



Département Education-Jeunesse 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/

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/

LE SYSTEME KIWI MILLENIUM

*Télémesure ballon à
l'usage des clubs*

Version 2 (Janvier 2003)

Note technique Planète Sciences

SOMMAIRE

1.	INTRODUCTION.....	3
2.	QU'EST CE QU'UN SYSTEME DE TELEMESURE ?	3
2.1	SURVEILLER L'EXPERIENCE	3
2.2	TRANSMETTRE L'INFORMATION	4
3.	LA CHAINE DE TELEMESURE A BORD	5
3.1	LES CAPTEURS	5
3.2	L'INTERFACE D'ADAPTATION	6
3.3	L'EMETTEUR KIWI	6
3.3.1	<i>Plan et câblage de l'émetteur KIWI.....</i>	<i>6</i>
3.3.2	<i>Caractéristiques générales de l'émetteur KIWI.....</i>	<i>8</i>
3.3.3	<i>Choix du Mode de fonctionnement</i>	<i>8</i>
3.3.4	<i>Mode « modulation interne ».....</i>	<i>9</i>
3.3.5	<i>Mode « modulation externe »</i>	<i>10</i>
3.3.6	<i>Mode « programmation »</i>	<i>11</i>
4.	PLUS DE DETAILS SUR LE SYSTEME KIWI.....	11
4.1	PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT	11
4.2	DESCRIPTION DE LA TRAME.....	12
4.3	LA STATION SOL.....	13
4.3.1	<i>Mode modulation interne</i>	<i>13</i>
4.3.2	<i>Mode modulation externe.....</i>	<i>14</i>
5.	COMMENT DISPOSER DU SYSTEME KIWI ?	14
6.	ETALONNAGE.....	15
7.	PRECISION.....	16
8.	QUELQUES DEFAUTS LIES A LA FABRICATION DES CAPTEURS.....	17
8.1	LA BANDE PASSANTE.....	17
8.2	LES NON-LINEARITES	17
8.3	L'HYSTERESIS.....	19
8.4	LA SENSIBILITE A DES PARAMETRES EXTERIEURS	19
8.4.1	<i>L'isolation.....</i>	<i>20</i>
8.4.2	<i>La compensation directe.....</i>	<i>20</i>
8.4.3	<i>La compensation à posteriori</i>	<i>20</i>
9.	SAVOIR-FAIRE.....	20
10.	COMMENT EXPLOITER LES MESURES OBTENUES ?.....	23
10.1	PENDANT LE VOL	23
10.2	APRES LE VOL	23
10.3	TABLE DE CONVERSION.....	25
11.	PANNE D'UN EMETTEUR KIWI.....	29
12.	BIBLIOGRAPHIE.....	30

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

Planète Sciences est le nouveau nom de l'ANSTJ

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 de nombreux détails sur le fonctionnement du système KIWI. Une version simplifiée adaptée pour une utilisation en école ou par des clubs débutants est disponible sous le titre « Le système KIWI à l'usage des écoles »

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 charges¹".

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, une fusée expérimentale est un véhicule qui permet d'explorer une partie de l'atmosphère ; si vous aviez accompagné la nacelle, la fusée, 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 à un autre endroit où ils seront lus et exploités.

Il y a deux tâches distinctes à remplir : la prise de mesure 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, baleines 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 n'est pas interdit 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 se seront **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 simplifie 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.

¹ 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 qu'une série de satellites américains de surveillance, les "Big Bird", lancés au début de l'ère spatiale, étaient équipés de tubes qu'un système automatique éjectait vers la Terre après l'avoir rempli d'une photo. Un avion spécial l'attrapait en vol au-dessus de l'Alaska. La station MIR renvoyait parfois au sol des échantillons par un procédé similaire.

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, votre fusée 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, 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.

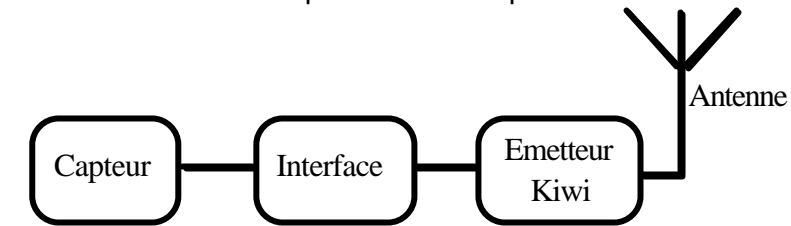
Parmi tous les procédés possibles de transmission et de codage, l'un d'eux a été retenu par le CNES et un matériel adapté à l'origine pour la télémétrie des nacelles de ballons de jeunes a été développé : **le système KIWI**. La version la plus aboutie, adaptée aussi aux télémétries des fusées expérimentales s'appelle **KIWI Millénium**.

Le système est constitué d'un émetteur KIWI et d'une antenne radio, placés à bord de la nacelle ou de la fusée 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 ou la fusée et le cadran au sol. Il mesure des tensions et transmet les valeurs au sol.

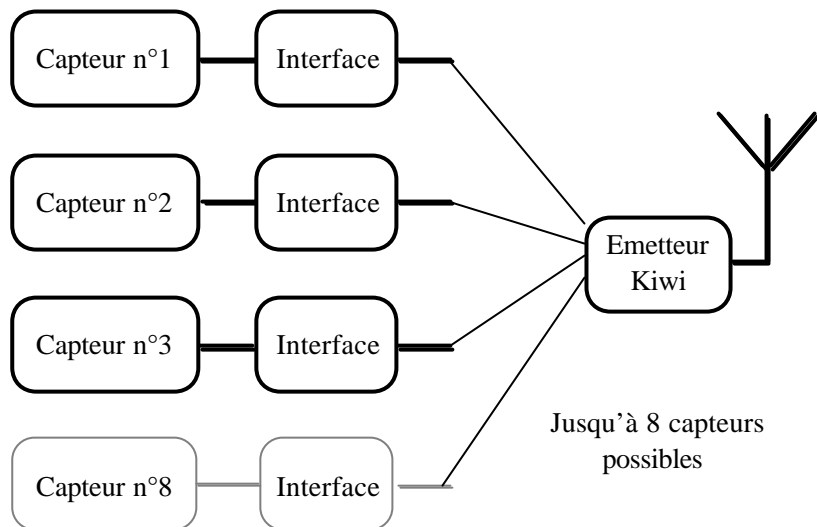
3. La chaîne de télémétrie à bord

La chaîne de télémétrie regroupe l'ensemble des éléments qui prélèvent l'information, la traitent, la transmettent et la restituent. Elle se décompose à bord 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**. 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 ton 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 variant 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

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 M3.

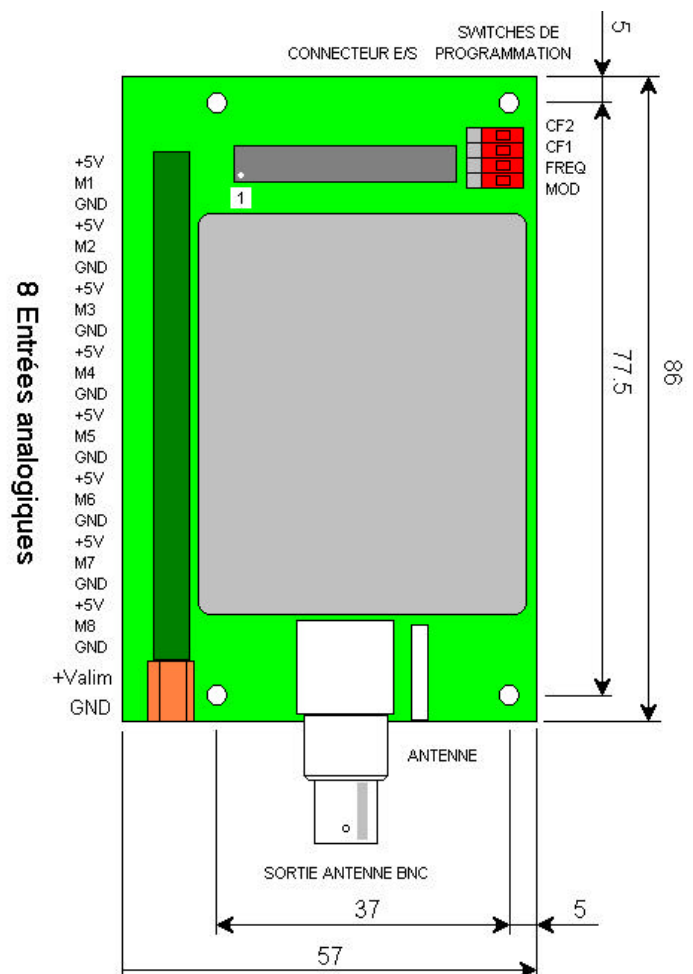
Les entrées électriques sont accessibles :

- Soit sur le bord du circuit par un bornier à vis au pas de 2.54 mm. L'utilisateur introduit alors directement les fils de liaison dans le bornier et serre les vis à l'aide d'un tournevis d'horloger.
- Soit via le connecteur HE14-20 points femelle placé dessus.

