

Hélioscope : Éphéméride solaire à base d'Arduino.

Par Nulentout : mardi 8 juin 2017.

Pour me contacter : michel.droui@laposte.net

Première question que va se poser le lecteur éventuel de ce didacticiel : À quoi peut bien servir cette chose qui ressemble à s'y méprendre à la petite station météorologique du même narrateur. Répondre à cette question n'est pas immédiat, surtout à l'époque où le maître mot qui gouverne est "LA RENTABILITÉ". Dans un tel contexte, vous pouvez oublier ce didacticiel et passer à d'autres activités. Il me serait possible de vous faire une réponse de type "COM", politiquement correcte du genre : *"Avec l'Hélioscope Arduino vous brillerez au devant de la scène à votre prochaine soirée mondaine, tous les invités seront béats quand vous présenterez cette merveille de technologie."* Franchement, inutile de faire une vilaine bosse sur la pochette de votre smoking pour emporter le petit appareil. Seul but à le fabriquer : *Le plus pur plaisir de créer. Il faut y voir une récréation ludique, dont seul le cheminement sera le bénéfice* des quelques heures englouties à sa matérialisation.

Concrètement, il consiste en une application ludique visant à mettre en œuvre une minuscule carte électronique NANOARDUINO dans une application amusante, mais qui au point de vue informatique couvre pratiquement tous les chapitres de la programmation. *Un investissement purement gratuit, juste pour le plaisir.* Cette idée est en fait un dommage collatéral à la fabrication d'instruments anciens, notamment l'héliothéodolite dont vous pouvez télécharger le didacticiel de fabrication sur :

<http://www.mediafire.com/file/433y3ab83c5njwx/HÉLIOTHÉODOLITE.zip>

L'appareil montré sur la Fig.1 relève plus d'une œuvre d'art que d'un instrument scientifique absolument indispensable dans votre univers quotidien. Cet instrument a imposé plusieurs semaines pour sa mise au point, imposant des observations astronomiques qui ne pouvaient se faire que par beau temps. Il aurait été bien commode à cette époque de posséder son tout petit frère électronique pour corroborer les informations qu'il donnait avec la réalité solaire.

Désolé de vous obliger à tourner la page pour avoir la liste de ce que peut donner le petit module à base de microcontrôleur, mais, lorsque le gros instrument de la Fig.1 a été achevé et qu'il a commencer à donner des résultats enthousiasmant, je me suis demandé ce que l'on pourrait faire d'équivalent avec les technologies du présent. En effet, les processeurs actuels présentent des

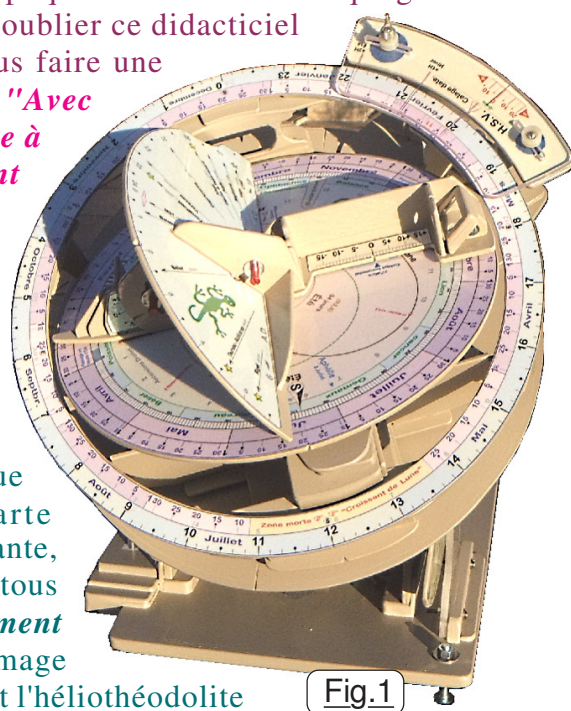


Fig.1

Hé Totoche, elle est franchement nulle ta page de garde, ya qu'une toute petite photographie et que du baratin. C'est pas avec ça que tu vas faire de la "com" !
Vont même pas tourner la page tes lecteurs ...



puissances très séduisantes, et, avec des langages évolués comme le C++, il devient facile de les programmer, de soumettre à ces picocalculateurs des formules compliquées. Alors pourquoi ne pas se divertir à utiliser l'un de ces petits modules, l'associer à un afficher graphique, et lui faire montrer à notre convenance tout ce que l'on peut désirer relatif au mouvement du Soleil dans notre ciel diurne ? Toutefois, avant de foncer tête baissée dans le vif du sujet, il m'a semblé plus agréable à replacer l'idée de base de cette réalisation dans son contexte.

C'est dit, nous allons nous servir de l'astronomie comme prétexte à jouer les programmeurs pour remplacer le magnifique instrument de la Fig.1 par un poucet minuscule capable, non pas de le remplacer, mais de cohabiter harmonieusement pour vérifier les informations issues de l'Héliothéodolite. Le gros instrument permet d'effectuer des visées sur l'astre du jour et d'en déduire des mesures et des informations. Le petit module électronique quand à lui se comporte comme une éphéméride solaire pouvant visualiser à notre guise les paramètres solaires dont on désire les valeurs. Il peut s'avérer comme un précieux complément pédagogique, lorsqu'avec des amis on a prévu une soirée astronomique, et que l'on va aborder avec eux des notions aussi complexes que l'heure, les saisons, la durée du jour, ce que signifie aurore, crépuscule, midi ...

Nous savons depuis l'école primaire que le Soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest. Comme tout ce que l'on aborde à cette jeune étape de notre vie, ces vérités bibliques sont plus que des enseignements. Ingérés dans nos plus tendres années, de telles informations confinent à de l'ABSOLU. Naturellement, il n'est pas question d'en douter, d'autant plus qu'avec les années, ce type d'assertion se grave dans le marbre. Et pourtant ... c'est totalement faux plus de quatre cinquièmes de l'année qui s'écoule, et encore, ce verdict est particulièrement tendre. Aussi, PICOHÉLIO peut servir à le prouver quand avec nos amis on va mettre en service le gros instrument, ou tout simplement lorsque durant l'attente de la nuit étoilée, on abordera le sujet avec nos amis.

Bref, outre le plaisir de programmer sur Arduino des fonctions complexes comme la gestion d'un afficheur, d'un clavier, d'une horloge interne, on couplera ce plaisir à celui de cheminer dans des sentiers que l'on croyait d'une banalité à pleurer et qui tout compte fait ne sont pas aussi évidents que l'on nous l'a enseigné. Quand à notre montre, elle nous donne l'**Heure légale**, qui n'a tout compte fait pas grand chose à voir avec l'**Heure Solaire**, c'est à dire celle qui sans que nous le sachions influence en permanence notre corps et notre esprit. Ce petit instrument électronique ouvre un éventail vers de belles conversations passionnées en perspectives ...



Fig.2

Comme j'ai plaisir à le répéter dans chacun de mes tutoriels, l'important n'est pas le but atteint, mais le cheminement qui nous y a conduit. Je vous souhaite à toutes et à tous, de trouver du vrai plaisir à vous égarer dans ces pages, avec comme faux prétexte la réalisation d'un petit appareil électronique, et comme finalité non avouée ... vous faire rêver.

Ce que fait PICOHÉLIO.

Fondamentalement il s'agit d'une éphéméride dédié à notre astre diurne qui fournit ses informations sur un petit écran. L'exploitation de ce petit appareil se fait au moyen d'un petit clavier réduit à deux boutons poussoir, d'un bouton rotatif muni d'un bouton central et de deux témoins lumineux. On ne peut imaginer plus simple au point de vue matériel. L'écran sera exploité de façon textuelle ou graphique. Les informations de base résident dans la position du Soleil dans le ciel, en fonction de la date et de l'heure. Comme paramètres, seront indiquées la hauteur de ce dernier ainsi que son azimut par rapport au point d'observation. Le lieu sera précisé sous forme de la longitude et de la latitude de l'observatoire, ainsi que de l'altitude de ce dernier. La zone couverte reste limitée par diverses contraintes d'optimisation au territoire national métropolitain. Voici la liste des pages d'écran exploitables dans le menu principal du petit appareil :

- Position du Soleil en fonction de la date et de l'heure légale simulées.
- Position du Soleil en temps réel. (*Uniquement sur l'option la plus élaborée : **)
- Heure du lever, du coucher, et du "Midi Solaire Vrai" en fonction de la date.
- Écran graphique de l'Équation du temps.
- Écran d'informations complémentaires relatives au jour considéré : (*Jour imulé ou date courante.*)
 - > Précise si l'on est en Heure d'Hiver ou en Heure d'Été, (*Précis à plus ou moins 3 jours.*)
 - > Précise si l'année est banale ou Bissextile,
 - > Indique la constellation de l'écliptique dans laquelle se trouve actuellement le Soleil,
 - > Indique la durée de la clarté solaire et celle de la nuit,
-
- > Mesure et indique la tension sur la pile de sauvegarde, (*Uniquement sur l'option **)
- > Mesure la tension sur la petite batterie d'alimentation autonome,
- > Précise la durée exacte de la journée solaire, (*Durée entre deux passages au méridien.*)
- > Donne le Jour Julien pour la date simulée, ou pour la date actuelle si option la plus élaborée,
- > Indique l'origine du calendrier Julien.
- Page précisant et permettant de modifier le type d'aurore et de crépuscule.
- Page permettant de changer le lieu d'observation. (*Par défaut c'est celui initialisé par logiciel.*)
- Horloge calendrier en temps réel. (*Uniquement sur l'option * la plus élaborée.*)
- Mode VEILLE. (*Permet d'économiser la pile en mode autonome : L'écran devient tout noir.*)
- Écran graphique traçant la course du soleil au cours de la journée courante, ou les trois trajectoires relatives aux équinoxes et aux solstices. En mode "journée courante" un index permet de balayer l'écran en Azimut et d'obtenir l'heure en fonction de la position du Soleil.

Autant vous mettre en garde : Pour gérer tous ces calculs, et surtout les nombreux écrans d'affichage, le code source est conséquent et aboutit à un programme objet qui sature presque entièrement la mémoire de l'ATmega328. (*30592 octets sur 30720 possibles !*) Pour ne pas bloquer l'espace de RAM dynamique, la quasi intégralité des textes ainsi que le LOGO sont logés dans l'EEPROM du microcontrôleur. Cette dernière est entièrement consommée, il ne reste que six octets de disponibles dans cette mémoire non volatile. Quand au programme, pour arriver à faire rentrer tout les octets, il est "ultra optimisé" et fait appel à un maximum de "subroutines" pour minimiser le code objet. Si l'application astronomique n'est qu'un petit plaisir, un prétexte à créer un bel objet de ses mains, en revanche le programme est très "formateur", car il oblige à faire appel à la presque totalité des ressources du microcontrôleur utilisé. Les adeptes d'Arduino auront de quoi analyser, surtout s'ils désirent se créer un objet personnel typique. Naturellement, je fournis également le programme qui permet de loger le LOGO dans l'EEPROM, ainsi que celui qui se charge d'inscrire les divers textes. C'est "du clef en main" que je vous propose, avec la possibilité pour les programmeurs de personnaliser leur petit bijou.



Ben Môa môa, dans ma journée solaire vraie, je me fiche pas mal de l'équation du temps et de l'heure légale, pourvu que je puisse me dorer la pillule et faire de la bronzette !

Avant la technique : La pratique.

Totoche a parfaitement raison, les trois premières pages de ce didacticiel ne sont pas spécialement affrillolantes, il est temps de vous donner envie de continuer. Je crois que le mieux consiste à passer en revue, page écran par page écran, et voir ce que vous pourrez visualiser avec le petit appareil électronique. Certains vont objecter que toutes ces informations satureront l'Internet, alors à quoi bon une version "étriquée" de plus ? Et bien ... la disponibilité, la facilité de l'emporter, car, lors de nos soirées astronomies à contempler entre amis la voie lactée, nous n'aurons pas forcément un ordinateur portable à proximité de l'oculaire de notre télescope. Nous verrons plus avant en quoi "disponibilité" vient interférer avec le développement de cette application ludique.

Avant de poursuivre, il me semble important de souligner le fait que je vous propose deux versions. La plus simple n'utilise qu'une carte Arduino, qu'elle soit UNO ou NANO dans tous les cas le programme sera directement transportable. Une deuxième version impose l'achat du petit module représenté sur la Fig.3 qui pour une somme modique intégrera une horloge calendrier dans le petit appareil.

Si vous acceptez cette petite dépense supplémentaire, le système pourra **fonctionner en temps réel** ce qui en agrémentera considérablement l'usage. Les deux options sont totalement libres. Du reste vous pouvez prévoir la place dans le coffret, et n'ajouter qu'en différé le module complémentaire. Une petite mise à jour du logiciel et le tour sera joué. Quand (*) sera précisé, ce symbole signifiera que le module calendrier est indispensable et exige la version complète de l'appareil. Enfin, il me semble indispensable de souligner dès ce chapitre, le fait qu'il ne s'agit pas d'un cours d'astronomie. Aussi, je me contenterai de vous fournir éventuellement des liens Internet, mais surtout la référence des pages du document fourni en complément : [Heures Légales - Solaires - Sidérales.pdf](#) dans lesquelles sont exposés succinctement les thèmes abordés sur la page écran décrite.

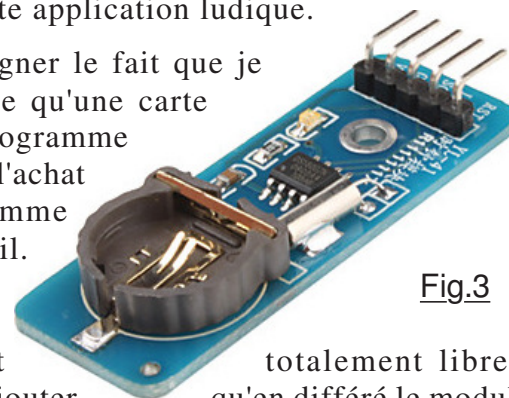


Fig.3

Naturellement, le manuel d'utilisation aura été, soit imprimé, soit sera visualisé sur le moniteur vidéo de l'ordinateur. Imprimé sera plus commode, car la pagination du document est prévue pour imprimer Recto/Verso, plier les pages au centre et les agraffer au milieu pour créer un petit livret au format A5 bien commode car relativement petit.

Pour détailler les différents écrans disponibles, le mieux consiste je crois à vous proposer une visite guidée, c'est à dire d'utiliser le petit appareil électronique comme s'il était disponible. La Fig.4 présente sa morphologie. Ainsi vous allez faire ample connaissance avec notre petit jouet électronique avant de l'avoir créé. Toutefois, avant de cheminer d'écran en écran, examinons sommairement la constitution de notre bébé, et la philosophie globale d'utilisation.

En **1** et en **15** nous avons les quatre vis qui immobilisent le couvercle sur le coffret. Celles de gauche assurent également la liaison du petit plexiglas transparent **2** sur le couvercle. De l'autre côté, ce dernier est maintenu par les deux boulons **4** et **6**. Toute cette visserie est de $\phi 1,5\text{mm}$. En **3**

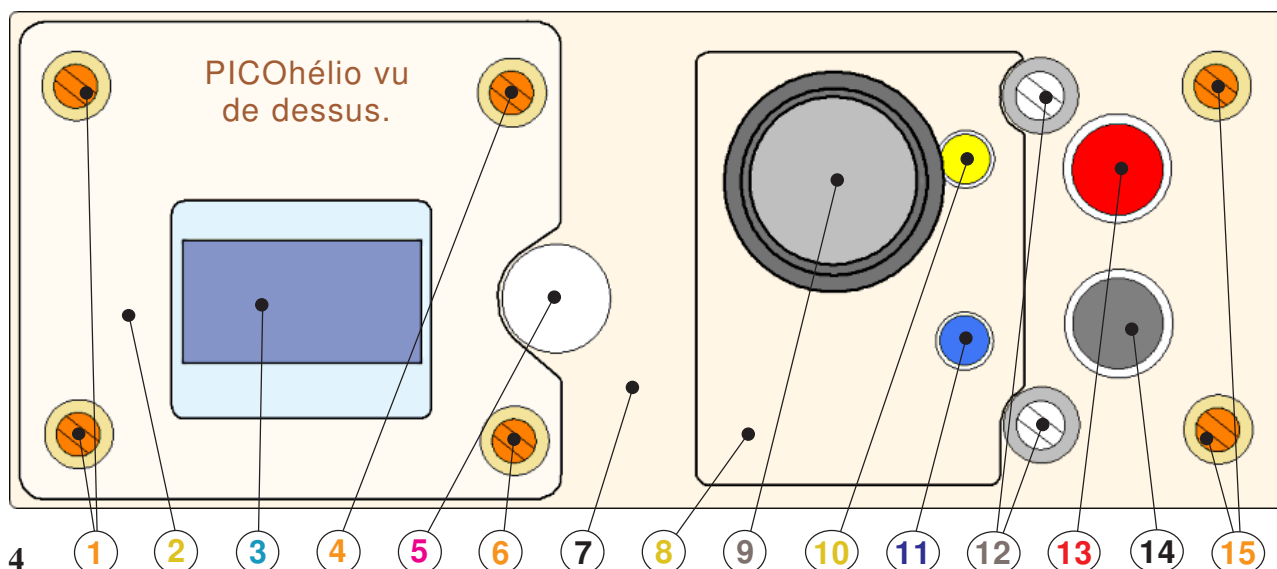


Fig.4

se trouve la petite fenêtre sous laquelle on observe l'afficheur OLED, avec en **5** le trou de passage d'un quelconque stylet pour pouvoir activer le bouton de RESET de la carte NANOArduino. (*C'est parfois bien utile quand on programme le microcontrôleur "sur site" et que le coffret est entièrement fermé.*) En **7** nous avons le couvercle dont l'épaisseur est doublée en **8** pour éviter d'avoir une trop grande hauteur dégagée sous le bouton **9** du capteur rotatif. Les deux boulons **12** au diamètre métrique $\phi M3$ soutiennent le petit clavier portant les deux boutons poussoir **13** et **14** ainsi que les deux diodes électroluminescentes **10** et **11**.

Philosophie générale d'utilisation du clavier.

Comme on le constate sur la Fig.4, le tableau de maîtrise de notre appareil scientifique se résume à trois fois rien. Si l'on veut aboutir à une qualité opérationnelle raisonnable il faut ruser un peu. Notez au passage que le bouton rotatif peut tourner sans butée et effectuer plusieurs rotations. On se doute que le sens de rotation sera pris en compte. Ce que ne montre pas la Fig.4 ni la photographie de la Fig.5, c'est que ce capteur tournant sans limite possède également un bouton poussoir. Ainsi en appuyant sur le bouton, on actionne un troisième capteur. (*Ce type de composant est très courant et facile à approvisionner sur Internet.*) Trois touches pour un clavier, ce n'est vraiment pas beaucoup. Aussi, on va "doubler la mise" en introduisant la notion de "**clic court**" et de "**clic long**". D'une façon générale, des clics courts seront utilisés pour des manipulations "banales", alors que maintenir le bouton poussoir activé plus de 0,7 secondes provoquera des effets différents. Pour mémoire, les clics longs auront des influences plus conséquentes que celles des clics courts. Par exemple avec un clic court on consulte, on modifie l'affichage, alors qu'avec un clic long on MODIFIE (*On valide ...*) une configuration ... Les deux diodes électroluminescentes se comportent de la façon suivante :

- Quand la jaune clignote rapidement, elle incite à cliquer sur l'un des deux boutons pour passer à la suite dans le menu ou sortir d'une saisie.
- Quand la bleue s'allume, c'est que l'on transite en **clic long**.

Visite guidée et utilisation de PICOHÉLIO.

À la mise sous tension, ou sur un RESET, l'écran de la Fig.6 s'affiche avec en **1** la version et en **2** le nom du programme. En **3** c'est ma signature, sous la forme de l'indicatif officiel que j'avais quand j'étais radioamateur. Quand j'utilise un écran graphique, je trouve séduisant d'orner la page d'accueil comme en **4** par un petit dessin. Lorsque ce dernier représente une petite salamandre, c'est un LOGO personnel qui signifie que je suis intégralement auteur et propriétaire intellectuel de la publication mise en ligne. Sachez que je suis très attaché à cette notion de propriété intellectuelle et m'impose, autant que faire ce peut, une discipline rigoureuse pour la respecter. Vous ne trouverez donc jamais un Copier/Coller issu d'un quelconque document trouvé sur Internet dans mes didacticiels. Toute information que j'aurais glanée sur la toile, ou ailleurs du reste, est systématiquement remise en forme et adaptée au thème abordé dans le cadre du tutoriel.

Quand la page d'accueil est présentée à l'écran, la LED jaune clignote rapidement nous incitant à cliquer sur l'un des deux boutons poussoir pour passer à la suite. Si vous avez opté pour la version simplifiée, le programme passe alors à la visualisation de l'écran relatif à l'affichage de la Fig.7 indiquant la position du Soleil pour la date et l'heure simulées. Sur un RESET, le programme impose Midi pour l'heure, et le premier janvier 2017 pour la date. Il contient aussi en constantes à initialiser, les coordonnées et l'altitude de votre observatoire. Vous vous doutez bien que l'on peut à tout moment reparamétrer. Quand on abordera l'aspect programmation, la modification de données personnalisables sera bien entendu abordée en détails. La hauteur et l'Azimut sont relatifs à la position de l'observateur, quand à l'Azimut il fait référence au nord géographique qui pourra différer légèrement par rapport à la direction indiquée par une boussole.

