

LA BALISE HERMÈS (1<sup>RE</sup> PARTIE)

# Un système technique messenger pour un lycée d'altitude

JÉRÔME CANDAU, PATRICK LEFORT<sup>(1)</sup>

*La société SET a développé en partenariat avec l'Éducation nationale le système « balise Hermès », adapté aux formations de STS SE (Systèmes Électroniques) et aux formations de bac professionnel SEN (Systèmes Électroniques Numériques). Il intègre, entre autres, un transducteur à ultrasons, un capteur de température, un panneau photovoltaïque polycristallin, un émetteur VHF, un PIC 18F452, une liaison RS232.*

*Ce support a été choisi pour la session 2006 du concours général de sciences et techniques industrielles, option Génie électronique, dont nous donnerons un extrait dans le prochain numéro.*

Le système technique proposé, support d'enseignement de l'électronique, est une balise réelle **1** conditionnée dans un boîtier vitré avec points de mesure déportés **2**. Qu'il soit placé en situation réelle en extérieur ou en salle de TP, il permet de caractériser expérimentalement les principaux signaux de la chaîne d'acquisition, de traitement et de communication.

## L'expression du besoin

De tous les sports aériens, il en est trois qui ont comme particularité la pratique de vols de longue durée sans recours à une quelconque forme de propulsion. Qu'il s'agisse de planeurs (vol à voile), de deltaplanes ou de parapentes, ces vols ne sont donc possibles que par l'utilisation experte de masses d'air ascendantes. Celles-ci permettent de reprendre de l'altitude dès lors que le taux

de montée de l'air dépasse le taux de chute propre de la machine.

La dextérité purement technique du pilote (maîtrise des trajectoires) doit donc aller de pair avec une parfaite connaissance du milieu qui permettra de trouver et d'exploiter ces ascendances.

## mots-clés

capteurs, énergies renouvelables, logiciels, pédagogie



**1** La balise réelle en haut du mât de la station d'altitude du Prorel

Dans les pays de plaines, ces ascendances (les « pompes ») sont quasi exclusivement d'origine *thermique* suivant le cycle diurne classique : rayonnement, conduction, convection. Dans les régions de montagne, un deuxième phénomène

intervient : le vent qui vient frapper les reliefs est à l'origine d'ascendances dites *dynamiques* que l'on peut exploiter en « vol de pente ».

Les deux effets – thermique et dynamique – peuvent évidemment se combiner. Les ascendances sont déviées par le vent, les effets se conjuguant favorablement ou non en fonction de l'orientation des pentes par rapport au vent.

De plus, les sites de décollage des parapentes et des deltaplanes ne sont praticables en toute sécurité que si le vent y est favorable.

La connaissance du vent, en force et en direction, est donc une préoccupation constante des pilotes qui recherchent des indices tels que fumées au sol, risées sur les plans d'eau, défilement de l'ombre des nuages au sol, oiseau en vol à proximité, etc.

C'est dans cette perspective que la Fédération française de vol libre (FFVL) a promu l'installation de balises automatisées. Munies d'un capteur de vent, elles diffusent toutes les 20 minutes sur le canal radio VHF (*Very High Frequency*) réservé à cette activité aéronautique (143,9875 MHz) un message vocal **3** comprenant :

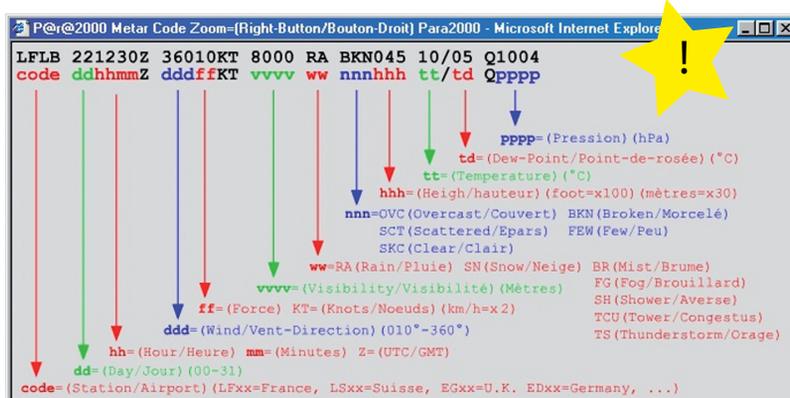
- l'identification de la balise ;
- la direction du vent ;
- le vent moyen et le vent maximum au cours de la dernière période.