Le choix du connecteur dépend du mode de fonctionnement choisi comme décrit par la suite.

L'utilisateur a le choix entre deux modèles d'antennes :

- Soit une antenne déportée, reliée à l'émetteur par un câble coaxial, équipé d'un connecteur BNC male. Le BNC est alors connecté sur la « sortie antenne BNC » de l'émetteur. Cette solution est la plus souvent retenue à bord des fusées expérimentale.
- Soit une antenne fouet en fils de laiton d'environ 50 cm de long. Cette solution est la plus utilisée à bord des nacelles de ballons. Quand l'émetteur est équipé de cette antenne, le connecteur « sortie antenne BNC » ne doit pas être utilisé. Le fait de brancher 2 antennes ne fera pas émettre le KIWI Millenium plus loin, et risque au contraire d'être destructeur pour l'étage de sortie RF.



L'émetteur ne doit jamais être mis en marche sans antenne².

Le brin d'antenne est fourni avec l'émetteur et 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. L'antenne doit être installée verticalement (polarisation verticale) vers le haut ou le bas en la faisant passer à travers les parois de la nacelle.

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 du brin 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.



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



Le schéma de droite indique le brochage du connecteur HE 14-20 points femelles.

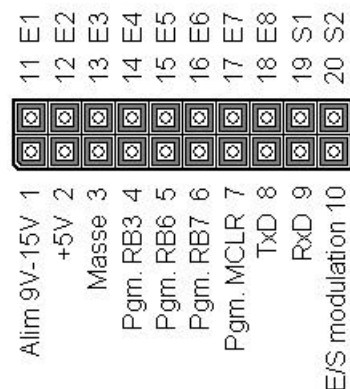
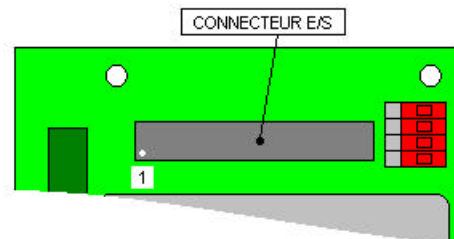
Broche 1 : Alimentation du Kiwi,
Broche 2 : Sortie régulée 5 V,
Broche 3 : Masse,

Broche 4 à 9 : Entrées / Sorties mode programmation,

Broche 10 : En mode modulation interne, sortie de la modulation. En mode modulation externe, entrée de la modulation,

Broche 11 à 18 : Entrées du microprocesseur,

Broche 19 et 20 : Sorties du microprocesseur.



² Risque de destruction.

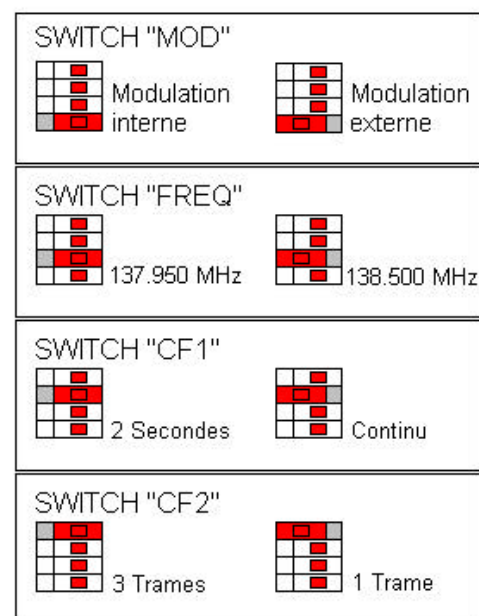
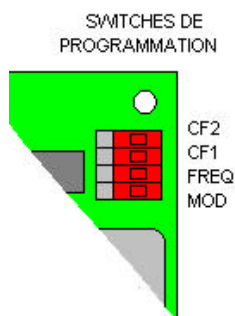
3.3.2 Caractéristiques générales de l'émetteur KIWI

- 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 doit être alimenté entre 9 V et 15 V³. La connexion des piles se fait grâce au bornier 2 points au pas 5.08 mm, souvent de couleur orange. Le sens de connexion (+ ou -) est indiqué sur le circuit et à défaut sur la figure. La consommation électrique de base est de 180 mA. Il fonctionne donc près de 5 heures avec trois piles plates alcalines de 4,5 V neuves en série⁴. (le vol d'une nacelle de ballon n'excède pas 3 heures). L'émetteur est protégé contre les inversions de polarité d'alimentation.
- Les sorties 5 V permettent de disposer d'une alimentation régulée. Le courant prélevé sur toutes les sorties ne doit pas dépasser 500 mA au total. 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.
- Toutes les connexions de masse sont reliées entre elles.
- L'émetteur KIWI fonctionne dans la gamme de température -40 °C + 50 °C. Néanmoins dans une nacelle de ballon il doit être placé à l'intérieur 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 piles⁵.
- La fréquence radio du KIWI est de 137,950 MHz. La puissance émise est de 24 dBm. La pureté harmonique de 50 dB.
- A l'aide du système KIWI, des liaisons de plus 300 km ont déjà été réalisées.

3.3.3 Choix du Mode de fonctionnement

L'émetteur Kiwi possède plusieurs modes de fonctionnement que l'utilisateur peut choisir grâce à un jeu de 4 commutateurs.

Le commutateur «MOD» permet de sélectionner la modulation de l'émetteur.



³ Entre 9 V et 16 V la puissance émise est constante.

⁴ Avec deux piles plates de 4.5 V en série soit 9 V, le KIWI fonctionne mais on risque qu'au cours du vol, les piles s'usent, la tension diminue en dessous de 9 volts et que la transmission s'arrête.

⁵ L'électricité produite par une pile est le résultat d'une réaction chimique qui dégage de la chaleur. En les emballant, on permet à cette chaleur de maintenir la température des piles.

- Dans le cas 'modulation interne', le codeur interne du KIWI Millenium module la porteuse avec les informations issues des 8 entrées du bornier à vis.
- Dans le cas 'modulation externe' l'information BF à transmettre doit être appliquée sur l'entrée (MOD), broche 10, du connecteur HE14 – 20 points.

Le commutateur «FREQ » permet de choisir la fréquence d'utilisation entre 137.950 MHz et 138.500 MHz. En usage normal, la fréquence à choisir est 137.950 MHz. On utilise l'autre fréquence dans des cas exceptionnels comme le vol simultané de deux ballons ou le lâcher d'un ballon lors d'une campagne de fusées expérimentales.

Le commutateur «CF1 » permet de choisir entre l'envoi de trames en continu ou toutes les 2 secondes.

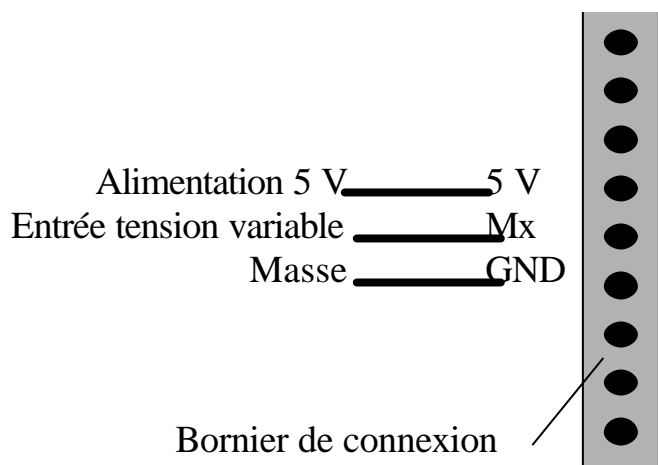
Le commutateur «CF2 » permet de choisir entre l'envoi d'une seule trame à la fois ou de 3 trames identiques à la suite.