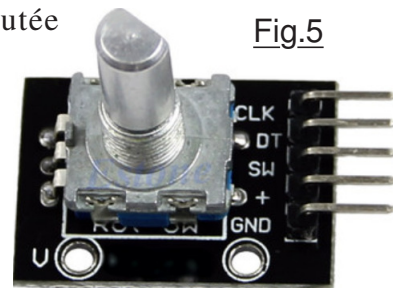


Fig.5

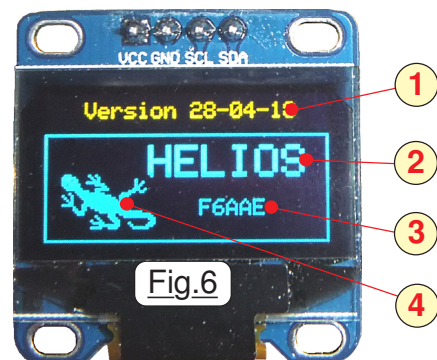


Fig.6

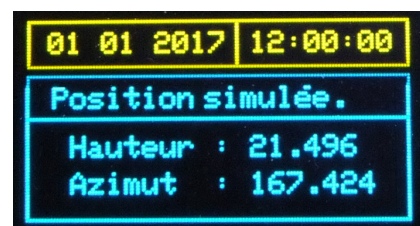


Fig.7



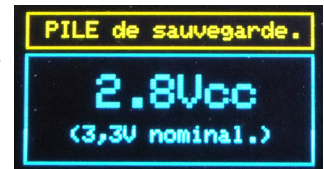
NOTE : La LED jaune, témoin d'une commande clavier, s'illumine aussi quand on active l'un des boutons poussoir, et éclaire tant que ce dernier n'est pas libéré.



Dans le cas où vous aurez choisi la version complète, le logiciel ne passe pas directement à un affichage écran, mais commence par vérifier la tension de la pile de sauvegarde du calendrier, puis à la vérification de la tension du petit accumulateur rechargeable qui assure l'autonomie de PICOhélio. Avant d'interpréter le comportement du programme et les écrans qui en résultent, ouvrons une petite parenthèse relative à la vérification des sources d'énergie :

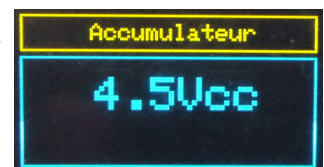
Sur la Fig.3 en page 4 le module calendrier électronique n'est pas encore muni de sa petite pile au lithium de 3,3V nominal qui assure le fonctionnement de l'horloge qui conserve ainsi la date et l'heure quand l'appareil électronique dans lequel est inséré ce dispositif est mis hors tension.

Fig.8



C'est exactement pareil sur votre ordinateur, qu'il soit portable ou de bureau, son calendrier interne est sauvegardé en permanence par une petite pile au lithium généralement placée sur la carte mère. Quand on quitte la page d'accueil de la Fig.6 en cliquant sur l'un des deux B.P. le programme teste les sources d'énergies. Il affiche l'écran de la Fig.8 si la tension aux bornes de la pile de sauvegarde descend en dessous du seuil de 2,8Vcc. La LED jaune clignote alors rapidement incitant à passer à la suite. Le programme mesure ensuite la tension aux bornes de l'accumulateur rechargeable 8,2Vcc assurant l'alimentation autonome branché sur l'entrée **Vin** de la petite carte électronique.

Fig.9



(Naturellement on peut aussi utiliser une pile de 9Vcc.) Si cette tension en amont du régulateur de tension local diminue en dessous de 6,5Vcc l'écran de la Fig.9 s'affiche avec clignotement rapide de la LED jaune. Cliquer sur l'un des deux B.P. fait passer au premier écran d'exploitation. Par exemple sur la Fig.9 l'accumulateur n'est pas branché car la ligne USB est en service pour tester ou modifier le programme. (Les 4,5Vcc mesurés sont issus de l'USB.)

Si le logiciel est minimal, l'écran sera celui de la simulation, en version complète c'est la page d'affichage en temps réel qui est invoquée. Tensions correctes on peut explorer le menu de base :

Exploration du menu de base.

Ouvrir au centre le petit manuel photographié sur la Fig.10 réalisé à partir du fichier [NOTICE.pdf](#) qui résume l'intégralité des fonctions du menu de base que l'on explore par rotation dans un sens quelconque du capteur incrémental. L'accès aux commandes des sous-menus est donc rapide, inutile de chercher dans la table des matières proposée sur la première page du manuel. Il suffit de l'ouvrir au centre. Les différents écrans se succèdent en permutation circulaire dans l'ordre direct ou rétrograde en fonction du sens de rotation du gros bouton. Chaque tableau élémentaire décrit les commandes. Celles coloriées en rose sont "standard" et communes à plusieurs écrans. En jaune on souligne les commandes spécifiques, et en bleu la page qui sera invoquée en fonction du sens de rotation du capteur incrémental. En tournant la feuille de droite n°13, se trouve en n°14 le résumé des commandes relatives à la saisie des coordonnées du lieu d'observation.

Notez qu'en page 15 du manuel un organigramme synthétise le comportement sur RESET du programme et décrit dans le chapitre qui précède.

Position du Soleil.

Raison d'être de ce petit appareil, la première page qui sera visualisée précise la position du Soleil dans le ciel en fonction de la date, de l'heure et du lieu d'observation. Si vous avez opté pour la formule simplifiée, celle qui n'est pas encore équipée d'une horloge/calendrier électronique, comme montré sur la Fig.11 c'est l'observation simulée qui est prise en compte. Sur un RESET l'heure est initialisée

Page 6 au *midi légal*, et à la date du début de l'année de réalisation de cette petite éphéméride.

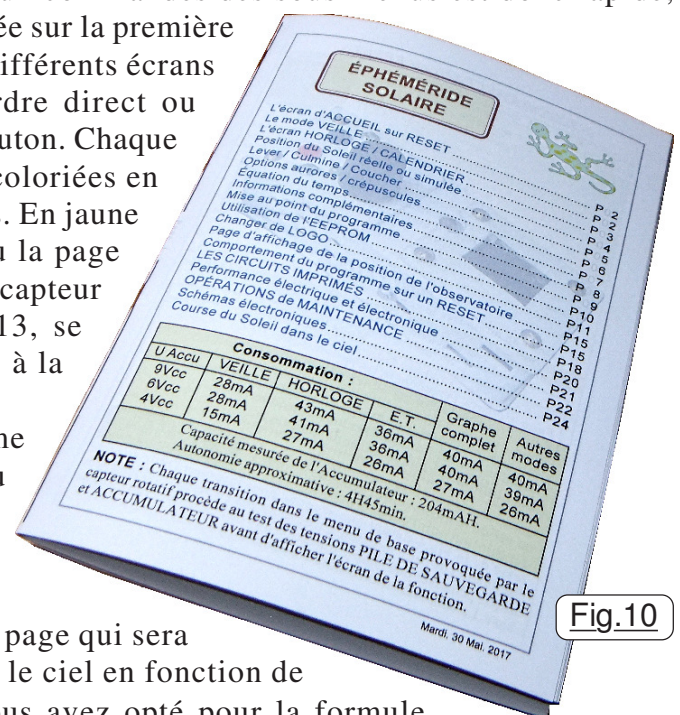


Fig.10

Fig.11

Observation simulée
dont on impose la
date et l'heure légale.

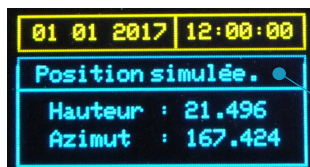


Fig.12

Affichage en temps
réel cadencé par
l'horloge interne.

Naturellement vous vous doutez qu'à tout moment il sera possible de changer les coordonnées par défaut du lieu d'observation, ainsi que la date et l'heure simulées.

Si vous avez opté pour la version complète, La Fig.12 affiche en permanence les trois paramètres qui sont mis à jour environ une fois par seconde. Comme en version complète on peut aussi simuler toute date et n'importe quelle heure, les deux pages d'écran sont disponibles dans le menu de base et le titre **T** évite toute ambiguïté bien qu'une confusion ne soit pas très crédible.

Horloge temps réel / Calendrier.

Quitte la page de simulation par rotation antihoraire du capteur incrémental, l'écran de la Fig.13 s'affiche. Cette fonction n'est pas vitale, puisque ces informations sont diffusées en permanence dans le cadre jaune sur la page **Position du Soleil**. Toutefois, comme il restait un peu de place dans la mémoire de programme, pourquoi ne pas transformer PICOHÉLIO en horloge ? Pendant un court instant l'écran montré en Fig.13 rappelle que l'activation d'un **B.P. long** dans cette fonction fait passer à l'écran d'initialisation de la DATE et de l'HEURE du circuit électronique interne. Puis le cadre jaune du haut s'efface comme montré sur la Fig.14, et le programme rafraîchi l'écran rapidement en testant l'activation éventuelle d'une commande. Des clics *courts* durant cette phase sont ignorés, ainsi que le B.P. central du capteur rotatif. Un clic *long* au clavier ouvre la page de la Fig.15 qui permet d'actualiser les données internes du circuit électronique. La procédure est indiquée en bleu et détaillée en page 3 du manuel d'utilisation.

Fig.13

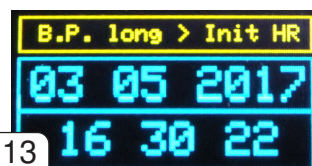
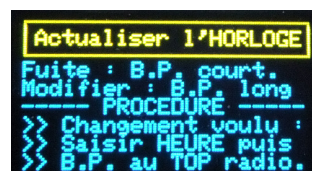


Fig.14



Fig.15



Le mode VEILLE.

À partir de la page **HORLOGE / CALENDRIER**, un pas antihoraire avec le capteur rotatif fait passer à la fonction **VEILLE**. Il permet de minimiser la consommation électrique et préserve la longévité de l'afficheur quand l'appareil est inutilisé sur une période notable et que l'on veut éviter de perdre les données enregistrées au clavier. Quand en tournant le capteur rotatif on valide le mode veille, avant de devenir tout noir l'écran affiche le texte de la Fig.16 durant une seconde pour informer l'utilisateur de l'activation de cette fonction. Ce délai d'affichage n'a pas été programmé plus important pour ne pas pénaliser une simple transition lors de l'exploration du menu de base. La consommation diminue alors à ≈28mA lorsque l'écran est tout noir. (Page n°2 de NOTICE.pdf)

Fig.16



Le lever, midi solaire vrai, le coucher.

Évidentes quand on n'y a pas vraiment réfléchi, ces notions sont bien plus subtiles que l'on croit quand on fouille un peu le sujet. Cette page d'information est particulièrement utile si l'on désire aborder avec des amis la notion d'**heure légale**, d'**heure solaire vraie** et leur montrer avec l'instrument astronomique à quel point l'azimut de lever et de coucher du Soleil change au cours de l'année. On peut ainsi constater que "*le soleil se lève à l'est et se couche à l'ouest*" n'est qu'une grossière évaluation qui ne s'avère précise que deux jours par an. À ce titre, cette fonction sera avantageusement complétée par la page graphique à laquelle on accède par appui sur le bouton central du capteur incrémental. Copie éhontée de la page 5 du petit manuel, la Fig.17 précise les informations affichées sur l'écran quand partant de **Position du Soleil** on tourne le bouton dans le sens horaire. La Fig.17 est générée avec les données en "temps réel". Seule la date en **5** est



Fig.17

significative pour ce type d'informations. C'est la raison pour laquelle en **1** l'heure est barrée. Les heures indiquées dans cette page sont données en **Heures Légales**. Elles tiennent donc compte de l'heure d'été et de l'heure d'hiver. Il en est du reste pareil pour la fonction d'affichage des Fig.11 et Fig.12 où l'heure indiquée est implicitement précisée en **Heure Légale** pour calculer la position du Soleil.

En 2 est indiquée l'heure de passage au méridien local, c'est à dire au *midi solaire vrai*. Les trois valeurs calculées tiennent compte de la latitude et de l'altitude du lieu d'observation ainsi que de l'Équation du temps. Je vous invite fortement à consulter [Heures Légales - Solaires - Sidérales.pdf](#) pour clarifier ces diverses notions pas forcément élémentaires. (Tout particulièrement les pages 7 à 9.)

Aurore et crépuscule restent fondamentalement des notions poétiques, pour lesquelles le ciel se pare de couleurs somptueuses. Toutefois, astronomiquement, si l'on désire quantifier avec précision ces deux événements dont les instants horaires sont calculés en 3 et 4, il importe d'affecter à ces deux événements spécifiques des définitions précises. (Il existe aussi une définition légale en aviation, non abordée dans ces lignes, qui n'autorise la prise en charge d'un aéronef que si le pilote a été formé spécifiquement au pilotage de nuit. Les heures officielles ne sont pas les mêmes.) Pour l'astronomie, notre petit appareil ne prendra en compte que quatre définitions :

- Crépuscule standard : Soleil à 0° sous l'horizon avec correction pour tenir compte de la réfraction atmosphérique. (Le haut du disque solaire tangente l'horizon)
- Crépuscule civil : Centre du soleil à 6° sous l'horizon.
- Crépuscule nautique : Centre du soleil à 12° sous l'horizon.
- Crépuscule astronomique : Centre du soleil à 18° sous l'horizon.

Options de calculs pour déterminer l'Aurore et le Crépuscule.

Choisir laquelle de ces quatre options sera prise en compte pour afficher la page écran de la Fig.17 impose une fonction de saisie **Option des calculs** décrite en page 5 de [NOTICE.pdf](#) avec en page 6 les précisions relatives aux définitions officielles. Cette page de saisie permet de définir le type d'aurore et de crépuscule qui sera pris en compte pour calculer l'heure légale de lever et de coucher du soleil. (Affichage détaillé en Fig.17)

L'un des deux B.P. du clavier par le truchement d'un *clic court* fait changer l'option en permutations circulaires dans l'ordre présenté par les divers dessins des Fig.18 à Fig.21 parcourues en "boucle fermée".

Le crépuscule **Civil.** coïncide au moment où le centre du Soleil est situé à moins de 6° sous la ligne d'horizon théorique local, situé à 90° du zénith.

Le crépuscule **Nautique.** correspond à la période où le centre du Soleil est situé entre 6° et 12° sous l'horizon local. Il s'agit du moment où les étoiles de deuxième grandeur deviennent visibles en même temps que la ligne d'horizon en mer reste encore visible, permettant raisonnablement d'effectuer un point astronomique avec les étoiles.

Le crépuscule **Astronomique.** est la durée où le centre du Soleil est situé entre 12° et 18° sous l'horizon local. Dans le cas d'un ciel épargné de toute pollution lumineuse, les étoiles les plus faibles visibles à l'œil nu apparaissent. (Magnitude apparente 6.) Astronomiquement, il subsiste encore trop de lumière pour que les objets diffus tels que les nébuleuses ne puissent être observables dans des conditions satisfaisantes, même si cette clarté résiduelle reste imperceptible à l'œil nu.

Fig.18



Fig.19

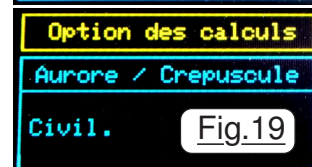


Fig.20

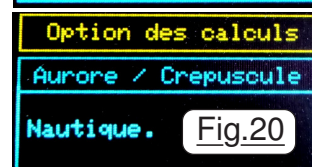
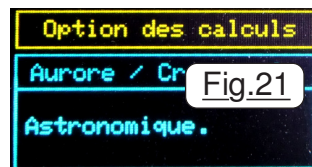


Fig.21



Équation du temps.

Vaste sujet somptueusement ignoré par le commun des mortels, sauf si l'astronomie ou les cadrans solaires font partie des loisirs privilégiés. Cette notion n'a rien d'évident puisqu'elle résulte du mouvement assez complexe de la Terre autour du Soleil, avec sa rotation par rapport au reste de l'Univers. Résumé succinctement dans les pages 5 à 8 de [Heures Légales - Solaires - Sidérales.pdf](#) nous ne pouvons faire l'impasse sur ce phénomène, si l'on désire comprendre l'écart temporel qui affecte le passage du Soleil au méridien local, écart qui varie considérablement au cours de l'année. Pour octroyer un semblant de crédibilité à l'instrument de la Fig.1 et à PICOHÉLIO il est impératif de tenir compte de cette fameuse Équation du temps. Inspiré du graphe de la page 8 du document d'accompagnement, l'écran graphique de la fonction **Équation du temps** permet d'aborder en détails cette notion lors des soirées astronomiques si notre auditoire est demandeur. Partant de **Lever - Culmine - Coucher**, un pas

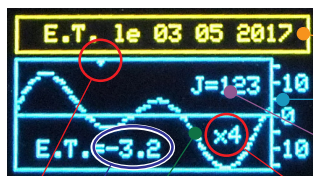


Fig.22

7 dans le petit manuel d'utilisation. Cette fonction présente en 2 l'écart temporel de passage du Soleil au méridien par rapport au *midi solaire moyen* en fonction de la date indiquée en 7. Cette valeur est exprimée en minutes. En 6 les graduations verticales espacées de cinq minutes sont positives vers le haut, (*Soleil en retard.*) et négatives vers le bas.

(*Soleil en avance.*) Horizontalement la courbe 3 s'étale sur l'ensemble de l'année, le bord gauche représentant le premier janvier et le bord droit gradué étant relatif au trente et un Décembre. La Fig.22 correspond à une entrée à partir du "temps réel" contrairement à la Fig.23 issue de la date simulée. (Voir **NOTE** en bas de la page 4 du manuel d'utilisation.) En 1 ou en A on observe un curseur journalier qui est automatiquement positionné par logiciel en ouverture de cette page d'affichages. Des clics *courts* sur l'un des deux B.P. du clavier déplacent ce curseur latéralement "dans l'année" avec changement immédiat du texte comme indiqué sur la Fig.24 en C. En 5 est précisé le numéro d'ordre de la date positionnée dans l'année, valeur variant entre 1 et 365.

Le pas de "déplacement" indiqué en 4 est modifiable avec **FC+ long** pour les valeurs précisées dans l'encadré rouge donné ci-dessus. La progression peut sembler étrange mais la suite des valeurs n'est pas totalement issue du hasard. Les trois premiers écarts doublent entre eux.

Puis on passe au saut d'une semaine. Le plus grand correspond à globalement un mois. Enfin, 15 jours établissent un saut intermédiaire. Pour finir la présentation, si l'année est bissextile comme en D sur la Fig.25 un caractère "B" encadré de bleu est ajouté aux diverses informations.

1 > 2 > 4 > 7 > 15 > 30

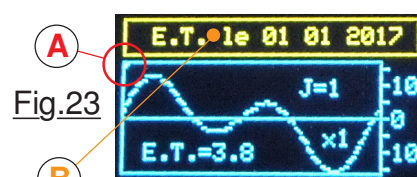


Fig.23

A

B

C

Fig.24

D

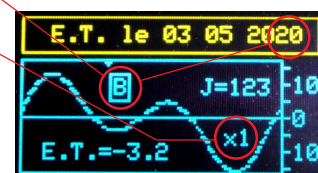
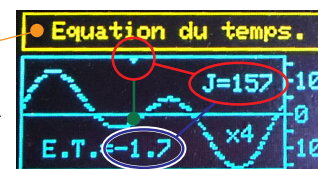


Fig.25

Informations complémentaires.

gardant pour la fin le **Mode affichage GRAPHIQUE**, la fonction relative aux Informations complémentaires livre diverses informations variées par l'entremise de deux pages d'écran. Les développements qui suivent sont des plagiats copiés sans vergogne en page 8 de **NOTICE.pdf**. On alterne entre les deux possibilités par des clics *longs* ou *courts* sur l'un des deux boutons du clavier. En standard le bouton central du capteur rotatif fait passer à la représentation graphique. La



Fig.26



Fig.27

8 7 6 5

4, sinon en 2 la zone carrée réservée à cette information est vide et barrée.

En 5 est indiquée la durée de la nuit théorique, avec en 6 la durée de la clarté diurne. Ce sont des durées qui tiennent compte du type imposé pour la nature de l'aurore et du crépuscules. Elles sont calculées à partir du lever et du coucher du Soleil. Entre les deux types extrêmes, on trouve un écart qui peut varier considérablement. Par exemple pour le solstice d'été le 21 Juin, la différence de durée atteint 4 heures 55min et 19 secondes, autant pour la durée de la clarté que celle de la nuit. On comprend alors aisément pourquoi l'été on doit attendre tard dans la nuit pour pouvoir observer des objets faiblement visibles, l'astronomie démontrant une fois de plus qu'elle est vraiment l'école de la patience. En 7 on trouve la position du soleil sur l'écliptique, c'est à dire la constellation qu'il



Fig.28

13 12 11

cache et dans laquelle il se trouve actuellement. Il s'agit bien de l'information astronomique, et non de la constellation "arbitraire" du zodiaque. Je

vous propose de consulter **Heures Légales - Solaires - Sidérales.pdf** en pages 2 et 3 pour réviser cette notion particulière. En 8 figure l'heure actuelle prise en compte officiellement. Comme la date de changement d'heure peut changer de ± 3 Jours en fonction des années, pour

simplifier le logiciel, c'est la "moyenne" qui est prise en compte. De ce fait, **la date de changement** peut présenter en fonction des années une imprécision de ± 3 Jours maximum. Ensuite, hors de cet intervalle d'incertitude, l'information affichée est rigoureuse. La page de **Données diverses** en Fig.28 permet à tout moment d'avoir la valeur de la tension soutenue par la pile de sauvegarde en **9** et celle de l'accumulateur d'alimentation en **10**. En **11** est indiquée la valeur exacte de **la journée solaire vraie** avec en **12** la date dans le calendrier Julien. En soit ce n'est pas une information capitale, mais comme on la rencontre souvent dans les traités d'astronomie, pourquoi s'en priver ? Dans le cadre rouge **13** surchargeant la Fig.28 est résumée sommairement l'origine temporelle de ce calendrier particulier qui débute 4712 années avant notre référence chrétienne.

Position terrestre du lieu d'observation.

Fig.29

Cette page d'informations **Affichage position Observatoire** nous renseigne sur l'altitude et les coordonnées GPS prises en compte pour effectuer les calculs. À l'instar de la fonction **Option des calculs**, copiant cette dernière, c'est aussi "un espace" de saisie qui permet de modifier les données initialisées par défaut dans le programme. La page d'ouverture affiche l'écran de la Fig.29 qui ici correspond aux coordonnées de mon lieu habituel d'observations, ces valeurs étant générées par défaut sur un RESET de l'ATmega328. En standard **FC- long** invoque la séquence de saisie de l'**ALTITUDE** prise en compte dans les calculs. **Fig.30**



La Fig.30 est surchargée en vert et en rouge pour montrer comment se positionne le curseur quand on clique plusieurs fois sur **FC+ court**. Il pointe en permutation circulaire la "puissance" qui sera modifiée quand on tourne le capteur rotatif dans un sens ou dans l'autre. La valeur se modifie alors dans le champ jaune avec prise en compte des retenues et des reports éventuels. La valeur de l'altitude sera comprise entre zéro et 9000m ce qui couvre largement les besoins potentiels.