Enfin, certaines de ces balises font précéder le message vocal d'un préambule numérique codé par des impulsions DTMF (*Dual Tone Multi-Frequency*) – les bips des touches de nos téléphones **4**. Cela permet à une station locale informatisée de recevoir les informations et de les mettre à disposition sur l'internet par l'intermédiaire de pages Web dynamiques.

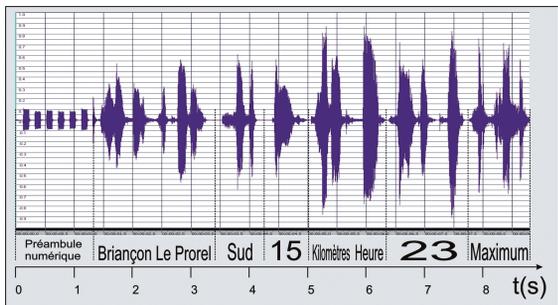
<sup>(1)</sup> Respectivement : professeur agrégé de génie électrique au lycée polyvalent d'altitude de Briançon (05) ; IA-IPR au rectorat d'Aix-en-Provence (13).



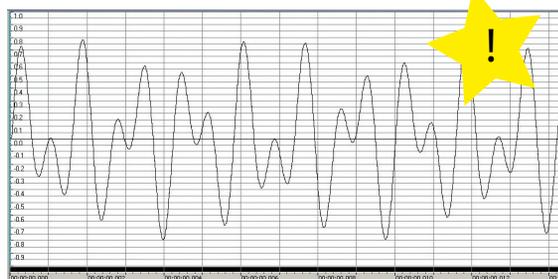
2 Le boîtier, la carte batterie et l'émetteur



6 Des informations plus précises sont consultables sur internet



3 Un message vocal



Signal en fonction du temps



Contenu spectral

4 Un exemple de tonalité DTMF

Chaque tonalité est composée de deux fréquences, ici 697 Hz et 1209 Hz



5 La localisation des balises consultables

Dans l'exemple de la carte 5, on peut identifier ces balises à vent (FFVL). Certaines sont interrogeables par téléphone, d'autres sont mises en ligne sur l'internet comme décrit précédemment, tandis que la plupart d'entre elles ne sont consultables que localement (radios VHF). D'autres stations météorologiques sont également repérées et donnent des informations qui peuvent être très complètes, comme dans l'exemple 6.

L'ensemble du système est représenté schématiquement en 7.

Les contraintes

Le but étant d'obtenir une information la plus représentative possible du vent général (vent d'altitude), ces balises sont en principe situées loin de tout obstacle, sur des sommets isolés. On s'affranchit ainsi facilement des effets de turbulences, d'accélération (effet Venturi) et de canalisation des écoulements en fond de vallée. Cependant, l'accessibilité s'en trouve considérablement réduite, ce qui a plusieurs conséquences :

- La balise doit être autonome d'un point de vue énergétique.
- Elle doit être adaptée aux conditions climatiques sévères : froid, vent, pluie, neige, etc.
- Son fonctionnement doit être fiable pour limiter les opérations de maintenance.

Par ailleurs, ces équipements se décident le plus souvent dans le cadre associatif de clubs sportifs, ils doivent être d'un coût raisonnable. Une conception modulaire permet aux membres de ces clubs d'effec-

tuer les dépannages eux-mêmes par simple remplacement d'éléments défectueux.

Enfin, les réglementations très strictes liées aux transmissions VHF doivent être respectées :

- La fréquence unique utilisée par les pratiquants (143,9875 MHz) ne doit pas être encombrée : les messages doivent être courts et suffisamment espacés.
- Les balises d'un même secteur géographique ne doivent pas interférer entre elles.
- Enfin, aucune radio ne doit se bloquer en mode émission, la fréquence devenant alors inutilisable pour l'ensemble de l'activité, ce qui remet en cause la sécurité des vols.

L'architecture de la balise Hermès

La balise Hermès intègre autour d'une unité centrale spécifique un certain nombre d'éléments modulaires standard 3. Un ensemble « panneau photovoltaïque - batterie d'accumulateurs » assure l'autonomie énergétique de la balise, l'unité centrale assurant le contrôle du niveau de charge de la batterie. En cas de décharge anormale, les fonctions consommatrices d'énergie sont inhibées : la diffusion cesse.