La configuration des commutateurs pour une complète compatibilité avec l'ancien KIWI est celle visible sur la figure. Cette configuration est à retenir pour une utilisation du KIWI à l'école ⁶.

3.3.4 Mode « modulation interne »

Dans ce mode de fonctionnement, 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 sur une 9^e voie.

- Les mesures doivent être fournies sur le bornier à vis, 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).
- Pour une meilleure résolution de la mesure, les tensions à mesurer 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.
- La valeur de chaque tension est transmise au sol toutes les deux secondes.
- L'impédance des entrées de mesure est de 100 Kohms.
- 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 de la sortie régulée 5 V du Kiwi.
- Il n'est pas obligatoire d'utiliser les 8 voies de mesure.



⁶ Opération UBPE

- Les curieux pourront observer la modulation FSK produite par le micro-processeur car elle est disponible sur la broche 10 du connecteur HE 14.

3.3.5 Mode « modulation externe »

Dans ce mode de fonctionnement les 8 entrées de mesures et le codage interne sont inhibés. C'est à l'utilisateur de réaliser lui-même les circuits de codage soient analogiques soient numériques et le signal BF modulant doit être injecté dans l'émetteur sur la patte 10 du connecteur HE14. La masse est en patte 3 ou sur les masses du bornier à vis.

Les caractéristiques de cette entrée sont :

- Sensibilité de modulation 20 kHz pour 1 Volt RMS,
- Bande passante : de 500 Hz à 50 kHz,
- Impédance d'entrée : 200 kohms,
- Tension d'entrée AC maximale 5 volts crête/crête,
- Entrée capacitive. Une éventuelle composante continue du signal modulant n'affecte pas le Kiwi.

Pour obtenir une liaison radio de qualité optimale, il faut de plus respecter au mieux la formule suivante : $\frac{\Delta F}{F \text{ mod}} \approx 3.5$ avec

ΔF = Bande passante du récepteur au sol, $F \text{ mod}$ = Fréquence maximale du signal modulant

Les récepteurs mis à disposition par le CNES possèdent en mode FM les filtres suivants au choix de l'utilisateur. Un filtre étroit améliore le rapport signal sur bruit et permet de réaliser des liaisons de grandes distances (300 km) indispensable en télémesure ballon. En télémesure fusée où la distance émetteur récepteur est de l'ordre du km, on utilise plutôt les filtres larges ce qui favorise la bande passante.

6 KHz
15 KHz
30 KHz
110 KHz
220 KHz

La tension et la fréquence de modulation à fournir au Kiwi dépendent donc des caractéristiques de la liaison souhaitées.

Exemple 1 : On souhaite transmettre en ballon un signal Fmod. Pour favoriser la qualité de la liaison on décide que le jour du lâcher le récepteur sera réglé sur 15 kHz. On en déduit que la fréquence max du signal modulant ne peut dépasser 4 kHz. La sensibilité du Kiwi étant de 20 kHz par volt rms, la tension rms à lui fournir est de 200 mV.

Exemple 2 : On souhaite transmettre en fusée un signal Fmod. Pour assurer la bande passante de la liaison on décide que le jour du lancement le récepteur sera réglé sur 110 kHz. On en déduit que la fréquence max du signal modulant ne peut dépasser 30 kHz. La sensibilité du Kiwi étant de 20 kHz par volt rms, la tension rms à lui fournir est de 1.5 volts rms. Par rapport à l'exemple 1 la sensibilité de réception est réduite d'environ 9 dB⁷ mais cela n'est pas gênant car la fusée ne s'éloigne pas beaucoup du récepteur.

Fmod est la fréquence maximale contenue dans le spectre du signal modulant. Ainsi si le signal transmis est un multiplexe IRIG, Fmod correspond à la fréquence supérieure de déviation de la sous-porteuse la plus haute choisie par l'utilisateur. Si le signal transmis est une modulation à deux tons FSK⁸ avec un débit d'information de X bit/s⁹, Fmod correspond à la fréquence du ton le plus haut auquel on ajoute le débit (FSK sup + X).

⁷ $10 \log (15\text{KHz}/110\text{KHz}) = 8,6 \text{ dB}$

⁸ FSK : Frequency Shift Key

⁹ Codage NRZ

3.3.6 Mode « programmation »

Le connecteur HE14 - 20 points permet une utilisation 'avancée' du KIWI Millenium. Il est en effet possible de reprogrammer le microcontrôleur PIC 16F873 (MICROCHIP) qui gère l'ensemble de l'émetteur. L'ensemble des signaux nécessaires à la programmation, c'est à dire RB3, RB6, RB7, Masse, +5V et MCLR sont mis à disposition pour être reliés au module de développement MICROCHIP MPLAB-ICD.

Les broches 11 à 20 sont des entrées et des sorties du microprocesseur, disponibles pour l'utilisateur et dont le comportement dépend bien sur du logiciel que ce dernier aura implanté. Pour plus de détails, reportez-vous à la documentation du PIC¹⁰.

Le développement d'application ne peut en aucun cas influencer sur la fréquence d'émission de l'émetteur pour des raisons évidentes d'autorisation de fréquences.

L'utilisation du Kiwi en mode programmation nécessite d'avoir des connaissances en informatique et dans le fonctionnement des micro-processeurs.

4. Plus de détails sur le système KIWI

Pour les lecteurs qui souhaitent en savoir plus, ce paragraphe développe des notions plus avancées sur le système KIWI dont la totale compréhension n'est pas nécessaire pour l'utilisateur de base.

4.1 Principes de fonctionnement

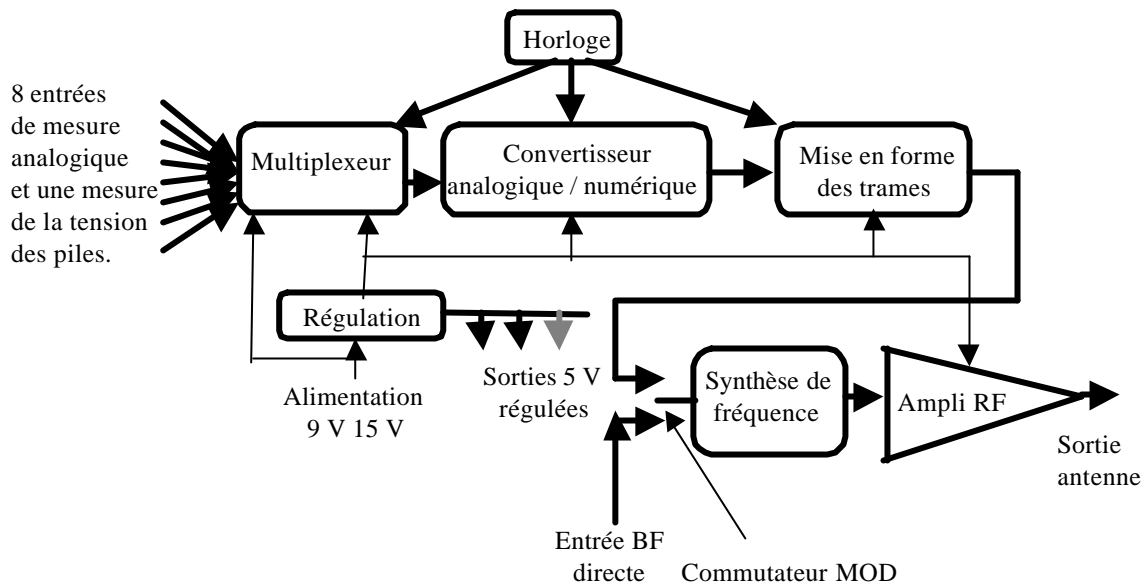
Le schéma bloc ci-dessous, décrit les principales fonctions composant un émetteur KIWI.

