

# Panneaux solaires

## Expérimentations / Applications.

Par Nulentout : Dimanche 3 Mars 2019.

**F**orce est de constater que "le solaire" a le vent en poupe. Énergie renouvelable, réchauffement climatique, trou dans la couche d'ozone, il ne se passe pas un jour sans que l'on entende parler dans les médias des maux que nous imposons à notre mère Terre. Aussi, histoire de glaner des informations de base relatives aux panneaux solaires, ce didacticiel propose deux expérimentations ludiques pouvant occuper les longues soirées d'hiver. Comme pour beaucoup de mes tutoriels, celui-ci utilise en partie des composants de récupération, et en particulier la pièce maîtresse, c'est à dire les cellules photoélectriques. Montré, confortablement installé sur son support, le panneau solaire domine en Fig.1 la toiture ondulée d'un petit abri de jardin. Il s'agit d'un élément qui équipait naguère une petite pompe de bassin pour agrémenter ce dernier d'un petit jet d'eau. Par "naguère", traduisez environ vingt années. Aussi, les cellules utilisées ne sont pas de dernière génération, il est probable que le rendement que vous pouvez espérer de composants plus actuels sera probablement bien meilleur. Toutefois, les enseignements que l'on dégagera de ces expérimentations resteront intégralement transposables à des éléments que vous pouvez vous procurer facilement en ligne pour des sommes très acceptables.

Le modèle utilisé présente les dimensions suivantes :

Dimensions externes : 310mm x 460mm.

Dimensions utiles : 290mm x 437mm.

La surface photovoltaïque qui collecte l'énergie solaire pour la transformer en courant électrique fait donc 1267cm<sup>2</sup> de surface sensible. Par une simple proportionnalité calculée à partir de la surface de ce modèle et celle du panneau solaire que vous avez approvisionné, vous pourrez évaluer l'énergie potentiellement possible sur votre prototype. À partir de cette dernière vous "conditionnerez" les composants particuliers pour adapter l'ensemble aux spécificités de votre capteur solaire.

**D**eux petites applications ludiques vous sont proposées dans ce didacticiel. La première nous place dans la peau d'un "Écolo" (*Au sens noble du terme.*) désireux de mettre en œuvre un système d'éclairage à base d'une énergie renouvelable. Avec la deuxième nous endossons la blouse blanche d'un scientifique se proposant d'évaluer le potentiel énergétique solaire dans un lieu particulier. Si l'on pousse la réflexion au delà du pur plaisir de "bricoler", on pourra certainement tirer des conclusions, tant sur la pertinence écologique d'un tel dispositif, que de la "rentabilité" à couvrir la toiture de sa maison par de grands panneaux noirs et peu esthétiques. (*Voir chapitre de conclusion en fin du tutoriel.*)

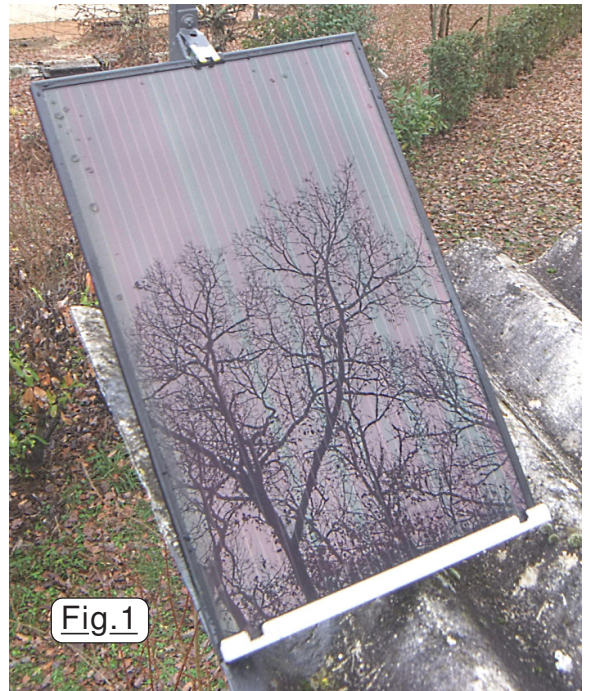
### APPLICATION ÉCOLOGIQUE :

L'idée qui préside à ce petit projet n'a rien de foncièrement original. Le dispositif consiste, comme on en rencontre à profusion dans le commerce, à réaliser un point d'éclairage qui s'allume automatiquement quand il commence à faire nuit. Dans la pratique on va se montrer légèrement plus subtil. Aussi, le dispositif développé dans ces lignes pourra à notre choix :

- Allumer automatiquement un phare rouge quand le Soleil décline sous l'horizon,
- Permettre de recharger une lampe de secours disponible pour palier les coupures de secteur.