Cliquer longuement sur l'un des deux boutons du clavier valide la valeur actuelle indiquée en jaune, puis invoque la séquence de modification des coordonnées GPS. C'est la page de modification des Latitudes de la Fig.31 qui ouvre le débat. Comme dans le chapitre précédent l'activation multiple de **FC+ court** décale et fait passer le curseur respectivement sous chaque position décimale, la surcharge en vert et en rouge symbolisant le comportement logiciel. Il y a correspondance directe entre la position du curseur sous le nombre témoin bleu et le "digit" qui sur la valeur jaune sera modifiée par rotation du gros bouton. Comme pour l'altitude les retenues et les reports sont propagés si un débordement de la puissance est effectif.

Fig.31



Activer **FC+** par un clic **court** fait alterner la saisie entre **Longitude** et **Latitude**. Si l'on a sélectionné la modification des **Latitudes**, **FC- long** n'a aucun effet et génère un BIP d'erreur. Si l'on désire modifier la **Longitude**, la valeur numérique sera limitée entre zéro et **9.00000** degrés angulaires. On doit préciser de quel coté du méridien de Greenwich se trouve le lieu d'observation.

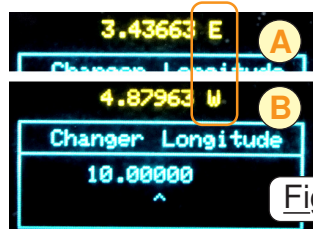
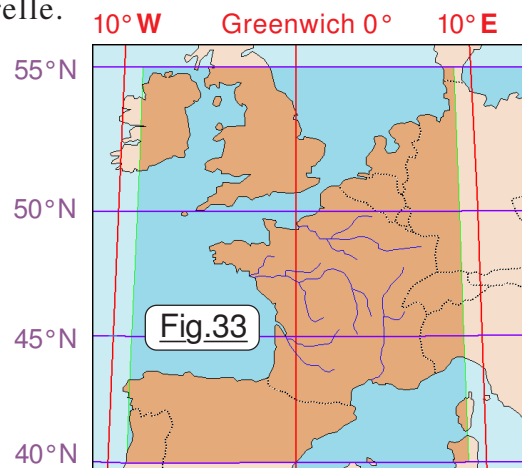


Fig.32

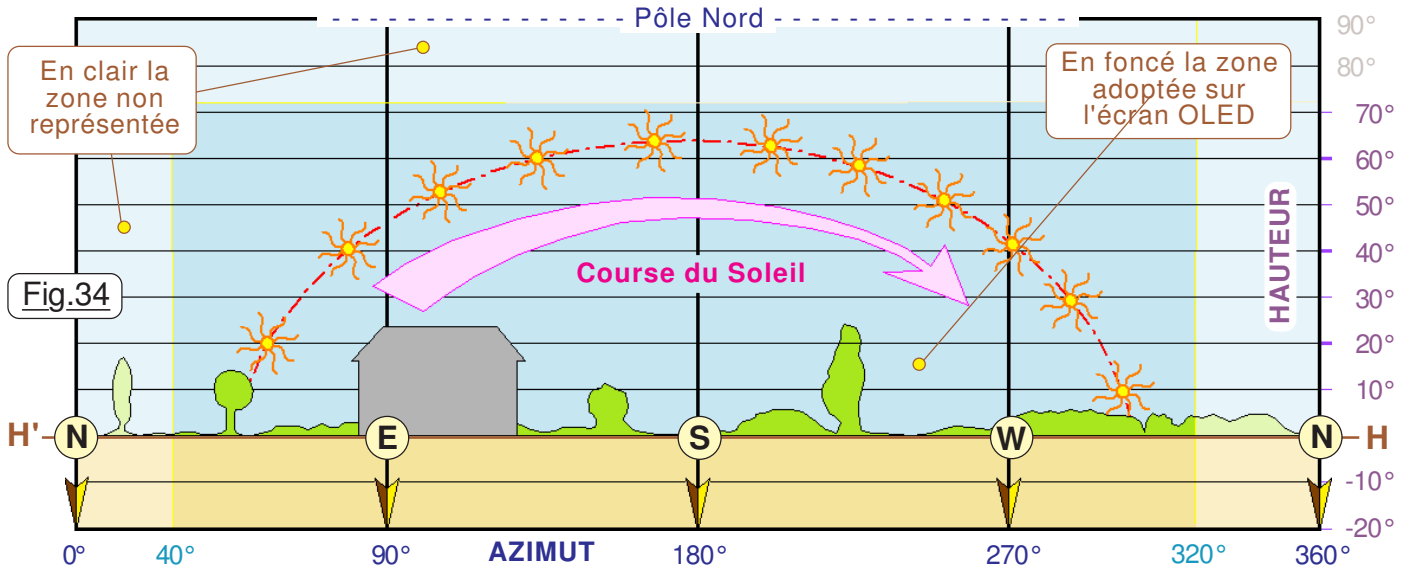
Par défaut le programme sélectionne une latitude coté Est comme montré sur la Fig.32 en **A**. Pour ce type de saisie, **FC- long** fait alterner entre un positionnement Est ou une longitude Ouest visualisé en **B**. Concrètement, toutes ces manipulations sont bien plus faciles à réaliser qu'à décrire. Je crois pouvoir affirmer qu'elles sont naturelle.

La sortie des deux écrans de saisie de la **Longitude** avec la touche **FC+ long** invoque la fonction de base du menu principal **Position du Soleil**. (En temps réel.) Avec les limites imposées par le logiciel pour les valeurs des longitudes et des latitudes, on couvre largement le territoire métropolitain comme mis en évidence sur la Fig.33 pour laquelle la zone couverte est représentée avec des couleurs foncées. Rien n'interdit de plonger les mains dans la graisse, et de modifier les valeurs qui sont testées par le programme pour les adapter à d'autres régions du globe terrestre, c'est l'avantage à utiliser une électronique librement programmable.

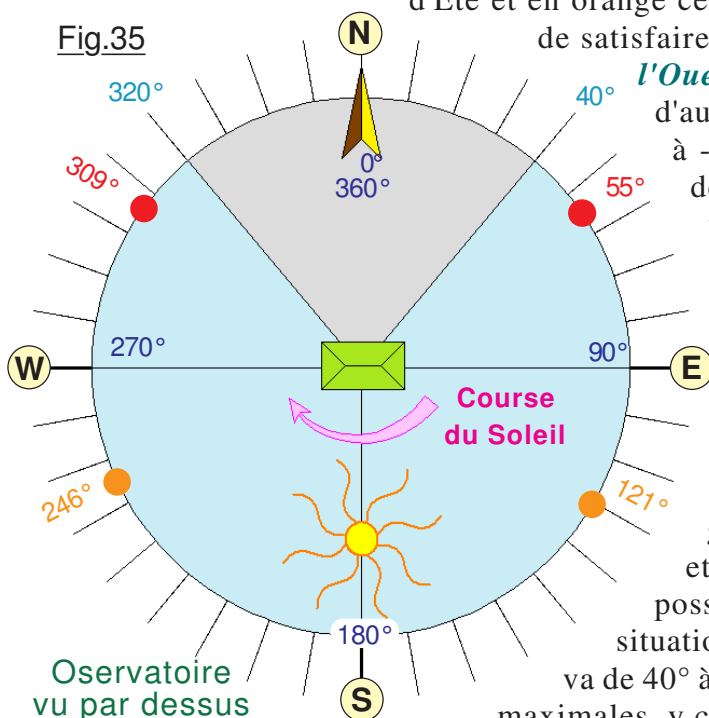


Course du Soleil dans le ciel.

Crise sur le gâteau, la fonction **Mode affichage GRAPHIQUE** résumée en page 24 de **NOTICE.pdf** est très riche d'enseignements. Pour comprendre ce que représentera l'écran, considérons la Fig.34 qui décrit l'ensemble du ciel visible par un observateur. Représenté en coordonnées cartésiennes, le dessin s'inspire des cartes géographiques qui représentent notre monde. Elles sont totalement "déformées", puisque une "demi sphère" est aplatie sur un plan. Par exemple, le bord supérieur du cadre représente le Pôle Nord et n'est constitué en réalité que d'un point. On a exagérément distendu "ce point" pour le transformer en un segment de droite. Cette carte du ciel plane montre en marron le sol, et en bleu l'intégralité du ciel observable dans toutes les directions.



Comme dans certains éphémérides d'ordinateurs, la ligne d'horizon **H'H** est complétée par une représentation plus ou moins symbolique de l'environnement comme ici en vert pour la végétation et en gris pour les obstacles visuels. Au cours d'une journée, le Soleil va occuper dans l'espace visible une succession de positions, et décrire une trajectoire tracée en traits mixtes rouges sur ce dessin. C'est exactement le mode de représentation qui sera adopté sur PICOHÉLIO quand l'option **Mode affichage GRAPHIQUE** sera activée. En fonction de la date, l'astre diurne montera plus ou moins haut. Il culminera à 68° au solstice d'Été et "grimpera" difficilement à 21° à celui d'Hiver. (Valeurs pour la latitude de 44,5°) L'azimut de lever et de coucher du Soleil varie considérablement au cours de l'année. Par exemple, sur la Fig.35 sont repérés en rouge les directions pour le solstice

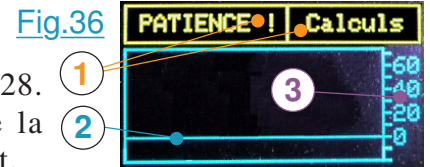


d'Été et en orange celles pour celui d'hiver. On est vraiment très loin de satisfaire l'adage **"Le soleil se lève à l'Est et se couche à l'Ouest"**. Cet exemple traduit les cas extrêmes, le mode d'aurore et de crépuscules étant imposé pour un centre à -18° soit la définition **Astronomique**. Le dessin de la Fig.35 représente l'ensemble du ciel visible vu par dessus, l'observatoire étant symbolisé par le bâtiment colorié en vert.

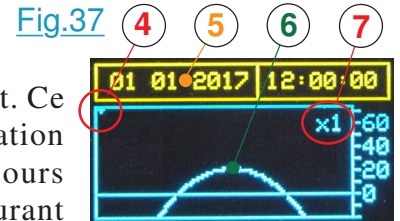
Toutefois, la faible définition de l'écran graphique impose des restrictions sur le nombre de pixels qui seront utilisables tant en largeur qu'en hauteur pour émuler le dessin de la Fig.34 complété des graduations et des valeurs numériques azimutales. Une optimisation graphique conduit à limiter la hauteur entre -20° et +73° couvrant largement la plage de hauteurs possibles pour la zone géographique disponibles de situation de l'observatoire. En "largeur", l'azimut couvert va de 40° à 320° valeurs satisfaisant largement les directions maximales, y compris pour -18° de hauteur.

Mode affichage graphique.

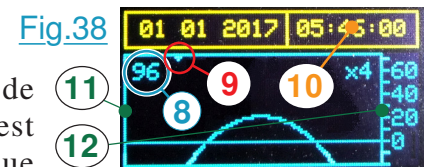
Cliquant en standard sur le bouton central du capteur incrémental, et ce pour la majorité des fonctions, on invoque **Mode affichage GRAPHIQUE** dont le résumé des commandes est logé en dernière page de **NOTICE.pdf** pour accéder facilement à ce dernier. Le programme commence par afficher l'écran épuré de la **Fig.36** dans lequel le cadre bleu est réservé pour figurer le ciel visible avec en **2** la ligne d'horizon **H'H**. Le bord droit du cadre en **3** est complété par les graduations et les valeurs des angles de hauteur. (-20° à $+73^\circ$.) Pour pouvoir tracer la trajectoire du Soleil dans la partie visible, chaque pixel exige de nombreux calculs, imposant un certain délai de réaction de l'ATmega328. Pour éviter que l'on puisse croire à une "non prise en compte de la commande", le titre **1** dans le cadre jaune élimine tout doute à ce sujet.



Lorsque les calculs sont effectués, (*Environ une seconde.*) la courbe de la trajectoire visible est alors tracée en **6** comme montré sur la **Fig.37** avec en **5** la date prise en compte pour le traitement. Ce sera celle simulée ou celle du jour courant en fonction du sens de rotation du capteur quand on explore le menu de base, ou de la page en cours d'affichage quand on clique sur le gros bouton. Notez au passage que durant cette phase de la procédure, l'heure affichée n'a aucune signification puisque la courbe est journalière.



Tournant le bouton du capteur incrémental dans un sens ou dans l'autre, on déplace latéralement un index **4** de repérage d'azimut. Immédiatement il se positionne comme en **9** sur la **Fig.38** et la valeur de l'azimut correspondant est indiquée en **8**. L'orientation horizontale est comptée en degrés angulaires en commençant par le Nord géographique et évaluée dans le sens horaire. En **11** se trouve l'azimut de 40° et en **12** celui de 120° . Chaque positionnement latéral de l'index engendre en **10** l'affichage de l'heure correspondante dans la journée.



Parcourir toute la largeur du cadre graphique pourrait s'avérer assez laborieux. Aussi, un coefficient de mobilité indiqué en **7** double chaque fois que l'on active dans ce mode le gros bouton central. Arrivé à **x8**, le coefficient est recyclé à **x1**. Il précise simplement de combien de pixels le curseur **4** se déplace latéralement sur l'écran OLED. Avec le coefficient de mobilité **x8**, en quatorze pas on balaye toute la largeur du cadre. À **x1** l'azimut change de 2° angulaires en moyenne.

Activer le bouton poussoir **FC- court** fait alterner l'affichage entre le mode épuré et le tracé des lignes de repérage en hauteur complété des graduations azimutales. Par exemple sur la **Fig.39** sont ajoutées tous les 10° les graduations en azimut en **16**. En **14** sont tracées les trois directions cardinales se trouvant dans le champ visuel, repérées par leurs symboles respectifs en **13**. Enfin, dans cette présentation détaillée, les hauteurs de $+20^\circ$, $+40^\circ$ et $+60^\circ$ sont soulignées en **15** par les lignes horizontales composées de traits interrompus courts. Quand on change cette option, le curseur, l'azimut et le coefficient de mobilité sont effacés jusqu'à ce que l'on tourne le gros bouton, ou que l'on clique sur ce dernier.

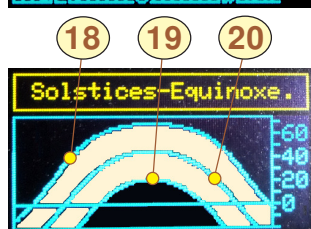
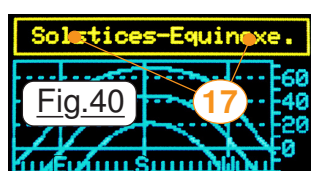
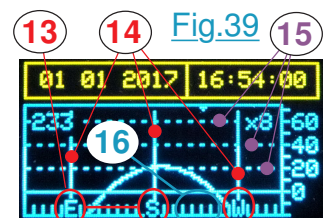


Fig.41

Compte tenu des informations très intéressantes que présente le mode graphique, y faire figurer simultanément les trajectoires correspondant aux solstices et aux équinoxes s'invite presque naturellement. C'est la commande **FC+ court** qui se comporte comme une bascule et fait alterner l'affichage des trois courbes, ou la trajectoire journalière. Quand on valide l'affichage simultané des trois trajectoires, le délai de calcul avoisine cinq secondes. Comme dans ce mode déplacer le curseur latéral n'est pas valide, tourner le bouton génère un BIP sonore d'erreur. Pour bien montrer que le titre n'est plus significatif, il est remplacé par le texte **17** représentatif des informations présentes à l'écran. En **18** nous trouvons la trajectoire relative au Solstice d'Été. En **19** c'est le Solstice d'Hiver qui est représenté. Ces deux courbes matérialisent la zone maximale (*Coloriée en jaune clair.*) dans laquelle évoluera le Soleil au cours de l'année. Enfin en **20** se superposent la trajectoire de l'Équinoxe de printemps et celle de l'Équinoxe d'automne.

Les particularités du logiciel qui anime PICOHÉLIO.

Plusieurs informations figées dans le programme qui pilote l'ATmega328 sont spécifique à ma réalisation, notamment la page d'accueil et les coordonnées du lieu d'observation qui sont initialisées sur un RESET. Détailler dans ce chapitre les séquences de programme spécifiques vous permettra, en très peu de temps, de modifier le code source pour l'adapter à vos désirs. Il n'est pas question dans ces lignes de décrypter entièrement les 1033 lignes de programme, ce serait hors propos. Toutefois, les séquences "pointilleuses" telles que la gestion de l'afficheur, du capteur rotatif, du petit clavier, de l'horloge interne et de tout ce qui concerne le matériel sont entièrement explicitées dans un didacticiel que vous trouverez sur :

<http://forum.arduino.cc/index.php?topic=254693.0>

C'est un forum dans lequel le sujet **Recueil de programmes documentés** est accompagné de plusieurs "posts" pour lesquels des fichiers attachés sont téléchargeables. Pour avoir l'intégralité du document proposé il vous faudra aller chercher tous les fichiers dont la liste est proposée dans l'encadré donné ci-contre.

Éventuellement tous ces petits paquets sont regroupés sur un seul lien, un internaute ayant eu la gentillesse de les placer sur :

<https://onedrive.live.com/?authkey=%21AAQqyaHRuiscEI&id=B2A7F8B18C2B4F0E%212352&cid=B2A7F8B18C2B4F0E>

De nombreux éléments informatiques sont également décrits sur :

<http://www.robot-maker.com/ouvrages/labo-usb-arduino/>

ARDUINO1 - p1 à p19.pdf	Recueil de programmes.zip
ARDUINO1 - p20 à p37.pdf	ARDUINO1 - p38 à p47.pdf
ARDUINO1 - p48 à p55.pdf	ARDUINO2 - p56 à p67.pdf
Programmes pour le SHIELD ADAFRUIT.zip	
ARDUINO3 - p68 à p71.pdf	ARDUINO3 - p72 à p73.pdf
ARDUINO3 - p74 à p78.pdf	ARDUINO3 - p79 à p80.pdf
ARDUINO3 - p81 à p82.pdf	
Mes petits montages Moteurs PAS a PAS.zip	

Passons à la personnalisation de votre réalisation. En ouvrant le manuel **NOTICE.pdf** à la page 9 vous avez les informations qui vous permettront d'imposer les coordonnées GPS et l'altitude de votre observatoire sur un RESET. La version pour sa part est une simple chaîne de caractères directement présente dans le programme. Elle est donc aisée à modifier. Pour ne pas perturber la "mise en page", adoptez le format "**Version JJ_MM-AA**". La salamandre reste un LOGO personnel, c'est ma signature sous forme graphique. Si esthétiquement elle vous convient, rien n'interdit de la conserver. Mais si vous préférez changer ce petit dessin, alors consultez la page 11 du manuel d'utilisation. Il vous suffira de remplacer dans **P1_Ecriture_LOGO_en_EEPROM.ino** la table descriptive du dessin : **byte Salamandre[120] {...}** dans laquelle des bits à "1" allument le pixel alors que des "0" laissent le point non éclairé.

La mesure des tensions électriques.

Obtenir des valeurs affichées fiables suppose que la chaîne de conversion Analogique/Numérique soit fiable. Si l'on peut faire confiance aux circuits internes de l'ATmega328 pour mesurer des tensions électriques sur ses entrées analogiques, nous restons entièrement tributaires de la "circuiterie externe". En consultant les schémas des Fig.35 et Fig.36 du manuel d'utilisation, on constate que la tension de la PILE de SAUVEGARDE est reliée à l'entrée **A3** par une résistance de très forte valeur de **15MΩ**. Cette résistance est choisie la plus importante possible, car restant branchée en permanence, il importe que le courant qu'elle draine quand l'appareil est hors service soit le plus faible possible pour ne pas décharger la pile de 3,3Vcc. Avec la valeur adoptée, le courant maximum restera dérisoire et inférieur à 0,2μA. Prendre plus élevé n'est pas conseillé, car la liaison électrique se comporte comme une petite antenne, et l'impédance doit demeurer suffisamment faible pour ne pas collecter les signaux parasites environnants. (*Signaux carrés à fréquences élevées générés par le petit module microcontrôleur.*) Pour ajuster le calibre de mesurage sur l'entrée **A3** la directive **#define Coef_CAN_pour_la_pile 0.96** permet d'adapter finement la précision obtenue. Appliquer une tension variable sur **A3** mesurée avec un multimètre fiable, et ajuster le coefficient 0.96 jusqu'à obtenir la précision la meilleure sur toute la plage 0 à 4,9Vcc. Durant le déroulement du programme, sur RESET et à chaque changement de fonction dans le menu de base quand on tourne le gros bouton, les tensions sont mesurées. Si un seuil critique est

dépassé, alors il y a génération d'un message d'erreur accompagné d'un BIP sonore. La directive mentionnée en page 9 du manuel `#define Tension_Pile_minimale 2.8` permet de définir ce seuil. Cette tension est largement suffisante pour soutenir encore longtemps l'horloge interne et ménage une large plage de sécurité. Toutefois, quand cette tension réduite est atteinte il devient fortement recommandé de procéder au changement de la pile de soutien. Logiquement, vous pouvez conserver la valeur de 2,8Vcc.

Consultez le schéma de la Fig.34 de [NOTICE.pdf](#). La tension nominale de 9Vcc s'il s'agit d'une petite pile alcaline, ou de 8,2Vcc dans le cas d'un petit accumulateur rechargeable, est divisée par deux par le pont de résistances **R1 / R2**. Les valeurs adoptées de 47kΩ engendreront une consommation d'environ 96µA qui reste négligeable au regard de la consommation moyenne de l'appareil qui titille les 40mA. Rien ne garanti que les deux composants soient exactement de valeurs identiques, le rapport de division pouvant légèrement s'écarter de 1/2. Bien que dans le programme actuel la valeur de calibrage soit égale à 1, lors des essais avec des composants différents la directive était `#define Coef_CAN_pour_accumulateur 0.99` prouvant qu'un ajustement peut s'avérer utile. Pour trouver la valeur du coefficient de correction, la technique consiste encore à alimenter le module avec une tension variable mesurée avec précision sur toute la plage [0 à 10Vcc] et à adopter la valeur du coefficient de correction qui numérisera le plus proche possible de la réalité sur cette dernière.

