorties 5 V permet de disposer d'une alimentation régulée. Le courant prélevé ne doit pas dépasser 100 mA. Ce courant augmente d'autant la consommation de base. Les piles doivent être prévues en conséquence. Attention il n'y a pas de protection contre les courts-circuits pour les sorties 5 V régulées. Si le besoin de consommation dépasse 100 mA, il faut envisager d'utiliser un circuit de régulation supplémentaire externe,
- L'impédance des entrées de mesure est de 100 kOhms.
- Toutes les connexions de masse sont reliées entre elles.
- L'émetteur KIWI doit être placé à l'intérieur de la nacelle du ballon et être protégé du froid. Les performances des piles se dégradent sous l'effet du froid. Il n'est donc pas superflu d'emballer aussi les piles <sup>7</sup>.
- Son antenne est un brin métallique de 50 cm de long livré avec l'émetteur. Elle doit traverser la paroi de la nacelle et se tenir en position verticale vers le bas ou vers le haut à l'extérieur.
- La fréquence radio du KIWI est de 137,950 MHz ou 138,500 MHz. Le changement de fréquence s'obtient en basculant l'interrupteur marqué par une flèche sur la photo de la page 7, interrupteur poussé vers l'extérieur = 137,950 MHz ou interrupteur poussé vers l'intérieur = 138,500 MHz. Avec deux fréquences d'émission disponibles, il est ainsi possible de faire voler simultanément en un même lieu deux ballons sans risque de perturbations réciproques <sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> Depuis 2008, le Kiwi a bénéficié d'une amélioration (utilisation d'un régulateur de tension à faible tension de déchet) permettant une réduction de la tension d'alimentation.

L'électricité produite par une pile est le résultat d'une réaction chimique qui dégage de la chaleur. En emballant les piles, on permet à cette chaleur de maintenir la température des piles. En dessous de 0 °C la performance des piles alcalines se dégrade nettement.

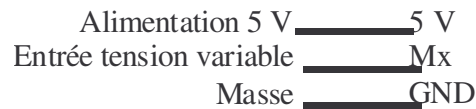
<sup>8</sup> Très pratique quand deux écoles se retrouvent pour s'entraider. le même jour, sur un même lieu avec chacune leur ballon,



- A l'aide du système KIWI, des liaisons de plus 300 km ont déjà été réalisées.

### 3.3.3 Comment fournir les mesures à l'émetteur KIWI ?

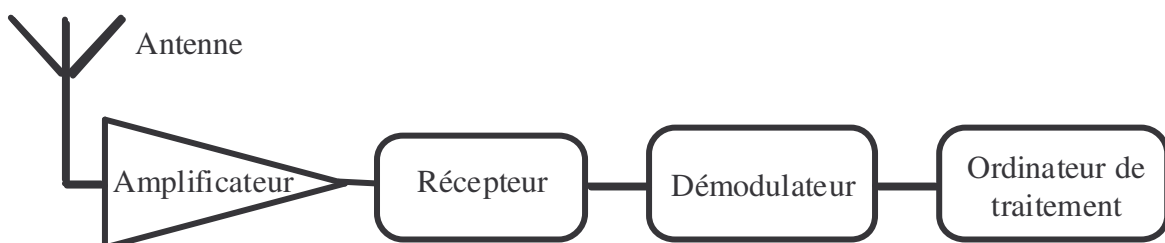
- Les mesures doivent être fournies sur chaque voie sous forme d'une tension variable entre 0 et 5 V sur deux fils torsadés entre eux, l'un relié à la masse, et l'autre sur l'entrée de la voie choisie. Bien que d'une voie à l'autre les masses soient communes, il est préférable de câbler autant de fils de masse que de voies utilisées et de torsader le fil de masse avec le fil de mesure de la voie correspondante (paire torsadée).



Bornier de connexion

- Pour une meilleure résolution de la mesure, les tensions de mesure doivent évoluer en exploitant autant que possible toute la plage de 0 à 5 V.
- **Il ne faut pas dépasser ces valeurs au risque de détruire l'émetteur.**
- Les tensions issues des capteurs ne doivent jamais être présentes sur les entrées de l'émetteur si celui-ci n'est pas alimenté. Il est donc recommandé d'utiliser un interrupteur commun pour alimenter les capteurs et l'émetteur. Pour éviter tous risques, préférez l'utilisation des sorties réglées 5 V du Kiwi.
- Il n'est pas obligatoire d'utiliser les 8 voies de mesure. Si une voie n'est pas utilisée, le Kiwi transmet la valeur 0 volt.

### 3.3.4 La station au sol



La station au sol est constituée d'un récepteur de radio FM, d'un circuit de démodulation qui conditionne les signaux du récepteur dans un format interprétable par un ordinateur et d'un ordinateur qui assure le traitement des données. Une antenne en forme de râteau (Yagi) améliore la réception et doit être grossièrement pointée vers le ballon. Les brins de l'antenne de réception doivent être verticaux. Un amplificateur, optionnel, placé sur l'antenne contribue à la qualité de réception. Le CNES conditionne les stations sol dans des mallettes de transport contenant un mode d'emploi spécifique pour les utiliser.

### 3.3.5 L'ordinateur

L'ordinateur est un P.C. de bureau ou un portable fonctionnant sous Windows 95/98, W2000 ou XP et qui doit être équipé du logiciel spécifique KICAPT développé par Planète Sciences / CNES. Il affiche les résultats sur l'écran et les enregistre sur le disque dur. Pour permettre l'exploitation après le vol, il doit être équipé d'Excel ou d'un tableur équivalent. Avec les PC portables, il ne faut pas compter sur leurs batteries dont l'autonomie est le plus souvent plus courte qu'un vol. Toujours alimenter sur le secteur, les PC portables.



## 4. Comment disposer du système KIWI ?

Si l'expérience proposée le justifie, un émetteur KIWI est prêté par le CNES pour la durée de celle-ci. Si la nacelle est récupérée après le vol, l'équipe s'engage à le rendre. L'émetteur sera alors contrôlé et prêté à une nouvelle équipe.

Le ou les capteurs doivent être réalisés par les expérimentateurs en fonction de l'expérience qu'ils souhaitent mener.

La station sol ainsi que l'antenne sont apportées le jour du lâcher par l'animateur de Planète Sciences qui suit le projet. L'ordinateur peut être prêté par Planète Sciences si l'établissement scolaire ou le club n'en possède pas. Le logiciel de décodage KICAPT est fourni.<sup>9</sup>



## 5. Réalisation des capteurs<sup>10</sup>

Pour s'adapter à l'émetteur KIWI, les capteurs doivent transcrire la grandeur physique à mesurer en une tension variable entre 0 et 5 V. Pour des raisons de précision décrites plus en détails au paragraphe 6, il vaut mieux réaliser des capteurs exploitant toute la gamme de tension.

### 5.1 Exemples de capteurs de mise en œuvre simple

Dans cette série de capteurs, la simplicité de réalisation est recherchée même si elle implique quelques entorses à la précision ou à la sensibilité. Ces capteurs ne nécessitent pas d'interface et sont directement connectés aux entrées de l'émetteur KIWI.

