

V.4 Mise au point d'un suiveur solaire a un seul axe [4]

Résumé : Un système à panneaux solaires photovoltaïques (P.V.) fixes perd une quantité d'énergie pouvant avoisiner les 50% comparé à un système à P.V. motorisé. Dans cet article, nous décrivons la mise au point détaillée d'un dispositif de poursuite automatique du Soleil à bas coût, nécessitant très peu de composants, grâce à l'utilisation d'un microcontrôleur 8-bit doté d'une architecture RISC, facilement programmable en assembleur. Ce microcontrôleur est chargé d'assurer toutes les fonctions prévues dans ce dispositif (contrôle date-heure grâce au module RTCC, *real time clock and calendar*, gérer par un timer intégré de 16-bit, et manipulation d'une table L.U.T pour extraire les angles azimuth et élévation de la position du Soleil pendant le jour, table établit pour une année complète). Sa faible consommation ($< 120\mu\text{A}$ sous 2V, 1MHz) le rend particulièrement recommandé pour la conception et la réalisation de dispositif à grande autonomie d'énergie, en particulier, les produits et accessoires dédiés à la mesure, le contrôle et la régulation dans les diverses domaines de l'énergie solaire

Mots-clés : Suiveur solaire, panneau photovoltaïque, microcontrôleur, PIC micro, horloge RTCC.

1. Introduction :

Au cours d'une journée ensoleillée, un système bien orienté de 1 kWp peut produire 5,5 kWh d'énergie ; le même système avec suiveur, dans les mêmes conditions d'ensoleillement, peut produire jusqu'à 11 kWh d'énergie. Pour disposer de ce rendement maximal, nous devons connaître la position exacte du soleil et pouvoir prédire sa trajectoire afin de diriger le plan du capteur solaire et minimiser ainsi l'angle d'incidence des rayons solaires.

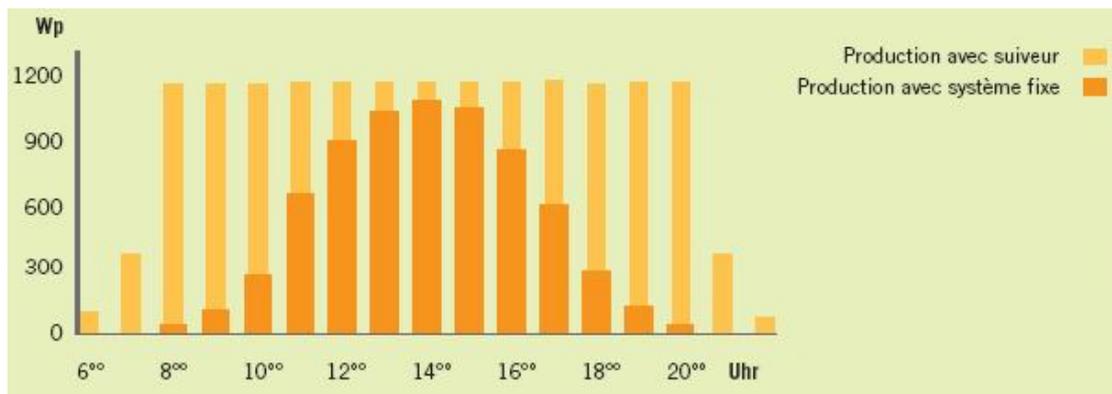


Fig. 1 Production d'énergie d'un système à P.V. fixe comparé à celui motorisé.

2. Position du soleil

Pour déterminer la position exacte du soleil, on doit calculer ses coordonnées horizontales : les deux angles α et h .

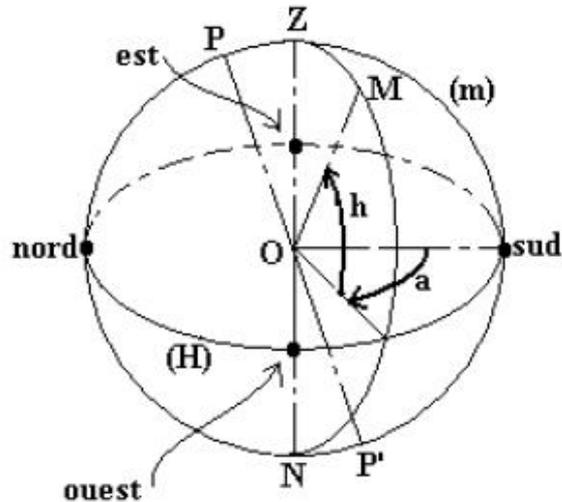


Fig. 2 Définition des angles a et h pour un point M de la voûte céleste.

a : azimut du soleil ; **h** : hauteur=élévation=angle zénithal du soleil ; **Z** : zénith ; **N** : nadir ;

P : pôle boréal ; **P'** : pôle austral ; **(H)** : grand cercle d'horizon ; **(m)** : grand cercle méridien du lieu.

Le nord et le sud sont définis par l'intersection de l'horizon et du méridien du lieu.