### APPLICATION SCIENTIFIQUE :

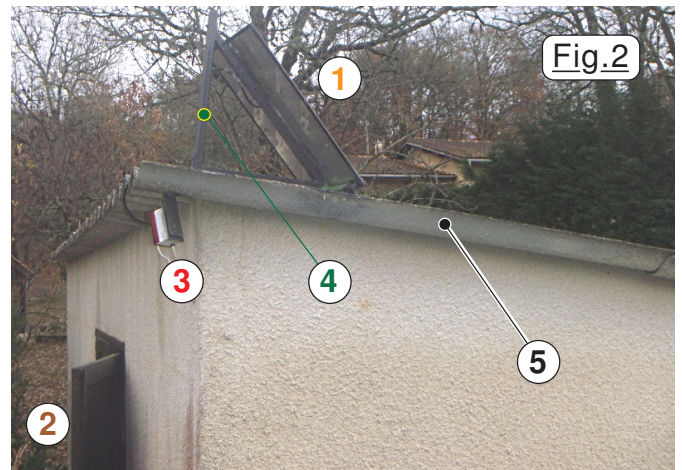
Le panneau solaire va nous servir de prétexte pour concevoir une petite centrale solaire qui mesurera et enregistrera tout au long de l'année l'énergie que nous fournit l'astre diurne. Cette application utilisera une petite carte Arduino Nano et sera entièrement autonome en utilisant l'énergie solaire.



# Phare solaire, ou lampe solaire de secours

## 1) Phare solaire rouge.

L'été est la saison qui incite, le soir, à profiter de la fraîcheur nocturne pour admirer les splendeurs que nous dévoile le ciel, avec ses planètes, ses étoiles, ses nébuleuses. C'est aussi l'époque où les astronomes amateur sortent leurs instruments. *(Les courageux bravent la météorologie toute l'année, mais les "anciens" dont je fais partie privilégient le confort. Aussi, l'hiver le petit télescope est rangé bien au chaud dans l'armoire.)* À la belle saison, le matériel astronomique est hébergé dans un petit abri de jardin proche du lieu d'observation. Ce bâtiment de servitude n'est pas électrifié. Aussi, disposer d'un éclairage autre que celui d'une petite lampe frontale peut s'avérer bien commode. Surtout, pour se rendre à ce local sans buter sur les petits massifs de fleurs, un éclairage automatique de la zone d'arrivée est le bienvenu. Ce phare ne doit pas être dirigé vers la zone réservée au télescope, et surtout ne pas éblouir quand on se prépare à une observation nocturne. C'est la raison pour laquelle, l'éclairage automatique est de couleur rouge, préservant ainsi la sensibilité nocturne de notre vue. Sur la Fig.2 on observe l'abri de jardin avec en 5 sa



toiture en "ondulines" sur laquelle est immobilisée par de petits boulons  $\phi$  M4 la structure 4 qui supporte le panneau solaire 1. Le terrain d'observation est dans notre dos quand on observe cette image. La porte d'entrée du petit bâtiment de servitude est en 2. On peut remarquer en 3 que le petit phare rouge est orienté face à cette porte, sa lumière n'est donc pas dans la direction du lieu des observations.

Comme l'astronomie "confortable" ne dure que quelques semaines, laisser en permanence l'automatisme actionner l'éclairage rouge ne serait pas pertinent au point de vue écologique, car le système est pourvu d'accumulateurs rechargeables dont le nombre de cycles est forcément limité. Aussi, les détériorer alors que l'astronomie est reléguée au placard n'est pas économique. Dans ce cas, on se contentera une fois par mois de recharger pleinement les piles NiMH. Ainsi, si une coupure secteur survient, on disposera d'un éclairage très efficace pendant plusieurs heures. Le système complet qui gère

les énergies est intégré dans la lampe amovible

de la Fig.3 dont le couvercle est en matériau

vert. On peut observer en 6 la face qui

éclaire en blanc. Sur le dessus on

observe en 8 la lumière qui sert à

brancher le connecteur qui va au

phare rouge, alors que l'ouverture 9

sur le dessus reçoit le connecteur HE14

qui relie l'électronique au panneau solaire.

Le boîtier, de forme générale prismatique,

dont nous verrons plus avant les techniques

de réalisation repose naturellement sur sa

semelle qui comporte quatre pieds en

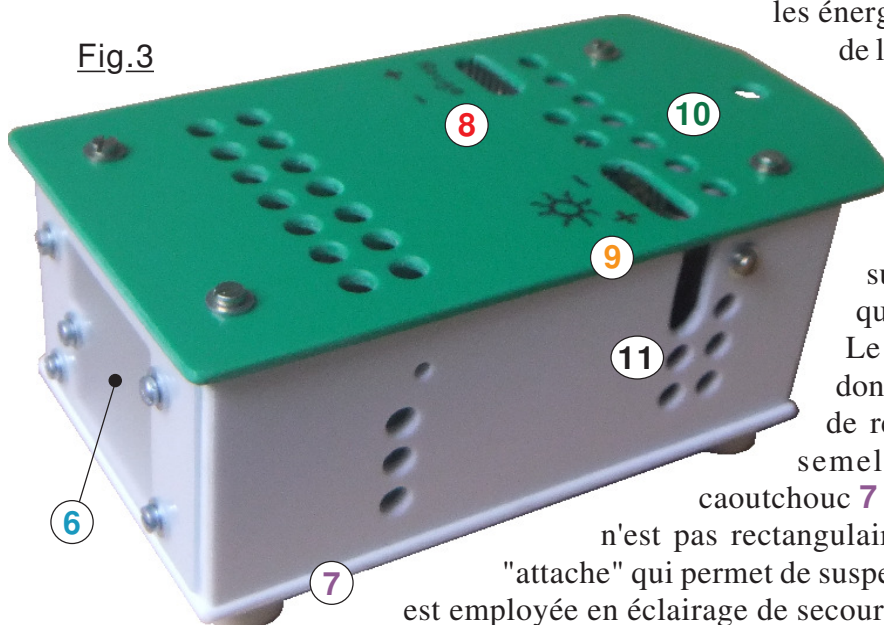
caoutchouc 7 disposés dans les angles. Le couvercle