#### 5.1.1 Capteurs d'état

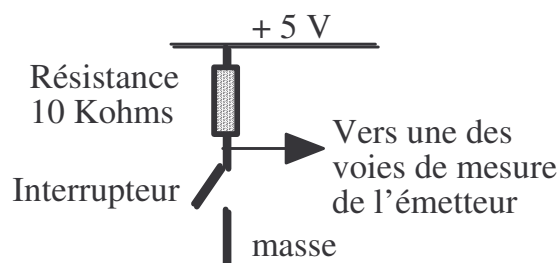
Certaines mesures consistent simplement à connaître l'état d'un système

- est-il à gauche ou à droite ?
- est ce que l'appareil photo vise le haut ou le bas ?
- est ce que le parachute est ouvert ou fermé ?
- etc.



La réponse est binaire et peut donc le plus souvent être transcrite par un interrupteur qui est soit ouvert, soit fermé.

Le schéma de base pour transmettre un tel ordre sur une voie du KIWI est le suivant. On remarque que suivant l'état de l'interrupteur, la tension présente sur le KIWI sera de 0 V ou de 5 V ce qui sera facile à différencier une fois transmise au sol.

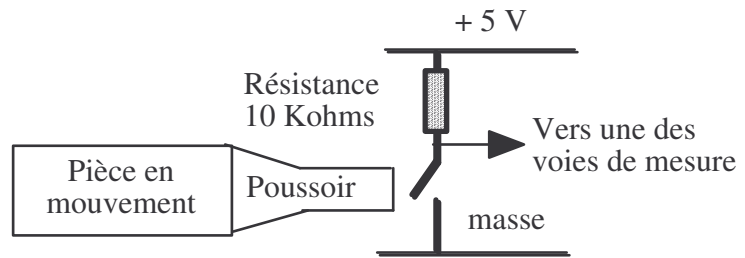


L'interrupteur est réalisé de maintes manières en fonction de ce que l'on souhaite analyser :

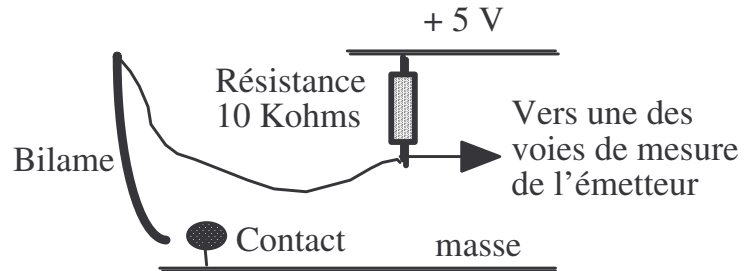
<sup>9</sup> Le logiciel Kicapt est téléchargeable sur le site web de Planète Sciences.

<sup>10</sup> La note technique « Que peut on faire avec un ballon » propose de nombreux autres exemples de capteurs pouvant être connectés à l'émetteur KIWI.

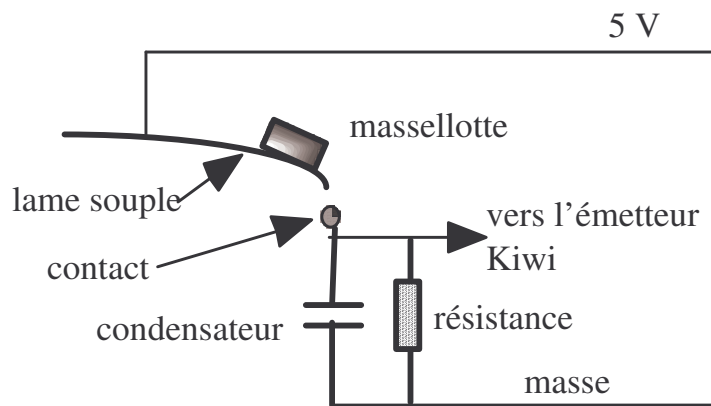
Un interrupteur miniature permet ainsi de détecter la fin de course d'une pièce en mouvement.



Un bilame établissant un contact avec un plot permet de détecter un seuil de température.



Une masselotte fixée à une lame souple<sup>11</sup> touche un contact quand un mouvement brusque secoue la nacelle. Ce mouvement peut être l'ouverture du parachute.



Le condensateur et la résistance<sup>12</sup> en parallèle stockent l'information du choc pendant le temps nécessaire pour que l'émetteur la transmette (2 secondes).

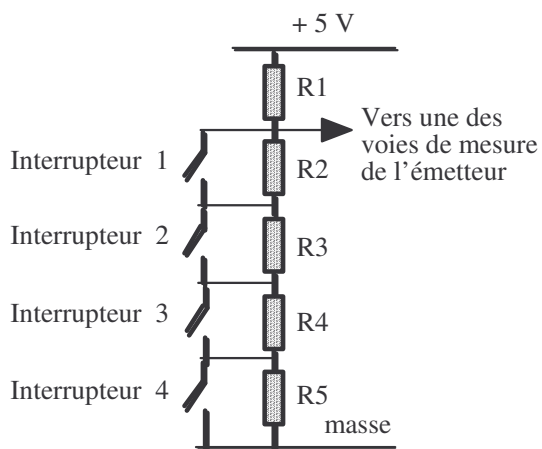
### 5.1.2 Capteurs multi-états

Comme l'émetteur KIWI possède 8 voies de mesure, le procédé précédent surveille au maximum 8 états. Néanmoins, il est possible de transmettre plusieurs états différents sur une même voie.

On généralise le principe du paragraphe précédent en utilisant plusieurs interrupteurs en série.

Le schéma de base pour quatre interrupteurs est alors le suivant :

Si les résistances sont de même valeur<sup>13</sup> on différencie les états comme indiqué dans la table suivante



<sup>11</sup> Fragment de lame de scie à métaux usagée

<sup>12</sup> Condensateur de 100 µF et résistance de 10 Kohms.

<sup>13</sup> On choisira la valeur des résistances de façon à ce que la somme des résistances soit de 10 kohms environ.

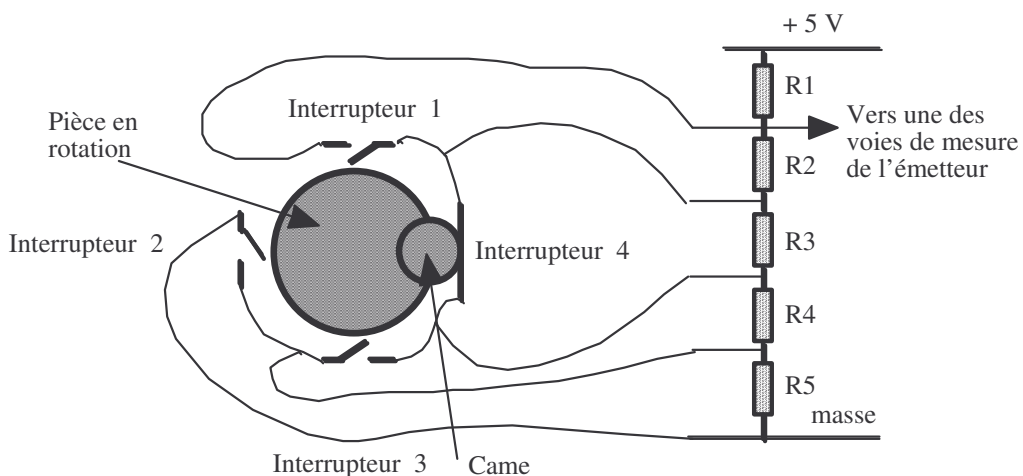
Description des états	Tension transmise au KIWI
tous les interrupteurs fermés	$5\text{ V} * 0 = 0\text{ V}$
un interrupteur ouvert	$5\text{ V} * 1/2 = 2,5\text{ V}$
deux interrupteurs ouverts	$5\text{ V} * 2/3 = 3,3\text{ V}$
trois interrupteurs ouverts	$5\text{ V} * 3/4 = 3,5\text{ V}$
tous les interrupteurs ouverts	$5\text{ V} * 4/5 = 4\text{ V}$