En mode modulation interne, les 8 +1 entrées analogiques sont sélectionnées par un circuit multiplexeur qui les présente à tour de rôle à l'entrée d'un convertisseur analogique / numérique. Le convertisseur est précédé d'un filtre passe bas pour supprimer le repliement du spectre. Les signaux analogiques sont convertis en données numériques sur 8 bits. Les données sont ensuite mise en forme afin de constituer des trames séries et la suite de 0 et de 1 est alors convertie en signaux FSK¹¹.

Les 0 sont codés par une modulation à 300 Hz et les 1 par une modulation à 1200 Hz. Les signaux FSK commandent un étage de synthèse de fréquence qui génère une porteuse RF modulé en FM sur +/- 3 kHz. Cette porteuse est amplifiée par un étage RF puis envoyée vers la sortie antenne.

¹⁰ www.microchip.com

¹¹ Frequency Shift Key



Une entrée de modulation BF permet de commander directement la synthèse de fréquence par des signaux propres à l'utilisateur. Il s'agit du mode modulation externe. Le commutateur MOD active ou pas cette fonction. L'émetteur est alors modulé en FM sur une excursion de fréquence qui dépend de la tension BF appliquée par l'utilisateur.

L'ensemble est contrôlé par une horloge. Un circuit de régulation fourni du + 5V à l'ensemble des circuits et à l'utilisateur.

En pratique, la conversion analogique / numérique, la mise en forme des trames, la synthèse de fréquence et l'horloge sont réalisées par un microcontrôleur PIC 16F873 (MICROCHIP) et du logiciel implanté.

4.2 Description de la trame

Dans le mode modulation interne, le convertisseur code à tour de rôle les entrées analogiques sur 8 bits soit 256 états (2^8). 0 volt est codé par l'état 0, 5 V est codé par l'état 255. L'écart entre deux états est d'environ 20 mV.

Comme la tension des piles dépasse 5 V, cette tension est d'abord divisé par 3 avant d'être injectée dans le convertisseur.

Les 8 + 1 données numériques sont donc reprises par le micro-contrôleur qui se charge de constituer la trame série d'émission. Dans un premier temps il ajoute à chaque octet un bit de start de valeur 0 et un bit de stop de valeur 1. Puis il constitue une trame dont la structure est la suivante :

Synchro	Mesure n°1	Mesure n°2	Mesure n°3	Mesure n°4	Mesure n°5	Mesure n°6	Mesure n°7	Mesure n°8	Tension de la pile / 3	Checksum
10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits	10 bits

Le mot de synchronisation est FF soit en binaire avec les bits de start et de stop : 0111111111 équivalent au niveau 255. Pour éviter que des mesures de tension produisent le niveau 255 et puissent être confondues avec le mot de synchronisation, le convertisseur analogique numérique est bridé au niveau 254. En pratique, le système KIWI effectue des mesures entre 0 V et 4,98 V.

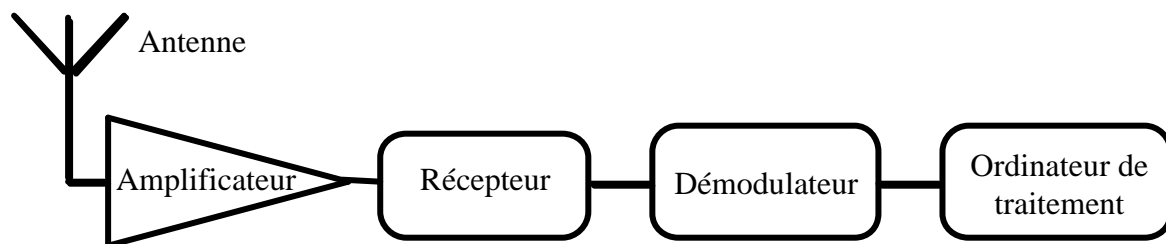
La "checksum" est la somme binaire des 100 premiers bits, divisée par 2. Cette division garantit que la checksum ne puisse atteindre 11111111 et soit confondue avec le mot de synchronisation. La division par deux fait apparaître obligatoirement un zéro comme bit de poids fort de la checksum : 01111111

La trame est émise au débit de 600 bits/s pendant 183 ms. Suivant la position du commutateur CF2, chaque trame est émise une fois ou répétée trois fois avant de passer à la suivante. Suivant la position du commutateur CF1, l'émission des trames est continue ou par paquets entrecoupés de silence. Ainsi dans le mode CF1 et CF2 indiqué sur la figure en réception on entend "te te te" suivi d'un silence et cela toutes les deux secondes.

La fréquence d'émission est de 137,95 MHz. La modulation est FSK (Frequency Shift Key) avec un écart en fréquence de 900 Hz. La porteuse n'est pas coupée pendant les silences pour éviter le décrochage du récepteur.

4.3 La station sol

4.3.1 Mode modulation interne



Dans le mode modulation interne, la station au sol est constituée d'un récepteur de radio FM, d'un ordinateur qui assure le traitement des données et d'un circuit de démodulation qui conditionne les signaux du récepteur dans un format interprétable par un ordinateur. Une antenne en forme de râteau (Yagi) améliore la réception d'un facteur 5 et doit être grossièrement pointée vers le ballon. Les brins de l'antenne doivent être verticaux. Un amplificateur, optionnel, placé sur l'antenne et de 10 dB de gain environ 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.

L'ordinateur est un P.C. de bureau ou un portable fonctionnant sous Windows et qui doit être équipé du logiciel spécifique KICAPT développé par le CNES. Ils affichent les résultats sur l'écran et les enregistrent sur le disque dur. Pour les ballons, il ne faut pas compter sur les batteries des portables dont l'autonomie est plus courte qu'un vol.



Le signal radio est reçu par un récepteur dont la bande passante réduite volontairement, à 6 kHz ou 15 kHz, améliore le rapport signal sur bruit. A la sortie du récepteur on récupère le signal FSK en bande de base. Le démodulateur restitue la trame à partir du signal FSK. La trame est introduite dans l'ordinateur via un des ports série au choix de l'utilisateur.

Grâce au logiciel dédié Kicapt, l'ordinateur analyse la suite de bits afin de chercher le mot de synchronisation. Quand il le reconnaît, il en déduit que les bits suivants, pris par paquet de 10, correspondent aux informations transmises. Il recalcule la somme divisée par deux des 100 premiers bits de chaque trame reçue et compare le résultat aux 10 derniers bits, ceux de la checksum. S'ils sont identiques, il en déduit que la trame a été transmise sans erreur et l'effigie d'un petit bonhomme heureux apparaît sur l'écran. Sinon le bonhomme devient triste et l'ordinateur surveille l'arrivée du prochain mot de synchro.



Une fois séparées des bits de start et de stop, les données justes sont enregistrées dans un fichier au format EXCEL et simultanément affichées à l'écran sous forme de graphiques et de valeurs numériques. La datation des données est faite au sol à partir de l'horloge interne du P.C.

Les bits de start et de stop rendent compatible la trame avec la norme d'échange RS 232.

4.3.2 Mode modulation externe

En mode modulation externe la station sol est constituée d'un récepteur de radio FM suivi d'un ensemble de démodulation qui dépend du type de codage choisi par l'utilisateur. L'antenne est identique à celle décrite précédemment.

Le récepteur doit être réglé en fonction du signal BF fourni par l'utilisateur. En général pour les fusées on privilégie les modulations de grande excursion de l'émetteur correspondant aux filtres large bande du récepteur ce qui augmente la bande passante. La sensibilité du récepteur est réduite par rapport au « mode bande étroite » utilisé en ballon ce qui n'est pas gênant car les fusées expérimentales ne s'éloignent que de quelques centaines de mètres de la station sol.

Le circuit de démodulation dépend du type de codage retenu :

- Modulation analogique et codage IRIG qui nécessite un discriminateur de fréquence,
- Modulation numérique SNR qui nécessite un décodeur SNR¹².
- Modulation FSK qui nécessite un modem de démodulation,
- Modulations autres, conçues par l'utilisateur et dont la mise au point du démodulateur est de sa responsabilité¹³,

5. Comment disposer du système KIWI ?

Si l'expérience proposée le justifie, un émetteur KIWI est prêté par le CNES via Planète Sciences 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.

¹² Les modulations IRIG et SNR sont des standards de Planète Sciences très utilisées par les équipes de jeunes constructeurs de fusées expérimentales. Des notes techniques spécifiques sont disponibles et le matériel de démodulation commun à toutes les équipes peut être prêté.