2.1 Calcul des angles

La position du soleil est alors calculable en coordonnées horizontales par les formules suivantes :

$$\begin{cases} \sin a \cosh = \sin H \cos \delta & (2.1) \\ \cos a \cosh = \cos H \cos \delta \sin \varphi - \sin \delta \cos \varphi & (2.2) \\ \sin h = \cos H \cos \delta \cos \varphi + \sin \delta \sin \varphi & (2.3) \end{cases}$$

Nous avons calculé, sous Excel, les angles azimut (a) et élévation du soleil (h) durant toute une journée, de 06 :00 à 18 :00 GMT, avec un pas de 12 minutes, et pour différentes valeurs du numéro du jour N (N variant de 1 à 365, par pas de 23 jours). Pour un lieu et un jour donné (φ , λ et N fixés), et pour diverses valeurs de l'angle horaire H, on obtient les valeurs de a et h sous forme de tableau de 61 éléments pour chaque paramètre.

2.2 Algorithme pour déterminer la position du soleil

Les étapes principales sont :

- Préciser le lieu : donner les coordonnées géographiques (longitude, latitude)
- (dans le cas de la ville d'Oran : latitude = 35.38° N, longitude = -0.37° W)
- Choisir la date et définir l'intervalle du temps.
- Calcul de l'équation du temps $E_t(N')$
- Calcul du temps solaire vrai TSV
- Calcul des coordonnées horaires (angle horaire (H) et la déclinaison $\delta(N)$)
- Calcul des coordonnées horizontales (azimut, zénith=élévation)
- Conversion des valeurs réelles de a et h en entier AZ et EL
- Calcul des écarts successifs : delta AZ et delta EL

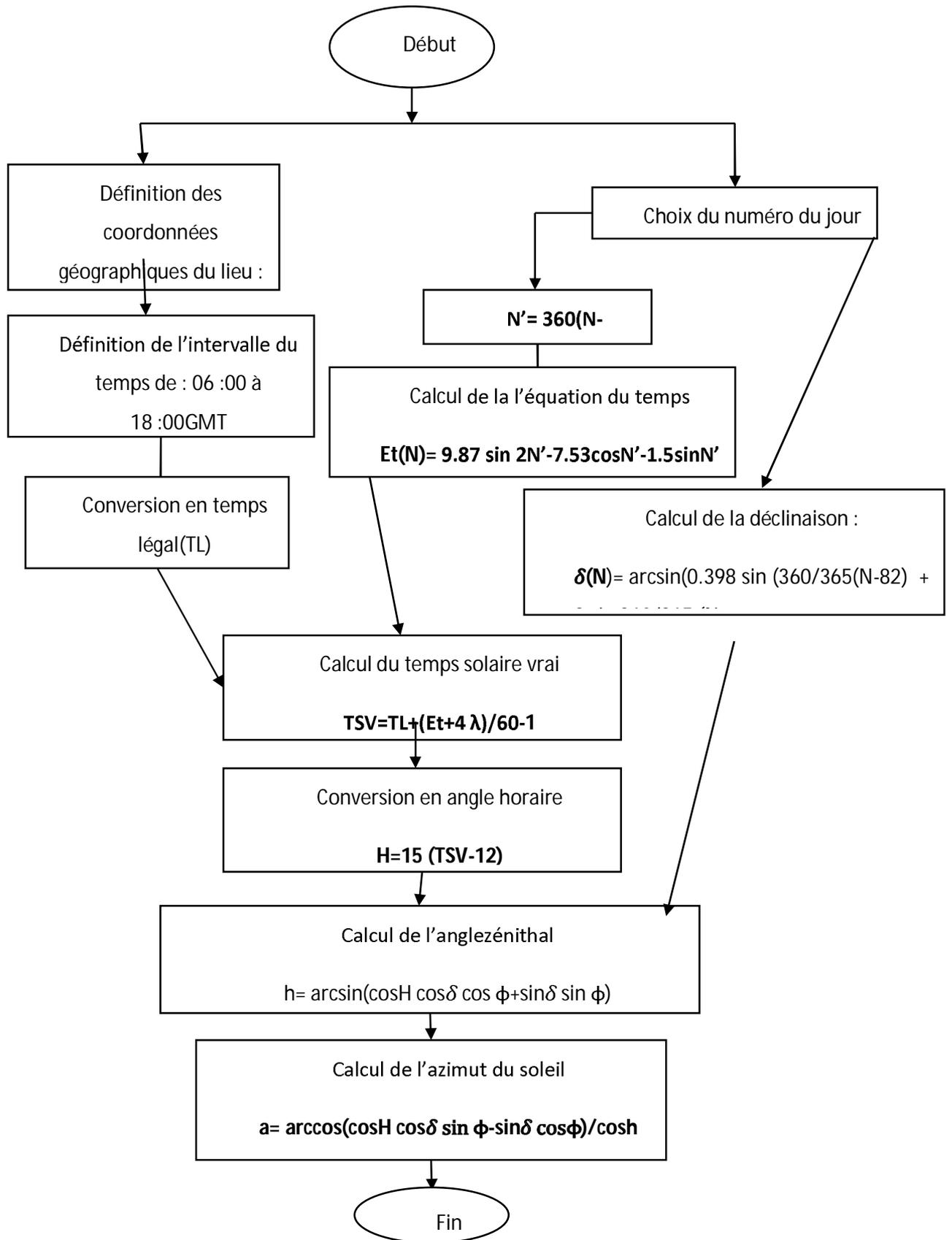


Fig. 3 Calcul des angles a (azimuth) et h (élévation) du Soleil pour un point de longitude et latitude (λ, φ)