Si l'on veut connaître lequel des interrupteurs a basculé, il faut alors différencier les valeurs des résistances. Ainsi en utilisant une série de résistances telles que  $R1 = 7\text{ K}\Omega$ ,  $R2 = 1\text{ K}\Omega$ ,  $R3 = 2\text{ K}\Omega$ ,  $R4 = 4\text{ K}\Omega$ ,  $R5 = 8\text{ K}\Omega$ , on calcule une table qui, à partir de la tension transmise, permet de retrouver l'état des interrupteurs individuellement et de s'initier, à l'occasion, à l'algèbre booléenne.

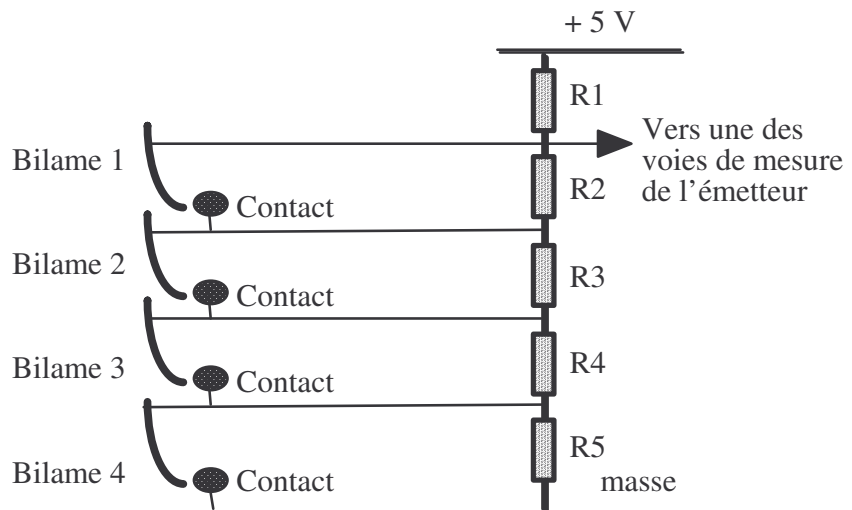
Interrupteurs				Tension transmise au KIWI
I4	I3	I2	I1	
fermé	fermé	fermé	fermé	$5\text{ V} * 0 = 0\text{ V}$
fermé	fermé	fermé	ouvert	$5\text{ V} * 1/8 = 0,625\text{ V}$
fermé	fermé	ouvert	fermé	$5\text{ V} * 2/9 = 1,11\text{ V}$
fermé	fermé	ouvert	ouvert	$5\text{ V} * 3/10 = 1,5\text{ V}$
fermé	ouvert	fermé	fermé	$5\text{ V} * 4/11 = 1,8\text{ V}$
fermé	ouvert	fermé	ouvert	$5\text{ V} * 5/12 = 2,1\text{ V}$
fermé	ouvert	ouvert	fermé	$5\text{ V} * 6/13 = 2,3\text{ V}$
fermé	ouvert	ouvert	ouvert	$5\text{ V} * 7/14 = 2,5\text{ V}$
ouvert	fermé	fermé	fermé	$5\text{ V} * 8/15 = 2,6\text{ V}$
ouvert	fermé	fermé	ouvert	$5\text{ V} * 9/16 = 2,8\text{ V}$
ouvert	fermé	ouvert	fermé	$5\text{ V} * 10/17 = 2,94\text{ V}$
ouvert	fermé	ouvert	ouvert	$5\text{ V} * 11/18 = 3\text{ V}$
ouvert	ouvert	fermé	fermé	$5\text{ V} * 12/19 = 3,15\text{ V}$
ouvert	ouvert	fermé	ouvert	$5\text{ V} * 13/20 = 3,25\text{ V}$
ouvert	ouvert	ouvert	fermé	$5\text{ V} * 14/21 = 3,33\text{ V}$
ouvert	ouvert	ouvert	ouvert	$5\text{ V} * 15/22 = 3,4\text{ V}$

Voici quelques exemples d'application de ce procédé :

Plusieurs interrupteurs miniatures permettent de détecter la position d'une pièce en rotation



Plusieurs bilames qui se déclenchent pour des seuils de température différents permettent de surveiller cette dernière.

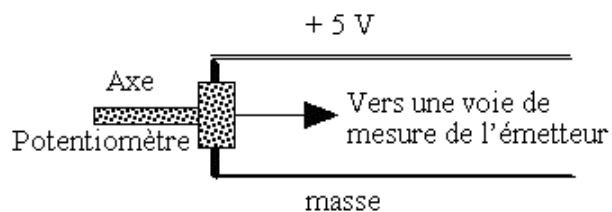


### 5.1.3 Capteurs à base de potentiomètres

Le potentiomètre est une résistance variable par action mécanique. Ce composant est très répandu en électronique et on le trouve dans toutes les boutiques de composants ou bien en démontant de vieux équipements électroniques. Il existe des modèles rotatifs et des modèles linéaires.

Le schéma de base est le suivant :

La tension transmise à l'émetteur dépend de la position angulaire de l'axe de rotation.

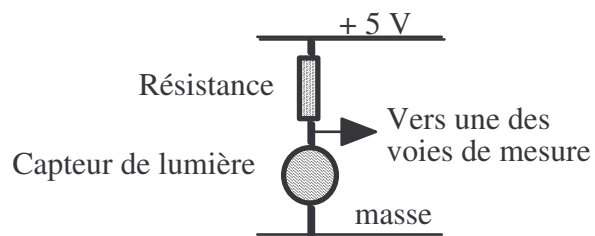


Avec un potentiomètre rotatif, on mesure la position angulaire d'une pièce en rotation tandis qu'avec un potentiomètre linéaire, on mesure un déplacement. En possédant ces deux fonctions, on réalise une foule de capteurs dont le nombre n'est limité que par l'imagination !

Choisir des potentiomètres linéaires dont la résistance est dans la gamme 4,7 Kohm – 47 Kohms <sup>14</sup>.

### 5.1.4 Capteurs à base de photorésistances

Une photorésistance est un composant électronique qui se comporte comme une résistance mais sa valeur décroît quand l'éclairement augmente. Le schéma de base est le suivant <sup>15</sup>.