NOTE : Pour faire afficher les tensions mesurées, il suffit d'afficher la page **Informations complémentaire**, et de cliquer deux fois sur l'un des deux boutons poussoir du clavier. Compiler et surtout télécharger le programme complet prend beaucoup de temps. Pour tester rapidement certains traitements numériques, vérifier ou affiner certains calculs, le petit programme outil `Travail_sur_les_formules.ino` est mis à notre disposition et ne gère que le minimum, c'est à dire le clavier, le codeur rotatif, et l'afficheur OLED. Modifier ce petit utilitaire pour faire afficher en permanence les deux tensions sur l'afficheur OLED peut s'avérer particulièrement avantageux pour affiner les deux coefficients de correction. Pour dégrossir la valeur à adopter, l'idée consiste dans un premier temps à injecter la tension la plus élevée sur l'entrée concernée, à comparer la valeur numérisée à celle du multimètre témoin, et d'établir une proportionnalité entre coefficient actuel et **nouvelle constante** à imposer au `#define`. (Ex : Mesuré 9,0V / Numérisé 8,9V / Coef 1 >>> valeur à proposer : $1/8,9 \times 9,0 = 1,011$.)

La tension de seuil pour l'accumulateur d'alimentation externe qui déclenchera l'alarme a été fixée à 6,5Vcc bien que le module NANOARDUINO fonctionne encore correctement à 3,5Vcc. La raison de ce choix est justifiée en page 20 du manuel d'utilisation.

Notez également que le programme `P0_Noyau_pour_test_rapide.ino` est également à votre disposition quand on désire mettre au point ou développer une séquence particulière en bénéficiant d'un téléchargement rapide et d'un programme source dans lequel il est facile de retrouver une variable, une procédure rebelle quelconque ou tout élément spécifique.

Les problèmes de collision de la PILE et du TAS.

Généralement, lorsque je finalise un programme "cossu", la séquence `void setup()` se termine par une séquence identique à celle de l'encadré présenté ci-dessous. En supprimant les `"/"` on valide les deux lignes de code source oranges. Le compilateur génère alors la séquence qui en tête de programme mesure la place restant disponible dans la mémoire dynamique. Si l'on veut une

```
//@@@@@@@@@@@@@@ Ci-dessous code ajouté pour afficher la place disponible. @@@@@@@@@@@@  
// display.clear(); display.setCursor(30,30); display.print(SRAM_LIBRE());  
// display.update(); ATTENDRE_un_BP(); // vérifier la non "collision de PILE".  
//@@@@@@@@@@@@@@@@***** @@@@@@@@@@@@@@
```

fiabilité de comportement du logiciel, je crois pouvoir affirmer que 150 octets ne sont pas de trop. Dans le cas de PICOHÉLIO la validation de cette séquence annonce un espace confortable de 519 octets, il n'y a donc pas de "plantage vicieux" à craindre, **espace libéré grâce au placement des textes affichés en EEPROM**. Pour en savoir plus sur le sujet, consultez éventuellement :

 <http://www.robot-maker.com/ouvrages/mini-laboratoire-autonome-atmega328/optimisation-programme/>

Présentation de la carte NANOARDUINO.

Oups ... mais j'ai complètement oublié de vous présenter la vedette principale du film ! je fais allusion ici à la minuscule carte NANOARDUINO. Présentée sur la Fig.42 cette petite chose peut remplacer totalement une carte UNO tout en étant vraiment très petite. On la trouve à des tarifs très variables dans le commerce en ligne, mais des clones dont le fonctionnement est sans reproche sont disponibles à environ 3,67 Euros port compris et livrés à domicile avec leur cordon de raccordement USB.

(Tarifs observés au jour de la rédaction de ce didacticiel.)

À ce coût elle est moins onéreuse qu'un ATmega328 seul, et permet vraiment d'effectuer tout ce que l'on peut traiter avec une platine Arduino UNO. Des recherches sur la toile préviennent que des clones de cette carte issus de Chine ne sont pas compatibles pour dialoguer avec l'IDE. D'autres signalent que le cordon de liaison entre la prise miniUSB et le P.C. est pourrie. Ces deux points se sont avérés en partie exacts. Sur six exemplaires commandés, tous à la même adresse, deux cordons USB étaient défectueux ... poubelle. Effectivement, la ligne USB n'était pas reconnue par WINDOWS. Mais sur Internet, les fournisseurs de ces clones mettent à disposition le DRIVER propre à leur circuit intégré de dialogue USB logé sur leur version. Dès que j'ai installé dans WINDOWS ce pilote, une pure formalité, immédiatement l'IDE a établi le contact et les téléversements ont été immédiats. Premier test : Un gros programme qui saturait PICOLABO avec texte et LOGO en EEPROM. Pas de problème, le fonctionnement sur OLED a été immédiat. Alors, vu le prix d'achat de cette toute petite chose, qui est plus que compatible avec une Arduino UNO, franchement, si ce n'est pas pour enficher en gigogne un quelconque SHIELD, à mon sens il ne faut pas hésiter. Les six exemplaires commandés pourtant à des dates très espacées au cours de l'année présentent un fonctionnement parfait. Que désirer de plus ?

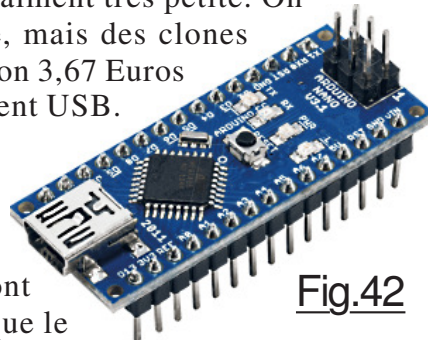


Fig.42

La réalisation matérielle de PICOHÉLIO.

Maintenant que le logiciel a démontré un fonctionnement attendu, avec des branchements volants sur des plaques à essai interconnectées, on va enfin pouvoir se faire plaisir et concrétiser une petite merveille qui tient dans la main comme le prouve la Fig.2 donnée en page 2. Il n'est pas question ici de reprendre en détail toutes les techniques auxquelles je fais appel pour façonner et assembler un petit boîtier. Mes méthodes sont décrites en détail dans divers didacticiels qui encombreront la toile. Par exemple vous allez sur :

<http://www.robot-maker.com/ouvrages/arduino-nano-station-meteo/>

vous trouverez déjà une foule d'informations sur l'agencement des circuits imprimés et sur la création du coffret. Sur le lien :

<http://www.robot-maker.com/ouvrages/apprendre-a-programmer-arduino-en-samusant/>

c'est une mine de renseignements logiciels qui sera à votre disposition.

Enfin, c'est sur :

<http://www.mediafire.com/file/96row7c0dmsgzwq/R%C3%A9aliser+des+instruments+anciens.zip>

et sur <http://www.mediafire.com/file/433y3ab83c5njwx/HÉLIOTHÉODOLITE.zip>

déjà cité en page 1 que vous trouverez le plus de détail sur l'usinage et le collage du polystyrène choc. Riche de ces informations, nous pouvons sereinement aborder en détails les spécificités de PICOHÉLIO, avec comme pour mes autres tutoriels un grand nombre de photographies pour illustrer les propos qui emplissent les chapitres qui vont suivre.

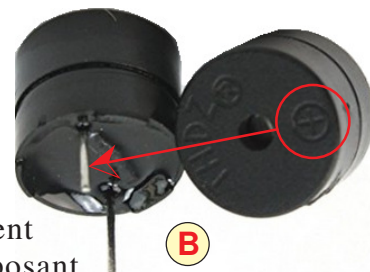
Mise en garde : estimer la faisabilité.

Disposer d'une carte électronique si petite et l'associer à un afficheur miniature incite fortement à vouloir créer un objet très petit. Du reste pour des raisons d'homogénéité, si l'on exclue la présence du conteneur de la pile d'alimentation autonome, le coffret adopte des dimensions qui sont proches de celles de NANOMÉTÉO. Avant de vous engager à faire aussi réduit, **vérifiez bien la faisabilité de l'entreprise par rapport à vos méthodes habituelles de "fabrication"**. Au risque de rabâcher, surtout n'abusez pas de la miniaturisation à outrance. Ne présumez-pas de vos aptitudes d'horlogers. Le plus important, c'est d'arriver à finaliser votre petite éphéméride

électronique sans exaspérations ni énervements. Il s'agit d'un loisir de détente, il faut se faire plaisir. Dans ce qui suit, je vais vous présenter au mieux les petits détails du prototype qui, fortement inspiré de NANOMÉTÉO, n'a révélé aucune mauvaise surprise durant sa réalisation matérielle et l'intégration des divers composants. Notez que tous les croquis, les images, les macrophotographies et les dessins des circuits imprimés sont trompeurs. Ils donnent des fausses impressions de grandeur. Les divers éléments sont petits, presque minuscules pour certains. Dans le boîtier que je vous propose, les espaces sont calculés au plus juste. La conception adoptée est saine et ne rend aucune manipulation scabreuse. Par contre, un minimum de méthode s'impose. C'est parti, concrétisons :

La réalisation matérielle de l'électronique.

A vant de décrire en détails le coffret, nous allons passer en revue les deux modules électroniques à assembler. Ils n'utilisent que des composants ordinaires, car un amateur ne peut prétendre souder des composants de surface. Sauf exception, les résistances sont des type 1/4 de watt. Le BUZZER **B** est de faible dimensions pour se loger aisément sous le capteur rotatif qui s'immobilise sur le couvercle. C'est un composant polarisé, donc faire attention à son orientation avant de le souder sur le circuit imprimé.



Réalisation du circuit imprimé principal.

L argement inspiré de celui de la petite station météorologique, il partage avec cette dernière plus de 90% de son ADN. À bien y regarder vous constaterez qu'il ne s'agit pas à proprement parler d'un clone, mais que la ressemblance est frappante et réutilise intégralement la technique qui consiste à mettre en œuvre une plaque cuivrée prépercée. Le dessin du circuit principal est donné

en page 19 de [NOTICE.pdf](#). Pour ceux qui prendraient le train en marche, c'est à dire qui n'ont pas été sur les liens proposés en page 15, le dessin de la Fig.28 dans le manuel montre les pistes cuivrées comme si le support était transparent le Buzzer **B** étant représenté en mode filaire. Les bandes de cuivre sont colorisées, facilitant l'interprétation de leur affectation, et mettant en évidences certaines coupures de pistes peu repérables. Les fils rigides servant de ponts sont colorisés en fonction de leur utilisation. Bleu pour **GND**, rouge pour le **+5Vcc**, orange pour l'alimentation extérieure sur le petit connecteur HE14 repéré **1** en page 17 du tutoriel. Comportant trois broches pour mieux supporter l'élément femelle qui y sera branché, sa broche centrale n'est pas soudée pour "augmenter l'isolement électrique" entre les deux extrémités. Les deux ponts tracés en mode filaire sont placés sur le dessous coté cuivre. Ce n'est qu'à la mise au point finale que la "médiocrité" des capteurs rotatifs approvisionnés a rendu indispensable l'ajout de deux condensateurs de 10nF. C'est la raison pour laquelle ils sont ajoutés sur le dessous du circuit coté cuivre comme on peut le constater sur la Fig.43 en **4**. (Il en existe de différentes fiabilités. Les capteurs approvisionnés pour mes applications sont commandés par lot de cinq et sont d'un coût très faible, mais leur fini n'est pas peaufiné ... on s'en doute !) En **1** on notera que les diverses pistes cuivrées traversent verticalement le circuit dans le sens transversal. Ne pas se tromper quand on va découper la plaque approvisionnée. En **3** et **5** on peut voir des zones de séparation électrique dans lesquelles les pistes en cuivre ont été enlevées à l'aide d'un cutter. Enfin en **2** réside l'un des deux ponts de câblage situés sur le dessous. Notez au passage que dans la réalité il a été finalement plus commode de souder les condensateurs transversalement contrairement à ce que représente la Fig.29 dans le livret, celui du haut étant à l'extérieur du circuit imprimé ce qui ne pose aucun problème.

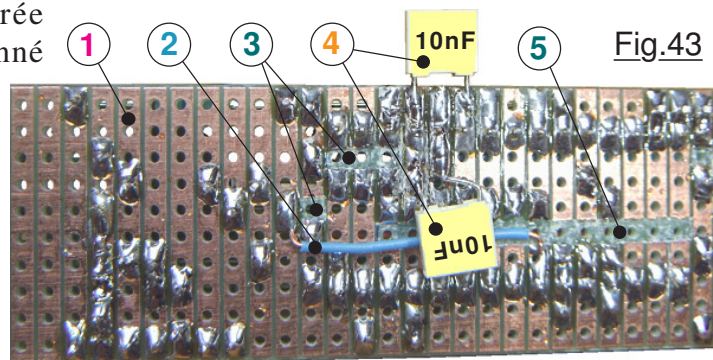


Fig.43

P articulièrement important pour éviter de graves déconvenues au moment d'assembler l'électronique dans le coffret, il faut **IMPÉRATIVEMENT** donner aux lignes de raccordement des longueur suffisantes. En effet, quand le circuit sera introduit au fond du coffret, ce dernier étant vraiment petit et ne gaspillant aucun volume disponible, il sera incontournable de pouvoir brancher et débrancher facilement les autres modules. La photographie de la Fig.44 présente l'électronique

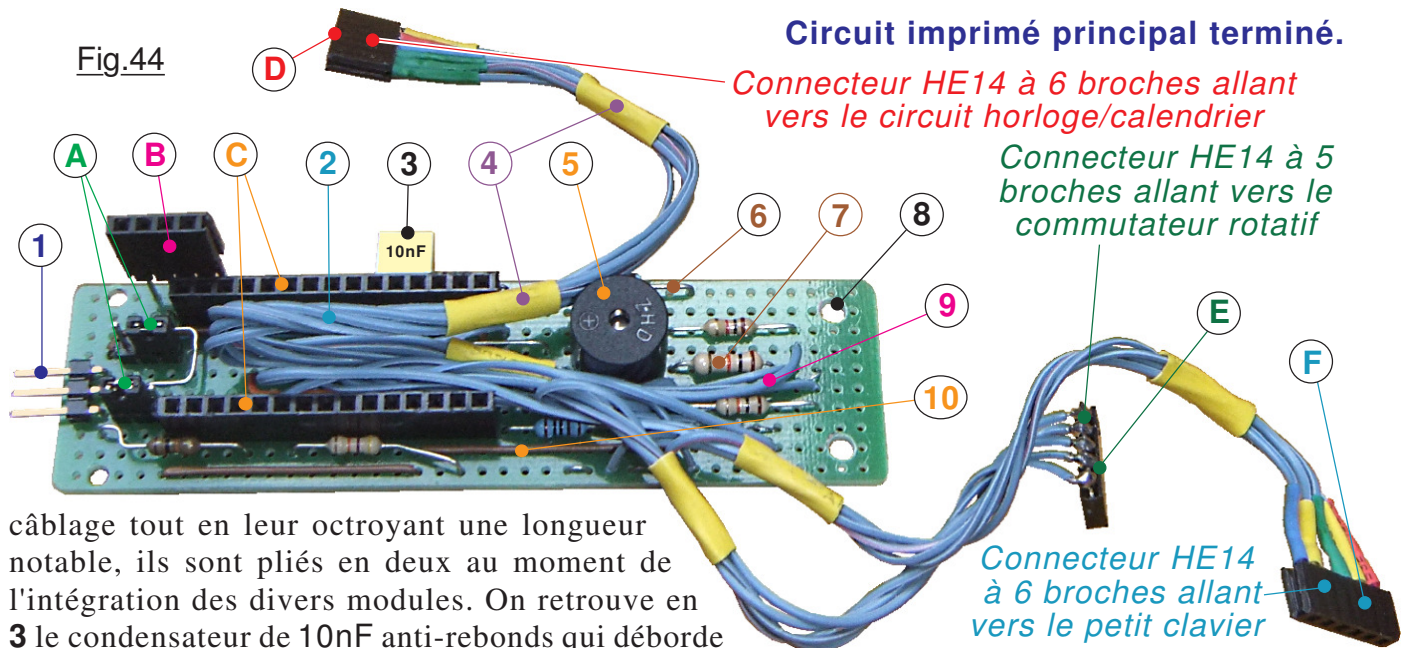
Fig.44

Circuit imprimé principal terminé.

Connecteur HE14 à 6 broches allant vers le circuit horloge/calendrier

Connecteur HE14 à 5 broches allant vers le commutateur rotatif

Connecteur HE14 à 6 broches allant vers le petit clavier



câblage tout en leur octroyant une longueur notable, ils sont pliés en deux au moment de l'intégration des divers modules. On retrouve en **3** le condensateur de 10nF anti-rebonds qui débord du circuit imprimé. En **1** se trouve un petit connecteur qui amène la tension continue extérieure issue de la pile ou de l'accumulateur rechargeable d'alimentation **VIN**. En **C** on retrouve le connecteur HE14 de deux fois 15 broches sur lequel s'enfiche le petit module électronique NANOARDUINO. Le type utilisé est un peu haut pour laisser entre les deux lignes de contacts assez d'espace verticalement pour loger les torons de liaison. En **A** nous avons les deux petits connecteurs HE14 mâles recevant les straps qui répartissent sur le connecteur **B** de l'afficheur OLED les polarités de l'alimentation. Les trous d'implantation des liaisons filaires sont représentés par les petits cercles sur le dessin, la légende des couleurs étant fournie en bas de la page 18 du manuel. Bien visible en **5** le transducteur

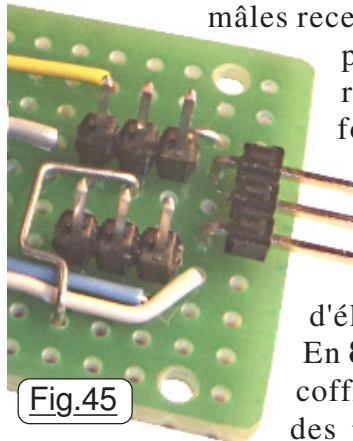


Fig.45

acoustique. Derrière en **6** se trouve la résistance de 15MΩ. Cette dernière est de dimensions supérieures à celles des autres composants. L'élément **7** s'avère également plus volumineux. Normalement il devrait être comme les autres, mais au moment de finaliser le prototype je ne disposais que d'éléments plus puissants de type 1/2 watt pour les valeurs disponibles de 1kΩ. En **8** nous avons les trous ØM3 de liaison entre le circuit imprimé et le fond du coffret. Enfin, en **9** on peut voir quelques liaisons filaires souples qui établissent des ponts de câblage sur le circuit imprimé avec en **10** des ponts rigides.

Effectuer le câblage et les soudures devra se faire dans un ordre "logique" et avec méthode. On commence par les ponts conducteurs en petits fils électriques rigides tels que **10**, ainsi que les dix résistances et les fils souples **9**. Quand à gauche on a terminé, et que les trois connecteurs HE14 sont en place, comme visible sur la Fig.12 on peut souder le Buzzer qui est légèrement surélevé par ses petits bossages sur le dessous. Vue plongeante en Fig.45, de l'autre coté du module en cours d'élaboration, quand vous assemblez le petit pont de liaison soudé cinq fois, et qui saute les deux fils bleu et blanc, intercalez un petit carton rigide entre les trois conducteurs pour ne pas risquer de faire fondre l'isolant au moment de procéder à la soudure.

Un autre petit détail important doit attirer votre attention : Bien que ressemblant à de gros câbles EDF véhiculant 500A sur les macrophotographies, les fils de liaison souples sont vraiment très fins puisqu'ils sont détachés de nappes de fils employées pour constituer des limandes d'ordinateurs. On passe son temps coté pile pour insérer les fils et les composants, puis coté face pour réaliser les soudures. Au raz des implantations, ces longs fils souples sont particulièrement vulnérables à la torsion. Pour les protéger durant ces nombreuses manipulations, au fur et à mesure de l'avancement des opérations, les divers torons sont provisoirement tenus à l'extrémité droite en **A** par du petit fil rigide replié à convenance coté cuivre pour immobiliser les liens fragiles tels que **D**, **E** et **F**. (Voir la Fig.46 ci-dessus)

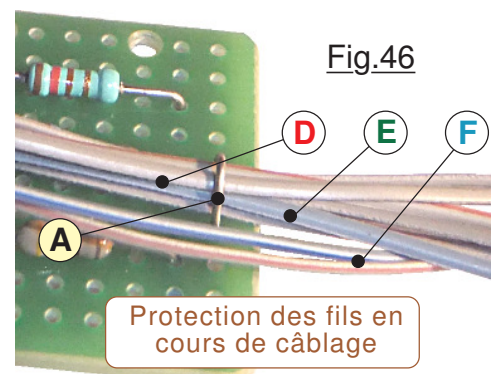
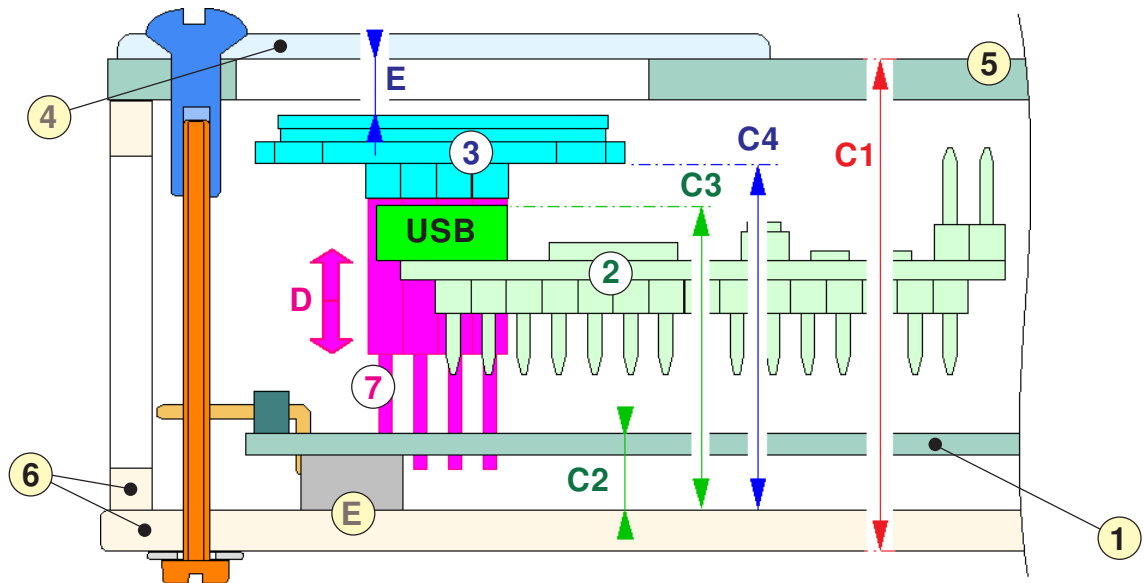


Fig.46

Protection des fils en cours de câblage

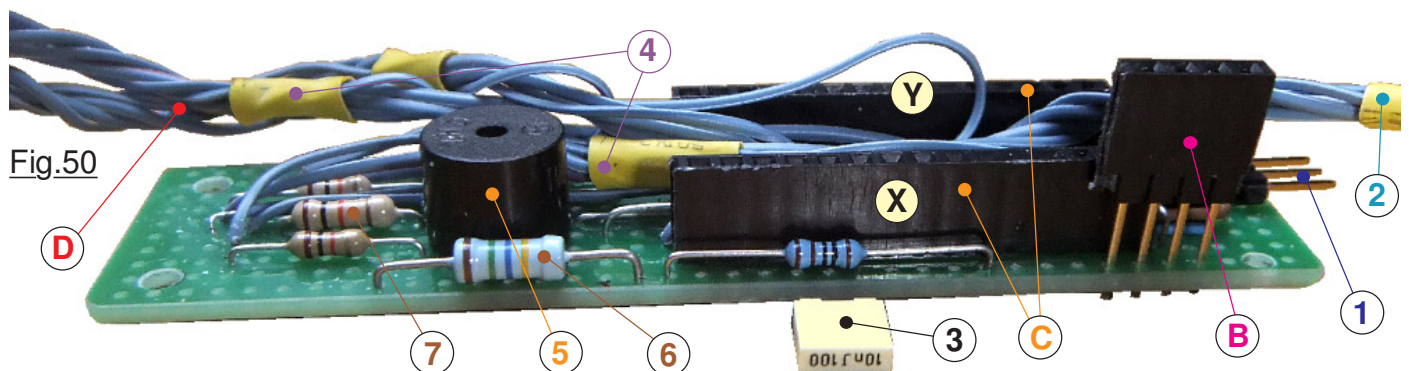
est alors entièrement déterminé, avec en **1** le circuit imprimé principal, et en **4** la petite vitre constituée d'une plaque en matière thermoplastique totalement translucide. Pour pouvoir observer l'afficheur OLED **3** colorié en bleu clair dans les meilleures conditions possibles, on désire que l'écart **E** soit le plus faible possible sans pour autant que **3** ne touche le couvercle **5**.