3. Mise au point du dispositif électronique :

Le dispositif électronique suivant est réalisé à base d'un PIC16F716 qui est le microcontrôleur 8-bit le moins chère de la gamme *mid-range* de la société MICROCHIP. Ce montage fournit en temps réel des informations sur la position du Soleil durant la journée, en fonction du temps, par rapport à la ville d'Oran. Ces informations (azimuth et élévation du Soleil durant une année), stockées dans la mémoire FlashROM du PIC, sont visualisées sur un afficheur LCD 2x16 caractères, et traduites sous forme de protocole DiSEqC v1.2 pour le pilotage d'un positionneur numérique. L'intérêt d'utiliser un moteur positionneur compatible DiSEqC v1.2 est de pouvoir bénéficier d'une précision angulaire inférieure à 1°, sans faire appel à un moteur pas à pas, très coûteux.

4. Description hardware :

Le synoptique du montage réalisé (figure 4) indique les principaux modules de ce montage : un microcontrôleur 8-bit (PIC16F716), un module afficheur LCD 2x16 caractères, un clavier de 3 boutons poussoirs, un étage tampon pour le pilotage du positionneur numérique et enfin la section alimentation composée d'un régulateur série discret pour alimenter l'ensemble.

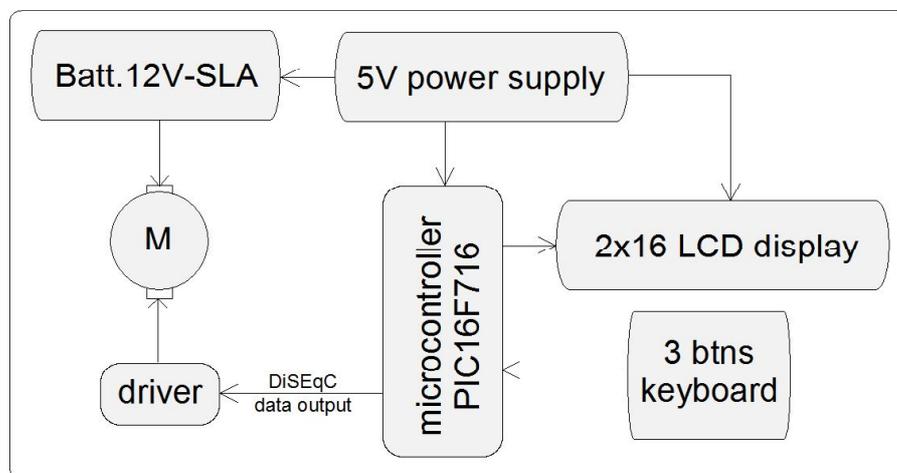


Fig. 4 Synoptique du montage réalisé.

4.1 Le microcontrôleur 8-bit (PIC16F716)

C'est un microcontrôleur à 8-bit de la gamme *mid-range* de la société américaine Microchip, il est le 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 de +5V. Ce choix a

été plutôt imposé par la présence de l'afficheur LCD qui ne peut pas être fonctionnel en dehors d'une marge étroite autour de +5V (+/- 5%). Ce PIC16F716 est cadencé par une horloge principale de 4 MHz, nécessaire au fonctionnement de ce microcontrôleur (une instruction est exécutée en 1 μ s), et d'une horloge secondaire de 32768 Hz nécessaire au fonctionnement du module RTCC (*Real Time Clock and Calendar*)