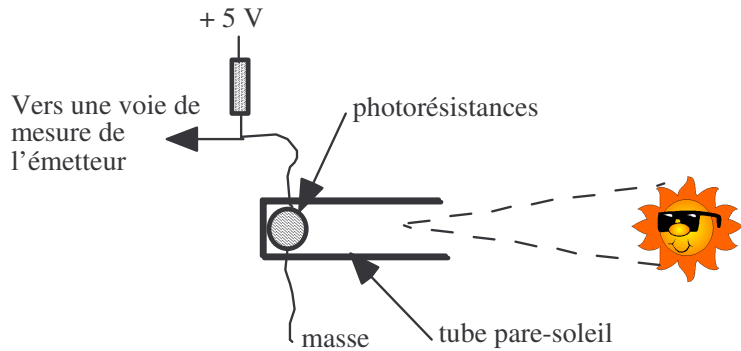
Comme les caractéristiques d'une photorésistance varient d'un modèle à l'autre et des conditions d'éclairement, il est impossible de conseiller la valeur définitive de la résistance associée. Seuls des essais permettront de la déterminer. Pour un premier essai, on choisira

<sup>14</sup> En dessous de 4,7 Kohms, la consommation devient trop élevée, au dessus 47 Kohms, l'impédance d'entrée du Kiwi ne peut plus être négligée.

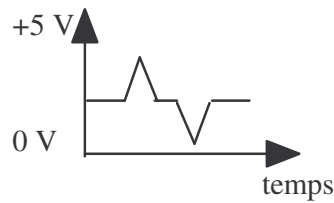
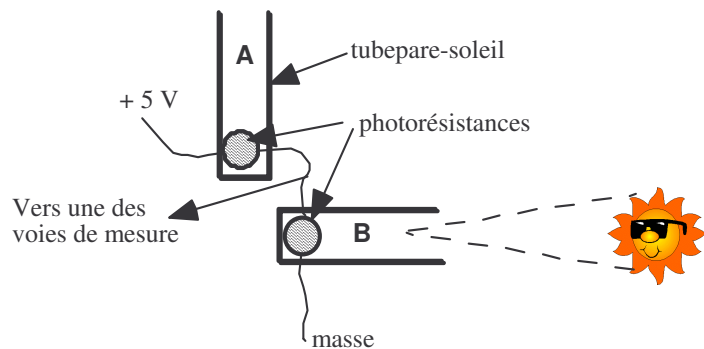
<sup>15</sup> Photorésistance Silonex NORP- 12, vendu par RadioSpare, 2 E pièce environ.

une résistance égale à la moitié de la photorésistance dans l'obscurité. A partir de ce schéma de base, de nombreux modèles de capteurs peuvent en être dérivés.

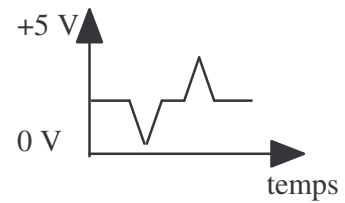
Une photorésistance placée au fond d'un tube permet de détecter la direction du soleil et d'en déduire l'orientation de la nacelle. Le tube joue le rôle de pare-soleil



En doublant le système et en visant deux directions à angle droit, dans un plan horizontal, on relève le sens de rotation. En effet, si le tube A est éclairé, la photorésistance A va avoir une valeur faible et la tension produite sera proche de 5 V. Par contre si le tube B est éclairé, ce sera au tour de la photorésistance B d'avoir une valeur faible et la tension transmise au KIWI sera proche de 0 V.



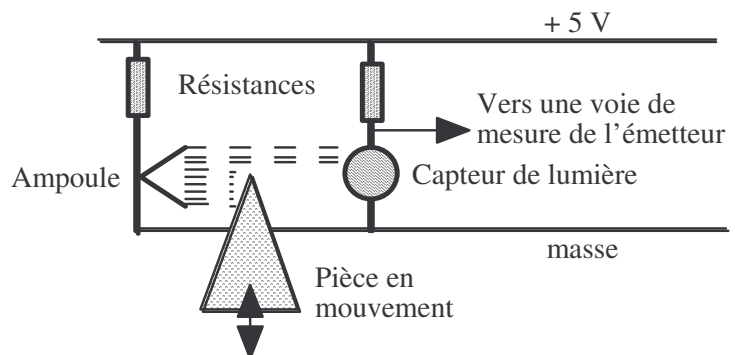
Rotation de A vers B



Rotation de B vers A

Les courbes obtenues au sol permettent de connaître le sens de rotation <sup>16</sup>.

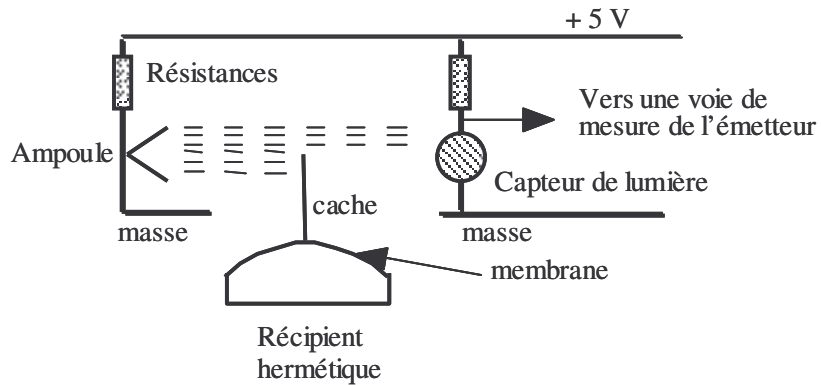
Un faisceau lumineux émis par une ampoule ou une LED et masqué partiellement par une pièce en mouvement, permet de connaître la position de cette dernière sans contact.



<sup>16</sup> A condition que la nacelle ne tourne pas trop vite car le système Kiwi transmet une mesure seulement toutes les deux secondes.



Ainsi en utilisant la déformation d'une membrane sous l'action de la pression atmosphérique, on déplace un cache pour moduler un pinceau lumineux et réaliser ainsi un capteur de pression et en déduire l'altitude.



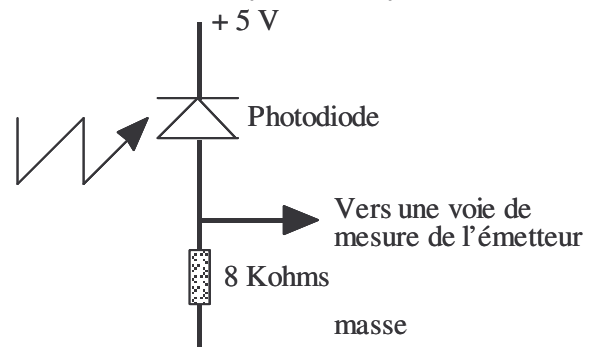
Il vaut mieux disposer d'une cloche à vide et faire quelques essais pour entreprendre ce capteur.

