

V.2 Conception et réalisation d'un moniteur solaire multicanaux [2]

Résumé : Cet article décrit la conception et la réalisation d'un dispositif automatique de mesures et contrôles de plusieurs paramètres physiques important dans la gestion et le suivi du bon fonctionnement d'une mini-centrale solaire. Il est basé sur l'utilisation d'un microcontrôleur 8-bit chargé d'assurer toutes les fonctions prévues dans ce dispositif, grâce à des modules intégrés spécialisés (convertisseur analogique numérique 8-bit à quatre canaux de mesures, timers 8-bit et 16-bit pour gérer une horloge-calendrier en temps réel RTCC, deux ports d'entrées-sorties pour la gestion d'un afficheur 4-digit et d'un mini clavier). Enfin, l'alimentation de cet ensemble a été optimisée pour offrir un rendement élevé afin de minimiser les pertes de transfert de l'énergie acquise par les panneaux solaires vers les divers circuits utilisateurs.

Mots-clés : Panneau photovoltaïque, centrale solaire, mesure électrique, horloge RTCC, PICmicro.

1. Introduction

L'énergie, que nous dépensons aujourd'hui presque sans compter, repose en grande partie sur les énergies fossiles. En effet, ces énergies non renouvelables et polluantes, sont en train de s'épuiser. Parce que l'écologie nous concerne tous, il est important que chacun de notre côté, nous fassions tous les gestes possibles pour préserver notre environnement. La terre reçoit du soleil chaque année 10.000 fois le besoin de consommation en énergie de ses habitants.

Alors pourquoi ne pas utiliser cette chaleur accumulée dans notre environnement, énergie gratuite et qui se renouvelle au fil des jours ?

Les panneaux photovoltaïques sont robustes et nécessitent très peu d'entretien. Leur grand avantage est la garantie de longue durée de vie (25 ans). Ils peuvent être agencés en parallèle et / ou en série pour fournir un système électrique autonome, ce qui donne des sorties de puissance du microwatt aux mégawatts. Par conséquent, ils sont utilisés pour la source d'alimentation, le pompage de l'eau, bâtiments distants, systèmes solaires domestiques, communications, satellites et véhicules spatiaux, installations d'osmose inverse, et même pour les centrales mégawatt-échelle. Avec un si vaste éventail d'applications, la demande pour le photovoltaïque est en augmentation chaque année.

Toute installation solaire photovoltaïque nécessite un contrôle rigoureux de ses paramètres électriques et physiques, et le moniteur solaire multicanal est l'un des appareils les plus utilisés dans un système solaire photovoltaïque. Dans ce travail, nous allons discuter de la conception d'un prototype faible coût à 4 entrées.

2. Matériel ET méthode

Ce dispositif est dédié à la mesure automatique de quatre paramètres importants à surveiller dans une centrale solaire : le courant de charge de l'accumulateur d'énergie (batteries 12V), sa tension de charge, la température externe (panneaux photovoltaïques) et la température interne (dispositif). Ces mesures sont acquises périodiquement (une mesure par seconde) et immédiatement visualisées sur un afficheur quatre digits à LED 7-segments, dont trois réservés pour afficher la valeur mesurée et le quatrième réservé pour afficher le canal en court d'acquisition. Un clavier rudimentaire (mais suffisant) de 3 boutons poussoirs est utilisé pour procéder au réglage initial de ce dispositif. L'alimentation de l'ensemble est assurée par un circuit régulateur double : un 7805 classique pour délivrer une tension fixe de 5V (utile pour alimenter les capteurs de température LM35DZ), suivi par un régulateur LDO (*low power*) doté d'un générateur de courant constant basé sur un transistor JFET (un BF245B) et un amplificateur opérationnel (un TL061) chargé de maintenir une tension fixe de 2.56V à sa sortie (utile pour le microcontrôleur PIC16F716 et le module afficheur 4 digits à LED 7-segments).



Fig. 1 Aperçu du dispositif réalisé.

3. Description hardware:

Le synoptique suivant indique les principaux modules de ce montage : microcontrôleur 8-bit (PIC16F716), un module afficheur 4 digits à LED 7-segments, un clavier de 3 boutons poussoirs, la circuiterie pour 4 voies de mesures (température interne, température externe, courant de charge, tension de charge) et enfin la section alimentation régulée double.

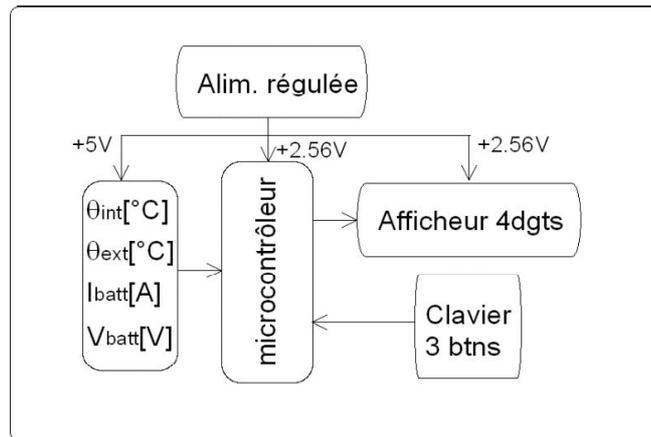


Fig. 2 Synoptique du montage réalisé.

3.1 Le microcontrôleur 8-bit (PIC16F716) :

Il s'agit d'un microcontrôleur de la gamme *mid-range* de la société américaine Microchip, devenu leader mondial dans cette catégorie de composants numériques programmables. Il est doté d'une architecture RISC, dont les performances en vitesse d'exécution et taux d'occupation mémoire sont bien meilleurs que l'ancienne architecture CISC (exemple : Motorola 68705 ou Intel 8051). Il est alimenté par une tension particulière de 2.56 [V]. Ce choix a été dicté par les impératifs de fonctionnement du module interne de conversion analogique numérique ADC de résolution 8-bit. En effet, avec une résolution de 8-bit, on dispose de 256 pas de mesures, et en fixant une tension de 2.56 [V], on obtient alors une sensibilité de $2560 / 256 = 10$ [mV]. Ce choix a été aussi dicté par la résolution des deux capteurs de température, des LM35DZ, dont la sensibilité est de 10 mV par degré Celsius. Enfin, ce PIC16F716 est cadencé par un quartz de 4 MHz, ce qui nous permet de comptabiliser l'exécution de chaque instruction de programmation en unité de microseconde.