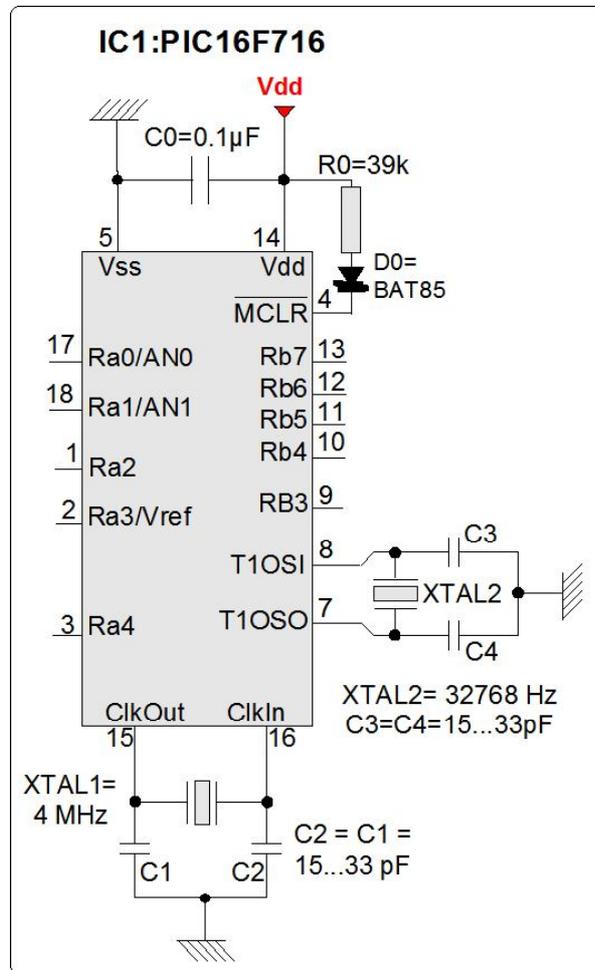


Fig. 5 Circuit du PIC16F716, avec ses deux quartzs (4 MHz et 32768 Hz).

4.2 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 :

4.4 L'étage tampon pilote du moteur positionneur

Cet étage permet le pilotage du positionneur numérique, à travers un transistor bipolaire tampon, qui permet de translater le niveau de tension de sortie du PIC (limité à +5V) vers un niveau de tension requis par ce moteur (+13V +/- 5%) si le mode lent est utilisé, ou (+18V +/- 5%) si le mode rapide est utilisé. Le PIC génère la fréquence de 22 kHz grâce à la routine assembleur *emit22kHz* dans laquelle est calculé avec précision la durée ON de l'état haut et la durée OFF de l'état bas d'une période T : (ON=23 μ s, OFF=22 μ s, T=45 μ s). Les messages compatibles DiSEqC v1.2 ont été extraits du document d'EUTELSAT.

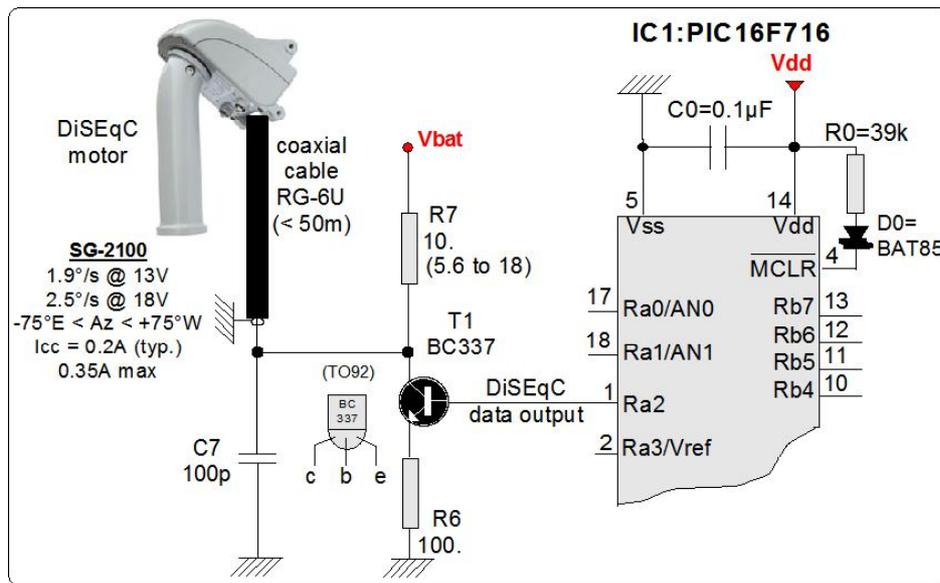


Fig. 8 Circuit tampon pour le pilotage du positionneur numérique.

4.5 La section alimentation

La section alimentation est composée d'un double régulateur série discret :

La section alimentation est composée d'un double régulateur série discret : Le premier (ballast T31) est destiné à abaisser à 13.8V, la tension typique de 17V fournie par un P.V. de 12V, afin de maintenir la batterie interne au dispositif à sa pleine charge ; Le second (ballast T20) est nécessaire pour fournir une tension stable de 5V aux circuits actifs (microcontrôleur et afficheur LCD). Cette solution discrète a été préférée au classique régulateur intégré 78L05, afin de minimiser le courant de polarisation (0.6 mA au lieu de 5 mA).