Par ailleurs, l'unité centrale utilise également le panneau photovoltaïque pour la détection jour/nuit, la balise devant rester muette pendant la nuit. Un capteur de vent à ultrasons, alimenté par l'unité centrale, mesure le vent en force et en direction. Les mesures sont transmises à l'unité centrale sous forme de chaînes de caractères (codes ASCII) au standard NMEA (National

Marine Electronics Association : protocole d'échange de données utilisé dans la marine marchande) dont voici un exemple :

**\$HMMVV,90.0.R,015.0,K,A**  
pour un vent d'est (90°) d'une force de 15 km/h.

Cette transmission d'informations entre capteur de vent et unité centrale obéit au format de la liaison série asynchrone RS232 à ceci près que c'est le courant consommé par le capteur qui transporte l'information (courant porteur). La connexion se réduit ainsi aux deux fils d'alimentation, dont la longueur peut être quelconque, l'immunité au bruit étant améliorée.

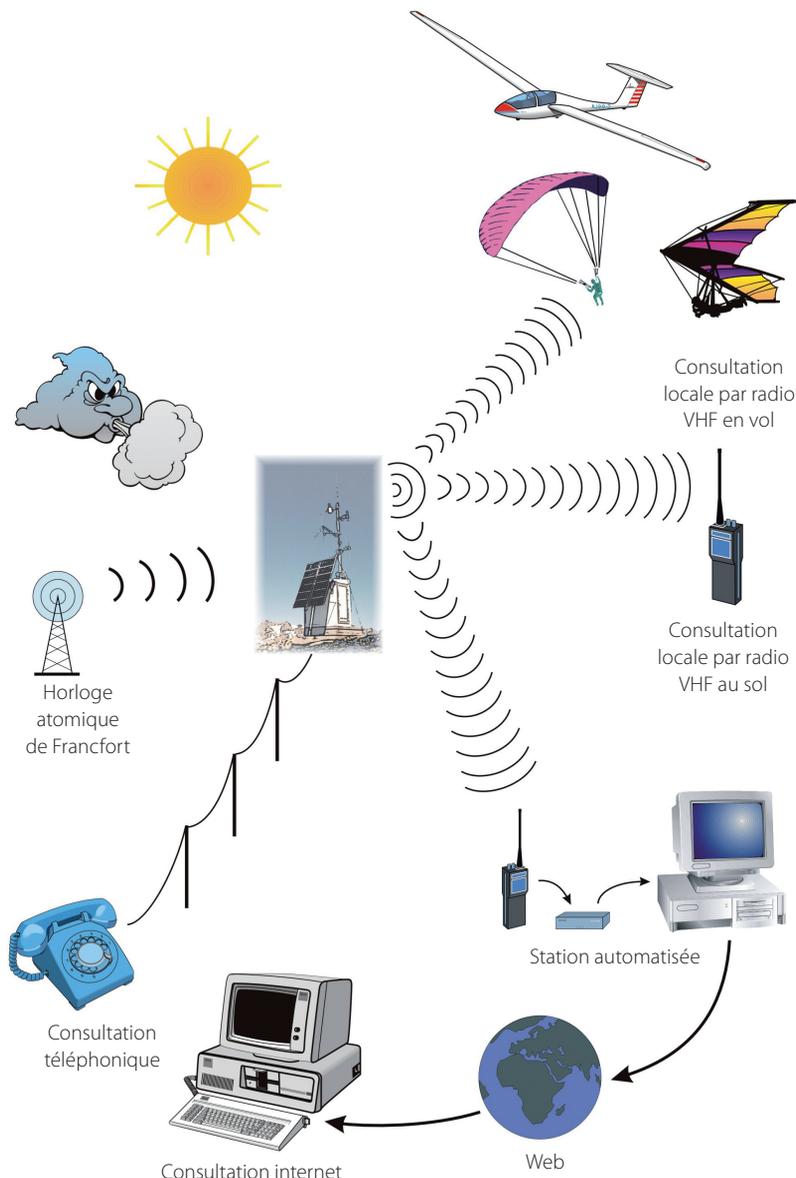
Pour diffuser ses messages sur la fréquence radio allouée à la pratique du vol libre (143,9875 MHz), la balise utilise une radio VHF standard qui, pour un coût très modique, permet d'atteindre à la fois stabilité de la fréquence, fiabilité du fonctionnement et respect des réglementations extrêmement contraignantes dans le domaine des transmissions.

Toutes les 20 minutes précisément, l'unité centrale alimente cette radio pour diffuser l'information « vent » sur la fréquence. Elle active alors une entrée spécifique appelée « alternat » qui place la radio en mode émission. Elle applique enfin un signal BF (Basse Fréquence) à très faible niveau (préambule numérique

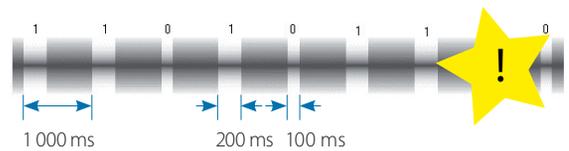
+ message vocal) sur l'entrée « prise microphone » de la radio VHF.