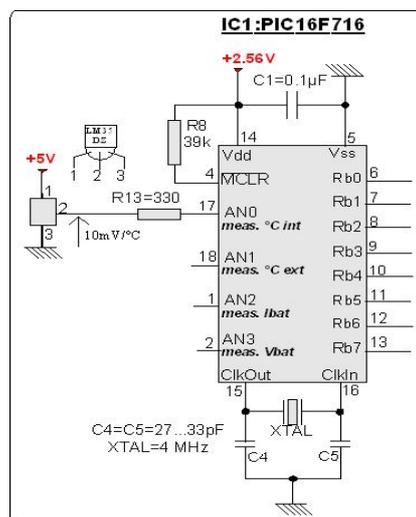


Fig. 3 Circuit du PIC16F716, avec son quartz de 4 MHz.

3.2 Le module afficheur 4 digits à LED 7-segments :

Un module afficheur 4 digits à LED 7-segments classique aurait monopolisé 12 lignes I/O (entrées/sorties) de la part du PIC, comme le montre la figure 4. Dans ce prototype, l'affichage à 7 segments LED a été préféré pour les raisons suivantes :

- Faible densité de l'information affichée (seulement 8 paramètres, en alternance)
- Meilleure stabilité en température
- Facilement connectable à un microcontrôleur ayant un petit nombre de broches (18 ou même 14 broches seulement). Cependant, avec un écran LCD 4 chiffres, nous aurions du utiliser un microcontrôleur de 40 broches, par exemple, un PIC16f917.
- Faible coût par rapport à l'affichage LCD à 4 chiffres.

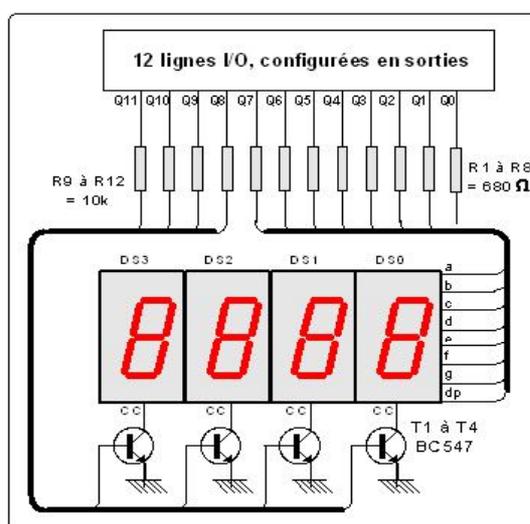


Fig. 4 Module afficheur 4 digits à LED 7-segments classique.

Dans notre montage, nous avons préféré utiliser une méthode astucieuse, dite *CharliePlexing*, dans laquelle un seul digit est actif à la fois. Ceci permet non seulement de réduire la consommation en courant, mais aussi de réduire le nombre de lignes I/O nécessaires. Nous avons encore poussé plus loin l'idée du multiplexage en faisant en sorte qu'un seul segment soit alimenté à la fois, dans le digit actif. Ce double multiplexage nous a permis de réduire (et maintenir constante) la consommation en courant de tout le module afficheur, de l'ordre de 2 à 3 mA.

Afin d'augmenter la longévité de la pile alimentant ce dispositif, il était nécessaire d'éviter un affichage permanent. Cela signifie que nous avons incorporé un circuit d'arrêt automatique après une courte période (2 minutes), sans l'aide d'un commutateur dédié. En appuyant sur l'un des trois boutons-poussoirs, l'affichage est remis en service.

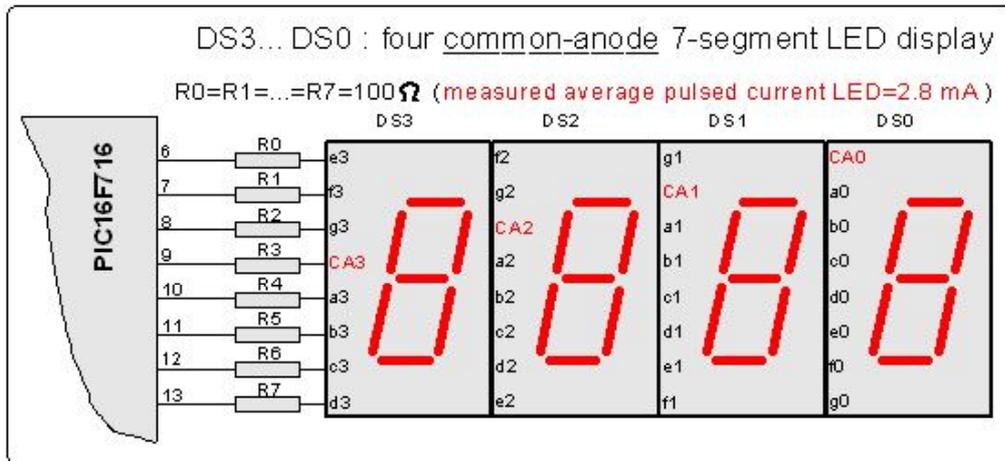


Fig. 5 Module afficheur 4 digits à double multiplexage.

3.3 Le clavier de 3 boutons poussoirs :

Le clavier est composé de trois mini boutons poussoirs seulement : un pour incrémenter, un pour décrémenter, et un pour passer à la fonction suivante. Ce minimum indispensable a été dictée essentiellement pour le réglage de l’horloge-calendrier RTCC (*Real Time Clock and Calendar*) ; ce programme supplémentaire a été rajouté pour des impératifs de contrôles de tâches jour / nuit et saisonnières. La broche RA4 (pin 3 du PIC16F716) a été configurée en sortie est change d’état à l’aube et au crépuscule.