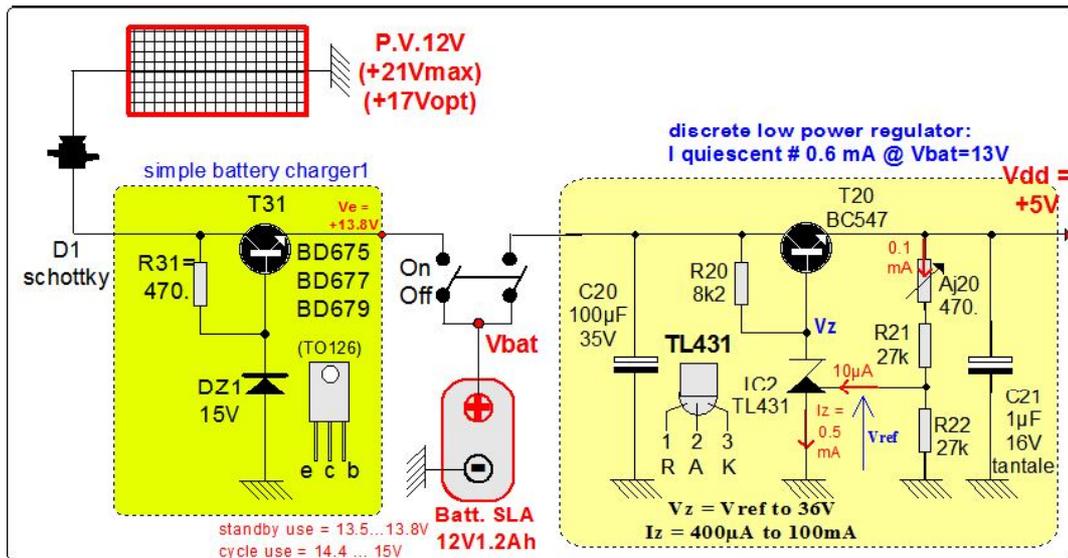


Fig. 9 Section alimentation à double régulateur série discret.

5. Description firmware :

Le tableau de stockage de la position du Soleil (AZ : azimuth et EL : élévation) a été relevé toutes les 12 minutes pour une année, sur un tableur (EXCEL), et nécessite une capacité mémoire de 1 Ko. Le PIC 16F716 a un espace mémoire FlashROM de 2 Kilo octets : le 1^{er} Ko a été réservé pour le programme assembleur (sous MPLAB v7.52), et le second pour le tableau.

5.1 Principe de calcul des angles (AZ et EL) dans EXCEL

Les valeurs des angles AZ et EL sont calculées pour les 16 dates clés suivantes :

13 Janvier, 05 Février, 28 Février, 23 Mars, 15 Avril, 08 Mai, 13 Mai, 22 Juin, 15 Juillet, 07 Août, 30 Août, 22 Septembre, 15 Octobre, 07 Novembre, 30 Novembre, 21 Décembre

Pour chaque date clé, on doit réserver 62 octets : 1 pour AZ et 1 pour EL à 06:00 GMT, suivi par 60 valeurs d'écart successifs (écart pour AZ, codé 4 bits et de même pour EL). En effet, de 06H00 GMT à 18H00 GMT, subdivisé par tranches de durée 12 minutes, cela nécessite 61 valeurs.

Pour un numéro de jour N donné, les valeurs de AZ et EL seront extraites de la façon suivante : Si $N_i \leq N < N_{i+1} \rightarrow$ lecture du tableau de la date clé qui correspond.

Exemple : $N=10$ (10^{ème} jour de l'année)

$N_0 \leq N < N_1 \rightarrow$ Donc, lecture du tableau 13 janvier,

pour extraire AZ = a, et EL = h, selon la tranche horaire, entre 06h00 et 18h00 GMT.