Grâce à son interface de ligne téléphonique, l'unité centrale peut recevoir un appel. Après deux sonneries, elle décroche (prise de ligne), diffuse son message vocal, puis raccroche.

Enfin, un module de réception DCF77 permet de capter les signaux radiofréquences émis par l'horloge atomique de Francfort (Allemagne). La balise peut ainsi effectuer ses propres calages d'horloge interne. L'horloge en question diffuse en grandes ondes sur toute l'Europe la date et l'heure sous forme numérique. La modulation de la porteuse (77,5 kHz) se fait en « tout ou rien », les informations binaires étant codées par des durées 9.



7 La représentation schématique du système complet



9 Un exemple de signal DCF77

Un bit à 1 est codé par une durée de 0,2 s sans porteuse  
Un bit à 0 est codé par une durée de 0,1 s sans porteuse  
Les bits sont transmis à raison d'une fois par seconde

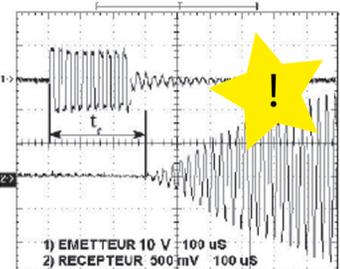
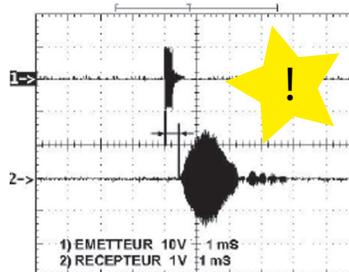
Descriptions fonctionnelles

Le capteur de vent

La mesure du vent, en force et en direction, utilise le phénomène de composition vectorielle de deux vitesses :

- celle du son dans l'air (propagation acoustique) ;
- celle de l'air (vent).

Des transducteurs à ultrasons exposés au vent, tour à tour émetteurs et récepteurs, permettent de détecter des



10 Des signaux représentatifs des ondes ultrasonores

variations de temps de propagation du son en présence de vent 10. Le vent en force (vitesse) et en direction est ensuite déterminé par calcul à partir de ces variations de temps de propagation.

Comme on le voit sur le schéma 11 :

- Le déroulement des mesures est contrôlé par un séquenceur logique FP3 qui utilise pour cela les horloges références à 40 kHz générées par FP2.

- La fonction FP4 assure à la fois l'excitation des émetteurs et la sélection des récepteurs.

- Les signaux captés par les récepteurs sont mis en forme par FP5.

- Les mesures des variations des temps de propagation sont ramenées à des mesures de phase qu'effectue FP6.

- L'unité de traitement FP1 :

- supervise les mesures primaires qu'elle obtient finalement en sortie de FP6 :

- élabore l'information « vent » à partir de celles-ci ;

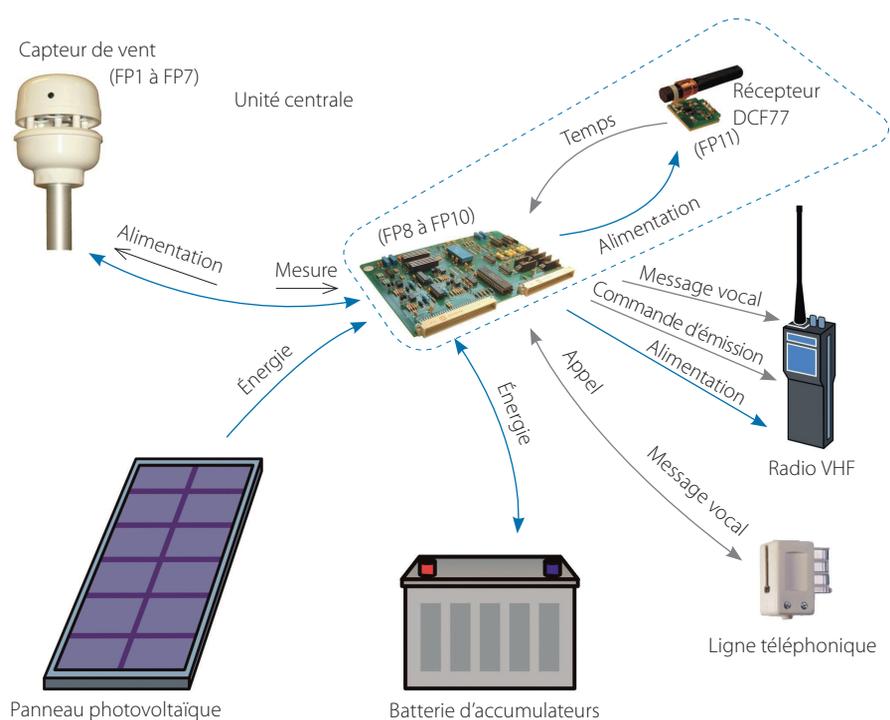
- adapte le format de cette information au mode de transmission retenu (chaînes de caractères au format série RS232, standard NMEA).