n'est pas rectangulaire, il dépasse en 10 pour former une

"attache" qui permet de suspendre cette lampe en plafond quand elle

est employée en éclairage de secours dans une véranda qui

Fig.3

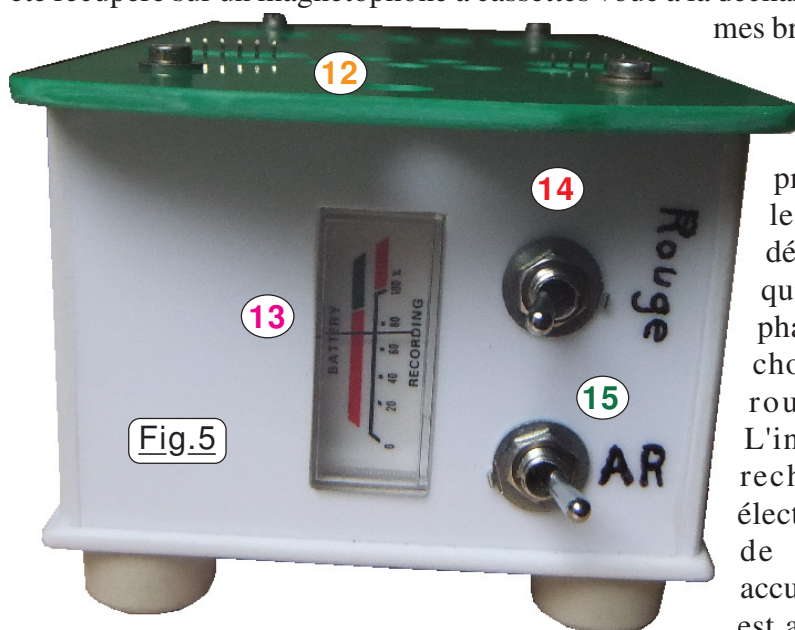




à la belle saison sert de pièce à vivre dans laquelle nous prenons nos repas. Notez au passage que sur les flancs on peut trouver des orifices oblongs tels que **11** qui servent au passage des outils lors de l'assemblage ou de la dépose des éléments intérieurs. La Fig.4 présente la posture adoptée par la lampe quand elle est suspendue en plafond. Elle éclaire alors idéalement la table située en dessous sur laquelle sont pris les repas de la journée. Ce double usage (*Éclairage du local pour ranger le télescope et lampe de secours à forte autonomie.*) rend ce petit dispositif très séduisant.

**V**ous observerez sur l'image de la Fig.3 la présence de nombreux orifices circulaires servant à l'aération. Si vous avez lu certains de mes didacticiels, vous saurez que je déteste esthétiquement les "grandes" surfaces. Aussi, parce que je trouve que ça fait beau, mes coffrets sont "truffés" de tels trous supposés d'aération. Tous ces orifices permettent souvent de voir l'intérieur, de passer des outils comme des tournevis ... Donc je plaide non coupable, et ce d'autant plus que dans ce coffret se trouvent des résistances qui vont un peu chauffer et que l'été il règne dans le local de jardinage une température relativement élevée. Vous pouvez si vous le désirez percer moins de trous, surtout sur les cotés où au sens de la ventilation ils sont moins efficaces que ceux situés sur le dessus et le dessous.

**R**écupérer, recycler sont des concepts qui vont bien avec l'écologie, et je me les suis approprié depuis de nombreuses années. Vous n'imaginez pas le nombre de "cochonneries" que j'entasse "car ça peut toujours servir". Aussi, mes réalisations sont généralement copieusement équipées de "récupération". L'ensemble présenté dans ces lignes n'échappe pas à ce mode de vie. Aussi, si vous regardez la Fig.5 qui présente la lampe coté accrochage, vous constaterez en **13** la présence d'un petit galvanomètre qui indique en permanence la tension des accumulateurs NiMH. Ce petit galvanomètre a été récupéré sur un magnétophone à cassettes voué à la décharge. Comme j'aime bien charger techniquement mes bricolages électroniques, j'ai ajouté ce voltmètre.



C'est un luxe dont on peut parfaitement se passer, car franchement le coût pour approvisionner un neuf me semble prohibitif. Sur cette image on peut observer sur le dessus en **12** les connecteurs HE14 mâles qui dépassent du couvercle. Ils reçoivent les lignes qui vont respectivement au panneau solaire et au phare rouge. C'est par l'inverseur **14** que l'on choisit entre l'éclairage automatique du phare rouge, ou celui en lampe de secours. L'interrupteur **15** permet d'isoler les batteries rechargeables NiMH. de la consommation électrique des éclairages. Le système permet alors de recharger pleinement en énergie les accumulateurs en deux jours même si l'éclairement est au plus bas, comme c'est forcément le cas en

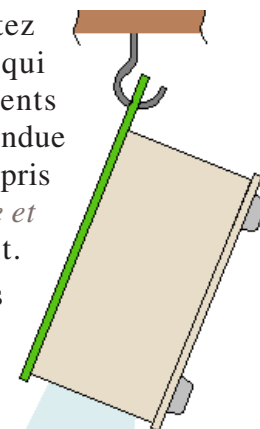
Hivers, et tout particulièrement vers le solstice quand le Soleil à bien du mal à se hisser en hauteur.