¹³ A noter que le cahier des charges impose que le démodulateur soit disponible et en état de fonctionner pour que la nacelle soit qualifiée. On ne met pas au point un démodulateur après le vol !

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 nécessaire à l'exploitation des mesures est du type P.C.. Il peut être prêté par Planète Sciences si l'établissement scolaire ou le club n'en possède pas. Le logiciel Windows. Le logiciel de décodage KICAPT est fourni¹⁴.



6. Etalonnage

Dans le mode modulation interne et 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 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 du composant fournies par le fabricant et de la loi de ce type de

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

On étalonne un photocapteur avec un luxmètre (méthode expérimentale) mais avec les photodiodes un simple 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 captation¹⁵ et par les longueurs d'onde (couleur) auxquelles elle est sensible.

Dans le mode modulation externe, le codeur est réalisé par l'utilisateur mais le principe de l'étalonnage de l'ensemble de la chaîne de transmission reste le même. Il faut établir expérimentalement ou par le calcul, la relation qui lie le paramètre mesuré par le capteur à bord à la valeur affichée au sol.

¹⁴ Téléchargeable sur le site web de Planètes Sciences

¹⁵ Ces paramètres sont généralement fournis par le fabricant.

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 :

$$\text{niveau } X = X / 5 * 255 \text{ Volt}$$

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 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 décèle 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.

On constate qu'à une variation 970 mbars (1020 - 51) correspond 179 niveaux (230 - 51). Chaque niveau est donc équivalent à une variation de pression de 5,2 mbars. (970 / 179). On en déduit la loi d'étalonnage :

$$\text{pression (mbars)} = (\text{niveau} - 51) * 5,2 + 50$$

et l'on remarque qu'il sera impossible d'apprécier des variations de pression plus fines que 5,2 mbars. A partir d'une table d'atmosphère standard¹⁶, cette incertitude sur la pression se traduit en une incertitude sur l'altitude. Un écart de 5,2 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 des nacelles ou des fusées, des capteurs qui produisent la plus grande variation possible entre 0 et 5 V.

Cette limitation des performances par ce que les spécialistes appellent la quantification de l'information est un phénomène général des systèmes de transmissions numériques¹⁷ et n'est pas propre au système KIWI. Pour améliorer la précision, il faut augmenter le nombre de niveaux ce que l'on fait sur des systèmes plus complexes. Ainsi avec des nombres binaires de 16 bits on a 65536 niveaux (2¹⁶) mais on a aussi doublé la quantité d'informations à transmettre. C'est la fameuse course à la bande passante.

¹⁶ Disponible sur le serveur Internet de Planète Sciences.

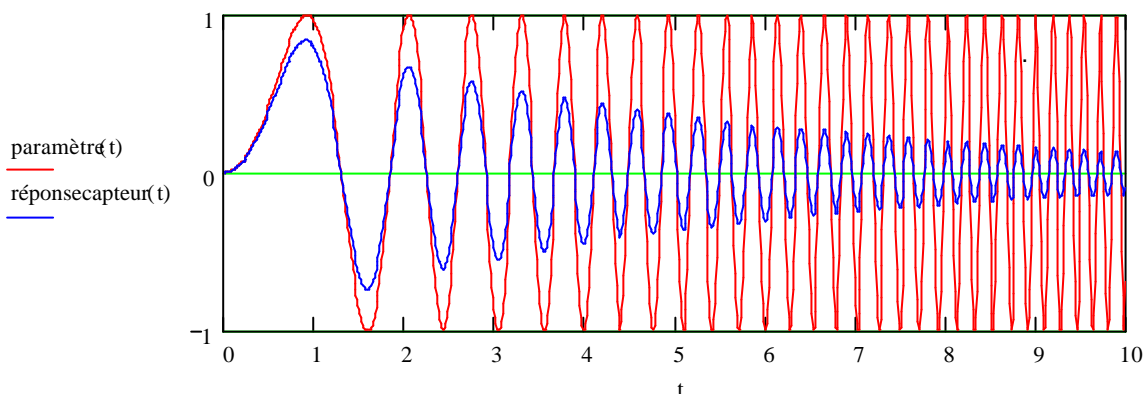
¹⁷ Systèmes qui transmettent l'information codée sous forme de nombres.

8. Quelques défauts liés à la fabrication des capteurs

Hélas, réaliser un capteur qui très fidèlement reproduit électriquement les variations de la grandeur physique est un art difficile ; le constructeur d'un capteur est immédiatement confronté à plusieurs sources de défauts. Voici la description des principaux défauts des capteurs dont la connaissance préalable permet de chercher à les minimiser à la construction et parfois d'interpréter les résultats transmis.

8.1 La bande passante

Un capteur est capable de mesurer à une certaine vitesse. Si la grandeur physique varie plus vite que le temps de réaction du capteur alors les variations de la grandeur physique ne seront pas transcrites. On dit que la bande passante du capteur est limitée.



Ainsi, sur les courbes ci-dessus, on remarque que plus le paramètre (courbe rouge d'amplitude 1) évolue rapidement, plus la réponse du capteur (courbe bleu) a une amplitude qui décroît jusqu'à ne plus réagir quand la variation du paramètre est très rapide.

L'émetteur KIWI a, lui aussi, une bande passante limitée puisqu'il transmet en mode modulation interne chaque voie, une fois toutes les deux secondes. A cause des capacités du système, il est donc impossible de mesurer des grandeurs variant plus rapidement que la seconde. Cela n'est pas gênant sur une nacelle de ballon car les grandeurs le plus souvent mesurées varient lentement.

A bord d'une fusée dont le temps de vol est court, on préfère effectuer un nombre important de mesure. C'est la raison pour laquelle on utilise la modulation externe de l'émetteur KIWI dont la bande passante est plus élevée.

La bande passante d'un système de transmission est égale à celle de l'élément le plus lent. Donc suivant les montages, la bande passante sera imposée soit par le capteur soit par le système KIWI, soit par la station de réception au sol.

8.2 Les non-linéarités

Un capteur est linéaire quand la tension électrique produite est proportionnelle à la grandeur physique. On a alors la relation :

$$V_{\text{sortie}} = K \times \text{grandeur physique} + C$$

K et C sont des constantes qui caractérisent le capteur et dont les valeurs dépendent de la manière dont il est construit. On les détermine par calcul ou par étalonnage. Quand le capteur est

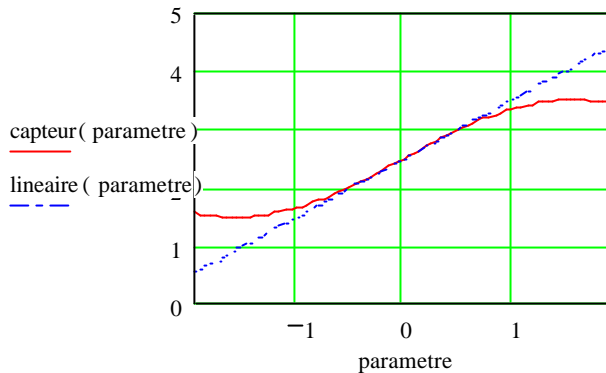
linéaire son étalonnage est plus facile. Il suffit de mesurer sa réponse aux deux extrémités de la gamme de mesure et de tracer une droite entre ces deux points pour connaître sa réponse dans toute la gamme de mesure.

Réciproquement, pour s'assurer de la linéarité d'un capteur, on relève sa réponse en plusieurs points de la gamme de mesure et on vérifie qu'ils s'alignent.

Parfois ce n'est pas le cas pour diverses raisons dont les principales sont explicitées :

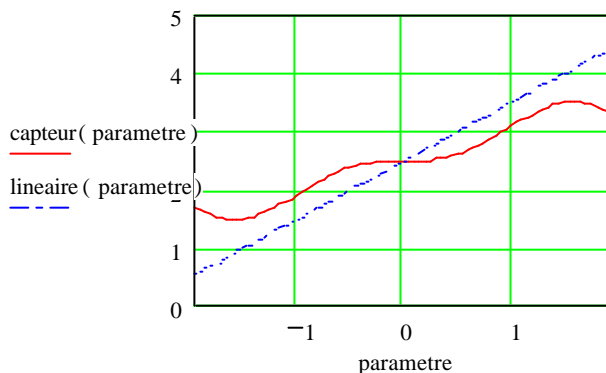
La saturation

Le capteur est linéaire dans une zone de fonctionnement puis non linéaire dans une autre. Cela apparaît, en outre, quand on utilise des matériaux élastiques ou des ressorts et que la limite d'élasticité est dépassée. Pour des petits mouvements, le capteur suit la grandeur physique mais pour des grands mouvements il ne répond plus et sature.