- FA1, qui contrôle les tensions internes d'alimentation, assure également la transmission des mesures à l'unité centrale de la balise Hermès par l'intermédiaire des fils d'alimentation (courant porteur).

### L'unité centrale

Au cœur de l'unité centrale, on trouve une unité de traitement FP9 qui reçoit de FP8 les mesures de vent en provenance du capteur Éole. Après traitement (calcul de valeurs moyennes, recherche de maxima), FP9 diffuse au travers de FP10 et de la radio VHF les valeurs de vent mesurées 12.

FP8 alimente l'unité centrale tout entière ainsi que le capteur Éole. Elle procède à l'extraction des mesures que ce dernier lui retourne (discrimination sur le courant porteur). Elle assure également la gestion énergétique du système : surveillance charge/décharge de la batterie avec signalisation à FP9 en cas de décharge profonde. Enfin, la détection jour/nuit est faite à partir du panneau photovoltaïque pour que l'unité de traitement



8 L'architecture de la balise Hermès

## Le concours général des lycées

Qu'est-ce que le concours général des lycées ?

Ce concours est une épreuve de haut niveau dont la vocation est de mettre en compétition les meilleurs élèves des classes de terminale de tous les lycées du pays. Les distinctions sont purement honorifiques.

La cérémonie de remise des prix se déroule au début du mois de juillet à la Sorbonne et donne lieu à une médiatisation en rapport avec le prestige de l'épreuve et la qualité des candidats. Les plus hautes personnalités du monde de l'éducation, y compris le ministre lui-même, y sont présents. Les lauréats sont donc très valorisés, et feront généralement figurer cette remarquable performance dans leur *curriculum vitae*.

Le concours général a été instauré par l'abbé Legendre, à l'université de Paris, et les premiers prix ont été décernés à la Sorbonne en 1747. À l'origine, il ne s'adressait qu'aux garçons des lycées parisiens. Il faudra attendre 1924 pour une ouverture à la province et aux filles. C'est en 1981 qu'il s'ouvre aux filières technologiques.

Quelles sont les modalités du concours dans l'option STI GE ?

Le sigle STI GE désigne la filière d'enseignement de sciences et techniques industrielles, option Génie électronique. Compte tenu des profonds et rapides changements liés aux technologies de l'information, cette dénomination devrait

bientôt devenir : Information et réseaux. De manière à prendre en compte les compétences théoriques et expérimentales des candidats, le concours se déroule en deux temps :

● **Épreuve écrite** (en mars, durée : 8 heures)

Après correction des copies (en avril), les douze meilleurs candidats sont déclarés admissibles pour les épreuves pratiques.

● **Épreuves pratiques** (en mai)

Les compétences expérimentales des candidats admissibles sont évaluées. Généralement, trois séances de manipulation de 4 heures chacune sont proposées à chacun d'entre eux.

À l'issue des travaux pratiques, le jury classe les candidats :

- Les trois premiers sont conviés à la Sorbonne au début du mois de juillet pour la cérémonie de remise des prix au cours de laquelle ils découvriront lequel d'entre eux est le lauréat.

- Parmi les autres candidats, ceux qui se sont particulièrement distingués par la qualité de leur prestation se voient attribuer soit des accessits pour les meilleurs soit des mentions.

Sur les 120 candidats au concours général dans les filières électroniques à la session 2006 pour les épreuves écrites, 12 furent sélectionnés pour les épreuves pratiques – dont le support était la balise Hermès –, qui se sont déroulées au lycée polyvalent d'altitude de Briançon.