### **Fonctions à assurer par l'électronique.**

Pour assurer pleinement sa mission, l'ensemble de l'électronique devra assurer les fonctions suivantes :

- Gérer la recharge des accumulateurs NiMH sans les surcharger,
- Détecter le crépuscule pour allumer si nécessaire le phare rouge,
- Assurer un éclairage le plus important possible compatible avec une bonne autonomie,
- Permettre une réalisation de volume raisonnable pour la lampe mobile qui intègre cette électronique.
- Utiliser un schéma aussi simple que possible pour que n'importe quel lecteur puisse aboutir à un succès sans galérer. N'utiliser que des composants faciles à se procurer via le commerce en ligne.

L'étude du schéma impose un préalable : *Analyser le comportement d'un panneau solaire.* **Page 3**

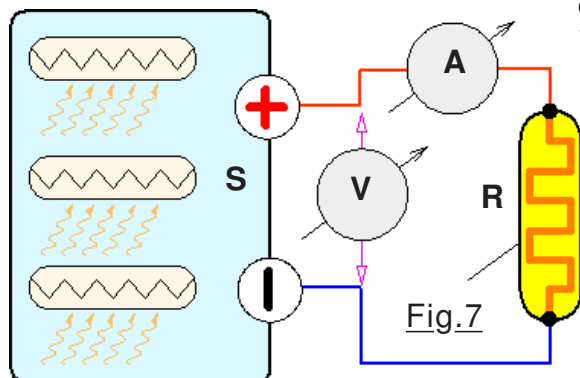


**Fig.4**

Lampe suspendue en plafond qui éclaire idéalement vers le bas.

## 2) Comportement d'un panneau regroupant des cellules photovoltaïques.

Technologie très séduisante, la cellule solaire de production d'énergie électrique présente un comportement spécifique qui va impacter directement la conception des schémas utilisés pour nos deux applications ludiques. Les mesures du tableau de la Fig.6 ont été effectuées en plein été lorsque l'ensoleillement des cellules photovoltaïques était maximal. Le panneau solaire était orienté de façon idéale vers l'astre diurne de manière à collecter un maximum de photons. Avec le petit montage de la Fig.7 on a mesuré le comportement du capteur et transcrit les résultats sur la Fig.6 sous forme graphique. Le petit tableau précise certaines valeurs mesurées. Pour effectuer cette manipulation on a branché sur le capteur **S** une résistance **R** variable. En **A** un ampèremètre mesurait le courant alors qu'en **V** un voltmètre indiquait la tension sur **S**. Lorsque le panneau ne débite aucun courant, la tension monte assez facilement vers 20V, y compris quand il fait relativement sombre. En revanche, dès que l'on charge la sortie, la tension chute rapidement. Plein Soleil en été on obtient le comportement représenté sur la Fig.6 mais en hiver, vers le solstice où notre étoile n'arrive pas à se hisser haut dans le ciel, obtenir 50mA devient laborieux. Donc en hiver il ne faudra absolument pas compter sur des miracles et plusieurs jours seront nécessaires pour recharger la lampe même si le phare rouge et la lumière

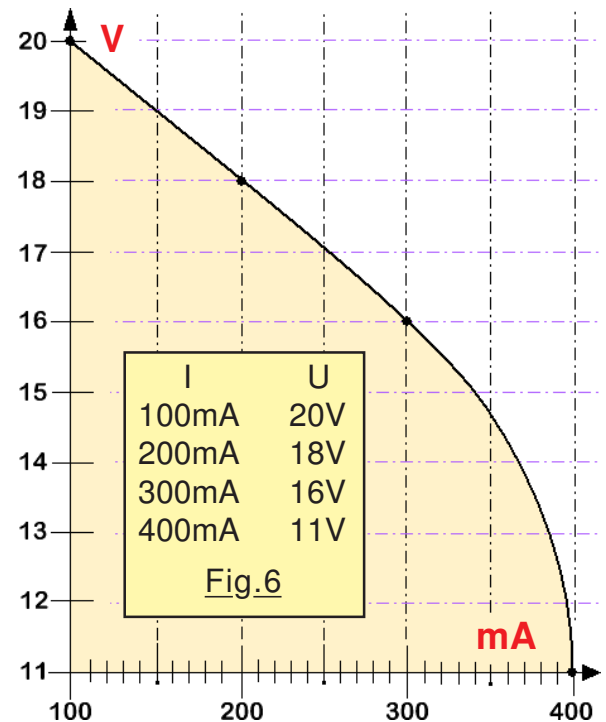


blanche sont coupés. À partir de ces résultats il est possible d'élaborer le schéma de l'électronique qui assurera les fonctions listées en bas de la page 3. Comme la fonction de base consiste à recharger des accumulateurs NiMH la première action à mener consiste à appréhender leurs caractéristiques. Avant de poursuivre, notez que dans les documents qui accompagnent ce didacticiel se trouve le fichier [NOTICE de l'éclairage solaire.pdf](#) à imprimer Recto/ Verso pour réaliser un petit livret au format A5 relatif à la petite électronique du système étudié. La dernière page est à

couper en son milieu, puis à coller tête-bêche pour réaliser une petite fiche complémentaire indépendante.