Fig.49

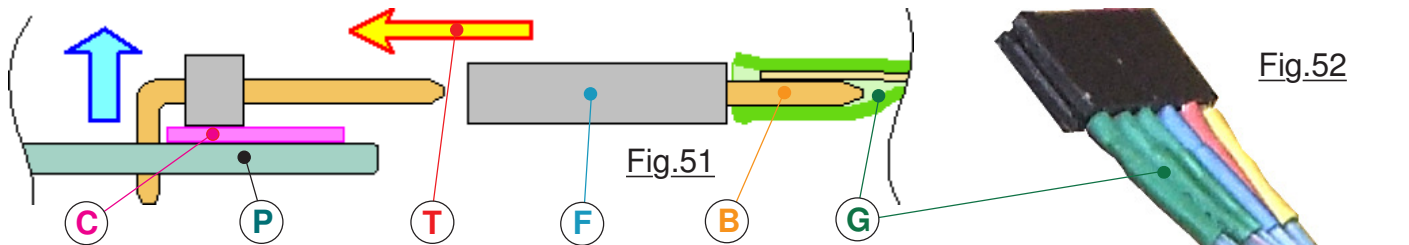


C' est la hauteur de l'entretoise utilisée **E** qui conditionne la cote **C2**. La cote **C3** est celle que l'on mesure entre l'appui des entretoises **E** et le dessus de la minuscule prise **USB** coloriée en vert foncé de la carte NANOARDUINO **2**, représentée elle en vert pastel. Sur ce dessin, **2** semble léviter comme par magie. Pour des raisons de clarté, les connecteurs HE14 **A** et **B** qui supportent **2** ne sont pas représentés. Leurs hauteurs **H** conditionnent la valeur de **C3**. Il ne faut surtout pas que les éléments situés sur le dessous de l'afficheur **3** ne touchent la prise **USB**. Un écart suffisant conditionne alors la cote **C4**. Ce sont tous ces critères qui sur un dessin effectué à l'échelle des dimensions permettent de trouver le meilleur compromis pour la cote **C1**. *(En pratique, il ne faut surtout pas oublier la présence des boutons poussoir du clavier dont la hauteur devra pouvoir s'ajuster correctement, mais ... oublions pour le moment.)* Quand la solution définitive est trouvée, on constate qu'il faut utiliser un connecteur HE14 **7** à broches longues. Personnellement j'ai réalisé les éléments latéraux et le dessous du coffret. Puis, circuit **1** immobilisé sur ces entretoises **E**, il devenait assez facile de positionner avec précision **7** par déplacement **D** pour optimiser l'écart **E**.

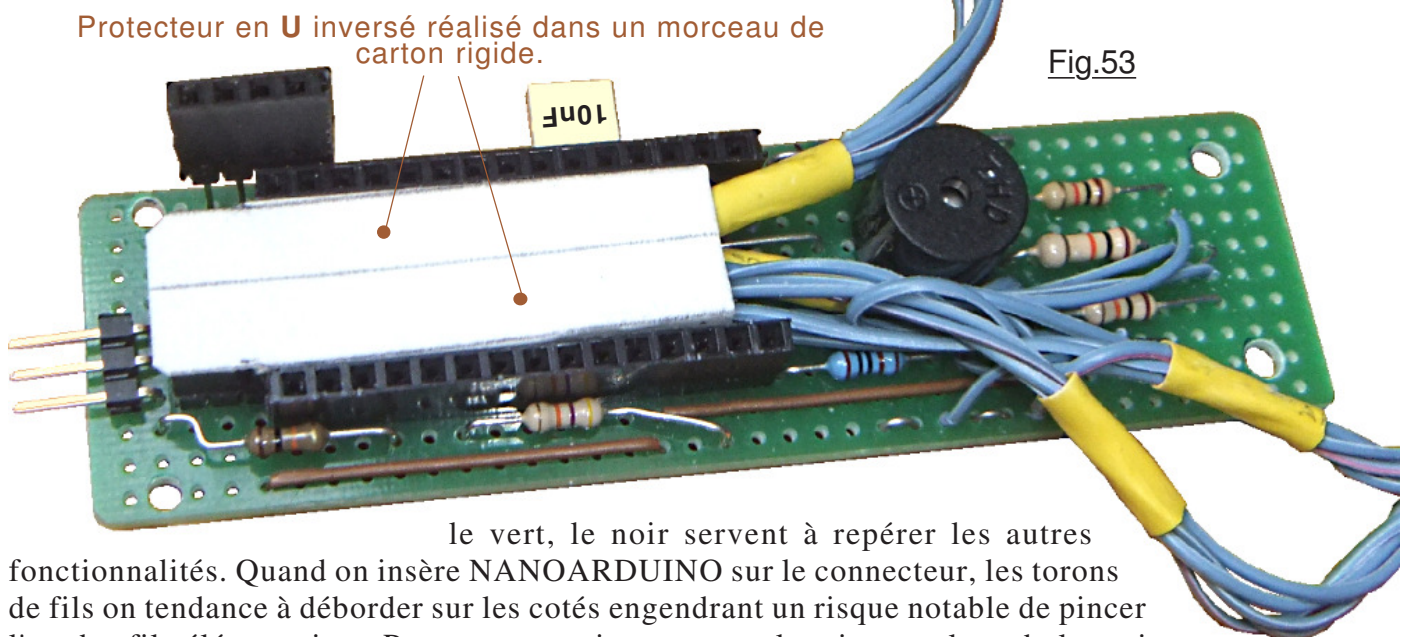
CONCLUSION : Pour pouvoir positionner parfaitement le petit connecteur qui supporte l'afficheur, il faut avoir en partie réalisé le coffret, ou tout au moins disposer d'un dessin précis de ce dernier pour pouvoir y mesurer les dimensions critiques. Pour vous aider à franchir cette étape du projet, vous trouverez dans les pages 22 à 24 les dessins rigoureux du prototype. Il vous suffira de transposer quelques cotes pour rendre compatible ces dernières avec les contraintes issues de "vos technologies".



Sur la Fig.50 on distingue parfaitement le connecteur **B** "surélevé" sur lequel s'enfiche le petit afficheur OLED. Les repères adoptés sur cette photographie sont également ceux des Fig.44 et Fig.47 avec en **2** le toron qui n'a pas encore été soudé pour venir vers le côté gauche et ensuite retourner se brancher sur le module Horloge/Calendrier. Enfin en **1** le petit connecteur HE14 soudé sur lequel il sera possible de brancher, si on désire l'autonomie, une pile de 9V dont il sera question **Page 19**



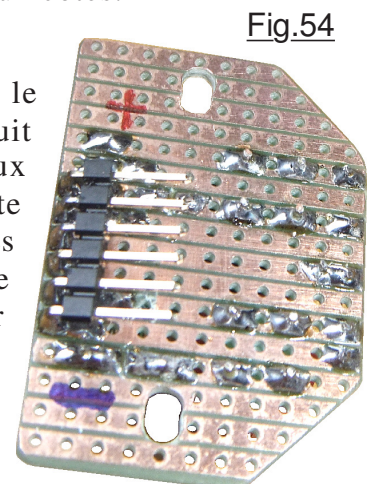
plus avant m'incite à vous proposer un ultime conseil. Considérons la Fig.51 sur laquelle en **P** se trouve le circuit Principal et en **F** la fiche femelle de la liaison alimentation extérieure. Pour que l'on puisse insérer facilement **F** sur le connecteur coudé par la translation **T**, il faut qu'entre le HE14 femelle et le circuit imprimé **P** subsiste un petit jeu. Pour aménager un petit écart suffisant, la technique consiste à surélever le connecteur coudé (*Flèche bleue.*) au moyen d'un petit carton **C** provisoire (*En rose sur le dessin.*) au moment d'effectuer la soudure. Pour la fiche femelle du capteur rotatif, les fils doivent partir verticalement et non dans le prolongement des broches. (*Manque de dégagement latéral dans le coffret.*) En revanche, pour les deux autres fiches, celle **F** de l'horloge et celle du clavier, les fils électriques sont soudés dans le prolongement des broches **B**. Comme le montre la Fig.52, pour assurer une bonne tenue mécanique, les liaisons sont isolées et renforcées par de la petite gaine thermo-couleurs étant disponibles, le bleu est réservé à **GND**, le



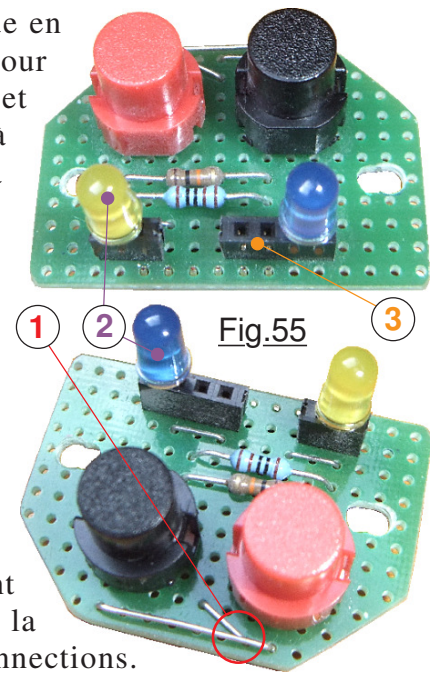
le vert, le noir servent à repérer les autres fonctionnalités. Quand on insère NANOARDUINO sur le connecteur, les torons de fils ont tendance à déborder sur les cotés engendrant un risque notable de pincer l'un des fils élémentaires. Pour parer ce risque, avant la mise en place de la petite carte électronique, on confine les liaisons filaires, comme montré sur la Fig.53, par un protecteur réalisé dans un morceau de carton un peu rigide et bien ajusté sur les deux cotés.

Le petit circuit imprimé du clavier.

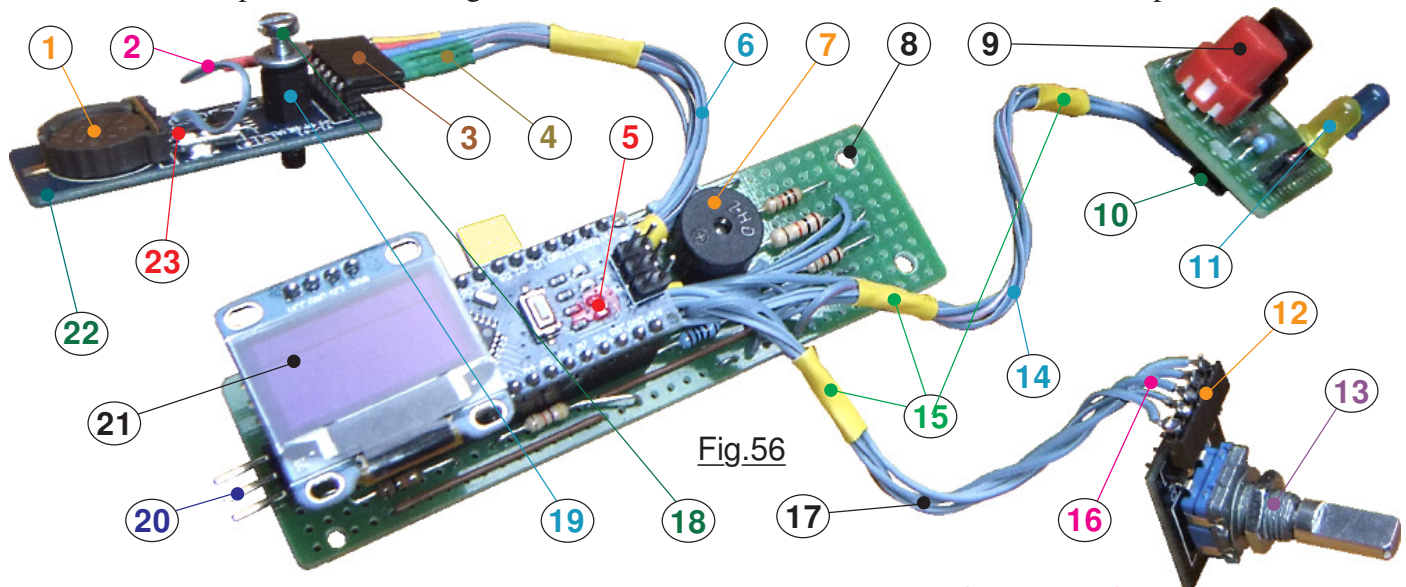
Réprésenté à grande échelle en page 18 du manuel d'utilisation, le connecteur HE14 coudé pour réaliser l'interfaçage avec le circuit principal est soudé sur le dessous. (*Voir la Fig.54*) Il n'y a que deux entretoises et deux boulons ϕ M3 pour assurer la liaison rigide de cette petite plaquette sur le couvercle. C'est largement suffisant. Les deux angles sont dégagés par des chanfreins réalisés à 45°. Comme le circuit est proche du coté droit dans le coffret, ces évidements sont indispensables pour laisser le passage aux deux vis longues qui tiennent le couvercle dans cette zone. Pour faciliter l'alignement transversal des deux boutons poussoir avec les orifices correspondants pratiqués dans le couvercle, les trous de liaison sont oblongs. Notez au passage qu'il



serait bien regrettable de diminuer la fiabilité de notre électronique en branchant accidentellement la fiche **F** en permutant son orientation. Pour faciliter l'assemblage et prévenir tout risque d'inversion, le coté plus et le coté moins sont repérés en couleur par usage d'un stylo feutre à l'encre indélébile coté cuivre. Montré sur deux angles différents, la Fig.55 montre que les deux diodes électroluminescentes **2** sont bien des modèles de 5mm de diamètre. Elles sont sur des supports **3** pour pouvoir les changer. Ce n'est qu'une facilité adoptée sur le prototype, car initialement les couleurs à privilégier n'étaient pas vraiment déterminées. Pouvoir tester diverses combinaisons étaient donc bien commode. Vous pouvez vous aussi munir le petit module de tels supports, ce qui éventuellement autorise un alignement plus facile des deux composants par rapport aux orifices de traversée du couvercle, ce n'est toutefois pas vraiment nécessaire. Les deux ponts de câblage qui ne sont pas isolés, car réalisés avec du fil récupéré quand on raccourci des composants tels que des résistances, semblent se toucher en **1**. C'est une illusion résultant de l'angle de vue. Dans la réalité il y a un jeu d'au moins un demi millimètre entre les deux connections.



Les deux résistances qui limitent le courant dans les LED **2** font **1kΩ**. Elles ont été déterminées expérimentalement pour provoquer une clarté très suffisante, tout en minimisant l'énergie consommée sur la pile d'alimentation autonome. Quand l'ensemble revêt l'allure de la Fig.56 la totalité de l'électronique est achevée. Tous les éléments sont interconnectés et chaque section a été testée par programme. À ce stade, il devient logique de réaliser le coffret, et d'intégrer le tout. En version définitive, on relie la ligne USB au P.C. et l'on peut alors procéder au développement "sur site" du logiciel. Durant cette phase la prise **20** est ignorée. Notez au passage la longueur relative des torons **6**, **14** et **17** "compactés" avec les gaines **15**. Les connecteurs **3** et **10** sont renforcés par les isolements



thermo-rétractables **4**. Pour la liaison de **17** avec le codeur rotatif **13** les fils **16** sont soudés à angle droit sur le connecteur **12** pour des raisons d'encombrement, renforcer les soudures n'étant alors pas possible. On retrouve aisément le Buzzer **7**, les trous de liaison **8**, les deux boutons poussoir **9** et les deux LED **11**, simplement insérées sur deux petits connecteurs femelle HE14. À mon sens, la lumière rouge du témoin d'alimentation de la petite platine NANOARDUINO "aveugle" les trois autres petits témoins lumineux. En **5** le composant incriminé a été barbouillé avec du vernis à ongles rose pour tenter de le masquer. Peine perdue, la lumière cohérente "type LASER" traverse sans atténuation. Finalement, j'ai coupé la piste cuivrée qui alimente cette LED ! La présence du **+5Vcc** est contrôlée par la LED rouge située sur la platine Horloge/Calendrier **22**. Situé vers l'arrière du coffret elle ne gêne plus, ni les témoins voisins de **5**, ni par son éclairement parasite le contraste sur l'afficheur OLED **21**. On distingue la pile de sauvegarde **1**. Le petit fil **2** dont le picot s'engage dans le connecteur femelle **3** est soudé directement sur **22** en **23**. Ce petit circuit imprimé **22** est immobilisé sur l'arrière du coffret au moyen de l'entretoise isolante **19** et de la vis **18**. **Page 21**

Étude du coffret / Intégration des divers éléments.

Quatre heures environ ont été investies pour aboutir à la pieuvre de la Fig.56, les deux petits circuits imprimés étant déjà entièrement préparés. Tout au long de l'opération, chaque étape était vérifiée à la loupe et au multimètre. Tout a fonctionné aux divers essais. Il faut y aller progressivement. ce n'est que lorsque NANOARDUINO semble correctement alimentée que l'on ajoute l'afficher OLED sur son support, non sans avoir au préalable vérifié la polarité des tensions d'alimentation. Puis on complète avec le clavier. Enfin, on branche le codeur rotatif et l'on procède à une vérification totale par logiciel. On peut alors s'engager dans la réalisation du boîtier.

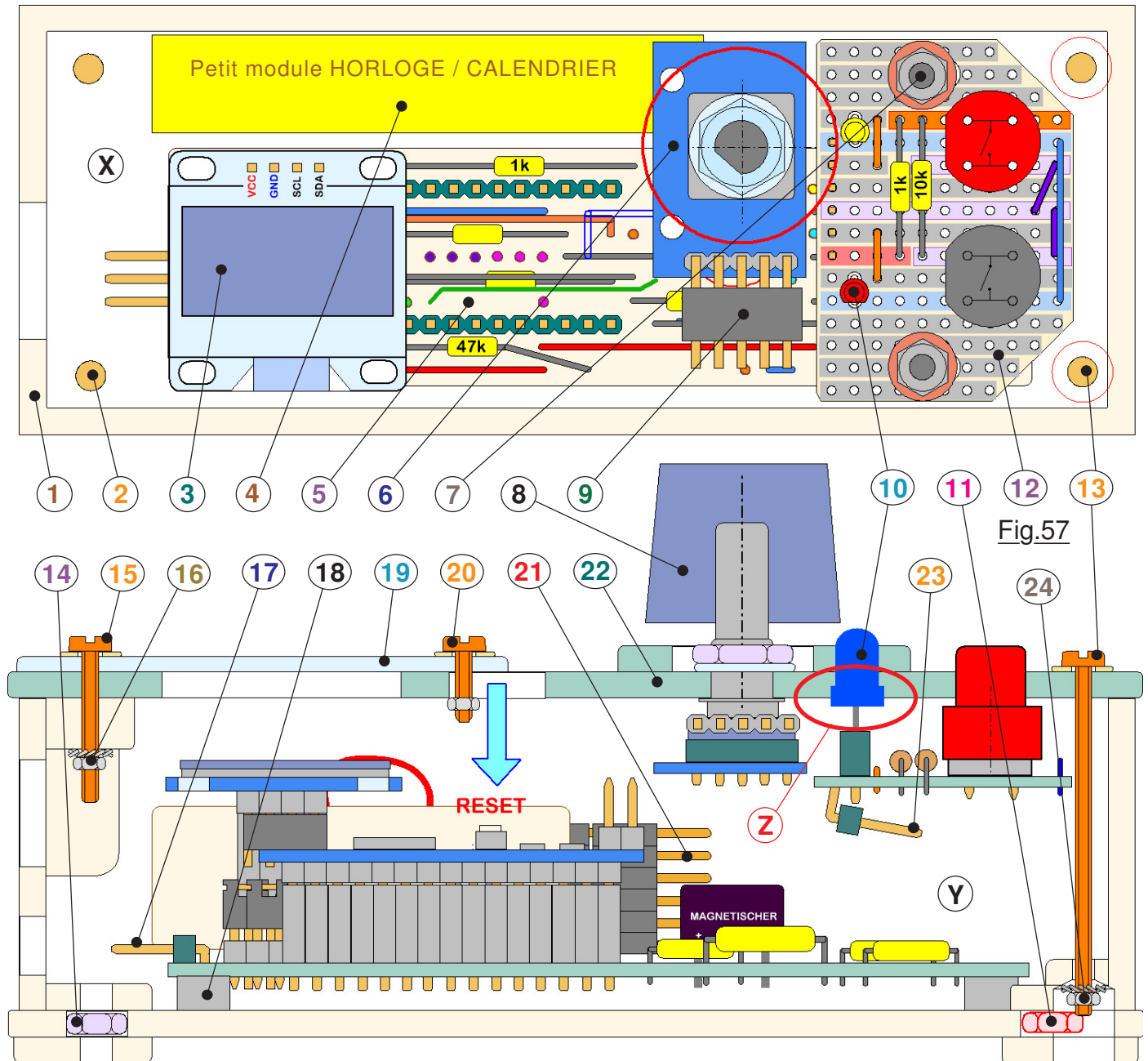


Fig.57

Notez au passage qu'il n'y a pas de miracle. La longueur des torons **6**, **14** et **17** a été évaluée au préalable, car les dessins que je vous propose dans ce chapitre étaient finement étudiés et imprimés à l'échelle unitaire. Des évaluations "en carton découpé et collé" ayant permis de vérifier le bienfondé des études et confirmé la faisabilité. Ce travail préalable est indispensable, car toute erreur, tout oubli, peut par la suite rendre l'assemblage très difficile ... voir impossible.