### 5.1.5 Capteurs à base de photodiodes

Une photodiode est un composant électronique qui fournit un courant proportionnel à la quantité de lumière qu'il reçoit. La grandeur qui la caractérise s'appelle la sensibilité et s'exprime donc en ampère par watt (A/W). Il en existe de nombreux modèles sensibles dans différentes parties du spectre optique en fonction des matériaux qui les composent.

Le schéma de base est le suivant :

L'avantage sur les photorésistances est la possibilité de réaliser des capteurs d'éclairage linéaires et faciles à étalonner puisque la sensibilité est donnée par le fabricant<sup>17</sup>.



## 6. Etalonnage

Pour chacune des 8 voies de l'émetteur, la valeur de la tension fournie en entrée est fidèlement transmise à l'ordinateur au sol. Durant le vol, les valeurs affichées à l'écran seront donc celles des tensions fournies au KIWI, variant en fonction du paramètre physique étudié.

Si l'émetteur KIWI est en quelque sorte pré-étalonné, il faut en revanche étalonner les capteurs pour pouvoir interpréter les résultats. On doit connaître la relation entre le paramètre physique observé et la tension délivrée par le capteur. On constitue avant le vol une formule, une table ou un graphique de correspondance.

**Dès l'étape de conception, on doit réfléchir sur la manière d'étalonner un capteur.**

L'étalonnage peut être réalisé :

- Soit expérimentalement. Ainsi, pour un capteur de température, on relève la tension qu'il délivre à la température ambiante, dans un réfrigérateur puis un congélateur. On prend

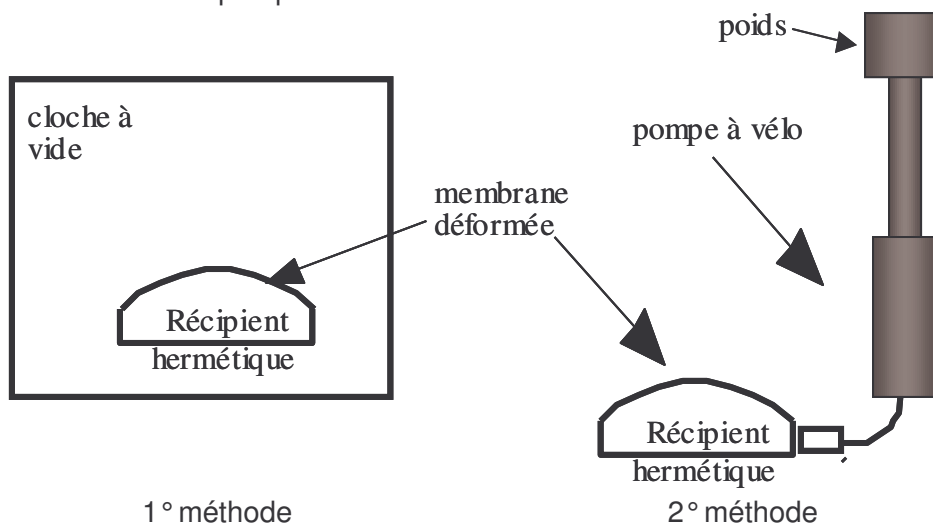
<sup>17</sup> La résistance de 8 Kohms est donnée à titre d'exemple dans le cas d'une photodiode BPW21.

soin à chaque fois de bien mesurer la température à l'aide d'un thermomètre de référence et on constitue la table.

- Soit par calcul à partir des caractéristiques des éléments constitutifs du capteur. Ainsi la loi d'étalonnage d'un même capteur de température du type CTN peut être calculée à partir des caractéristiques des composants fournies par le fabricant et de la loi de ce type

$$\text{de capteur } R = R_0 \cdot \exp\left(\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)^{18}$$

Quand, pour étalonner un capteur de pression basé sur la déformation d'une membrane<sup>19</sup>, on ne dispose pas de pompe à vide, le problème est contournable en plaçant le récipient en surpression à l'aide d'une pompe à vélo.



Connaissant la géométrie de la pompe, une série de poids placés dessus permet de produire une pression calibrée.

Exemple : diamètre intérieur de la pompe :  $D = 2 \text{ cm}$

$$\text{surface intérieure : } S = \frac{\pi D^2}{4} = 3,14 \text{ cm}^2$$

poids installés sur la pompe :  $M = 1 \text{ kg}$

$$\text{pression créée dans la pompe } = \frac{M}{S} = 0,318 \text{ g/cm}^2 - 0,32 \text{ bars}$$

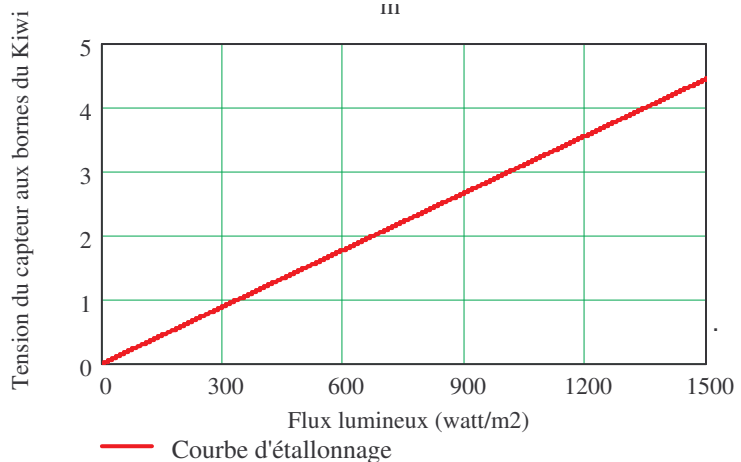
On étalonne un photocapteur avec un luxmètre (méthode expérimentale) mais avec les photodiodes un calcul permet d'avoir une idée assez précise de l'intensité lumineuse que l'on reçoit puisque le courant qu'elles produisent est directement proportionnel à la lumière reçue. Une photodiode est caractérisée par sa sensibilité  $S$ , par sa surface de captation<sup>20</sup> et par les longueurs d'onde (couleur) auxquelles elle est sensible.

<sup>18</sup>  $\beta$  est fourni par le fabricant de la CTN. A défaut on prend  $\beta = 3400$ .  $T_0$  vaut le plus souvent 295 K

<sup>19</sup> et plus généralement tous les capteurs de pression différentielle.

<sup>20</sup> Ces paramètres sont généralement fournis par le fabricant.

Prenons un flux lumineux de 1350 Watts par mètre carré<sup>21</sup>, équivalent à 1.35 mW par millimètre carré. Une photodiode de sensibilité 0,15 ampère par watt<sup>22</sup> et de 7.5 millimètre carré de surface, câblée suivant le schéma de base du paragraphe 5.1.5, fournira donc 0,5 milliampère<sup>23</sup>. Ce courant en traversant la résistance de 8 kohms produira une tension de 4 V. On en déduit la courbe d'étalonnage suivante :



## 7. Précision

Les tensions présentes sur l'entrée des voies de l'émetteur sont codées sur une échelle de 256 niveaux (8 bits) compatibles avec le système de transmission.

niveau 0 correspond à 0 Volt à l'entrée de la voie.  
niveau 255 correspond à 5 Volt à l'entrée de la voie.