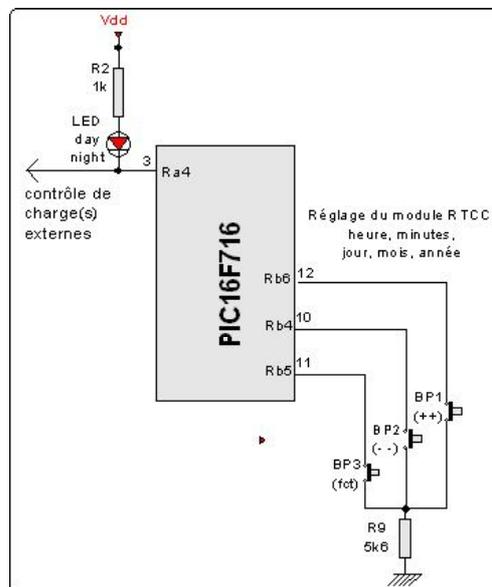


Fig. 6 Clavier 3 boutons poussoirs et sortie jour/nuit (pin Ra4).

Ce second régulateur est caractérisé par un courant de polarisation de 2 μA seulement. Cela est nettement inférieur par rapport au régulateur de tension bipolaire classique, comme le 7805 (courant de repos de 4 mA).

4. Résultats et discussions

Le 7 Juin 2013, nous avons fait un test final pour vérifier le bon fonctionnement et la fiabilité de l'assemblage réalisé en mesurant les paramètres d'un panneau d'essai 12V [TEA-520173750] relié à une batterie 12V, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.



Fig. 8 Assemblage de test minimaliste

Tableau. 1 Paramètres du panneau solaire [TEA-520173750].

I_{mp}	1.14 A
V_{mp}	17.54 V
P_{max}	20 W
I_{sc}	1.21 A
V_{oc}	21.8 V

Les résultats apparaissent sur l'écran successivement dans l'ordre d'une mesure par seconde, comme indiqué dans le tableau 2 ci-après. (I :courant ; U :tension ; N :numéro du jour ; Sr : aube ; Ss : crépuscule ; TSV : heure locale ; Ti : température interne ; Te : température externe)

Tableau. 2 paramètres de mesure

I	U	N	S.r	S.S	TSV	T.i	T.e
0.69 A	16.4 V	158	5 _H 43	20 _H 15	11 _H 52	22°C	27°C

Voici enfin le schéma complet et détaillé de l'appareil comme le montre la figure 9.

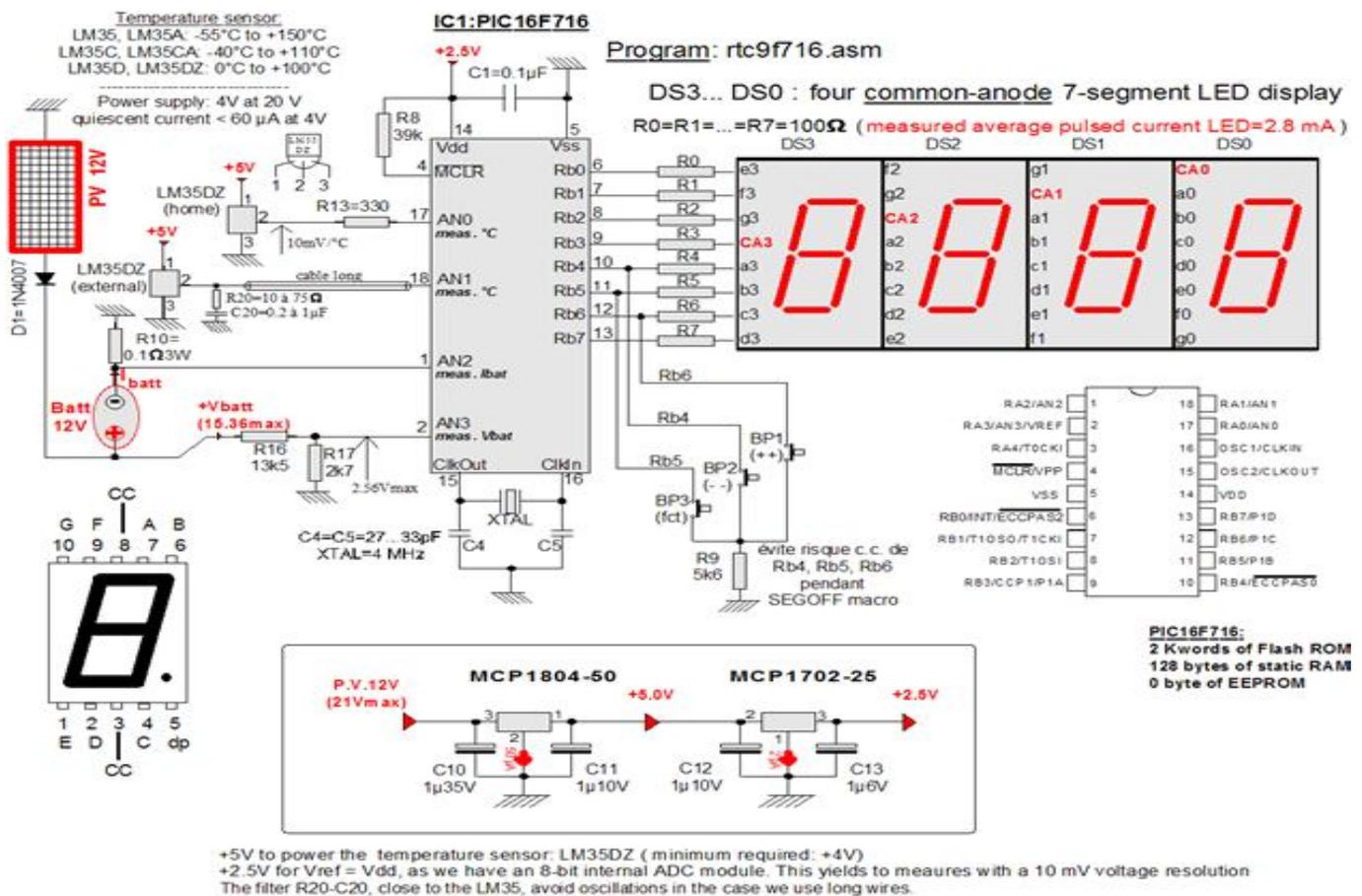


Fig. 9 Schéma détaillé et complet du dispositif réalisé

5. Conclusion

Cette étude a été effectuée dans les laboratoires (LAAR et LAMOSI) de la faculté de Physique de l'USTO. Elle est basée sur le microcontrôleur PIC16F716. L'objectif assigné est la conception et la réalisation d'un moniteur de contrôle des paramètres électriques les plus importants d'une centrale solaire, ainsi que la mesure de certains paramètres physiques importants, notamment la température. On s'est intéressé plus particulièrement sur la mesure du courant de charge de l'accumulateur d'énergie (une batterie 12V), sa tension de charge, la température externe (celle du panneau photovoltaïque) et la température interne (celle du dispositif). Le microcontrôleur a été programmé en assembleur sur un compatible PC / Windows XP.