Assurez-vous, les dessins que je vous propose sont fiables. Quand le coffret a été achevé, les opérations d'intégration se sont révélées minutieuses, mais vraiment sans piège. Vous pouvez faire confiance. Ceci étant précisé, si l'ensemble s'insère aisément et sans anicroche dans le coffret, il ne reste plus de place gaspillée. Je ne crois pas qu'il soit possible de faire bien plus petit, et ce

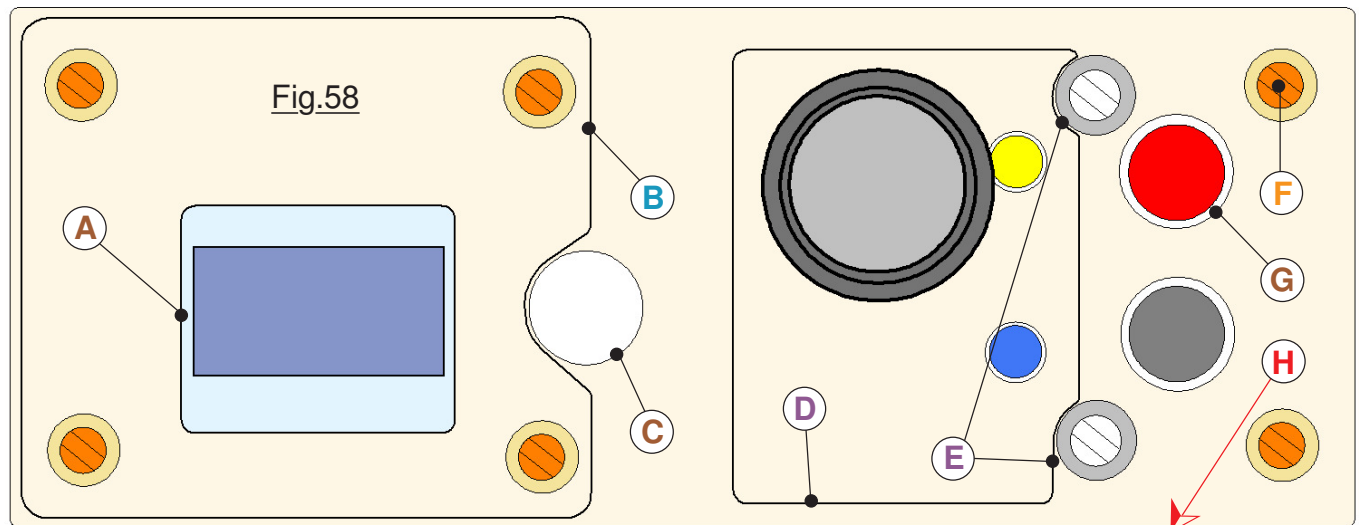
d'autant plus qu'à ces dimensions c'est inutile, notre petit appareil restant très discret.

Présentation sommaire du dessin d'ensemble.

Réalisé rigoureusement à l'échelle, le dessin d'ensemble de la Fig.57 présente la vue de dessus en **X** et la coupe en élévation en **Y**. Le coffret **1** fermé par le couvercle **22** laisse voir l'afficheur **3** à travers la "vitre" **19**. Les vis **20** maintiennent cette petite plaque translucide sur le couvercle **22**. Seul l'encombrement du module Horloge/Calendrier est représenté en **4** avec en **21** en arrière plan le connecteur de liaison électrique. En **2** les vis **15** assemblent à gauche le couvercle **22/19** serrées par les écrous **16**. Tout au fond en **5** le circuit imprimé principal repose sur les entretoises **18** avec en **17** le petit connecteur d'alimentation externe. En **6** on trouve le circuit imprimé du codeur rotatif avec son gros bouton **8** et le connecteur HE14 en **9** dont les fils "partent à la verticale". En **7** se trouvent les vis qui immobilisent le circuit imprimé **12** du clavier sur le couvercle, avec en **10** les deux LEDs et sur le dessous son connecteur coudé en **23**. En **13** on comprend pourquoi le passage sur toute la hauteur des longues vis imposent à **12** deux chanfreins de grande taille du côté droit. Les écrous **24** noyés dans des lamages pratiqués dans la semelle du coffret sont accessibles par le dessous. Enfin en **11** et **14** deux écrous prisonniers sont inclus dans l'axe longitudinal de la semelle pour assurer la liaison avec le *bloc d'alimentation autonome* dont il sera question plus avant.

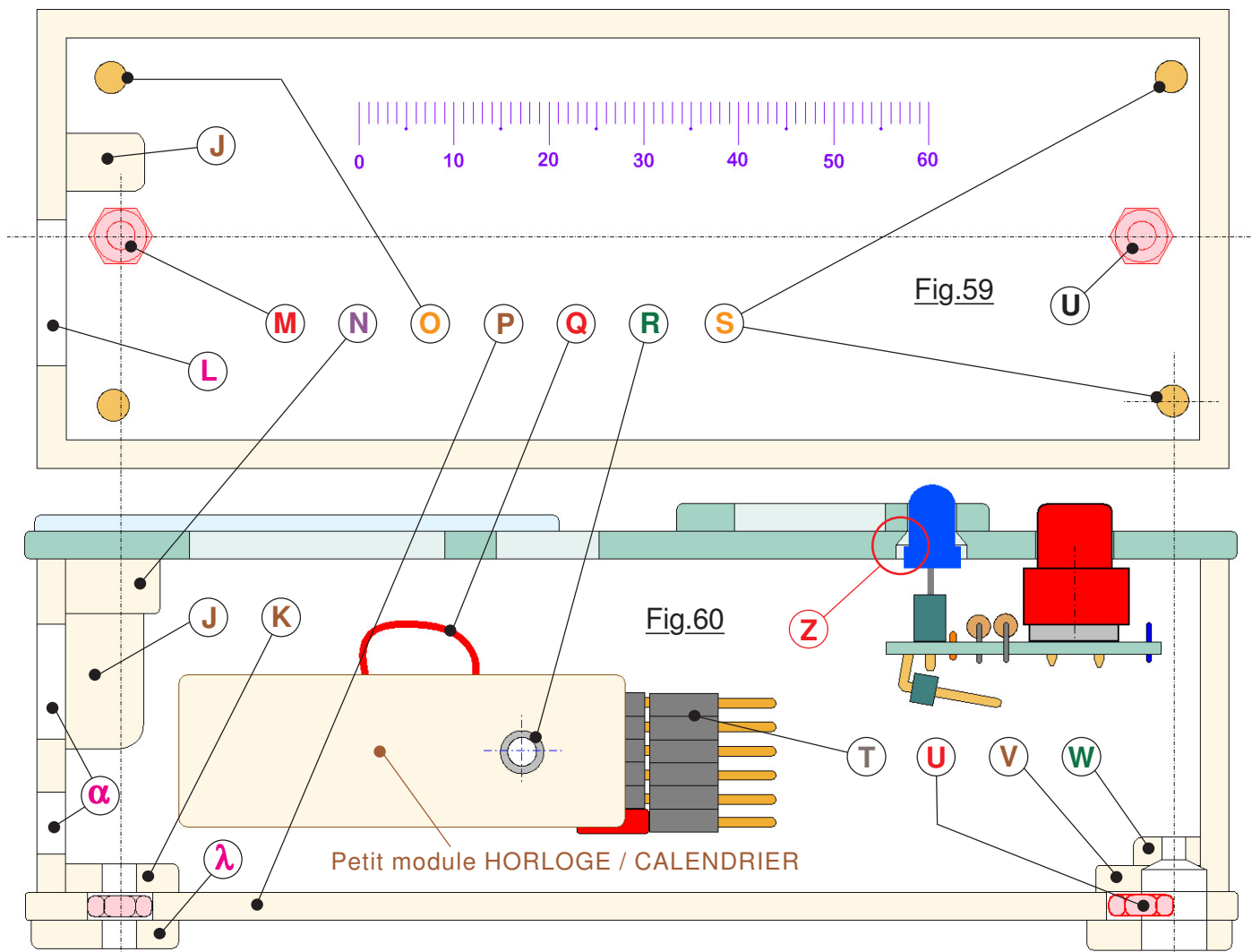
Les dessins fournis à l'échelle des dimensions.

Notes dès maintenant que dans toute la description du coffret qui va suivre, les repères de la Fig.57 serviront de référence commune. Par ailleurs, les détails relatifs au boîtier seront également repris dans l'ensemble de cette étude. Pour l'intégration des éléments, les repères de la Fig.57 sont numériques. Pour le coffret, les dessins fournis utilisent des lettres. Par exemple sur la Fig.58 qui représente le couvercle vu de dessus, en **A** est représenté l'évidement qui permet de voir l'afficheur OLED. En **B** nous avons la petite plaque transparente en Altuglas qui sert de "vitre". Elle doit être dégagée sur son côté droit pour ne pas obstruer le trou **C** qui permet avec un stylet d'engendrer si on le désire un RESET sur l'ATmega328 en cours de mise au point du logiciel. Il

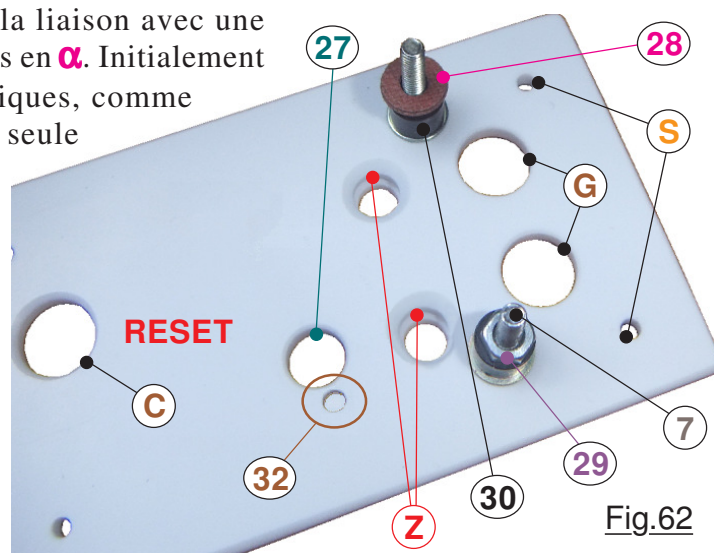
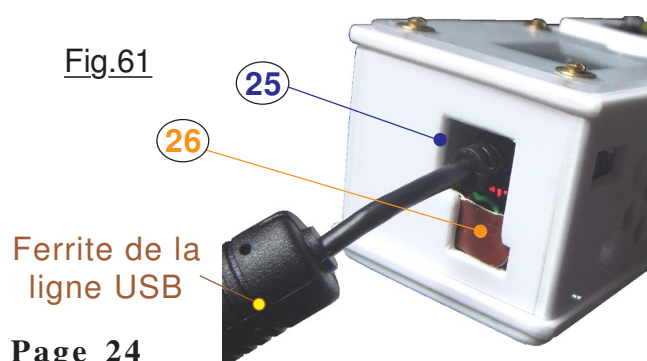


importe de remarquer que les dessins fournis sont réalisés avec rigueur et respectent avec précision les dimensions adoptées. Ils comportent intrinsèquement toutes les cotes de fabrication dont vous pouvez avoir besoin. Il suffit dans ce but d'imprimer le dessin, de couper la bande de papier qui en **H** fournit un régleur virtuel. Ce dernier permet alors de mesurer dans toutes les directions sur les dessins.

Quand on immobilise le circuit **6** sur le couvercle **22**, compte tenu du fait que le gros bouton **8** talonne assez haut sur la tige cylindrique de manœuvre, la base du bouton se trouve relativement éloignée de la surface supérieure de **22**. Esthétiquement, cette jupe "trop courte" ne me plaisait pas. C'est la raison pour laquelle est collée sur **22** la plaque **D** qui cache alors l'écrou de liaison et sa rondelle d'appui. Les deux LED traversent ce bossage. En **Z** la LED semble interférer avec le couvercle. En réalité, nous verrons plus avant qu'il n'en est rien, car un chambrage est pratiqué dans cette zone. Du coup la plaque ajoutée **D** cache ce trou de dégagement pour la base de la LED. Les deux vis d'immobilisation du clavier **12** sur le couvercle **22** imposent les deux zones de dégagement latéral visibles en **E** sur le contour de la plaque **D**.



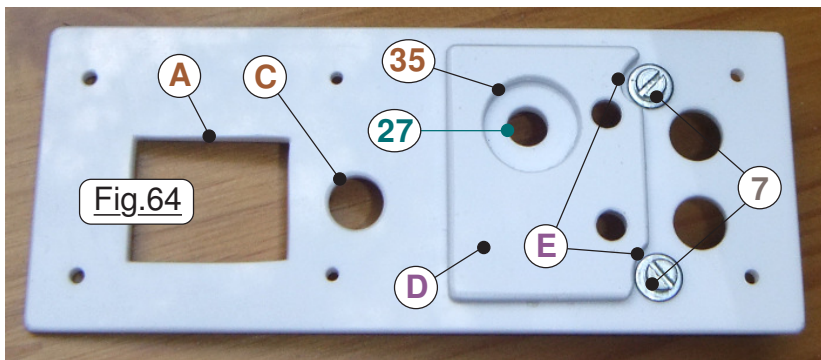
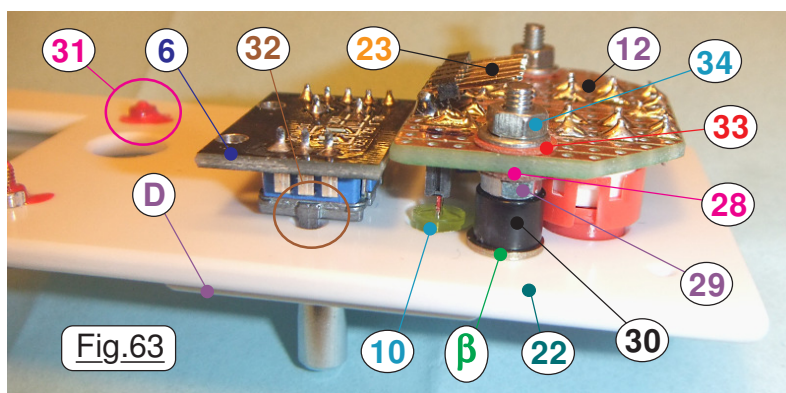
Comme pour la Fi.58 le dessin du coffret proposé ci-dessus devra être imprimé. Vous disposerez sur la Fig.59 de la vue de dessus, et sur la Fig.60 d'une vue en coupe. Les deux échelles graduées (*Rouge et violette.*) vous permettront à convenance de déterminer toutes les cotes qui caractérisent le prototype. En **R** il sera aisé de déterminer les coordonnées exacte du trou sur la face arrière par lequel traverse la vis de liaison du module HORLOGE / CALENDRIER.. Sur le dessin de la Fig.60 on observe facilement l'agrandissement du trou qui en **Z** laissait croire à une interférence matérielle. Le fil rouge **Q** correspond à la ligne directement soudée sur **4** et qui s'insère dans la lyre femelle du bas sur le connecteur **T**. Notez au passage que l'orifice **L** pratiqué sur le flanc gauche du coffret, par lequel on branche la ligne USB ou la liaison avec une alimentation externe, semble réalisé en deux trous en **alpha**. Initialement c'était le cas. Mais pour diverses raisons techniques, comme bien visible sur la Fig.61, actuellement c'est une seule ouverture **25**.



En observant la ferrite qui protège la ligne de programmation USB des parasites véhiculés par le secteur 220V, on peut se faire une idée précise de la "petitesse" de notre éphéméride électronique. Dans la version autonome dont il sera question plus loin, l'alimentation sur le connecteur **17** se fait en interne. Les fils de liaison sont masqués et protégés par un petit morceau de carton en **26**. Enfin, sur la Fig.62 présentant le couvercle retourné, on distingue en **Z** les lamages des deux trous de passage des LEDs, en **C** l'orifice pour l'accès au **RESET**, en **G** les deux trous pour la tête des deux boutons poussoir. En **S** sont visibles les trous de traversée des longues vis **13**. Enfin, en **27** se trouve le trou de passage du canon du codeur rotatif incrémental.

Liaison du clavier sur le couvercle.

Conditionnant le façonnage du couvercle **22**, pour bien cerner les différents détails de son agencement, analysons avec attention l'immobilisation sur ce dernier du codeur rotatif et du petit clavier. On va s'aider dans ce but des Fig.63 et Fig.64 sur lesquelles sont reportés un maximum de repères pour faciliter la corrélation entre les textes et les nombreuses photographies qui accompagnent ce descriptif. Les vis **7** sont placées sur **22** avec leurs rondelles d'appui. Puis on insère de l'autre côté une rondelle métallique **β** et l'entretoise **30**. On immobilise le tout en position par serrage modéré de l'écrou **29**. On introduit alors la rondelle isolante **28** et l'on centre correctement le circuit imprimé **12**. On isole avec la rondelle **33** complétée d'une rondelle d'appui métallique. Enfin, quand les deux boutons poussoir sont parfaitement centrés dans leurs deux trous de passage, on serre les écrous **34**. On observe facilement sur la photographie la LED jaune **10**. Il me semble important de souligner le fait qu'*avant de mettre en place le petit clavier*, on a déjà établi la liaison complète entre le codeur rotatif **6** et le couvercle **22**. En **32** se trouve sur le couvercle un petit trou recevant l'ergot qui dépasse du canon du codeur rotatif pour l'empêcher de tourner. Sur la Fig.63 on devine en **D** la plaque avec le trou de passage en **27** du canon de traversée du capteur incrémental.



Sur l'élément **D**, avant de le "souder" à plat sur le couvercle, les dégagements **E** ont été vérifiés pour s'assurer que la mise en place des vis **7** et surtout de leurs rondelles d'appui seront faciles, le jeu latéral ménagé étant suffisant. C'est le trou **35** dans lequel sera logée la rondelle d'appui métallique et l'écrou d'immobilisation. En arrière plan sur la Fig.63 on devine la présence du petit écrou, qui associé à la vis **20** maintien sur le couvercle la petite plaque translucide **19**. L'ensemble Vis, écrou et surface d'appuis sur la plaque **22** est copieusement "englué" dans du vernis à ongles pour freiner définitivement l'assemblage, car le petit boulon est à peine serré pour éviter des effets de moires entre la "vitre" et le couvercle. Lorsque le couvercle est assemblé, il présente l'aspect montré sur la Fig.65 et qu'il n'y a plus qu'à brancher les deux connecteurs pour intégrer le tout dans le corps du coffret.

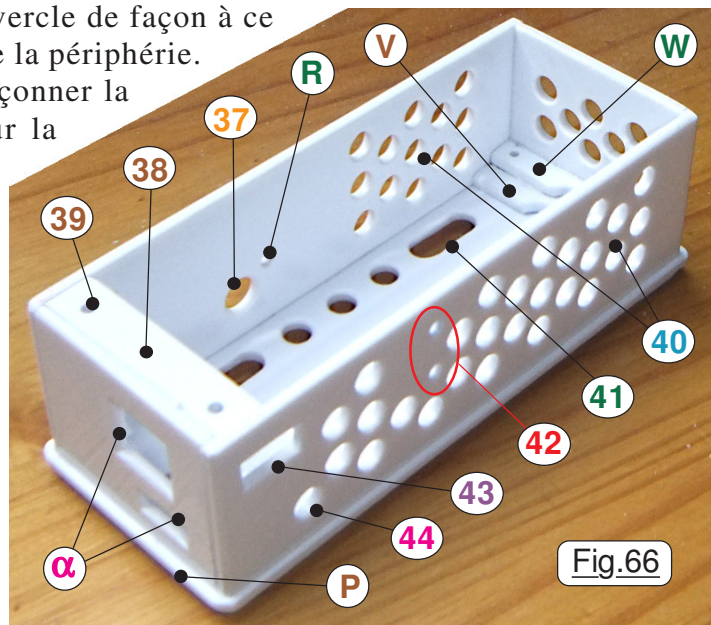
Fig.65: Photographie de l'assemblage final du couvercle montrant le codeur rotatif, le clavier, et les composants électroniques fixés. Les repères A, C, 19, 31, 32, 6, 23, 34, 33, et D sont indiqués.

Détails de conception et de réalisation du corps du coffret.

Bien que décrit avant le boîtier proprement dit, le couvercle n'est usiné que lorsque le corps est entièrement terminé et que l'ensemble des composants peuvent y être intégrés. Dans une première étape, le couvercle est volontairement trop grand. Puis, on ajuste les éléments qui assurent la mise en place du codeur rotatif, du clavier avec ses deux boutons poussoir et les deux diodes électroluminescentes. On positionne alors avec minutie l'ensemble pour tracer avec précision l'emplacement des trous de liaison, celui de la lucarne pour l'afficheur et celui pour l'orifice de RESET. Enfin, quand l'intégralité du couvercle muni de ses divers éléments est centrée en position, on peut déterminer finement le contour du couvercle de façon à ce que ce dernier déborde d'un millimètre sur toute la périphérie.