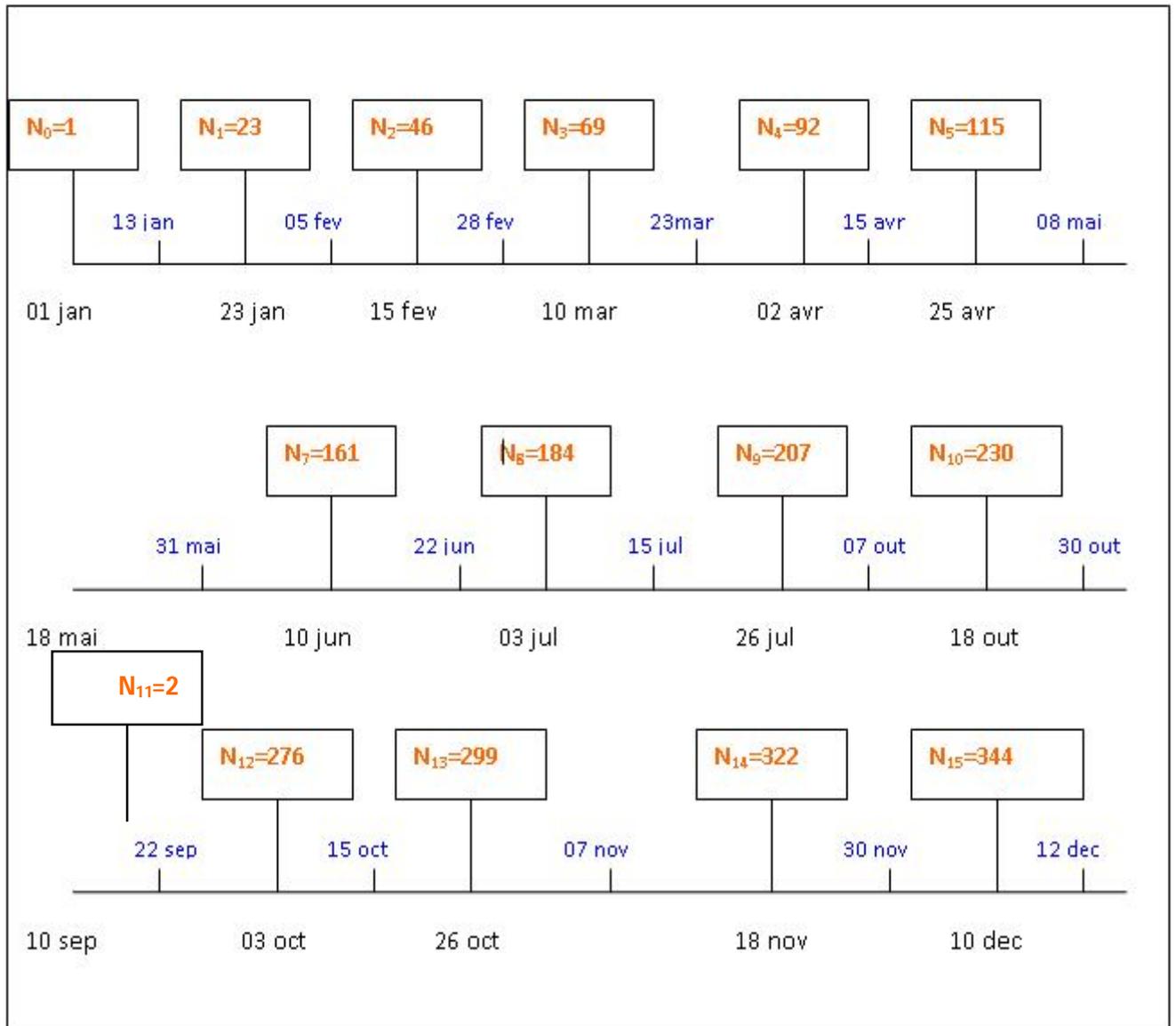


Fig. 10 Représentation des dates-clés durant une année.