V.3 Conception et Réalisation d'Un Mini-Datalogger Solaire Multicanaux [3]

Résumé : Cet article décrit la conception et la réalisation d'un dispositif enregistreur automatique de relevé de mesures et de contrôles de plusieurs paramètres physiques important dans la gestion et le suivi du bon fonctionnement d'une mini centrale de production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques. Il est basé sur l'utilisation d'un microcontrôleur 8-bit, chargé d'assurer toutes les fonctions prévues dans ce dispositif (mesures, contrôles et enregistrement), grâce à des modules intégrés spécialisés tels qu'un convertisseur analogique numérique 8-bit à quatre canaux de mesures, deux timers (8-bit et 16-bit) pour gérer une horloge-calendrier en temps réel RTCC, deux ports d'entrées-sorties pour la gestion d'un afficheur LCD 2x16 caractères, un mini clavier à trois boutons poussoirs et enfin une alimentation à base d'un régulateur intégré. La fonction enregistrement est assurée par une EEPROM externe de 8 Ko, pilotée par le microcontrôleur avec le protocole I2C, ce qui permet d'augmenter facilement la capacité de stockage en rajoutant, en parallèle, jusqu'à huit EEPROM externes.

Mots-clés : Panneau photovoltaïque, mesure électrique, horloge RTCC, PICmicro, EEPROM I²C.

1. Présentation

Ce dispositif est dédié à la mesure automatique de cinq paramètres importants à surveiller dans une centrale solaire, à savoir : le courant de charge de l'accumulateur d'énergie (batterie 12V), son courant de décharge, sa tension de charge, la température externe (celle des panneaux photovoltaïques 12V) et la température interne (celle du dispositif électronique). Ces mesures sont acquises périodiquement (une mesure par seconde) et immédiatement visualisées sur un afficheur LCD 2x16 caractères, dont la 1ère ligne est réservée pour afficher en permanence la valeur mesurée de la tension de la charge de batterie, du courant de charge (ou de décharge, selon le signe affiché), la quantité d'électricité (acquise ou consommée) ainsi que le rendement correspondant, tandis que la 2ème ligne est réservée pour afficher en permanence l'horloge, et, à tour de rôle, la date, le numéro du jour dans l'année, l'heure du levée du Soleil, l'heure du coucher du Soleil, la température interne et la température externe. Un clavier rudimentaire (mais suffisant) de 3 boutons poussoirs est utilisé pour procéder au réglage initial de l'horloge calendrier RTCC de ce dispositif. L'alimentation de l'ensemble est assuré par un circuit régulateur classique : un 78L05 pour délivrer une tension fixe de 5V (utile pour alimenter les capteurs de température LM35DZ et l'afficheur LCD), mais rehaussée à +5.12V grâce au rajout d'une diode Schottky BAT85 dans le circuit de polarisation de ce régulateur. Cette valeur particulière est dictée par les impératifs du convertisseur analogique numérique ADC 8-bit interne au PIC16F716.



Fig. 1 Aperçu du dispositif réalisé.

2. Description hardware

Le synoptique suivant indique les principaux modules de ce montage : microcontrôleur 8-bit (PIC16F716), un module afficheur LCD 2x16 caractères, un clavier de 3 boutons poussoirs, la circuiterie pour 4 voies de mesures (température interne, température externe, courant de charge et de décharge, tension de charge), la section alimentation régulée et enfin la mémoire EEPROM externe.

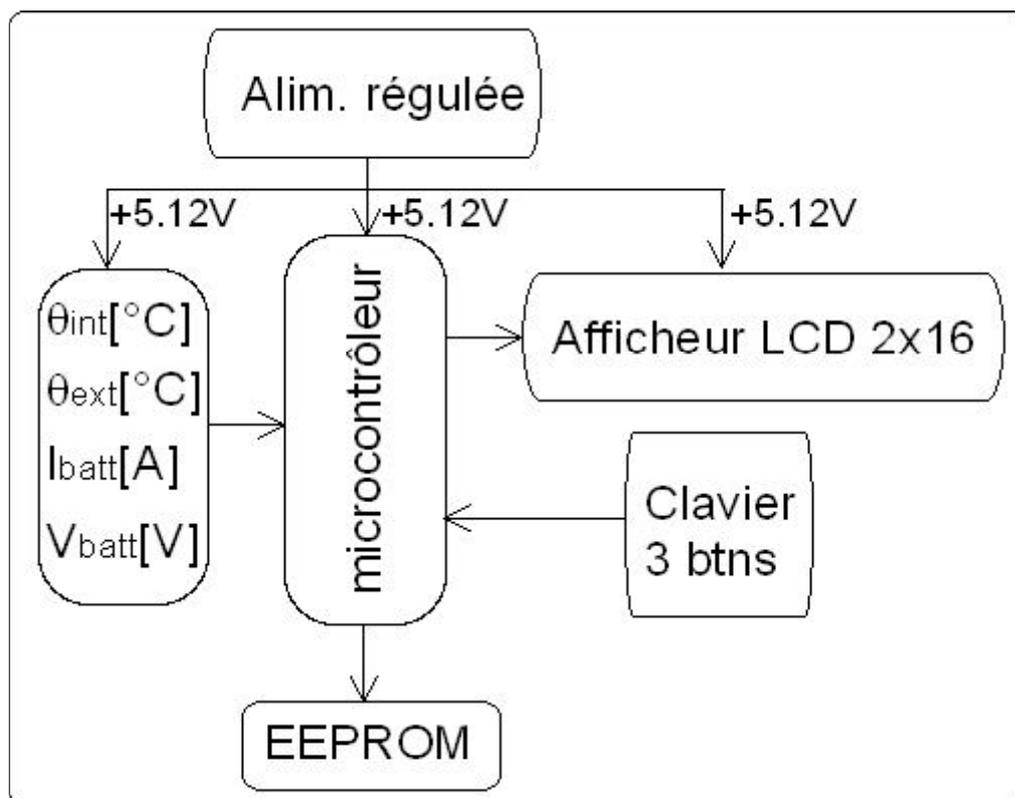


Fig. 2 Synoptique du dispositif réalisé.