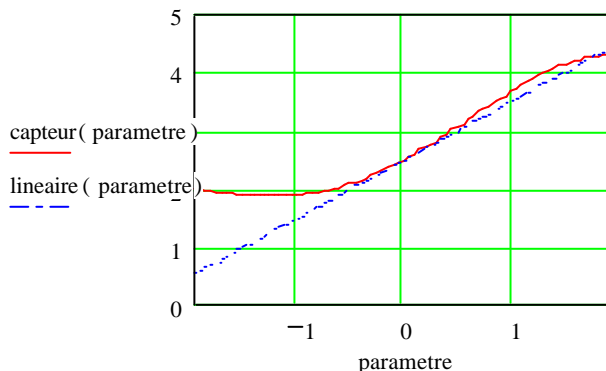
Le frottement

Le capteur est linéaire sur deux segments mais par contre pour des petites valeurs du paramètre il ne réagit pas. Souvent ce phénomène est dû aux frottements des pièces mécaniques en elles. Le capteur ne fonctionne que quand il est fortement sollicité.



La dissymétrie

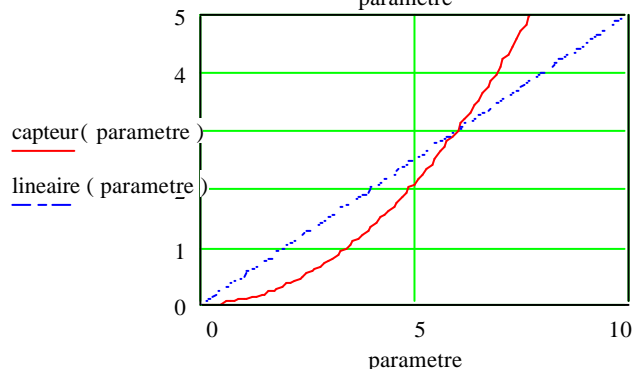
Des effets de butée, de fin de course peuvent amener le capteur à posséder une réponse linéaire sur seulement une partie de sa gamme de fonctionnement.



La réponse non linéaire

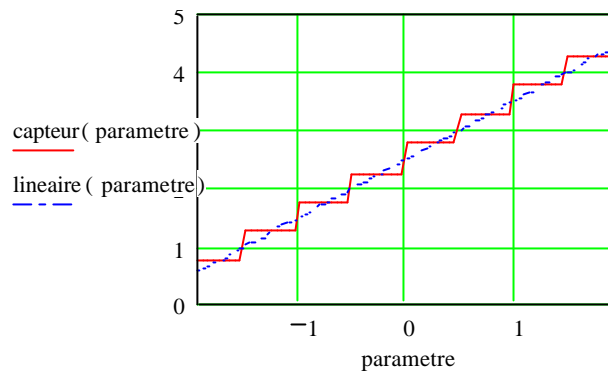
Des capteurs sont basés sur un principe non linéaire. Par exemple un capteur de vitesse qui mesure la poussée de l'air sur une surface a une réponse comme indiquée sur la courbe.

En effet la force qu'exerce l'air sur une surface en mouvement est proportionnelle au carré de la vitesse.



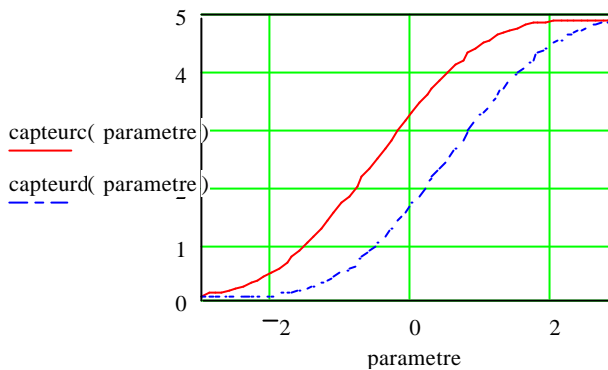
La réponse en échelon

Le capteur répond par paliers s'il comprend par exemple des engrenages qui avancent dent par dent. C'est aussi le cas de l'émetteur KIWI qui électroniquement échantillonne l'information transmise sur 256 niveaux.



8.3 L'hystérésis

Le phénomène d'hystérésis consiste à donner deux valeurs différentes en sortie pour la même valeur de la grandeur physique et ceci suivant le sens d'évolution de cette dernière. Ainsi un capteur d'altitude ne donnera pas pour une même altitude, la même valeur à la montée et à la descente. Les valeurs mesurées par le capteur dans le passé ont en quelque sorte une influence sur sa mesure immédiate.



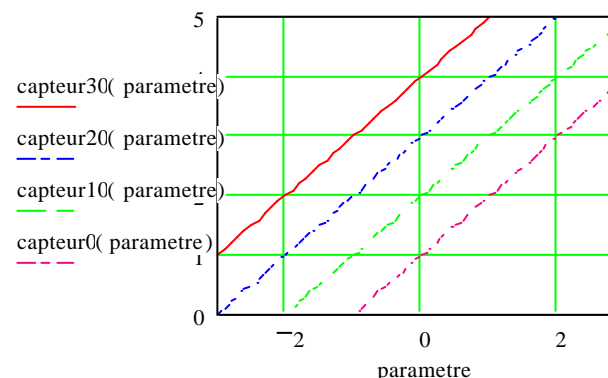
L'hystérésis est souvent due aux frottements mécaniques et aux jeux. On la minimise en apportant un peu de soin dans la construction des pièces et de la graisse entre elles.

Elle peut ne pas être gênante si on connaît à priori le sens de variation. Par exemple si l'on souhaite mesurer l'altitude pendant la montée, il est préférable d'effectuer l'étalonnage en commençant par les altitudes basses et de monter ensuite en altitude. Les défauts du capteur seront alors rattrapés de la même manière que pendant la mesure. Une courbe d'étalonnage pour la montée et une seconde pour la descente est envisageable.

8.4 La sensibilité à des paramètres extérieurs

Un capteur conçu pour mesurer une grandeur physique peut être sensible à d'autres grandeurs qui perturberont le signal de sortie. Ainsi un capteur de pression à base de pièces mécaniques est sensible à la température car à cause de la dilatation, la longueur des pièces en dépend.

Le graphique montre un cas où l'on constate que la réponse du capteur n'est pas la même pour diverses températures.



Plusieurs méthodes, que l'on peut combiner, permettent de minimiser cet effet. Bien sûr, il faut d'abord identifier les effets perturbateurs. Dans les nacelles de jeunes, la dérive en température aggravée par la présence du vide qui perturbe les échanges de chaleur, est le plus souvent en cause. Dans les paragraphes suivants on ne s'intéressera donc qu'aux perturbations dues à la température sur des capteurs qui sont censés mesurer une autre grandeur physique. Les principes décrits s'appliquent à d'autres grandeurs perturbatrices.

8.4.1 L'isolation

On place le capteur dans une zone où la température varie peu en l'isolant thermiquement de l'extérieur. Nous vous recommandons cette solution pour protéger l'émetteur KIWI. C'est aussi une bonne solution pour un appareil photo dont la sensibilité de la pellicule dépend de la température. Des capteurs de lumière peuvent être placés au chaud dans la nacelle derrière une fenêtre.