Pour trouver toutes les autres valeurs intermédiaires, on applique la règle de trois :  
niveau X = X / 5 \* 255 Volt.

Une table de correspondance est donnée à la fin du document.

Comme on ne dispose que de 256 valeurs possibles pour coder une tension entre 0 et 5 Volt, la résolution du codeur est de  $5/255$ <sup>24</sup> soit 20 mV environ. Cela signifie qu'une variation du signal inférieure à 20 mV ne sera pas mesurable.

La résolution des données transmises est limitée par le nombre fini de niveaux.

Ainsi un thermomètre délivrant une tension de 1 mV par °C n'est pas adapté car il ne détecte que des variations de températures par pas de 20 °C. Par contre, si on amplifie le signal par 100 pour obtenir 100 mV par °C alors la précision sera ramenée à 0,2 °C.

Autre exemple, l'étalonnage à l'aide d'une cloche à vide a montré la correspondance suivante :

- ouverte, la pression est de 1020 mbars et la tension fournie par le capteur est de 4,5 V, soit le niveau 230,
- après pompage la pression est de 50 mbars et la tension fournie par le capteur est de 1 V, soit le niveau 51.

<sup>21</sup> 1350 watt/m<sup>2</sup> est le flux d'énergie reçue par la Terre hors de l'atmosphère. A culmination, une nacelle de ballon reçoit ce flux. 1000 watts/m<sup>2</sup> correspond à peu près à l'énergie venue du Soleil et reçue par la Terre, sous nos latitudes, au soleil par beau temps et par une surface perpendiculaire aux rayons lumineux aux heures chaudes de la journée.

<sup>22</sup> 0,5 ampère par watt est équivalent à 0,5 milliampère par milliwatt.

<sup>23</sup> A titre d'exemple car il existe de nombreux modèles, photodiode BPW 21 de Siemens revendue par RadioSpare, environ 8 E. 7 mm<sup>2</sup>, sensible de 400 nm à 1100 nm, sensibilité de 0,62 A/W à 850 nm. Sensibilité de 0.15 A/W en moyenne sur le spectre visible.

<sup>24</sup> De 0 à 255, cela fait bien 256 valeurs et 255 intervals.

On constate qu'à une variation de 970 mbars (1020 - 51) correspond 179 niveaux (230 - 51). Chaque niveau est donc équivalent à une variation de pression de 5,42 mbars. (970 / 179). On en déduit la loi d'étalonnage :

$$\text{pression (mbars)} = (\text{niveau} - 51) * 5,42 + 50$$

et l'on remarque qu'il sera impossible d'apprécier des variations de pression plus fines que 5,42 mbars. A partir d'une table d'atmosphère standard <sup>25</sup>, cette incertitude sur la pression se traduit en une incertitude sur l'altitude. Un écart de 5,4 mbars correspond à 45 m quand la nacelle est près du sol et à 700 m quand la nacelle est vers 20 km. En effet la variation d'altitude n'est elle-même pas directement proportionnelle à la pression.

Pour améliorer la résolution, il est donc préférable de mettre au point, à bord de la nacelle, des capteurs qui produisent la plus grande variation possible entre 0 et 5 V.

## 8. Savoir-faire

L'électronique est pour certains une science exacte et pour d'autres le royaume de l'empirisme. Les auteurs pensent appartenir au premier groupe <sup>26</sup>. Ils reconnaissent néanmoins que des circuits précisément calculés refusent parfois de fonctionner et que pour changer cette situation il faut utiliser des tours de main difficiles à mettre en équation.



Alors voici en vrac, quelques conseils qui ne sont pas toujours écrits dans les livres d'électronique et qui pourtant, comptent beaucoup dans le succès.

- Lisez les documentations fournies par les fabricants de composants et faites prendre cette habitude aux jeunes. Une occasion souvent pour faire un peu d'anglais.
- Réfléchissez avec les jeunes sur la manière d'agencer l'électronique dans la nacelle. S'il faut décâbler les circuits pour accéder à la pellicule de l'appareil photo, votre réputation va en prendre un coup le jour du lâcher ! L'électronique s'accommode mal du transport en vrac.
- Evitez de câbler des fils d'entrée et de sortie directement sur les cartes électroniques. Utilisez systématiquement des connecteurs <sup>27</sup>. Ils permettent un démontage rapide des cartes sans blesser les câbles.
- Câblez les liens entre les circuits avec des fils multibrins qui résistent mieux au pliage.
- Utilisez des fils de couleur et repérez les couleurs sur votre schéma. Traditionnellement les électroniciens pratiquent la règle suivante : noir pour la masse, rouge pour le + de la pile, et d'autres couleurs pour les signaux. C'est tellement plus facile pour dépanner un circuit ! Attachez proprement les fils entre eux. Evitez de faire voler des toiles d'araignées.
- Découplez la pile, c'est-à-dire câblez deux condensateurs en parallèle sur chaque série de piles que vous installez dans la nacelle. L'un est un condensateur de 10 à 100 µF de

<sup>25</sup> Disponible sur le serveur Internet de Planète Sciences.

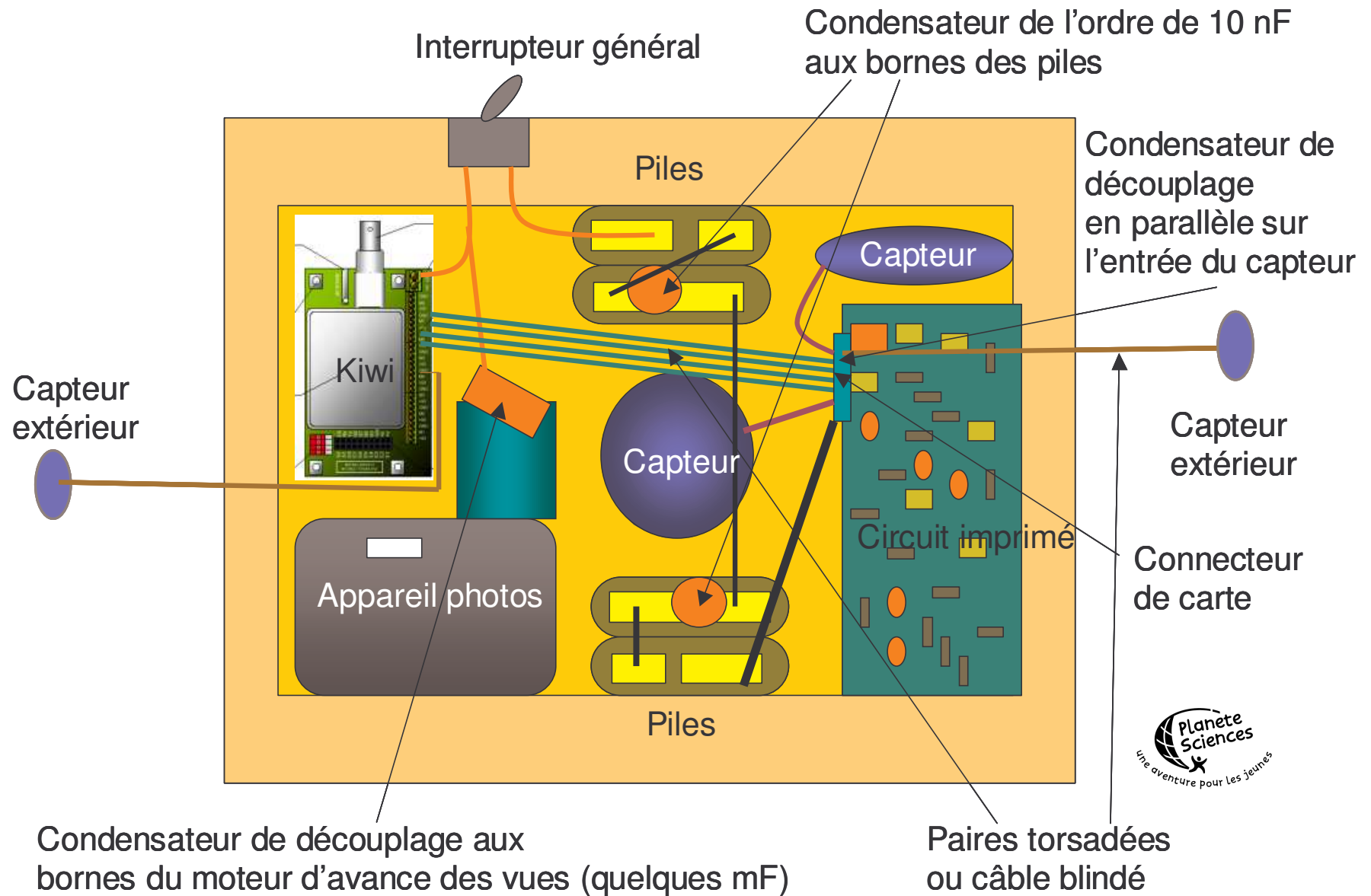
<sup>26</sup> Quoique certains jours.