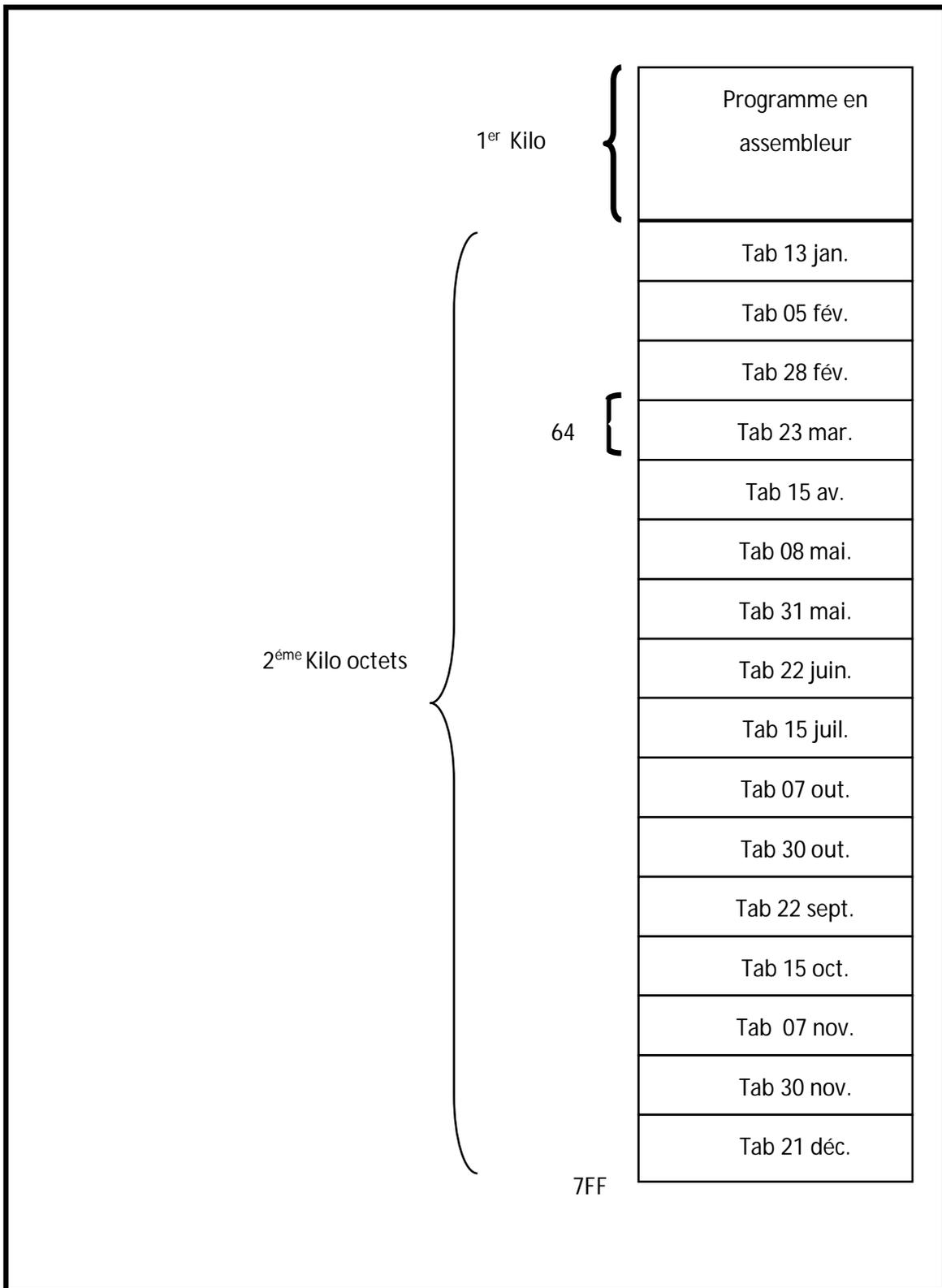


Fig. 11 FlashROM du PIC16F716

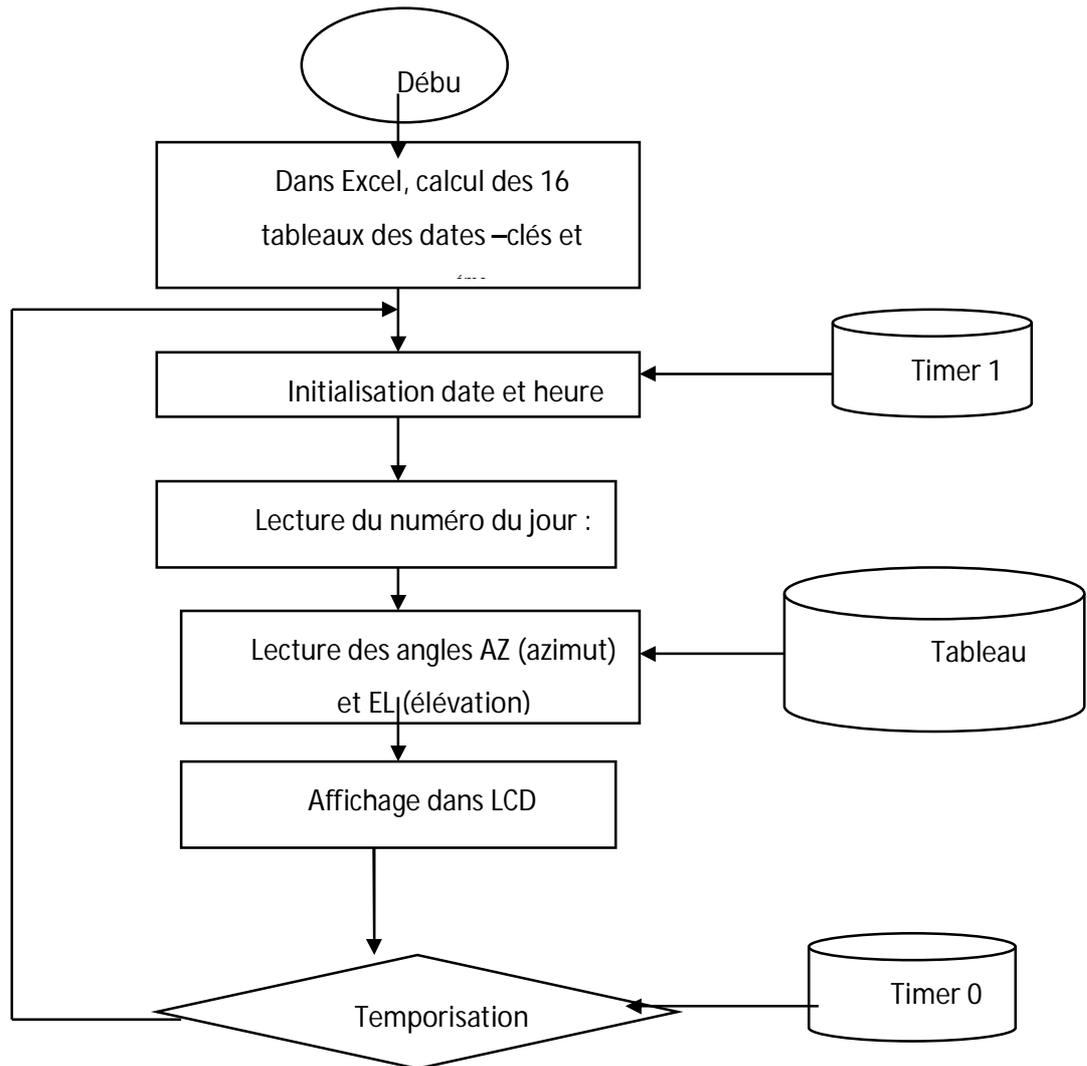


Fig. 12 Organigramme fonctionnel du programme assembleur.