2.1 Le microcontrôleur 8-BIT (PIC16F716)

Il s'agit d'un microcontrôleur de la gamme mid-range de la société américaine Microchip, devenu leader mondial dans cette catégorie de composants numériques programmables. Il est doté d'une architecture RISC, dont les performances en vitesse d'exécution et taux d'occupation mémoire sont bien meilleurs que l'ancienne architecture CISC (exemple : Motorola 68705 ou Intel 8051). Il est alimenté par une tension particulière de 5.12 [V]. Ce choix a été dicté par les impératifs de fonctionnement du module interne de conversion analogique numérique ADC de résolution 8-bit. En effet, avec une résolution de 8-bit, on dispose de 256 pas de mesures, et en fixant une tension de 5.12 [V], on obtient alors une sensibilité de $5120 / 256 = 20$ [mV]. Mais ce pas de 20 mV est insuffisant pour mesurer la température relevée par les capteurs LM35DZ qui fournissent un pas de 10 mV par degré Celsius. Au lieu de rechercher un autre PIC qui comporte un convertisseur ADC de 10-bit (ex : le PIC16F88) qui serait donc beaucoup plus chère, nous avons préféré continuer d'utiliser ce PIC16F716, et de faire passer la résolution 8-bit de son convertisseur ADC à 9-bit par programmation d'un algorithme de sur-échantillonnage. En effet, la pratique du sur-échantillonnage est très bien adaptée à la mesure des signaux évoluant lentement, comme c'est notre cas avec la mesure des températures externe et interne, la tension et le courant de charge ou de décharge. Cet algorithme se résume à prélever M échantillons

successifs d'une grandeur physique, où $M = 4k$, avec k le nombre de bits supplémentaires (dans notre cas, passer de 8-bit à 9-bit impose $k=1$, donc $M=4$) puis d'opérer une décimation qui consiste à faire la somme de ces M échantillons suivi par une division par $2k$ (qui se traduit simplement par un décalage à droite de k bits). Une précaution importante doit toutefois être observée : cette méthode ne fonctionne correctement qu'en présence d'un bruit blanc d'amplitude moyenne supérieure au quantum désiré. Si le niveau de bruit est insuffisant, on doit ajouter artificiellement du bruit au signal à convertir (dithering), ce qui explique la présence d'une résistance de forte ($R3=120k$) en aval du capteur de température IC2. Enfin, ce PIC16F716 est cadencé par un quartz système de 4 MHz, donnant lieu à une durée d'une microseconde par instruction (sauf les instructions de sauts qui nécessitent $2 \mu s$). L'horloge calendrier RTCC est gérée avec précision grâce au module 16-bit Timer1 interne au PIC.

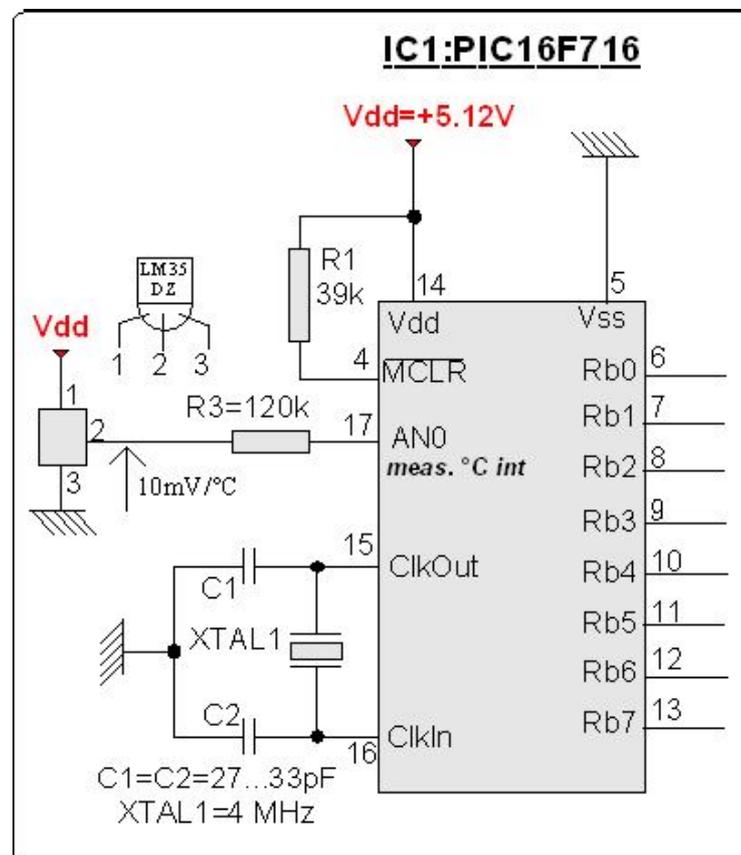


Fig. 3 Circuit du PIC16F716, avec son quartz de 4 MHz.

2.2 Le module afficheur LCD 2X16 caractères

Un module afficheur LCD 2x16 caractères nécessite au minimum 10 lignes I/O (entrées/sorties) de la part du PIC, en mode 8-bit, ou seulement 6 lignes I/O en mode 4-bit. Ce dernier mode a été donc choisi pour minimiser le nombre de lignes I/O. Nous avons davantage réduit ce minimum à 5 lignes seulement, grâce à l'astuce suivante :