Considérons la page P5 du petit manuel technique. On note que pour recharger les accumulateurs NiMH utilisés au dixième de leur capacité, intensité de recharge classique, il faudra environ 250mA. Pour assurer la longévité de ces composants, il est recommandé de ne pas dépasser significativement ce courant. La Fig.8 montre le bloc alimentation qui regroupe six accumulateurs au format **AA** réunis dans un conteneur avec branchement "clipsable". Pour limiter le courant de recharge, il faut "mettre à genou" le panneau solaire en l'obligeant à fournir du courant électrique dans des résistances "de puissance".

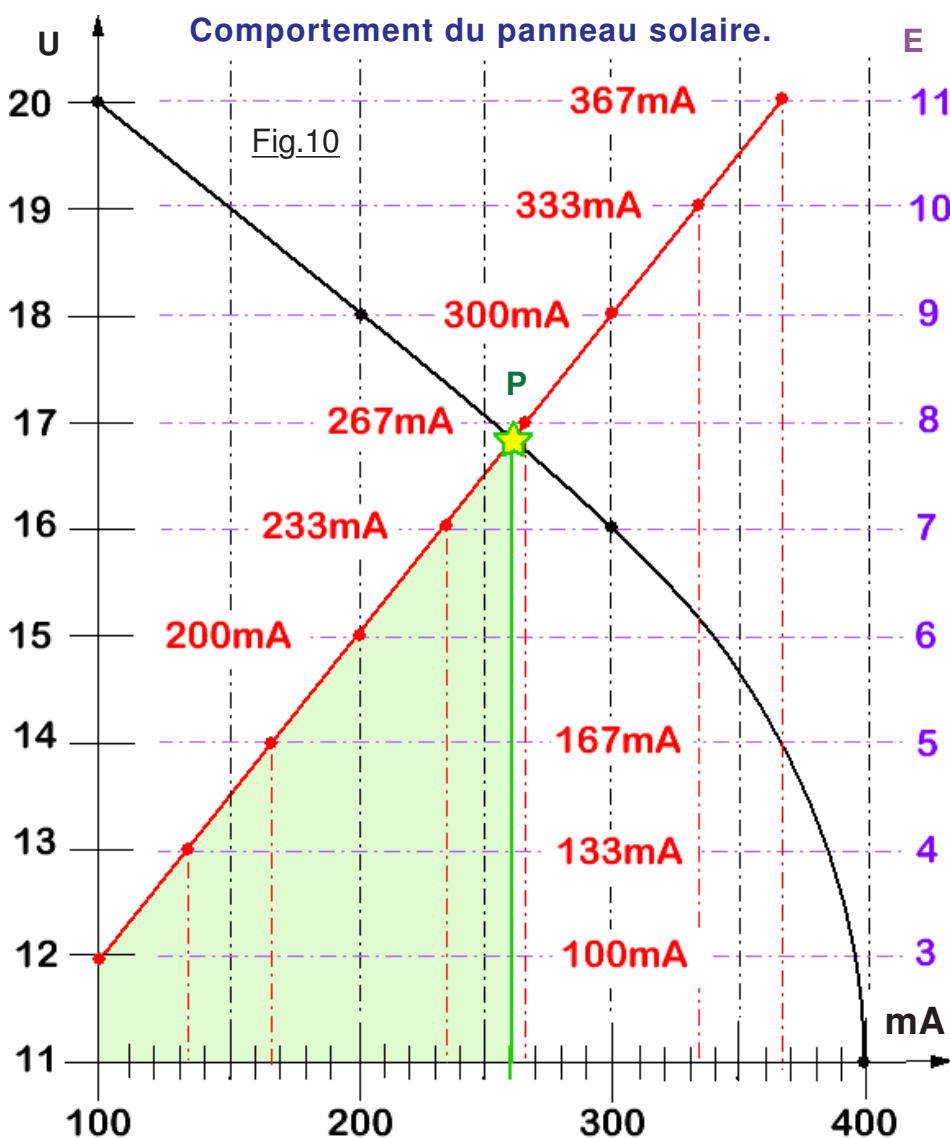
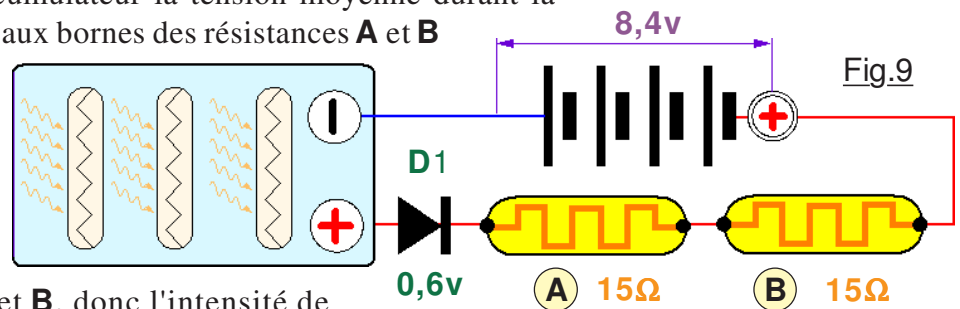
*Dissiper l'énergie de trop en chaleur est écologiquement stupide et participe au réchauffement climatique. Il serait plus rentable de concevoir un limiteur de courant sur les accumulateurs. Cette solution plus pertinente a été écartée car elle complique singulièrement la réalisation et impose une mise au point que le lecteur "lambda" n'est pas forcément capable de maîtriser.*