<sup>27</sup> Connecteurs mâles ou femelles à souder sur carte série DIN ou Sub D ou équivalent à 9, 15, 25, 37 ou 50 points de connexion et connecteurs de câbles compatibles. Dans toutes les boutiques et sur les catalogues spécialisées, compter 5 E par connecteurs.

type polarisé, l'autre est un condensateur céramique de faible valeur de 0,1 à 10 nF. Ils ont pour rôle de supprimer d'éventuels signaux parasites.

- Découplez vos cartes électroniques. Si vous installez des composants électroniques sur un circuit imprimé ou équivalent, installez alors un condensateur céramique ou équivalent de faible valeur de 0,1 à 10 nF en parallèle sur les fils d'alimentation venant de la pile.
- Découplez sur vos circuits les signaux allant vers le KIWI. Pour cela, placez un condensateur de 0,1 à 10 nF sur les fils qui vont vers le KIWI.
- Si vous employez des moteurs électriques, placez un condensateur non polarisé de quelques  $\mu\text{F}$  à ses bornes.
- Si possible, essayez de séparer le KIWI du reste de votre électronique dans la nacelle (de l'ordre de 20 cm) . Un émetteur émet des rayonnements (il est fait pour cela) qui peuvent perturber votre électronique.
- Les mesures doivent être fournies sur chaque voie sous forme d'une tension variable entre 0 et 5 V sur deux fils torsadés entre eux, l'un relié à la masse, l'autre directement sur l'entrée de la voie choisie. Autre manière de le dire : bien qu'ils soient au même potentiel, il est préférable de câbler autant de fils de masse que de voies utilisées et de torsader le fil de masse avec le fil de mesure de la voie correspondante (paire torsadée).
- Si vous placez des capteurs électroniques à l'extérieur de la nacelle, reliés à des circuits placés à l'intérieur (donc à une certaine distance), connectez les avec de la paire torsadée ou mieux encore avec du câble blindé.
- Si vous modifiez un câblage, mettez à jour les schémas simultanément.
- Placez un interrupteur général accessible de l'extérieur de la nacelle sans avoir à la démonter et indiquez en clair la position de mise sous tension.

Voici un exemple de montage qui emploie ces techniques.





## 9. Comment exploiter les mesures obtenues ?

### 9.1 Pendant le vol

Les mesures s'affichent en direct sous forme de graphiques et de valeurs numériques sur l'écran de l'ordinateur ainsi que l'heure et la date de saisie. Elles sont simultanément stockées dans un fichier qui peut être exploité à l'aide de logiciels tableurs les plus courant comme EXCEL.



### 9.2 Après le vol

Après le vol et fermeture du logiciel KICAPT, un fichier DATA.txt<sup>28</sup> sera disponible dans le répertoire KIWI de l'ordinateur. Le plus pratique est de lancer EXCEL à partir de Windows.

Une première étape consiste à transformer le fichier txt en un fichier xls. EXCEL propose des fonctions qui trient les données pour les ranger par colonnes dans le tableur.

Une fois le tri effectué, les colonnes du fichier sont organisées ainsi :

N° de colonne	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Contenu	date	heure	voie 1	voie 2	voie 3	voie 4	voie 5	voie 6	voie 7	voie 8	1/3 de la tension alimentant le KIWI.

Le logiciel tableur permet de revivre le vol à partir du fichier DATA.xls, d'imprimer les mesures. On peut également créer des graphiques, les imprimer, remettre à l'échelle les mesures à partir des tables d'étalonnage, etc.<sup>29</sup>

Les données sont codées sur une échelle de 256 niveaux comme déjà décrit.

0 correspond à 0 V à l'entrée de la voie.  
255 correspond à 5 V à l'entrée de la voie.

Ou bien directement en vol suivant le choix fait par l'expérimentateur lors du vol.

Si X est la valeur de la voie n affichée dans le fichier, alors la tension lue par l'émetteur Kiwi, à l'heure correspondante, était de  $X/255 * 5$  Volt.

<sup>28</sup> Le nom exact sera celui que l'utilisateur aura choisi au moment de l'enregistrement.

<sup>29</sup> La note technique Planètes Sciences "Station sol KIWI" contient un chapitre d'initiation à EXCEL.

Ce tableau est un extrait du fichier brut produit par le logiciel Kicapt et affiché par le logiciel EXCEL. Un fichier complet peut contenir jusqu'à 6000 lignes, équivalentes à une série de mesures toutes les deux secondes pendant 3 heures de vol.