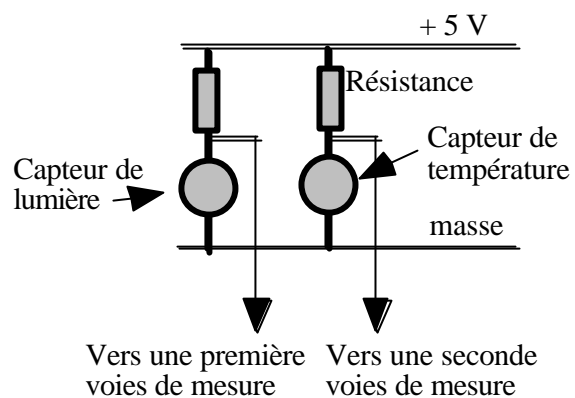
8.4.2 La compensation directe

Deux capteurs identiques sont placés dans les mêmes conditions d'environnement. L'un subit la grandeur physique à mesurer l'autre pas. Par différence, on supprime les effets de l'environnement qui agissent simultanément sur les deux capteurs alors que la grandeur physique n'agit que sur l'un.

8.4.3 La compensation à posteriori

Sachant que le capteur est sensible à la température, on la mesure en même temps que la grandeur principale grâce à un capteur de température.

Au sol au moment de l'étalonnage on relève la réponse du capteur à la grandeur physique pour différentes conditions de température. A l'exploitation des résultats on utilise la courbe d'étalonnage correspondant à la température de fonctionnement.



9. 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 groupe¹⁸. 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.



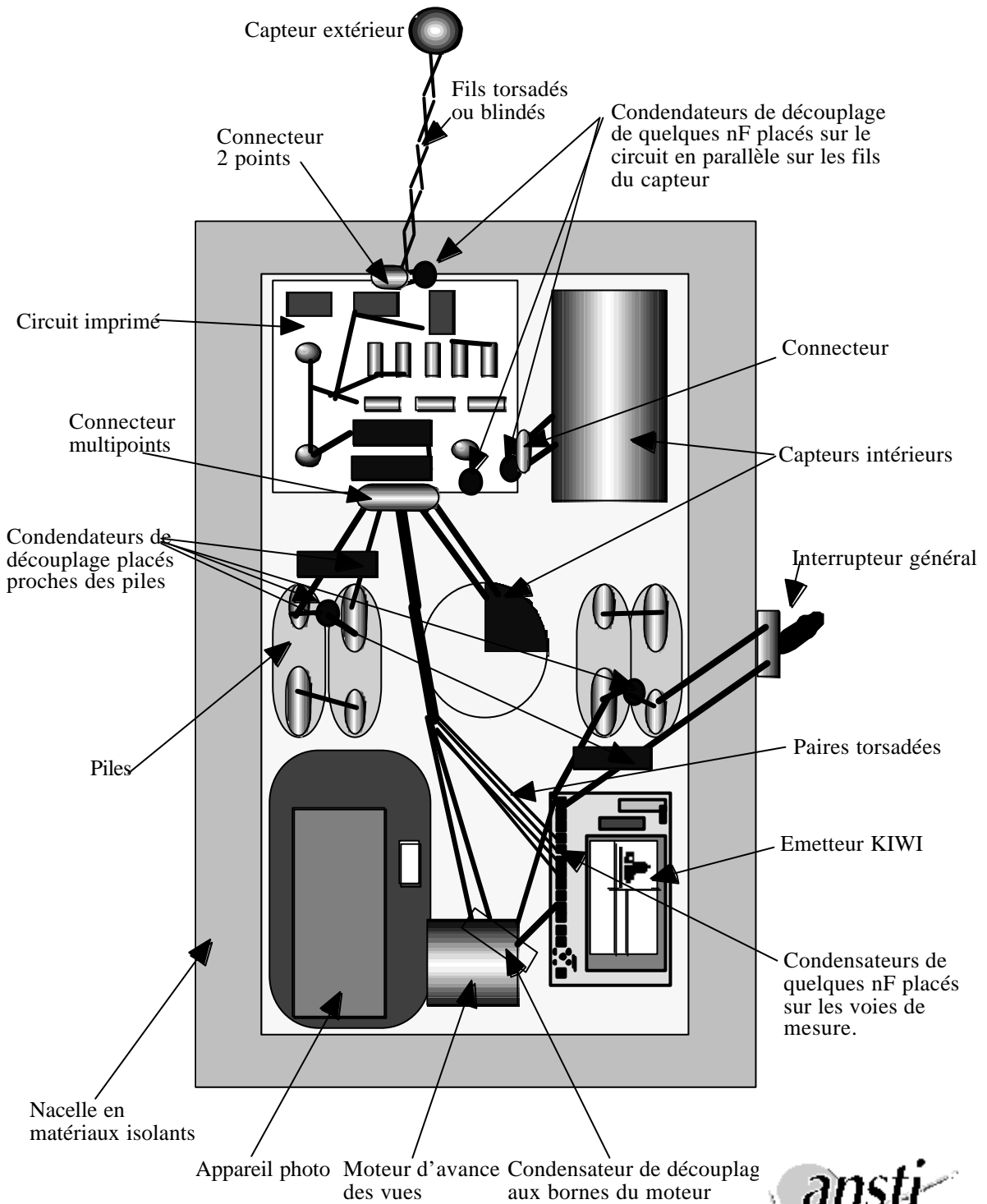
Alors voici en vrac, quelques conseils qui ne sont pas toujours écrits dans les livres d'électronique et qui pourtant, comptent beaucoup dans le succès.

- Lisez les documentations fournies par les fabricants de composants et faites prendre cette habitude aux jeunes.
- 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. Ils permettent un démontage rapide des cartes sans blesser les câbles.

¹⁸ Quoique certains jours !

- Câbler 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. Cela est tellement plus facile pour dépanner un circuit ! Attachez proprement les fils entre eux. Eviter de faire voler des toiles d'araignées.
- Découplez la pile, c'est à dire câbler 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 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 sur les fils qui vont vers le KIWI.
- Si vous employez des moteurs électriques placez un condensateur non polarisé de quelques μF 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 fil 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.



10. Comment exploiter les mesures obtenues ?

10.1 Pendant le vol

Les mesures s'affichent en direct sous forme de graphiques et de valeurs numériques sur l'écran de l'ordinateur grâce au logiciel Kicapt 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 courants comme EXCEL.



10.2 Après le vol

Après le vol et fermeture du logiciel KICAPT, un fichier DATA.txt¹⁹ 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	L
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.	Statut

La commande "statut " indique soit :

- OK les données transmises sont correctes,
- ERREUR au moins une des voies a été transmise avec une valeur erronée. Dans certaines versions du logiciel KICAPT les lignes contenant des erreurs sont automatiquement éliminées du fichier.

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, etc²⁰.

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.
256

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.

¹⁹ Le nom exact sera celui que l'utilisateur aura choisi au moment de l'enregistrement.

²⁰ 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 EXEL. Un fichier complet peut contenir jusqu'à 6000 lignes, équivalentes à une série de mesures toutes les deux secondes pendant 3 heures de vol.

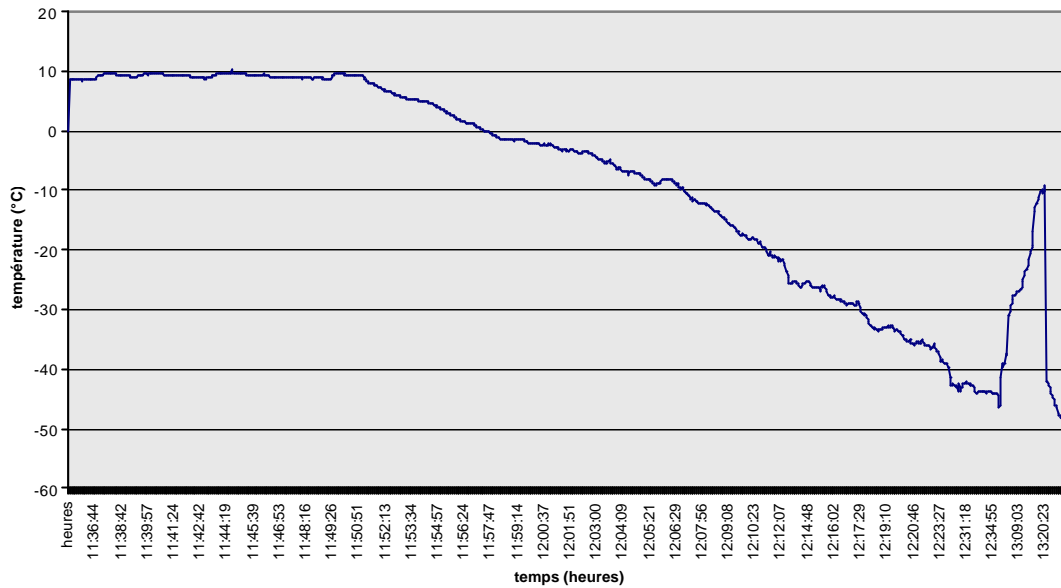
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Date	Heure	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V8	Piles	Statut
11/03/2002	13:17:28	156	133	109	74	76	167	253	155	OK
11/03/2002	13:17:32	156	133	109	149	77	167	253	157	OK
11/03/2002	13:17:50	155	133	107	95	75	168	253	156	OK
11/03/2002	13:18:08	155	132	106	171	77	169	253	156	OK
11/03/2002	13:18:35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

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 rouge (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.