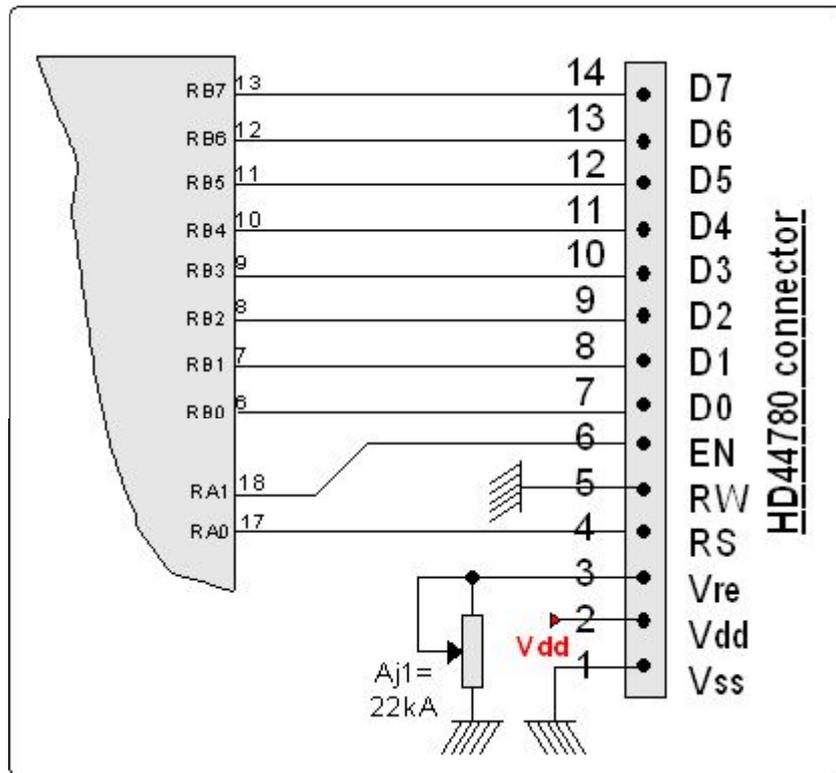


Fig. 4 Module afficheur LCD en mode 8-bit classique.

La ligne de commande (EN : pin 6) de l'afficheur LCD est pilotée directement par la sortie RB0 (pin 6) du PIC16F716, tandis que la ligne de commande (RS : pin 4) de l'afficheur LCD est aussi pilotée par la sortie RB0 mais indirectement, à travers un filtre RC passe-bas. En effet, si la durée de l'état haut, sur la sortie RB0, dépasse la constante de temps du filtre ($R9 * C5 = 10k * 5.6nF = 56 \mu s$), alors l'entrée RS de l'afficheur LCD voit un état haut (ceci indique que les entrées D4 à D7 de l'afficheur LCD reçoivent une donnée). Au contraire, si la durée de l'état haut, sur la sortie RB0, est inférieure au dixième de cette constante de temps $56 \mu s$, alors l'entrée RS de l'afficheur LCD voit un état bas (ceci indique que les entrées D4 à D7 de l'afficheur LCD reçoivent une commande). Ceci ne perturbe nullement l'entrée EN de l'afficheur LCD car elle n'est sensible qu'à la transition du front descendant de la sortie RB0.

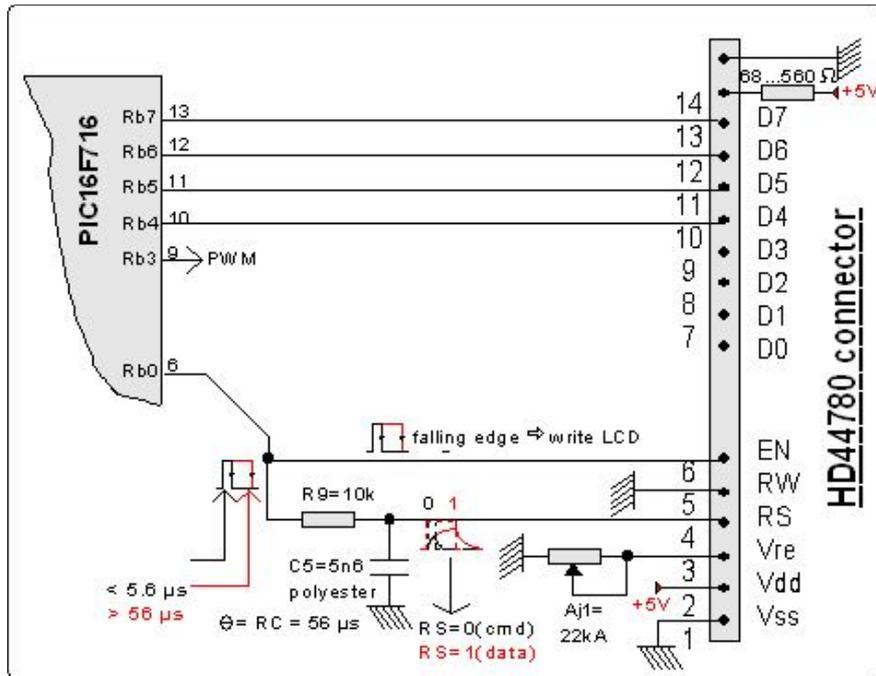


Fig. 5 Module afficheur LCD 2x16 en mode 4-bits et 1 ligne de commande doublée.

2.3 Le clavier de 3 boutons poussoirs

Le clavier est composé de trois mini boutons poussoirs seulement : un pour incrémenter, un pour décrémenter, et un pour passer à la fonction suivante. Ce minimum indispensable a été dictée essentiellement pour le réglage de l'horloge-calendrier RTCC (Real Time Clock and Calendar) ; ce programme supplémentaire a été rajouté pour des impératifs de contrôles de tâches jour / nuit et saisonnières. La broche RA4 (pin 3 du PIC16F716) a été configurée en sortie est change d'état à l'aube et au crépuscule.