## Les champs d'étude associés

### La balise Adison

Capteurs et transducteurs : mesure du vent et de la température  
 Traitement analogique du signal (amplification/filtrage/CAN)  
 Traitement numérique de l'information (interfaçage)  
 Messagerie vocale par circuit intégré spécialisé Chipbond  
 Conuration / mise en service de la balise : paramétrage logiciel  
 Langage C et Assembleur sur processeur Microchip. Programmation *in situ* (MPLAB/ICD2)  
 Accès à l'internet par modem GPRS (commandes Hayes sur liaison série type RS232)  
 Réseaux :

- adressage TCP/IP : notions d'adresses et de ports (*sockets*)
- routeur : redirection de ports sur connexions entrantes
- architecture client-serveur
- mise en œuvre de protocoles standard (HTTP, FTP, TIME, NTP)
- mise en œuvre d'un protocole propriétaire
- base de données : serveur PHP/MySQL

Énergie solaire : système photovoltaïque (panneau, batterie, régulateur)

### L'ensemble didactique

#### Carte combinée Éole-discriminateur + carte programmeur JTAG

Capteurs et transducteurs : mesure du vent par ultrasons, mesure de la température  
 Traitement analogique du signal (amplification/filtrage/CAN)  
 Traitement numérique de l'information  
 Langage C et Assembleur sur PIC18F452. Interface SPI. Programmation *in situ* (MPLAB / ICD2)  
 Programmation d'un circuit logique de type CPLD (ispM4A5-64/32) dans l'environnement de travail ispLever de Lattice (schémas/VHDL/ABEL), programmation *in situ*  
 Programmation d'un circuit analogique de type ispPAC20 dans l'environnement de travail PAC-Designer de Lattice, programmation *in situ*  
 Interface homme-machine (programmation événementielle orientée objet)  
 Liaison série RS232 permettant l'exploitation du logiciel Éole  
 Transport d'informations par courant porteur (multiplexage énergie/information)

#### Carte combinée Solaris - panneau photovoltaïque + carte capteur de courant

Énergie solaire : système photovoltaïque (panneau, batterie, régulateur)  
 Convertisseur à découpage (hacheur) : pertes en conduction et en commutation, rendement  
 Traitement analogique du signal (amplification/filtrage/CAN)  
 Traitement numérique de l'information  
 Langage C sur PIC18F452. Gestion des interruptions. Programmation *in situ* (MPLAB/ICD2)  
 Liaison série RS232

#### Carte RX\_DTMF

Radiofréquences : transmission en VHF (modulation de fréquence)  
 Traitement analogique du signal (amplification/filtrage)  
 Traitement numérique de l'information  
 Circuit intégré spécialisé : Transceiver DTMF  
 Langage C et Assembleur sur PIC18F4550. Interface USB. Gestion avancée des interruptions  
 Programmation *in situ* (MPLAB/ICD2)

Interface homme-machine (programmation événementielle orientée objet)

Liaison série RS232 - bus USB permettant l'exploitation du logiciel

Réseaux :

- adressage TCP/IP : notions d'adresses et de ports (*sockets*)
- routeur : redirection de ports sur connexions entrantes
- architecture client-serveur
- mise en œuvre de protocoles standard (HTTP, FTP, TIME, NTP)
- base de données : serveur PHP/MySQL

### Documentation et fournitures

Notice d'utilisation et cédérom contenant :

Dossiers techniques

Logiciels de programmations :

- contrôleur PIC : développeur MPLAB, compilateur MPLAB C18 édition étudiant
- CPLD : ispLever et ispVM
- composant analogique programmable : PAC-Designer

Logiciels de paramétrage de la balise et des cartes didactiques

Codes sources des programmes

Documentations constructeurs : schémas structurels, nomenclatures, plans de câblage

Dossier du concours général STI GE 2006 constitué de 3 TP de 4 heures et d'une épreuve écrite de 8 heures

## Composition et caractéristiques du système

Le système est proposé par la société SET (Système Étude Technique) :

[www.setdidact.com](http://www.setdidact.com)

### La balise Adison (réf. : BALISE)

Capteur de vent conventionnel composé d'un anémomètre et d'une girouette

Capteur de température (thermistance)

Panneau photovoltaïque polycristallin de 10 Wc / 12 V résistant aux UV

Coffret vitré regroupant l'ensemble du système électronique

Carte unité centrale, batterie étanche au plomb 12 V / 7Ah, émetteur VHF et modem GPRS bande 900/1 800 MHz classe B. Puissance d'émission RF : de 10 mW à 5 W

Pupitre déporté : relié au coffret précédent par un connecteur étanche qui ramène les points de mesure ainsi que les alimentations

Récepteur VHF portable avec son chargeur

Pied télescopique pour la fixation de la balise

Logiciel de programmation/paramétrage

### L'ensemble didactique (réf. : BALISECA3)

#### Tête de mesure



Cette tête est munie de quatre transducteurs à ultrasons 40 kHz et d'un capteur de température AD22100. La mesure utilise le phénomène de propagation des ultrasons dans l'air dans un mode différentiel (aller/retour). Un anémomètre portable à affichage digital ainsi qu'un dispositif de ventilation variable est fixé sur la tête de mesure.