### 3) Détermination "du point de fonctionnement.

Bien que les informations qui suivent soient déjà dans le petit livret technique, ce didacticiel "formant un tout" elles sont reprises pour expliciter les choix et justifier le schéma électrique. Le circuit électrique partiel donné sur la Fig.9 présente la branche retenue pour réaliser le rechargement des accumulateurs. La diode de non retour **D1** engendre une chute de tension d'environ **0,6v** en configuration conduction. Aux bornes de l'accumulateur la tension moyenne durant la charge avoisine **8,4v**. La tension aux bornes des résistances **A** et **B** qui totalisent **30Ω** sera donc égale à celle fournie par les panneaux solaires moins **9v**. ( $9v = 8,4v + 0,6v$ ) Ce sont les valeurs notées sur la Fig.10 en **E**. En rouge, sont portées les intensités qui traverseraient **A** et **B**, donc l'intensité de recharge en fonction de la tension **E**. Quand l'ensoleillement est maximal, le point de fonctionnement **P** correspond à une intensité de recharge d'environ **260mA**. Les accumulateurs ne seront donc jamais surchargés. **La durée de charge** possible, compte tenu d'un ensoleillement nettement inférieur au cours de la journée, **est de loin plus importante que les 16H nécessaires** si le courant était constant. Donc, durant une journée, les accumulateurs ne seront pas pleinement rechargés. La charge accumulée sera toutefois suffisante pour assurer plusieurs heures d'autonomie. La puissance maximale dissipée dans **A** ou **B** est d'environ 2,2W. Prévu pour supporter 25W, ces résistances ne chauffent presque pas. On se contentera de les isoler thermiquement du coffret par fixation sur un petit morceau de circuit imprimé.



La courbe tracée en noir sur le graphe de la Fig.10 a été enregistrée pour le maximum d'ensoleillement estival. Chargés par une résistance à 100mA, la tension en sortie des panneaux solaires avoisine les 20V. Quand on augmente la charge, la tension diminue progressivement conformément aux valeurs du petit tableau présenté ci-dessous :

| I     | U   |
|-------|-----|
| 100mA | 20V |
| 200mA | 18V |
| 300mA | 16V |
| 400mA | 11V |

**NOTE :** Fondamentalement une cellule photovoltaïque ne peut fournir qu'un courant proportionnel au "nombre de photons qui viennent exciter ses éléments actifs. Donc, diminuer la valeur de la résistance de charge n'augmente plus le débit, passé un certain "seuil de saturation".