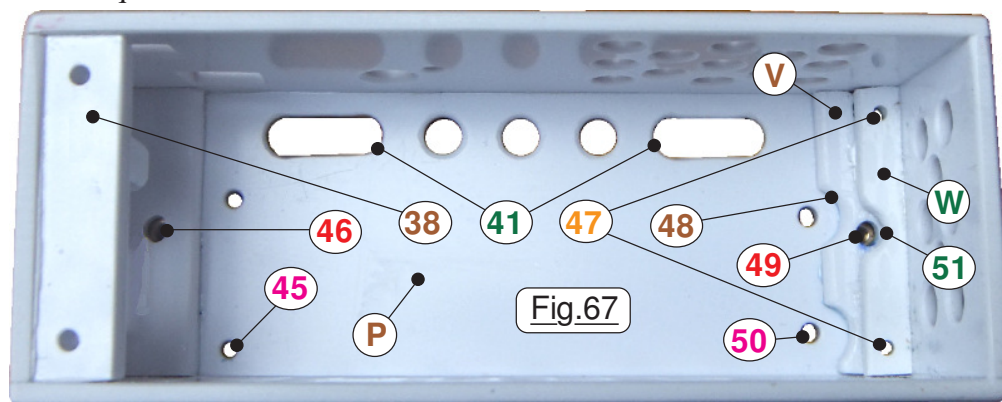
Couvercle totalement terminé, on peut alors façonner la petite vitre **19** pour qu'elle soit bien axée sur la lucarne **A**. On repère avec précision la position des trous de passage des vis, ainsi que le dégagement pour l'orifice **C** réservé au RESET.

Pour réaliser le coffret, dans un premier temps il faut découper les plaques du fond et des quatre faces latérales. Leurs dimensions sont affinées avec précision tout en vérifiant l'équerrage des divers cotés. Puis, la plaque du fond (*La semelle **P** qui déborde d'un mm sur les cotés*) est percée pour pouvoir y assembler le circuit imprimé avec ses entretoises **18**. Étant bien en position, on peut alors disposer chaque pièce latérale, et tracer sur cette dernière avec précision l'emplacement des différentes lumières fonctionnelles. Sur la fig.66 le corps du coffret est terminé,



mis à part qu'en **α** les deux ouvertures n'ont pas encore été retaillées pour n'en faire qu'une seule. Il est fortement recommandé de percer tous les trous sur les flancs *avant de souder* les éléments sur la semelle **P**. En effet, quand la plaque est isolée, il est enfantin de la maintenir dans un étau pour ajuster avec précision les contours des trous rectangulaires. Par ailleurs, limer les bords, faire des chanfreins est particulièrement aisé quand on peut tenir la plaque en main. Quand elle est soudée, les limes et les outils ne passent plus aisément et talonnent sur l'un des cotés ou sur la semelle **P**.

N' allez surtout pas imaginer que les nombreux trous tels que ceux repérés par **40** servent à ventiler l'électronique. Dissipant au maximum 0,5W, notre électronique ne risque pas de provoquer un réchauffement climatique. Mais comme je le précise dans mes autres didacticiels, je trouve que transformer mes coffrets en dentelle artificielle leur donne un aspect que j'affectionne tout particulièrement. Par ailleurs, tous ces trous permettent "de voir à travers le couvercle". Ils facilitent ainsi les opérations d'intégration et autorisent aussi le passage d'outils tels que des petits tournevis pour aider par exemple à déboucher NANOARDUINO de son

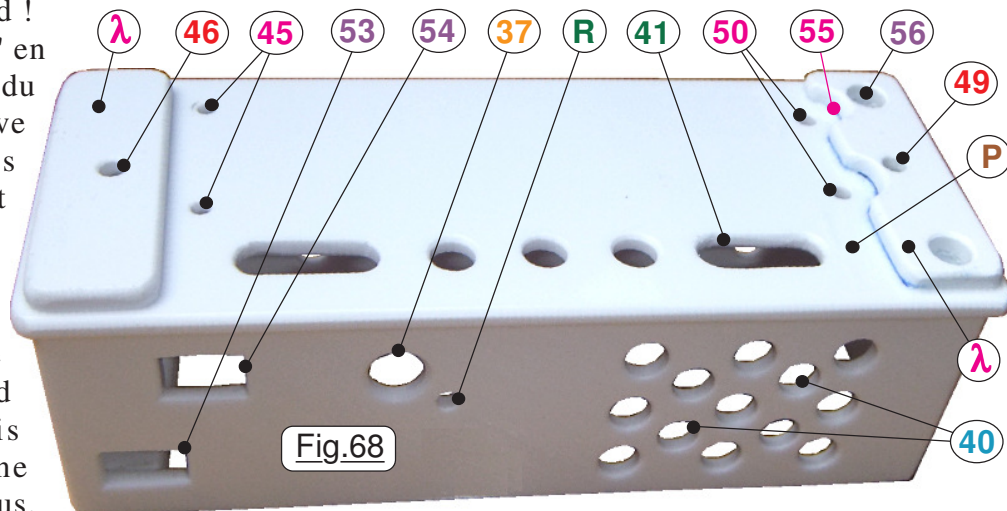


support HE14 sur le circuit principal. En **37** un gros trou est pratiqué en face de la LED rouge qui atteste sur le circuit de l'Horloge/Calendrier de la présence du **+5Vcc** sur les circuits. En **41** sur la semelle sont pratiqués divers trous destinés au passage des fils qui vont du connecteur **17** à l'accumulateur d'alimentation autonome. Comme à la réalisation du fond le coté où seraient sortis les deux fils électrique n'était pas encore déterminé, des orifices ont donc été aménagés tout le long.

Page 26 En **38** se trouve la traverse de renfort, avec en **39** les deux trous de passage des vis de

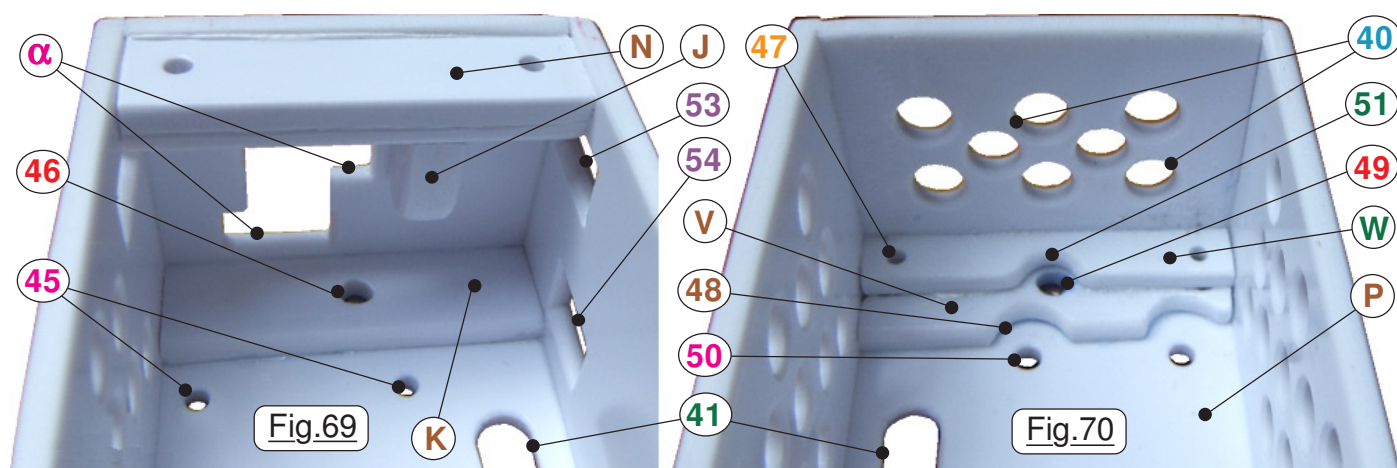
liaison avec le couvercle. La Fig.67 est une vue plongeante du coffret quand celui-ci est entièrement achevé. En particulier sur cette vue on trouve les quatre trous en 45 et en 50 de passage des vis ϕ M3 qui assurent la liaison entre la semelle et le circuit imprimé principal. Notez que sur V il a été nécessaire de réaliser deux dégagements 48 pour ne pas gêner la mise en place des entretoises 18. En 46 et 49 on trouve dans l'axe longitudinal les deux écrous prisonniers 14 et 11 qui assurent la liaison entre la semelle P et le petit bloc d'alimentation autonome dont il sera question plus avant. Pour laisser le libre passage de la vis d'assemblage un dégagement est pratiqué sur W en 51. Un bon conseil : Réalisez 48 sur V et 51 sur W *avant de coller ces deux éléments sur le corps* du coffret car ... après il sera trop tard !

On "retourne la chaussette" en Fig.68 pour voir le dessous du corps du coffret. On retrouve divers éléments précisés dans ce qui précède, et surtout on remarque que la semelle P est munie de deux bossages en λ . Ces derniers ont pour but de surélever légèrement le fond pour que les têtes de vis implantées en 45 et 50 ne dépassent pas sur le dessous.



Comme les vis ϕ M3 de liaison entre le circuit imprimé principal et le fond du coffret en 50 sont munies de rondelles d'appui, il faut ménager des dégagements 55 suffisants sur λ . On retrouve en 46 et 49 les orifices qui permettent d'introduire des vis sur les deux écrous prisonniers. Quand aux deux lumières 53 et 54, elles permettent de passer des pinces pour le serrage des écrous comme nous le verrons plus avant dans le chapitre sur l'intégration. Elles également il importe de les réaliser avant collage du flanc arrière sur le fond du boîtier.

Observant le coffret vers l'intérieur on peut sur les deux vues Fig.69 et Fig.70 examiner en gros plan les détails déjà mentionnés. En particulier les deux lumières α sont maintenant réunies, le boîtier est entièrement achevé. On constate surtout le renfort vertical épais J sur la traverse N sur laquelle est vissé le couvercle sur le coffret coté lucarne. Les deux éléments K et V ne sont pas vraiment des renforts, car un boîtier à cette taille n'en a pas besoin. Ils sont prévus pour pouvoir, avec



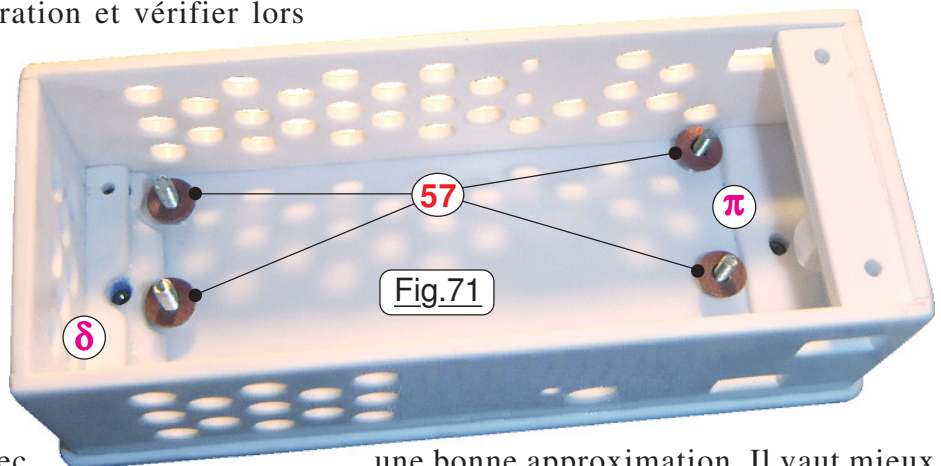
en complément les bossages λ , emprisonner les deux écrous 46 et 49. De même que la couche supplémentaire W n'est indispensable que pour "approcher" le fond P du couvercle, car la longueur sous tête des vis 13 n'était pas suffisante pour aller assez loin vers le bas pour que l'écrou 24 porte sur le fond ou sur V. *Surtout prenez votre temps avant de coller les faces latérales sur le fond*. Tracez avec précision la position des orifices fonctionnels. Quand ils sont réalisés, présentez la pièce en position sur la semelle et vérifiez que les emplacements sont parfaits et de dimensions idoines. S'ils vous séduisent, percez les trous "dentelle" 40 *avant de tout assembler*. OUF, on peut passer à l'intégration.

Intégration de l'électronique dans le boîtier.

C'est souvent cette phase qui révèle les faiblesses de conception. Impossible de visser un écrou, ou on passe la matinée à "mascagner" pour arriver à placer une entretoise ... D'inutiles manipulations qui engendrent la dégradation d'un toron, et il faut tout ressortir pour ressouder ou remplacer un fil qui n'a pas résisté à notre énervement. Pire, quand tout est en place et que l'on veut enfin mettre sous tension et admirer le travail ... PAFFFFFFF l'orifice de passage pour la petite prise USB est trop petit ou mal centré. Il faut tout démonter, vider le coffret avant d'élargir l'ouverture.

Rassurez-vous, pour le prototype ça n'a pas été le cas, tout prend place sans aucun souci. Avec l'habitude chaque phase de l'intégration a été anticipée, et l'assemblage s'avère très facile. Pour que vous puissiez bénéficier des études menées sur le prototype, je vous conseille fortement de **lire entièrement ce chapitre AVANT DE RÉALISER LE COFFRET**. Ainsi vous pourrez virtuellement procéder à l'intégration et vérifier lors

de la réalisation des faces latérales, que vous n'avez rien oublié et que tous les orifices, ainsi que toutes les lumières fonctionnelles soient finement calibrés. Ce qui va suivre n'est alors qu'une formalité ... **à condition que vous ayez torsadé les torons des lignes électriques avec des longueurs conformes** à celle qui sur les Fig.44 et Fig.56 peuvent être estimées avec qu'elles soient un peu trop longues plutôt que l'inverse. Les loger dans le coffret n'engendre pas du tout de problème.



une bonne approximation. Il vaut mieux les loger dans le coffret n'engendre pas du tout de problème.

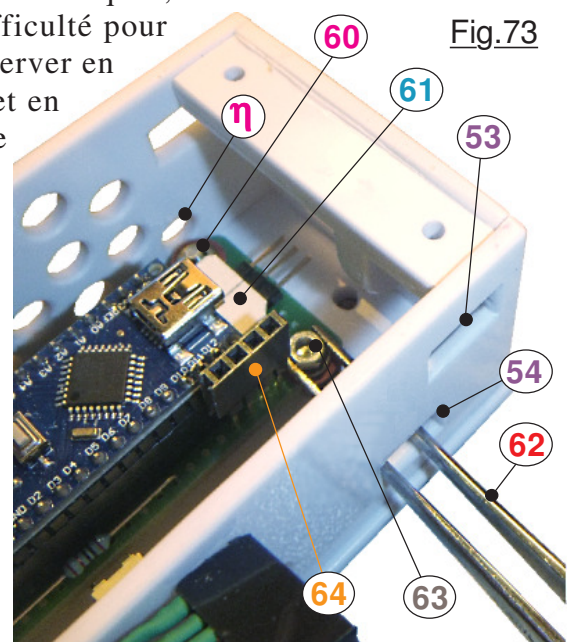
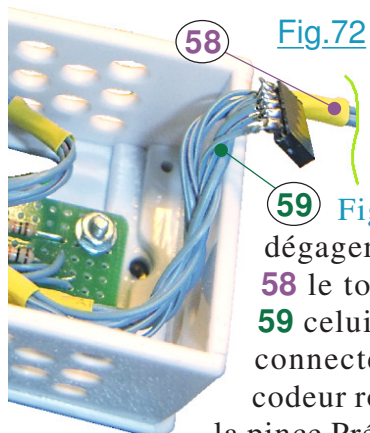
Première étape : assembler le circuit imprimé principal.

Commencer par placer les quatre vis de liaison sur le dessous, avec des rondelles d'appui pour celles coté δ puis comme visible sur la Fig.71 orienter normalement le tout et le posez sur le plan de travail. Les vis restent alors en place. (Coté π il n'y a pas de rondelles d'appui car ce sont des vis de ϕ M2 et je ne disposais pas des rondelles associées.) Puis insérer les entretoises 18 et les

rondelles d'isolation 57. Introduire alors le circuit imprimé principal. Sur le dessus du circuit imprimé, coté δ on place deux rondelles d'appui métalliques, et l'on serre modérément les écrous ϕ M3. Pour visser les écrous, ils sont saisis avec une longue pince Précelle à auto-serrage au repos. En écartant la "pieuvre électrique", comme bien visible sur la

Fig.72 il n'y a vraiment aucune difficulté pour dégager la zone des écrous. On peut observer en 58 le toron qui va vers le petit clavier, et en 59 celui qui est soudé à angle droit sur le connecteur femelle de liaison avec le codeur rotatif. Sur la Fig.73 on distingue la pince Précelle à auto-serrage au repos 62

qui empêche l'écrou 63 de tourner quand on serre sa vis associée par le dessous. Tenir l'écrou par le dessus n'est pratiquement pas possible car le connecteur 64 de l'afficheur OLED qui surplombe en partie l'interdit. On comprend dans une telle situation l'utilité de l'ouverture 54 pratiquée bien en face sur la face arrière. Pour sa part l'écrou 60 ne pose aucun problème pour être inséré. Le trou "dentelle" voisin η en outre permet de tenir cet écrou par la face avant avec 62 quand on serre sa vis. On reconnaît en 61 le carton qui protège les



torons sous la platine NANOARDUINO. La platine principale est en place, la suite logique consiste à immobiliser sur la face arrière le petit module de l'Horloge/Calendrier. Toutefois, avant de détailler cette opération, il nous faut ouvrir une parenthèse au sujet du petit bloc complémentaire d'alimentation autonome.

Alimenter en interne l'alimentation externe !

Confus ce titre, pour ne pas dire un tantinet abscond. Un minimum d'éclaircissements s'impose. Vous avez tous compris que la lumière agrandie α permet de brancher sur le petit connecteur 17 une alimentation externe pouvant aller de 7Vcc jusqu'à 20Vcc sur la broche VIN de la petite carte électronique. Toutefois, si vous optez pour une alimentation autonome, un petit bloc alimentation 67 délimité par le contour vert ϕ sera le bienvenu. La vue Fig.74 montre qu'il est solidarisé sur le coffret par les deux vis 66 qui prennent appui sur les deux écrous prisonniers 46 et 49. La portée sous tête de ces deux vis est augmentée par des rondelles larges, le module 67 augmente un peu le volume de l'ensemble et constitue sa nouvelle surface d'assise. Si vous optez pour l'option "autonomie totale", alors la ligne électrique vers VIN qui va de l'accumulateur vers NANOARDUINO devra traverser la semelle

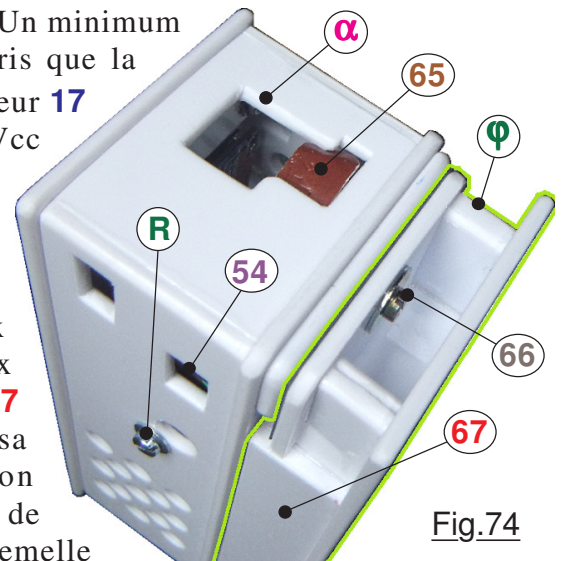


Fig.74

et se brancher en interne sur le connecteur 17. Dans ce cas, l'ouverture α ne sert plus que pour les phases de programmation de

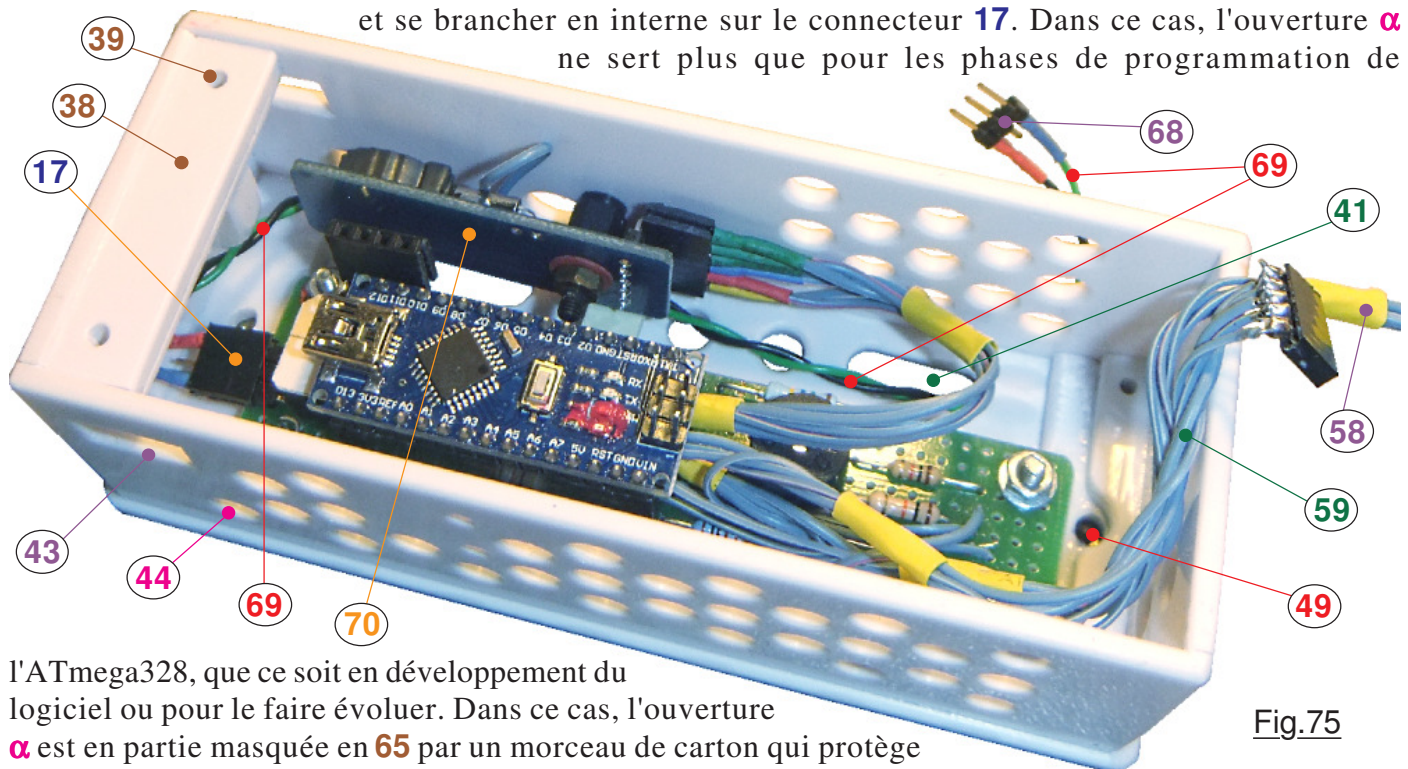


Fig.75

l'ATmega328, que ce soit en développement du logiciel ou pour le faire évoluer. Dans ce cas, l'ouverture α est en partie masquée en 65 par un morceau de carton qui protège mécaniquement la ligne 69 qui sur la Fig.75 montre son cheminement interne au coffret. La ligne électrique passe à travers la semelle par la lumière 41 et se termine par le petit connecteur 68 qui se branche dans 67 sur la pile 9Vcc ou l'accumulateur rechargeable équivalent.