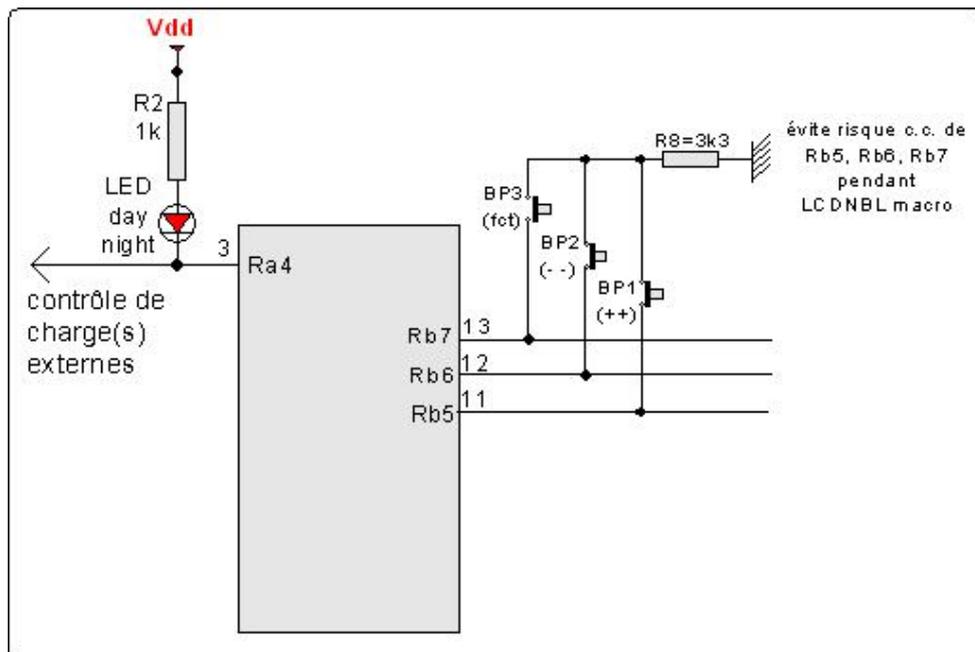


Fig. 6 Clavier 3 boutons poussoirs et sortie jour/nuit (pin Ra4).

2.4 La circuiterie pour 4 voies de mesures

Les quatre entrées analogiques du PIC16F716 ont été consacrées à la mesure de cinq paramètres physiques importants : le courant de charge de l'accumulateur d'énergie (une batterie 12V), son courant de décharge, sa tension de charge, la température externe (celle des panneaux photovoltaïques 12V) et la température interne (celle du dispositif électronique). Le capteur de température utilisé est un LM35DZ dont la sensibilité est de 10 mV/°C avec une précision de +/- 0.5°C. Sa gamme de température va de 0°C à +100°C (tandis que sa version améliorée, le LM35, est capable de tenir une mesure de température de -55°C à +150°C. Enfin, il peut être alimenté par une tension continue allant de +4V à +20V. Le courant de charge (et de décharge) de la batterie se fait par mesure d'une chute de tension à travers une très faible résistance (0.1 Ohm) mise en série sur le pôle positif de la batterie à recharger. Le calcul de la puissance maximale dissipée par cette résistance dépend du courant maximum pouvant être délivré par les panneaux solaires en service, et du courant maximum autorisé pour la consommation utilisateur. Enfin, la tension de charge à mesurer est prélevée à partir d'un diviseur de tension classique

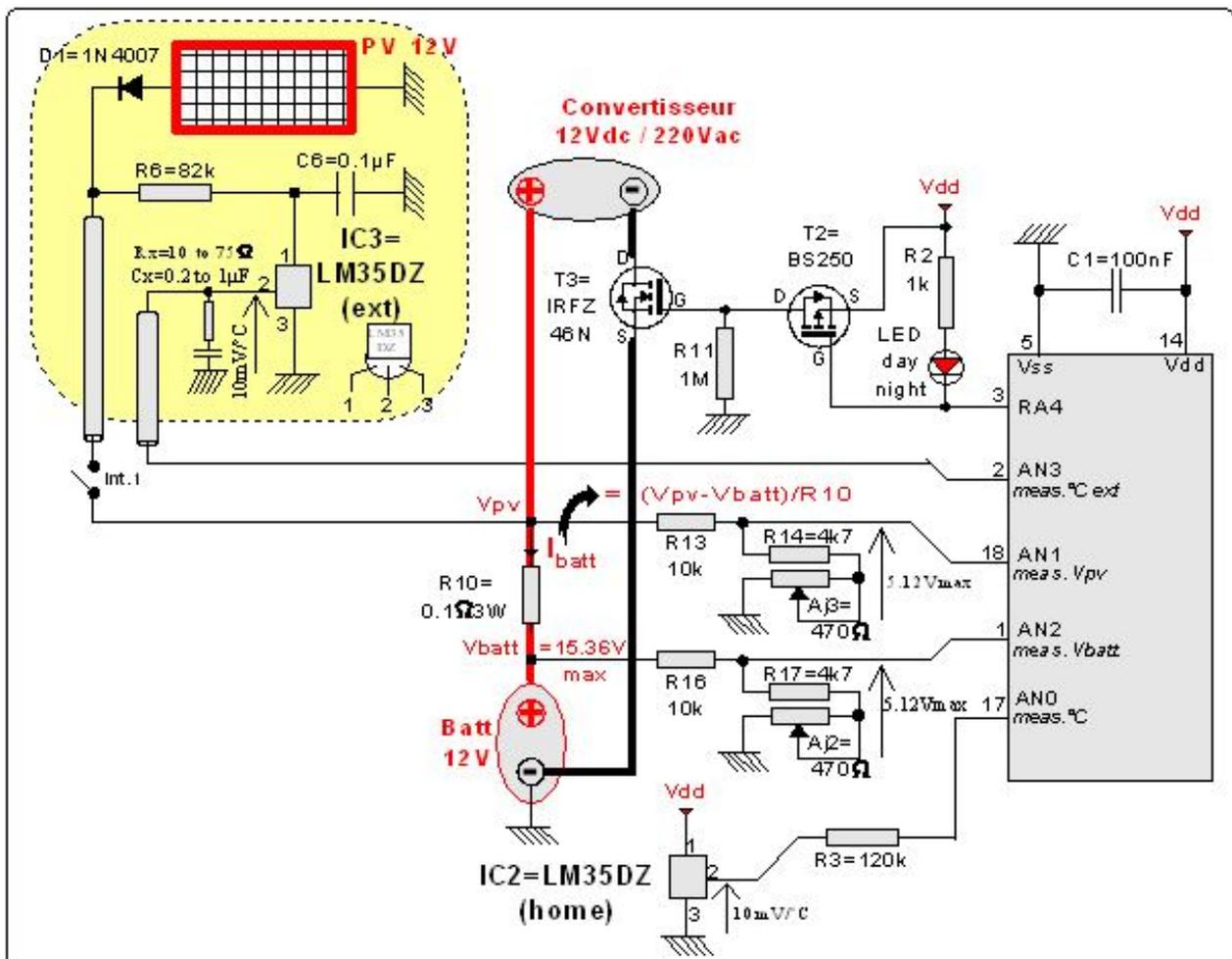


Fig. 7 Circuiterie pour les 4 voies de mesures analogiques.