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

10.3 Table de conversion

Cette table donne la tension lue par l'émetteur KIWI à partir de la valeur numérique qu'il transmet conformément à la formule au-dessus. La colonne vide permet d'inscrire les résultats obtenus au moment de l'étalonnage.

Valeur numérique	Tension Volt	Paramètre	Valeur numérique	Tension Volt	Paramètre	Valeur numérique	Tension Volt	Paramètre
000	0,00 Volt		100	1,96 Volt		200	3,92 Volt	
001	0,02 Volt		101	1,98 Volt		201	3,94 Volt	
002	0,04 Volt		102	2,00 Volt		202	3,96 Volt	
003	0,06 Volt		103	2,02 Volt		203	3,98 Volt	
004	0,08 Volt		104	2,04 Volt		204	4,00 Volt	
005	0,10 Volt		105	2,06 Volt		205	4,02 Volt	
006	0,12 Volt		106	2,08 Volt		206	4,04 Volt	
007	0,14 Volt		107	2,10 Volt		207	4,06 Volt	
008	0,16 Volt		108	2,12 Volt		208	4,08 Volt	
009	0,18 Volt		109	2,14 Volt		209	4,10 Volt	
010	0,20 Volt		110	2,16 Volt		210	4,12 Volt	
011	0,22 Volt		111	2,18 Volt		211	4,14 Volt	
012	0,24 Volt		112	2,20 Volt		212	4,16 Volt	

				Volt			Volt	
013	0,25 Volt		113	2,22 Volt		213	4,18 Volt	
014	0,27 Volt		114	2,24 Volt		214	4,20 Volt	
015	0,29 Volt		115	2,25 Volt		215	4,22 Volt	
016	0,31 Volt		116	2,27 Volt		216	4,24 Volt	
017	0,33 Volt		117	2,29 Volt		217	4,25 Volt	
018	0,35 Volt		118	2,31 Volt		218	4,27 Volt	
019	0,37 Volt		119	2,33 Volt		219	4,29 Volt	
020	0,39 Volt		120	2,35 Volt		220	4,31 Volt	
021	0,41 Volt		121	2,37 Volt		221	4,33 Volt	
022	2,43 Volt		122	2,39 Volt		222	4,35 Volt	
023	0,45 Volt		123	2,41 Volt		223	4,37 Volt	
024	0,47 Volt		124	2,43 Volt		224	4,39 Volt	
025	0,48 Volt		125	2,45 Volt		225	4,41 Volt	
026	0,51 Volt		126	2,47 Volt		226	4,43 Volt	
027	0,53 Volt		127	2,48 Volt		227	4,45 Volt	
028	0,55 Volt		128	2,51 Volt		228	4,47 Volt	
029	0,57 Volt		129	2,53 Volt		229	4,49 Volt	
030	0,59 Volt		130	2,55 Volt		230	4,51 Volt	
031	0,61 Volt		131	2,57 Volt		231	4,53 Volt	
032	0,63 Volt		132	2,59 Volt		232	4,55 Volt	
033	0,65 Volt		133	2,61 Volt		233	4,57 Volt	
034	0,67 Volt		134	2,63 Volt		234	4,59 Volt	
035	0,69 Volt		135	2,65 Volt		235	4,61 Volt	
036	0,71 Volt		136	2,67 Volt		236	4,63 Volt	
037	0,73 Volt		137	2,69 Volt		237	4,65 Volt	
038	0,75 Volt		138	2,71 Volt		238	4,67 Volt	
039	0,76 Volt		139	2,73 Volt		239	4,69 Volt	

				Volt			Volt	
040	0,78 Volt		140	2,75 Volt		240	4,71 Volt	
041	0,80 Volt		141	2,76 Volt		241	4,73 Volt	
042	0,82 Volt		142	2,78 Volt		242	4,75 Volt	
043	0,84 Volt		143	2,80 Volt		243	4,76 Volt	
044	0,86 Volt		144	2,82 Volt		244	4,78 Volt	
045	0,88 Volt		145	2,84 Volt		245	4,80 Volt	
046	0,90 Volt		146	2,86 Volt		246	4,82 Volt	
047	0,92 Volt		147	2,88 Volt		247	4,84 Volt	
048	0,94 Volt		148	2,90 Volt		248	4,86 Volt	
049	0,96 Volt		149	2,92 Volt		249	4,88 Volt	
050	0,98 Volt		150	2,94 Volt		250	4,90 Volt	
051	1,00 Volt		151	2,96 Volt		251	4,92 Volt	
052	1,02 Volt		152	2,98 Volt		252	4,94 Volt	
053	1,04 Volt		153	3,00 Volt		253	4,96 Volt	
054	1,06 Volt		154	3,02 Volt		254	4,98 Volt	
055	1,08 Volt		155	3,04 Volt				
056	1,10 Volt		156	3,06 Volt				
057	1,12 Volt		157	3,08 Volt				
058	1,14 Volt		158	3,10 Volt				
059	1,16 Volt		159	3,12 Volt				
060	1,18 Volt		160	3,14 Volt				
061	1,20 Volt		161	3,16 Volt				
062	1,22 Volt		162	3,18 Volt				
063	1,24 Volt		163	3,20 Volt				
064	1,25 Volt		164	3,22 Volt				
065	1,27 Volt		165	3,24 Volt				
066	1,29 Volt		166	3,25 Volt				

				Volt	
067	1,31 Volt		167	3,27 Volt	
068	1,33 Volt		168	3,29 Volt	
069	1,35 Volt		169	3,31 Volt	
070	1,37 Volt		170	3,33 Volt	
071	1,39 Volt		171	3,35 Volt	
072	1,41 Volt		172	3,37 Volt	
073	1,43 Volt		173	3,39 Volt	
074	1,45 Volt		174	3,41 Volt	
075	1,47 Volt		175	3,43 Volt	
076	1,49 Volt		176	3,45 Volt	
077	1,51 Volt		177	3,47 Volt	
078	1,53 Volt		178	3,49 Volt	
079	1,55 Volt		179	3,51 Volt	
080	1,57 Volt		180	3,53 Volt	
081	1,59 Volt		181	3,55 Volt	
082	1,61 Volt		182	3,57 Volt	
083	1,63 Volt		183	3,59 Volt	
084	1,65 Volt		184	3,61 Volt	
085	1,67 Volt		185	3,63 Volt	
086	1,69 Volt		186	3,65 Volt	
087	1,71 Volt		187	3,67 Volt	
088	1,73 Volt		188	3,69 Volt	
089	1,75 Volt		199	3,71 Volt	
090	1,76 Volt		190	3,73 Volt	
091	1,78 Volt		191	3,75 Volt	
092	1,80 Volt		192	3,76 Volt	
093	1,82 Volt		193	3,78 Volt	

				Volt	
094	1,84 Volt		194	3,80 Volt	
095	1,86 Volt		195	3,82 Volt	
096	1,88 Volt		196	3,84 Volt	
097	1,90 Volt		197	3,86 Volt	
098	1,92 Volt		198	3,88 Volt	
099	1,94 Volt		199	3,90 Volt	

11. 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 sur 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. L'émetteur Kiwi est protégé contre les erreurs d'inversion de l'alimentation 9-15 V.

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 malles qui transportent les stations sol un outil de diagnostic qui permet de vérifier les émetteurs. L'animateur présent le jour du lâcher pourra donc vérifier si l'émetteur est effectivement en panne.

Les émetteurs en panne doivent être retournés à 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