#### 4) Conception du schéma électronique pour cette application.

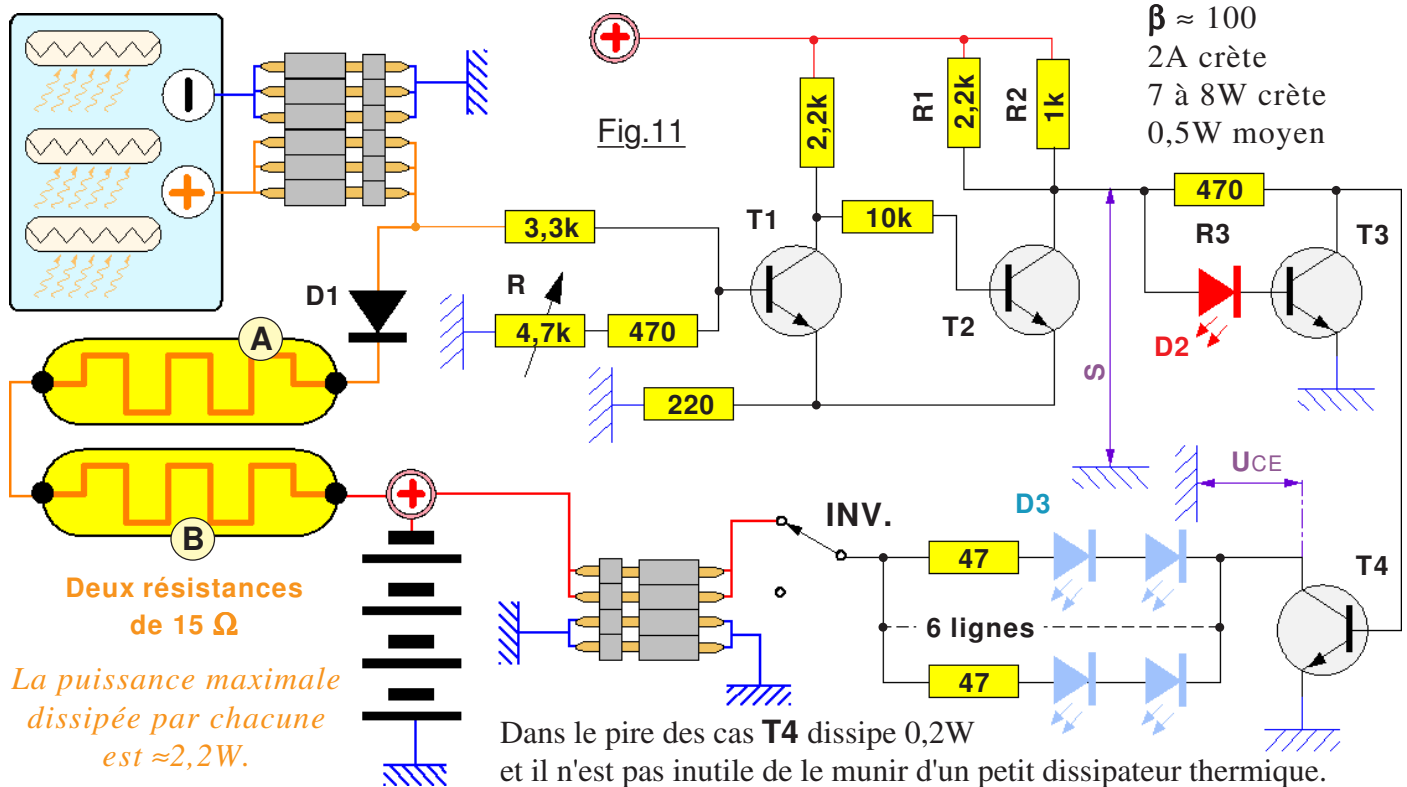
A quelques petits détails près le schéma complet est représenté sur la Fig.11 sur laquelle sont précisées toutes les valeurs des composants intégrés dans le prototype. Examinons son fonctionnement : Recevant directement la tension issue des panneaux solaires, **T1** et **T2** constituent un trigger de Schmitt dont le seuil de basculement s'ajuste par **P** de **4,7k $\Omega$** . Compte tenu de la charge apportée par **T3** la tension en sortie **S** est de **1,5V** quand il y a éclairage et de **2,3V** quand les rampes lumineuses doivent être éteintes. Ces valeurs engendrent deux problèmes :

- La tension est la plus élevée quand on désire bloquer l'éclairage. Il faut donc intercaler un inverseur logique constitué par le transistor de commutation **T3**.
- La faible différence de tension entre les deux états ne permet pas de différencier ces derniers.

La diode électroluminescente **D2** a été intercalée pour générer un effet de seuil qui résout le problème. Quand la tension est la plus élevée, **D2** est conductrice et sature **T3** qui à son tour bloque **T4**. Une tension d'environ **1,5V** est insuffisante pour dépasser le seuil de conduction de **D2**. **T3** est alors bloqué (*Mode isolé.*) et n'intervient plus dans la chaîne. **T4** est alors saturé par le courant de base qui arrive via **R1**, **R2** et **R3**. (**T4** fonctionne en commutateur "tout ou rien" par un fonctionnement de type Saturé/Bloqué.) Initialement il n'y avait pas **R1**. Cette dernière a été ajoutée en parallèle à **R2** pour augmenter le courant de base de **T4** et ainsi diminuer sa tension résiduelle **U<sub>CE</sub>**.

Il ne faut pas trop diminuer la résistance du couple **R1** et **R2** car en dessous d'une certaine valeur **T3** n'est plus entièrement isolé sur sa base par **D2** et le circuit ne fonctionne plus correctement. Les valeurs actuelles sont optimisées pour obtenir le courant de base dans **T4** le plus élevé possible.

##### Schéma de l'électronique de recharge et de commutation.



La diode **D1** interdit à la tension de la batterie de revenir vers les panneaux solaires quand ces derniers voient leur tension baisser en dessous de 8V. De plus, un tel retour empêcherait de trigger de Schmitt de fonctionner correctement puisque sa tension de seuil avoisine 2,7V pour l'allumage. Les transistors **T1** à **T4** ont des références peu courantes, (*Des CII267Q.*) car ce sont des éléments de récupération. N'importe quel transistor NPN ayant un gain en courant voisin et des caractéristiques proches conviendra. Par exemple des 2N1711 sont parfaits en remplacement.

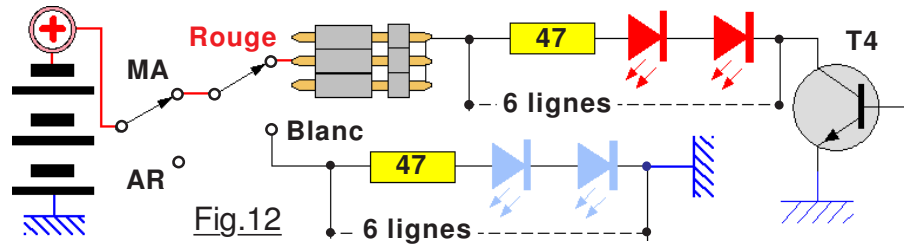
##### Modifications apportées au schéma de la Fig.11.