Intégration du module Horloge / Calendrier.

Probablement que vous aurez choisi l'option "autonome". Dans cette hypothèse la ligne 69 est insérée avant de procéder à l'intégration du module de gestion temporelle 70. Dans ce cas il faudra vous montrer attentif au fait que cette ligne sort sur le dessous et se trouve en "danger". Donc manipuler avec précautions. Il est très commode de mettre en place le module 70 et le déposer alors que le processeur est en position. C'est le moment de masquer les torons avec le protecteur en carton 61, puis d'insérer NANOARDUINO sur les lignes HE14 si vous ne l'aviez pas fait avant la mise en place du circuit imprimé principal dans le coffret. On commence par fixer l'entretoise en matériau isolant 75 sur le module 70 avec l'écrou 73 en ayant intercalé comme visible sur la Fig.77 la rondelle isolante 74. À partir d'ici l'entretoise fait "définitivement partie du module

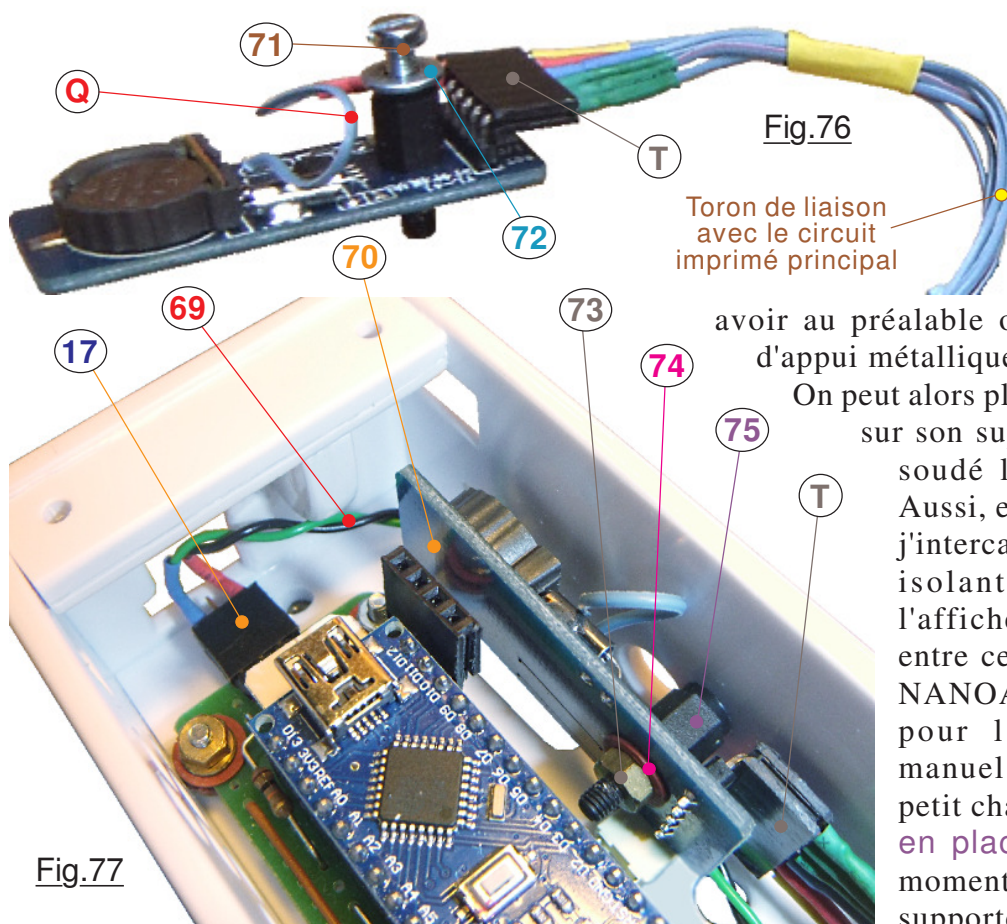


Fig.76

Toron de liaison
avec le circuit
imprimé principal

Horloge/Calendrier **70** et ne sera plus séparée. Puis, on branche le connecteur **T**. On réunit sur ce dernier le fil **Q**. On glisse alors le module dans le coffret. Par l'extérieur, il est alors facile de visser **71** sans avoir au préalable oublié d'insérer la rondelle d'appui métallique **72**. (Voir la Fig.76.)

On peut alors placer le petit afficheur OLED sur son support. Personnellement, j'ai soudé le connecteur un peu bas. Aussi, entre l'afficheur et ce dernier j'intercale deux petites entretoises **E** isolantes sur les broches de l'afficheur pour augmenter le jeu entre ce dernier et la prise USB de NANOARDUINO. C'est la raison pour laquelle en page 21 du manuel d'utilisation est ajouté le petit chapitre "Extraire / Remettre en place l'afficheur OLED.". Au moment de souder le connecteur qui supporte le petit afficheur, il vaut

Fig.77

mieux qu'il soit un peu trop haut que l'inverse ... À bon entendre : Salut !

Toujours dans l'optique de vérifications permanentes et continues, on branche provisoirement le capteur rotatif, le petit clavier et l'on teste l'ensemble. En particulier on alimente **VIN** en extérieur par la fiche **68** pour s'assurer qu'elle est opérationnelle. On alimente surtout par la ligne USB pour vérifier que l'on peut la brancher sans difficulté. Notez au passage qu'elle est très petite et que mettre la fiche bien en face n'est pas évident. C'est durant ce type de manipulation que les "trous dentelle" seront appréciables pour bien voir ce que l'on fait à l'intérieur. Ils seront également indispensables si pour une quelconque raison on désire déposer le module NANOARDUINO. Un petit tournevis traversant les orifices ronds servira alors de levier. On débranche le capteur incrémental et le petit clavier, et l'on termine l'intégration des divers éléments fonctionnels :

Mise en place du petit afficheur OLED.

Opération totalement élémentaire, car il suffit de l'insérer délicatement sur son support. Du reste, si vous avez procédé aux vérifications dans le chapitre précédent ... il est déjà en position. Éventuellement il serait possible d'en rester là, mais le petit module est en "porte à faux", ce qui n'est pas raisonnable au point de vue mécanique. Il faut absolument le soutenir coté face avant de notre appareil électronique. Dans ce but on immobilise la petite cale **77** sur la face avant par les deux vis **76**. Pas très visible sur la Fig.78 et souligné par un contour vert **σ**, on a pratiqué sur **77** une petite encoche dans laquelle se positionne le circuit imprimé de l'afficheur. L'échancrure **τ** permet d'éviter toute interférence avec le petit boulon qui immobilise la

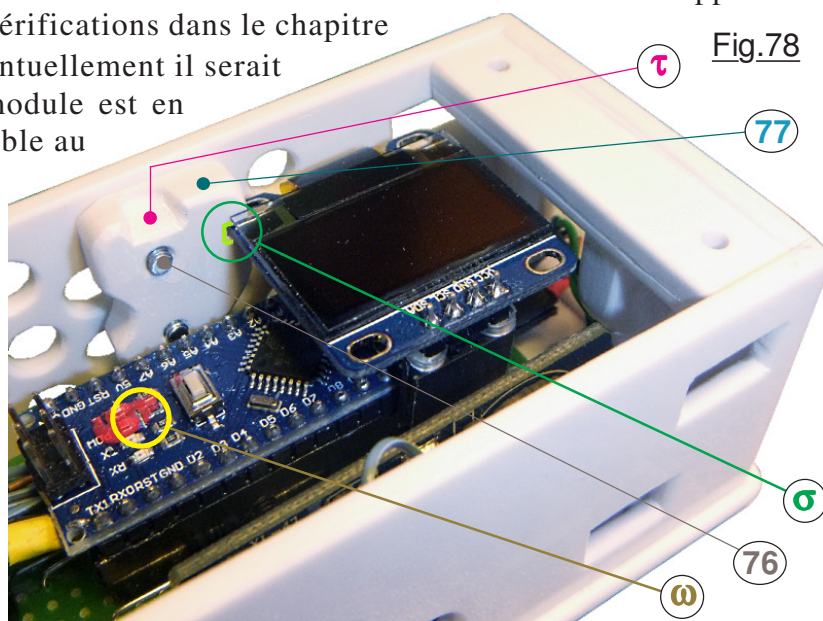
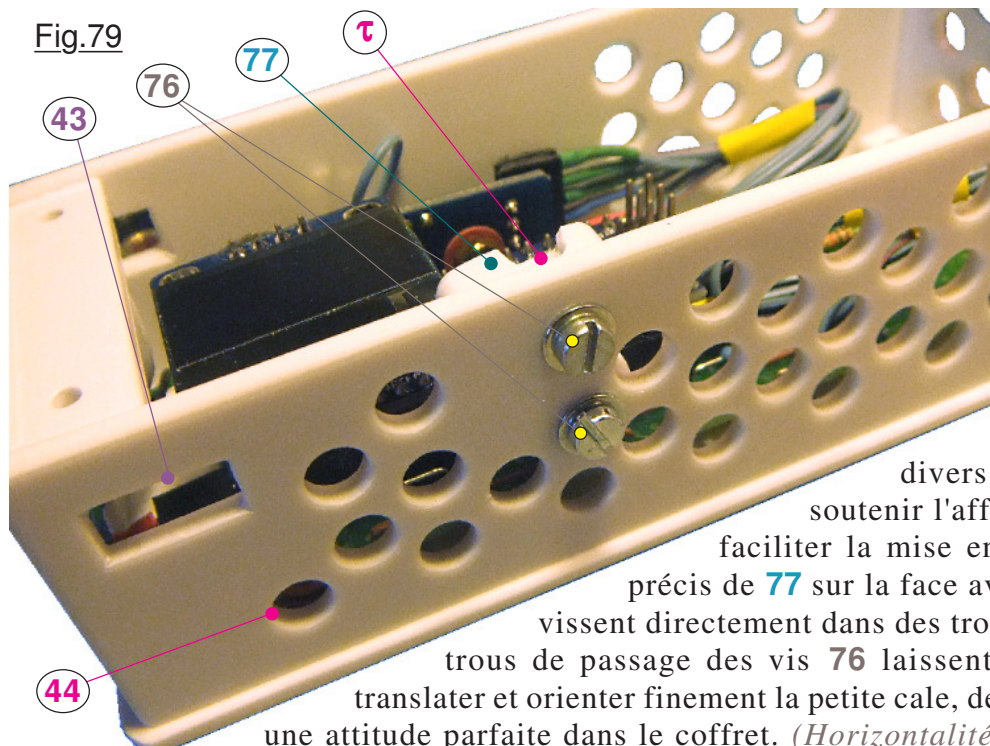



Fig.78

Fig.79



"vitre" plaquée en face de la lucarne du couvercle. Également observable, si l'on regarde avec attention la Fig.78, on constate dans l'encadré  la présence de la fente qui coupe la piste cuivrée de la LED rouge de présence du **+5Vcc**, comme explicité en page 21 de ce didacticiel.

Sur la Fig.79 on retrouve les divers éléments qui permettent de soutenir l'afficheur OLED. Notez que pour faciliter la mise en place et le positionnement précis de 77 sur la face avant, les deux éléments 76 se vissent directement dans des trous taraudés à ϕ M3. Les deux trous de passage des vis 76 laissent assez de jeu pour pouvoir translater et orienter finement la petite cale, de façon à imposer à l'afficheur une attitude parfaite dans le coffret. (*Horizontalité par rapport à la semelle du coffret et orientation en lacet par rapport à la lucarne.*) Notez au passage que des rondelles métalliques sont placées sous les têtes des vis 76 pour leur assurer une portée correcte. Il ne reste plus qu'à fixer le codeur incrémental et le clavier sur le couvercle, à brancher les deux connecteurs HE14. On pousse alors délicatement les torons de fils à l'intérieur, on plaque le couvercle sur le boîtier et l'on visse ce dernier pour l'immobiliser bien centré sur les faces latérales. À droite la technique est précisée en page 21 du livret d'utilisation. À gauche on place la rondelle frein et le petit écrou en s'aidant de la pince Précelle. Ces deux éléments sont introduits par les cotés grâce aux lumières latérales 43 et 53. **ATTENTION** : Quand vous allez serrer les deux vis 15 en tenant l'écrou 16 avec la pince Précelle, il faudra y aller tout doux, car à peine on dépasse un seuil critique que des moires apparaissent sur la petite vitre de la lucarne. (*Tout doux, tout tendre, tout câlin !*)

C'est terminé, notre bébé présente l'aspect enviable de la Fig.80 avec le gros bouton du capteur rotatif dont la base ne dépasse pas trop du bossage rapporté D. À travers les trous "dentelle" on distingue nettement les torons de fils. L'intérieur est bien rempli, mais nous ne rencontrons aucun problème pour les loger car les dimensions du coffret ont été pensées pour aboutir à cette facilité. Dernière mise en service pour s'assurer que tout fonctionne correctement. Si vous avez effectué les vérifications à tous les stades de l'intégration, il ne peut qu'en être ainsi. La petite lucarne n'a pas de moire, le trou de RESET est bien dégagé, les deux boutons poussoir sont bien centrés sur leurs trous de traversée : C'est génial n'est-il pas ?

Si vous avez opté pour l'alimentation autonome, et que la ligne 69 avec sa fiche 68 pendouille sous la semelle, il est temps de passer à la fabrication du module d'alimentation 67.



Fig.80

Éphéméride solaire
électronique entièrement terminée.
On peut passer à la réalisation du bloc
d'alimentation par batterie.

Petit bloc complémentaire pour l'alimentation autonome.

Montré sur la Fig.81 c'est un petit boîtier à part sur lequel portent les deux bossages **λ** de la semelle **P** en **1** et **8**. Pas très repérable sur la Fig.74 car en parti masqué par le tracé vert, deux cales d'épaisseur en carton un peu épais sont collées sur les surface **1** et **8** pour surélever très légèrement PICOHÉLIO pour ne pas que sa semelle **P** ne porte sur la surface supérieure **σ**. En effet, sous l'effet du serrage des deux vis d'assemblage qui traversent en **2** et **9**, la portée doit se faire sur les bossages. L'orifice de passage de la vis de liaison en **2** est légèrement oblong pour pouvoir affiner le parfait alignement longitudinal des deux modules.

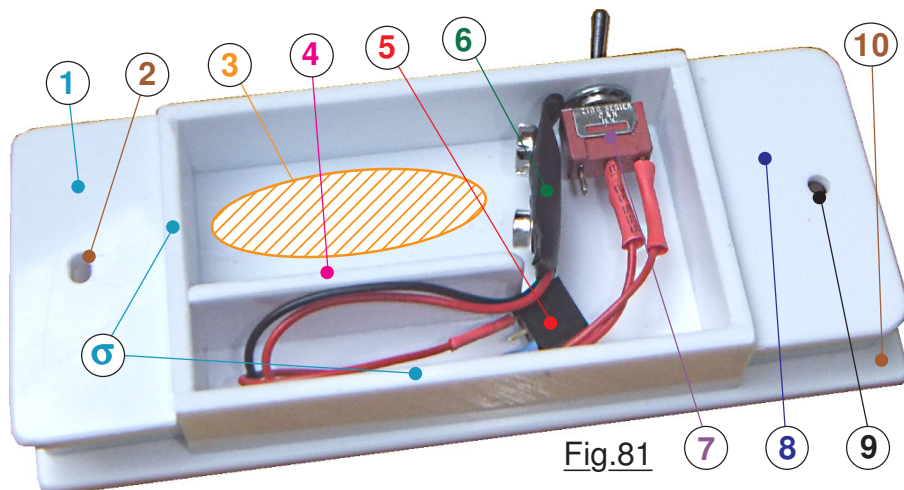


Fig.81

Quand les deux sous-ensembles ne forment plus qu'un seul et même appareil, c'est le fond **10** qui sert de nouvelle semelle d'appui. La pile de 9Vcc ou l'accumulateur rechargeable de 8,2Vcc se loge dans la cavité **3** et se clipse sur la prise **6**. La cloison interne **4** ménage un logement pour la ligne de liaison électrique vers PICOHÉLIO. C'est sur la fiche femelle HE14 **5** que se branche la petite prise mâle **68**.

L'interrupteur **7** se trouve vers la face avant de PICOHÉLIO. Sur la Fig.82 la face avant est dirigée vers nous, mais symbolisé par les flèches jaunes la semelle **10** est orientée vers le haut pour observer le dessous. On retrouve le trou **9** traversant la liaison avec PICOHÉLIO en interposant une rondelle large pour répartir la pression de serrage. La vis de liaison est longue, elle est insérée par le trou circulaire **11** qui est volontairement percé à un grand diamètre pour faciliter l'opération.

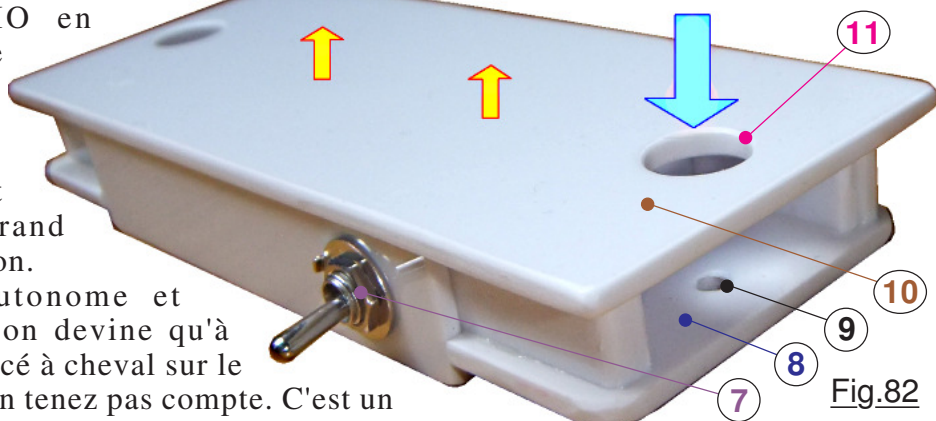


Fig.82

Sur la Fig.83 l'appareil autonome et entièrement terminé. En **11** on devine qu'à l'intérieur un petit carton est placé à cheval sur le module Horloge/Calendrier. N'en tenez pas compte. C'est un "pense-bête" qui prévient de faire attention à ne pas perdre les deux petites entretoises **E** quand on cherche à extraire l'afficheur. En principe vous n'êtes pas concernés.

Clic, l'écran s'illumine de son LOGO et la LED jaune clignote rapidement. On sollicite l'un des deux boutons poussoir et notre appareil prend vie. Vous allez être parfois étonnés des informations qu'il délivre, et imaginer qu'il se trompe. Rien n'est moins certain. Probablement que vous n'avez pas assez réfléchi au comportement de notre étoile bienfaitrice. Du reste, c'est le but fondamental de ce merveilleux pur produit de la technologie actuelle : Nous inviter à nous poser des questions ... gratuitement.

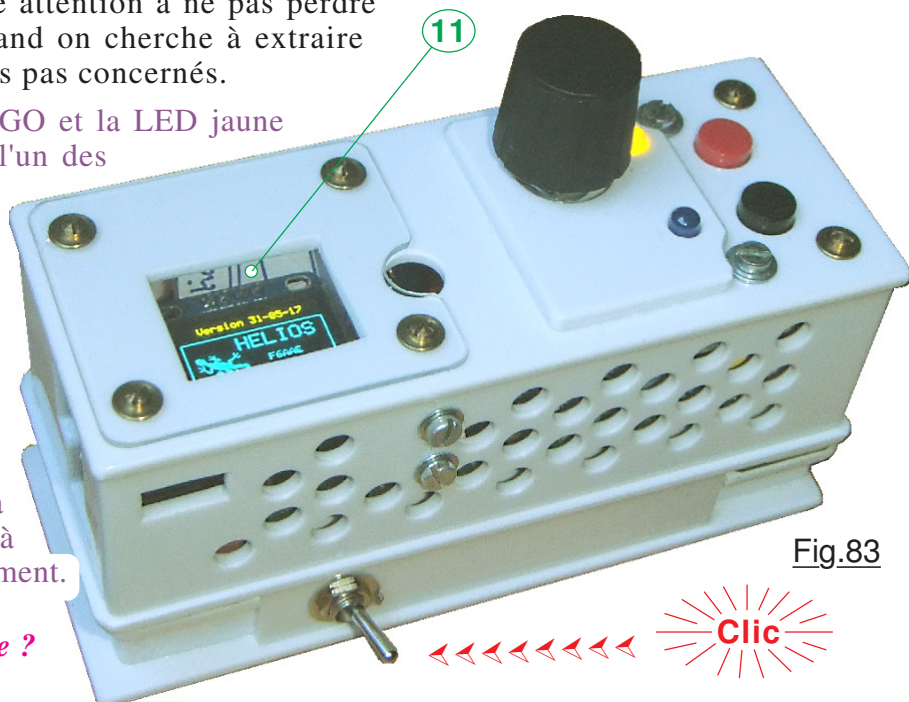


Fig.83

Au fait, avez-vous pensé à recharger l'accumulateur interne ?