#### Cartes Éole + discriminateur



Capteur de vent : connectée à la tête de mesure, elle mesure et affiche (LCD) la vitesse et la direction du vent ainsi que la température de l'air. L'interface RS232 permet de répliquer les mesures sur un ordinateur dans un environnement graphique. La partie « discriminateur » met en évidence le transport d'informations numériques par courant porteur.

#### Cartes Solaris + panneau photovoltaïque



Régulateur photovoltaïque 12V / 1 A dont le rôle est d'optimiser l'énergie emmagasinée dans une batterie (charge/décharge). Plusieurs modes de fonctionnement sont possibles (couplage direct, convertisseur à découpage, MPPT, *floating*). Les paramètres de fonctionnement sont affichés (LCD) sur la maquette elle-même et transmis sur l'interface RS232. Capteur de courant (2 A) à effet Hall fourni.

La partie « panneau photovoltaïque » facilite les mesures en offrant un point de fonctionnement stable et réglable sur une caractéristique de type photopile.



#### Carte RX\_DTMF

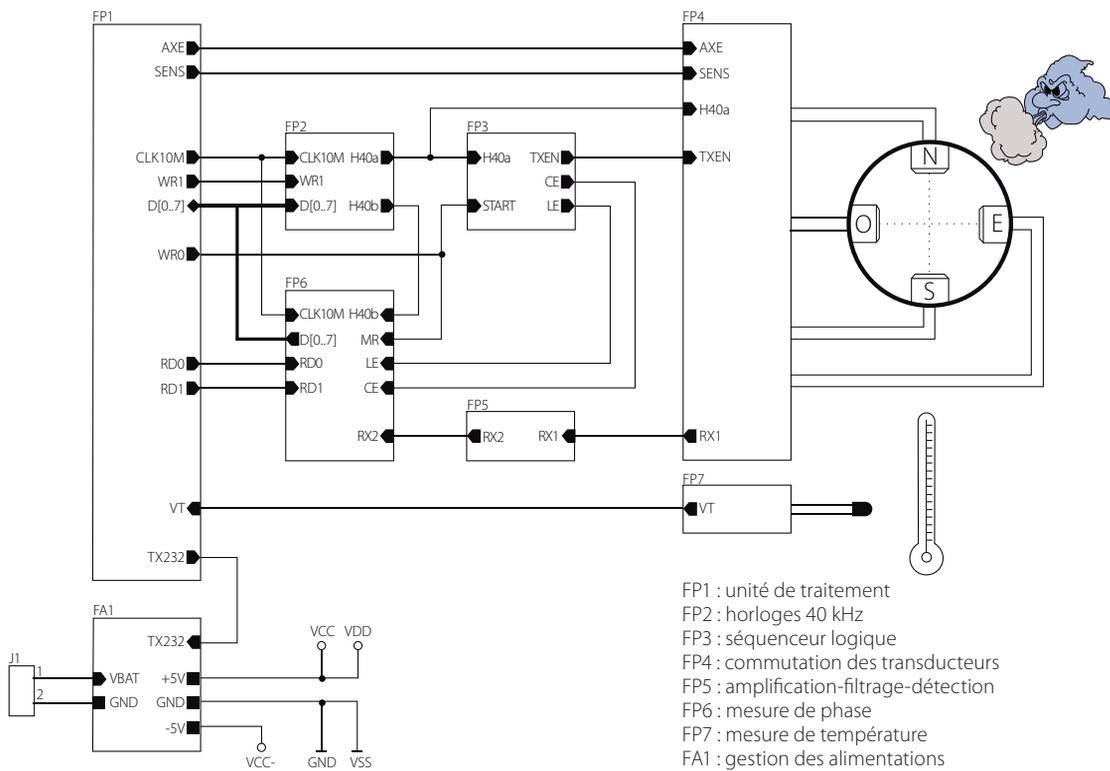
Interface entre récepteur VHF et PC

Décodage des tonalités DTMF émises par les balises locales

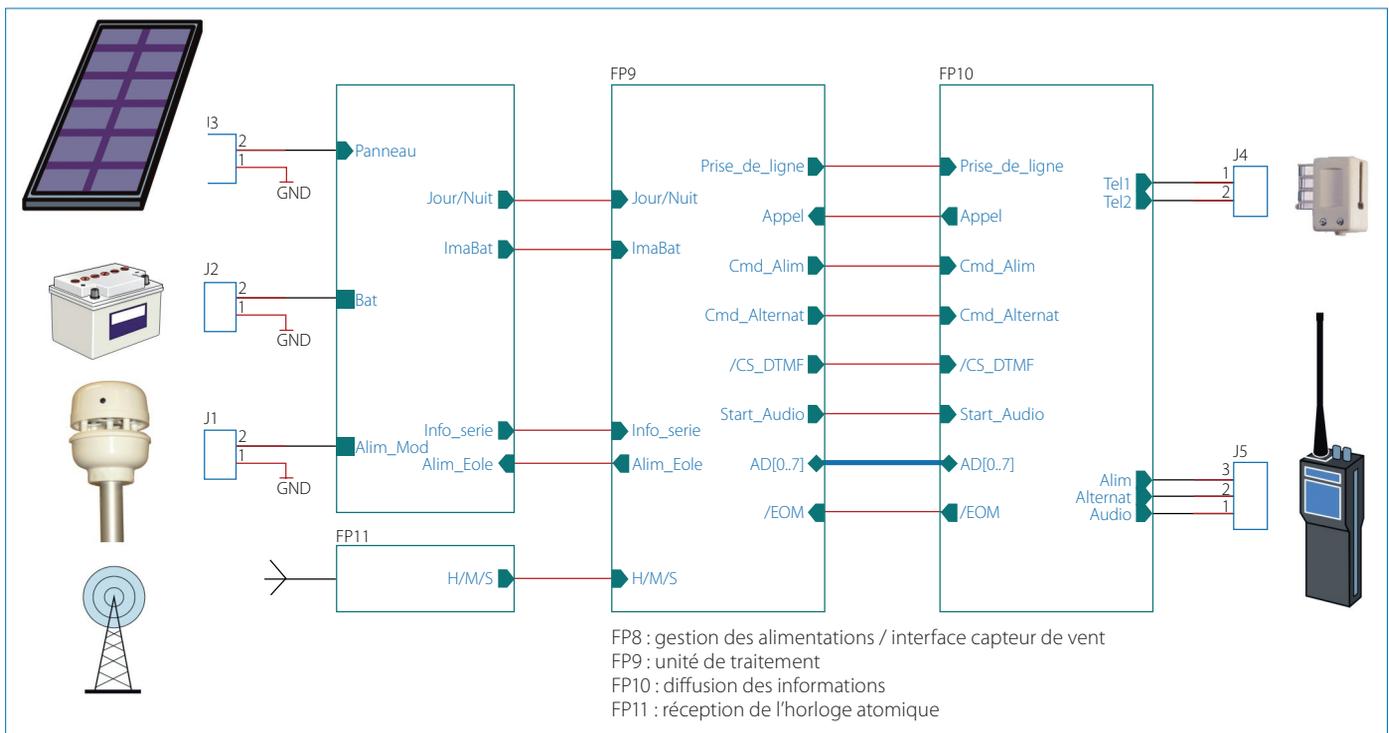


#### Carte programmeur JTAG

Interface de programmation *in situ* du circuit analogique programmable et du circuit CPLD présents sur la carte Éole (logiciel Lattice et ispVM System)



**11 L'organisation fonctionnelle du capteur de vent**



**12 L'organisation fonctionnelle de l'unité centrale**

tement FP9 inhibe le fonctionnement pendant la nuit.

Toutes les 20 minutes, FP9 commande grâce à FP10 à la radio VHF d'émettre le message vocal. Les dispositions sont prises pour éviter toute interférence avec les balises voisines. Le message est composé du préambule numérique (6 codes DTMF) suivi du

texte proprement dit. On remarque que le niveau sonore du préambule numérique est nettement plus faible que celui du message vocal qui, seul, intéresse les pilotes.

Si la balise est reliée au réseau RTC, elle peut se comporter comme un répondeur téléphonique classique : détection d'appel, décrochage,

annonce des mesures à l'appelant, raccrochage.

Enfin, FP11 est un module spécialisé de réception de l'horloge atomique de Francfort. Il capte les signaux DCF77 émis par cette horloge, puis les met en forme pour permettre à l'unité de traitement FP9 de caler son horloge interne. ■