6. CONCLUSION

Le dispositif réalisé présente l'avantage de prix très abordable, on a utilisé un nombre de composants très limités, facilement disponibles et occupant un espace très restreint, afin de l'intégrer facilement dans un système complet de tracking solaire, à base de moteur positionneur compatible DiSEqC v1.2. Cette 1^{ère} version est utile seulement pour la ville d'Oran (coordonnées enregistrées : latitude=35°37N, longitude=0°39W). Une extension est facilement envisageable pour d'autres villes, en rajoutant une mémoire EEPROM externe d'au moins 1Ko (genre 24LC08) dans laquelle seront stockés les 16 tableaux des valeurs AZ (azimuth) et EL (élévation) de la position de Soleil au cours d'une journée (de 06h00 GMT à 18h00 GMT) pour une année, à recalculer dans Excel.

5. Bibliographie :

[1] NAIM, F.Z. FALIL, N. BENABADJI, A. BOUADI “Mise au point d'un mini-pyranometre ” *11^{ème} Séminaire International sur la Physique Energétique*, 16 et 17 Janvier 2013 UNIVERSITE DE BECHAR.

[2] H. NAIM, N. BENABADJI, A. BOUAD “Conception et réalisation d'un moniteur solaire multicanaux ” *Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa* ; 313 – 318, 2012.

[3] H. Naim, A. Hassini, N. Benabadji, F. Z. Falil, and A. Bouadi, “Realization of an Inexpensive Embedded Mini-Datalogger for Measuring and Controlling Photovoltaic System” *J. Sol. Energy Eng*, vol. **173**: 024502-024502-5, 2015.

[4] H. Naim, S. YOUNI, N. Benabadji, A. Hassini, A. Bouadi “ Mise Au Point d'un Suiveur Solaire a un Seul Axe ” *International Conférence On Engineering Of Industrial Safety and Environment (ICISE'14)*, 26-27 Jan, 2014-Oran, Algeria

Conclusion générale

Dans ce travail, on a étudié la gestion d'une mini-centrale solaire et la mise au point d'un dispositif automatique de mesures, contrôles et régulation de l'énergie électrique. Dans un premier temps, on a présenté des généralités sur le gisement solaire avec ses deux aspects (géométrique et énergétique), on a pu également estimer et vérifier expérimentalement des modèles du rayonnement solaire global journalier et mensuel reçu sur un plan horizontal. Les résultats obtenus montrent que la région d'Oran dispose d'un climat très favorable à l'utilisation de l'énergie solaire et cela peut encourager l'exploitation de cette énergie. Dans un deuxième temps, L'étude de la bibliographie des générateurs photovoltaïques nous a permis de bien comprendre le fonctionnement de la cellule photovoltaïque et l'application des modules photovoltaïques dans la production de l'électricité. Les mesures réalisées dans des conditions réelles en utilisant le panneau solaire (ZT 180s) ont permis de déterminer les caractéristiques I-V et P-V du panneau.

Le fond de la thèse est consacré à la description, en détails, des dispositifs consacrés à la mesure, le contrôle et la régulation de l'énergie électrique produite par un système photovoltaïque, dont les plus importants sont :

Mini pyranomètre 8-bit à 2 entrées, Ce dispositif est dédié à la mesure du rayonnement solaire incident direct, dans le visible et le proche infra-rouge (grâce à deux photodiodes à large spectre, respectivement, une BPW21 et une BPW34),

Suiveur solaire à un seul axe pour augmenter la production d'énergie d'une manière automatique ; un suivi continu du soleil sans tenir compte de sa visibilité effective. La poursuite aveugle consiste à utiliser les coordonnées du soleil par calcul mathématique en connaissant la latitude et la longitude du site correspondant,

Le régulateur de charge MPPT pour maintenir, en permanence, le système de stockage de cette énergie électrique à son niveau maximum, le convertisseur DC/AC pour convertir cette énergie électrique présente sous forme d'une basse tension continue en une haute tension alternative compatible au secteur public,

Et enfin le datalogger pour le suivi permanent des principaux paramètres physiques que sont la tension et le courant de charge (et de décharge) ainsi que les températures relevées en des endroits critiques. Ce dernier dispositif reste l'instrument de base pour un bon dimensionnement d'une centrale solaire selon l'endroit où elle est implantée.

Résumé :

Le but de ce travail est la mise au point d'une conception et de réalisation d'un dispositif automatique de mesures, contrôles et régulations, avec la possibilité de stockage, périodique et à long terme, des principaux paramètres électriques d'une mini-centrale solaire, à savoir : la tension et le courant de charge des accumulateurs de stockage de l'énergie solaire, le courant de décharge, la quantité d'électricité acquise et restituée, et le contrôle des températures internes et externes.

Ces mesures seront effectuées à des intervalles réguliers, paramétrables par le biais d'un microcontrôleur PIC, et stockées dans une mémoire de capacité importante (EEPROM externe) et suffisante pour une année de relevé.

L'intérêt de cette masse d'informations importantes est de procéder ultérieurement, sur un tableur (EXCEL), à une analyse de données judicieuse pour évaluer le bon dimensionnement énergétique d'une mini-centrale solaire.

Mots clés : *Panneau photovoltaïque, mesure électrique, microcontrôleur, centrale solaire.*