2.5 La section alimentation régulée

La section alimentation régulée comporte un régulateur intégré 78L05 (version limitée à un courant de sortie maximum de 100 mA) chargé d'abaisser la tension délivrée par les panneaux solaires 12V, (pouvant atteindre 17V en fonctionnement optimal) à 5V pour alimenter l'ensemble des circuits actifs (les deux capteurs de température LM35DZ, l'afficheur LCD 2x16 caractères et le microcontrôleur PIC16F716). Pour disposer d'une référence de tension de +5.12V nécessaire pour le module interne ADC 8-bit, une diode schottky BAT85 a été insérée dans le circuit de polarisation du régulateur 78L05.

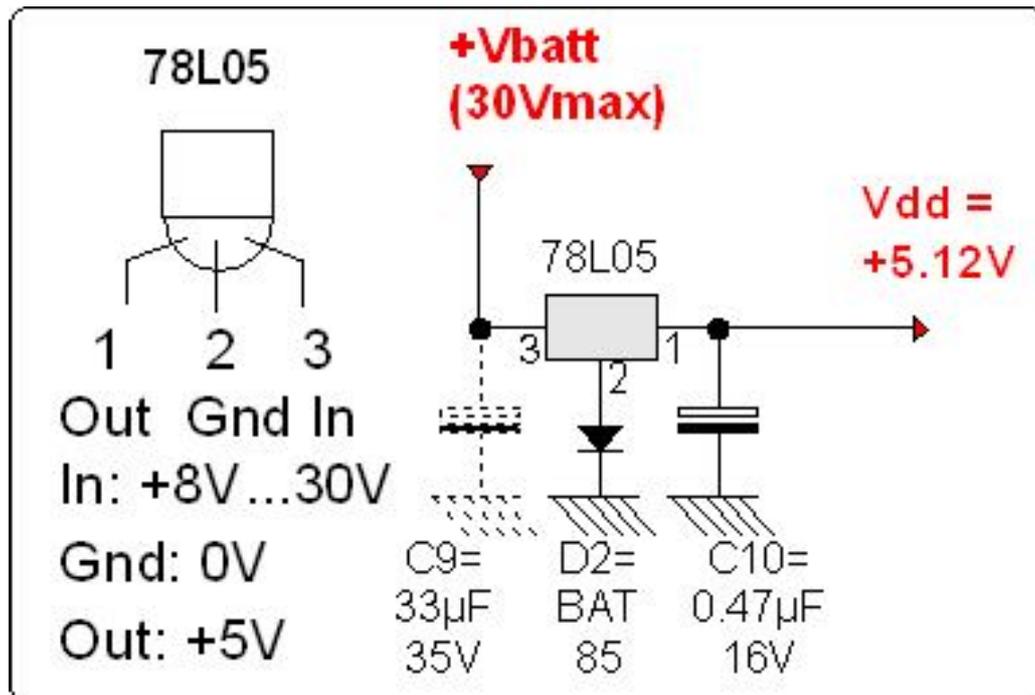


Fig. 8 Section alimentation régulée.

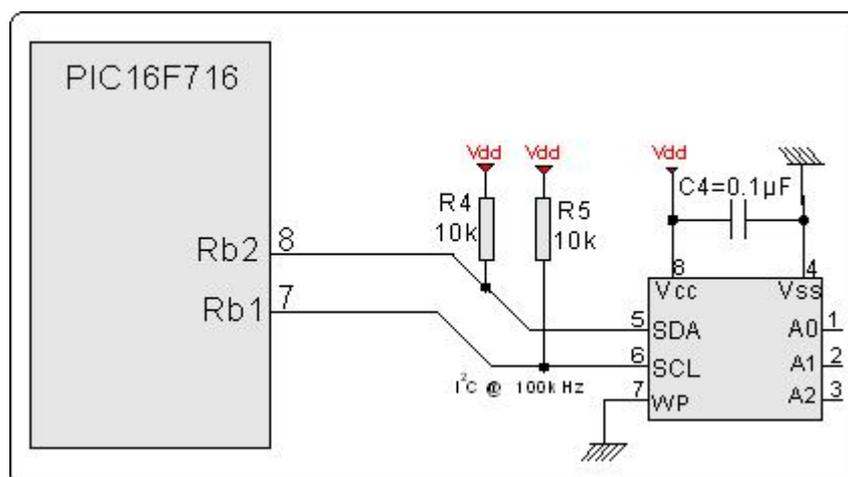
2.6 La mémoire EEPROM externe

Une mémoire EEPROM externe de 8 Ko (une 24LC64) a été utilisée pour stocker un relevé de mesures étalé sur une année, dont le format est le suivant :

Tableau. 1 Format d'enregistrement d'un paquet de mesures par jour.

Nbr bits	Variable	Signification
9	nDay	Numéro du jour dans une année = 1, 2, ..., 366
6	Year	Année = 00, 01, ..., 99 correspondent à 2000 jusqu'à 2099
24	Qday	Quantité d'électricité accumulée le jour
8	RhoMax	Rendement maximum relevé le jour
8	TintMax	Température interne maximale
8	TextMax	Température externe maximale
24	Qnight	Quantité d'électricité consommée la nuit
8	TintMin	Température interne minimale
8	TextMin	Température externe minimale

Un paquet de mesures nécessite donc 13 octets par jour, ou $13 * 366 = 4758$ octets sur une année (bissexile incluse). Cette valeur nous a dicté de choisir une 24LC64 [9] de capacité 8192 octets. Pour gérer cette mémoire externe, des routines standard de communication I²C ont été programmées dans le microcontrôleur, en assembleur sous l'interface MPLAB v7.52. Enfin, pour récupérer cet ensemble de mesures, une liaison série type RS232 minimaliste a été prévue pour connecter ce datalogger à un compatible PC, à travers une application développée en C++ Builder v3.0 sous Windows XP.

**Fig. 9** Section EEPROM externe.