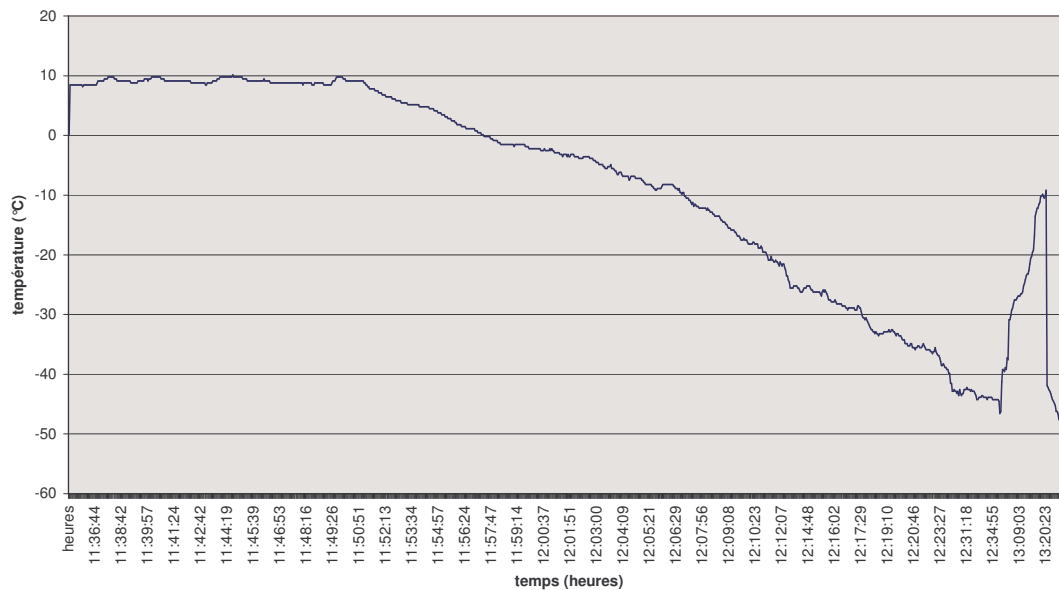
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Date	Heure	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	Piles
11/03/2002	13:17:28	156	133	109	74	76	167	253	155
11/03/2002	13:17:32	156	133	109	149	77	167	253	157
11/03/2002	13:17:50	155	133	107	95	75	168	253	156
11/03/2002	13:18:08	155	132	106	171	77	169	253	156
11/03/2002	13:18:35	155	132	103	157	77	173	253	156
11/03/2002	13:18:40	155	132	103	181	77	173	253	155
11/03/2002	13:18:50	155	132	102	192	77	173	253	155
11/03/2002	13:19:00	155	131	103	100	76	173	253	153
11/03/2002	13:19:28	155	131	104	174	75	173	253	155

Les deux premières colonnes du tableau précédent après traitement des données sont présentées ici.

A	B	C	CC	CCC	D	DD	DDD
Date	Heure	V1	V1 en volt	V1 en °C grâce à la loi d'étalonnage	V2	V2 en volt	V2 en °C grâce à la loi d'étalonnage
11/03/2002	13:17:28	156	3,06	-8,08	133	2,61	-10,96
11/03/2002	13:17:32	156	3,06	-8,08	133	2,61	-10,96
11/03/2002	13:17:50	155	3,04	-7,76	133	2,61	-10,96
11/03/2002	13:18:08	155	3,04	-7,76	132	2,59	-10,64
11/03/2002	13:18:35	155	3,04	-7,76	132	2,59	-10,64
11/03/2002	13:18:40	155	3,04	-7,76	132	2,59	-10,64
11/03/2002	13:18:50	155	3,04	-7,76	132	2,59	-10,64
11/03/2002	13:19:00	155	3,04	-7,76	131	2,57	-10,32
11/03/2002	13:19:28	155	3,04	-7,76	131	2,57	-10,32

Dans l'exemple présenté, les voies V1 et V2 correspondent à des mesures de températures extérieures sur deux faces différentes de la nacelle. Les colonnes en rouge (CC et DD) ont été obtenues grâce à la loi de conversion  $XX=X/255*5$  Volt à partir des données des colonnes vertes (C et D).

Les colonnes en bleu (CCC et DDD) ont été obtenues à partir des colonnes rouges (CC et DD) grâce aux lois d'étalonnage  $CCC=(CC-2,56)/(-0,061)$  et  $DDD=(DD-1,93)/(-0,0612)$  qui avaient été établies expérimentalement avant le vol.



Grâce aux fonctions graphiques du tableur, il est finalement possible de tracer, les courbes complètes du vol, ici la voie V1.

Pour plus de détails, se reporter au document Planète Sciences « Comment exploiter sur Excel les données reçues par Kicapt ».

## 10. Panne d'un émetteur KIWI

Un émetteur Kiwi est un circuit robuste si l'on prend des précautions d'utilisation et de stockage, équivalentes à celles que l'on prend pour manipuler un CD audio. Néanmoins il arrive parfois qu'un émetteur tombe en panne. Bien sûr avant de déclarer un émetteur en panne, l'utilisateur aura eu soin de vérifier que les connexions des piles et des capteurs sont sans erreur, les piles en bon état, etc.

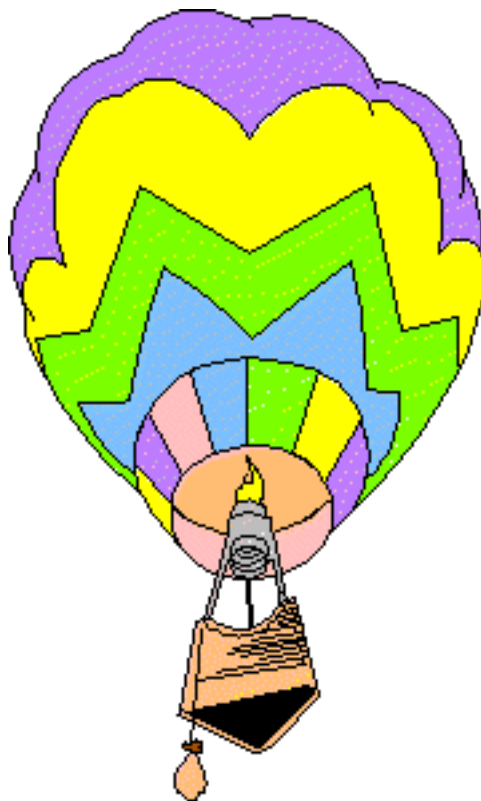
Un émetteur KIWI ne doit pas être dépanné par l'utilisateur. Quand on soupçonne qu'un émetteur ne fonctionne pas, on le signale à Planète Sciences qui effectuera le plus souvent un échange.

Le CNES met à disposition dans les mallettes qui transportent les stations sol un outil de diagnostique qui permet de vérifier les émetteurs. L'animateur présent le jour du lâcher pourra donc vérifier si l'émetteur est effectivement en panne. Un mode d'emploi est disponible.

Les émetteurs en panne doivent être retournés à Planète Sciences.

## 11. Autres publications consacrées à l'activité Ballon <sup>30</sup>

- Les ballons expérimentaux : Mise en œuvre & Cahier des charges,
- Présentation de l'opération "Un ballon pour l'école".
- Le jour du lâcher,
- La gestion d'un projet ballon,
- Que peut-on faire avec un ballon ?
- Mécanique du vol,
- Caractéristiques de l'atmosphère,
- Comment exploiter sur Excel les données reçue par Kicapt,
- Historique des ballons,
- Hélium, un peu de culture,
- Prévion de la trajectoire d'un ballon,
- Démodulateur Kiwi. Notice de fabrication, réglages, tests et utilisation



---

<sup>30</sup> La plupart des publications de Planète Sciences sont disponibles sur son serveur Internet : [www.planete-sciences.org/espace](http://www.planete-sciences.org/espace)