Un inverseur a été ajouté pour choisir entre un éclairage extérieur rouge et l'éclairage intérieur blanc. Seul l'éclairage extérieur est coupé automatiquement en fonction de la lumière. En interne l'éclairage lumineux n'est pas coupé automatiquement par **T4**, il reste allumé tant que l'inverseur MA/AR n'est



pas coupé. Le dessin du circuit imprimé donné en **P8** du livret tient compte de ces modifications.

**En standard, l'inverseur doit être positionné sur Rouge.** L'inverseur MA/AR est placé sur AR si l'on désire ménager le potentiel des accumulateurs en période de non utilisation. Si la période est prolongée, débrancher également le panneau solaire. Branché en permanence sur le bloc des accumulateurs par une résistance de  $47\text{k}\Omega$  de limitation de courant, le petit galvanomètre consomme  $170\mu\text{A}$ . Si les accumulateurs sont chargés à environ  $\approx 1500\text{mAh}$ , il faut  $\approx 62$  jours pour décharger totalement car la diode **D1** laisse passer  $730\mu\text{A}$  en inverse. Le courant de décharge permanent est donc  $\approx 1\text{mA}$ . Le branchement permanent a été privilégié pour aider à gérer le rechargement manuel puisque le galvanomètre consomme quatre fois moins que le circuit vers **D1**.



## 5) Conception et présentation des circuits imprimés

Contrairement aux circuits imprimés industriels multicouches, truffés de minuscules composants de surface, il est impensable dans un contexte de loisir de se fourvoyer dans des technologies que nos moyens matériels rendent impossibles. On va se contenter de "gros" composants ordinaires et de plaques ne comportant que des pistes cuivrées sur le dessous. Si le multicouche nous est interdit en contre partie, rien ne nous empêche de faire du 3D, comme ce sera le cas pour la petite station scientifique, c'est à dire de placer des résistances, des ponts de câblage les uns aux dessus des autres. Le tout, c'est de respecter des critères d'encombrement. Naturellement vous allez faire l'économie de l'étude du circuit imprimé puisque je vous livre clef en main une solution qui a fait ses preuves. Il faut maintenant la concrétiser. Les plaques de circuit préperçées que j'utilise sont pourvues de bandes cuivrées, et sont malheureusement pas faciles semble t'il à se procurer. En particulier l'enseigne où je les approvisionnais n'est plus sur Internet. Il vous faudra peut être adapter. Les plaques les plus faciles à trouver ont une petite pastille carrée à chaque trou. Du coup pour l'orientation c'est plus facile car indifférent. Il suffit de couper aux bonnes dimensions. Au lieu d'effectuer les coupures de piste, vous remplacez en créant une ligne continue par soudure d'un fil dénudé. Les queues de composants (*Que l'on doit systématiquement raccourcir à l'usage font merveille pour cette application.*) Les trois petits circuits imprimés dont nous aurons besoin sont représentés très agrandis sur la dernière page du manuel technique. Le circuit imprimé principal n'est pourvu que de bandes linéaires, alors que les deux autres présentent des pistes à "angle droit". C'est que ces deux derniers sont des circuit de récupération dont je n'étais pas maître de la distribution des lignes cuivrées. Je ne pouvais, comme pour le circuit principal du reste, que réaliser des isolations par enlèvement du cuivre. Ces séparations sont en général réalisées avec un cutter centrée sur trou.

Comme je le fais dans tous mes didacticiels, les circuit sont représentés coté composants, et l'on distingue les pistes cuivrées comme si la plaque support était transparente. Les pistes sont colorées pour en repérer l'usage. Elles sont bleues pour GND, rouges pour le +Vcc etc. Faites bien attention, car représentés à grande échelle l'impression que l'on a est trompeuse. Dans la pratique, les trous préperçés de ces plaques cuivrées d'expérimentation sont au pas de 2,54mm. Du coup les circuits sont très petits et demandent beaucoup de soin pour leur réalisation.

## 6) Réalisation du circuit imprimé principal.

Montré en "macrophotographie" sur la Fig.12 on peut observer en détail sa réalisation. Notez au passage que ce didacticiel est accompagné d'un dossier nommé <Galerie d'Images> qui contient des photographies commentées dont la définition est bien meilleure que celle des images insérée dans le texte. Par ailleurs, plusieurs photographies sont ajoutées par rapport à celle du tutoriel. Elles sont complémentaires, car dans une description "livresque" on ne peut pas tout dire, et souvent, quelques photographies sont infiniment plus parlantes. Elles révèlent une foule de détails pour qui sait regarder. Donc, avec une meilleurs définition que sur la Fig.13, le fichier [Image01.JPG](#) est disponible à votre convenance. Sur cette image on distingue parfaitement les connecteurs modèles HE14. Mis à part celui qui se trouve en **C** ils sont tous de type coudés. J'insiste au passage sur le fait que le module électronique semble de dimensions respectables, alors qu'en réalité il est tout petit. De ce fait, il suffit de deux entretoises et de deux vis qui le traversent en **A** et **B** pour le solidariser de façon rigide dans le

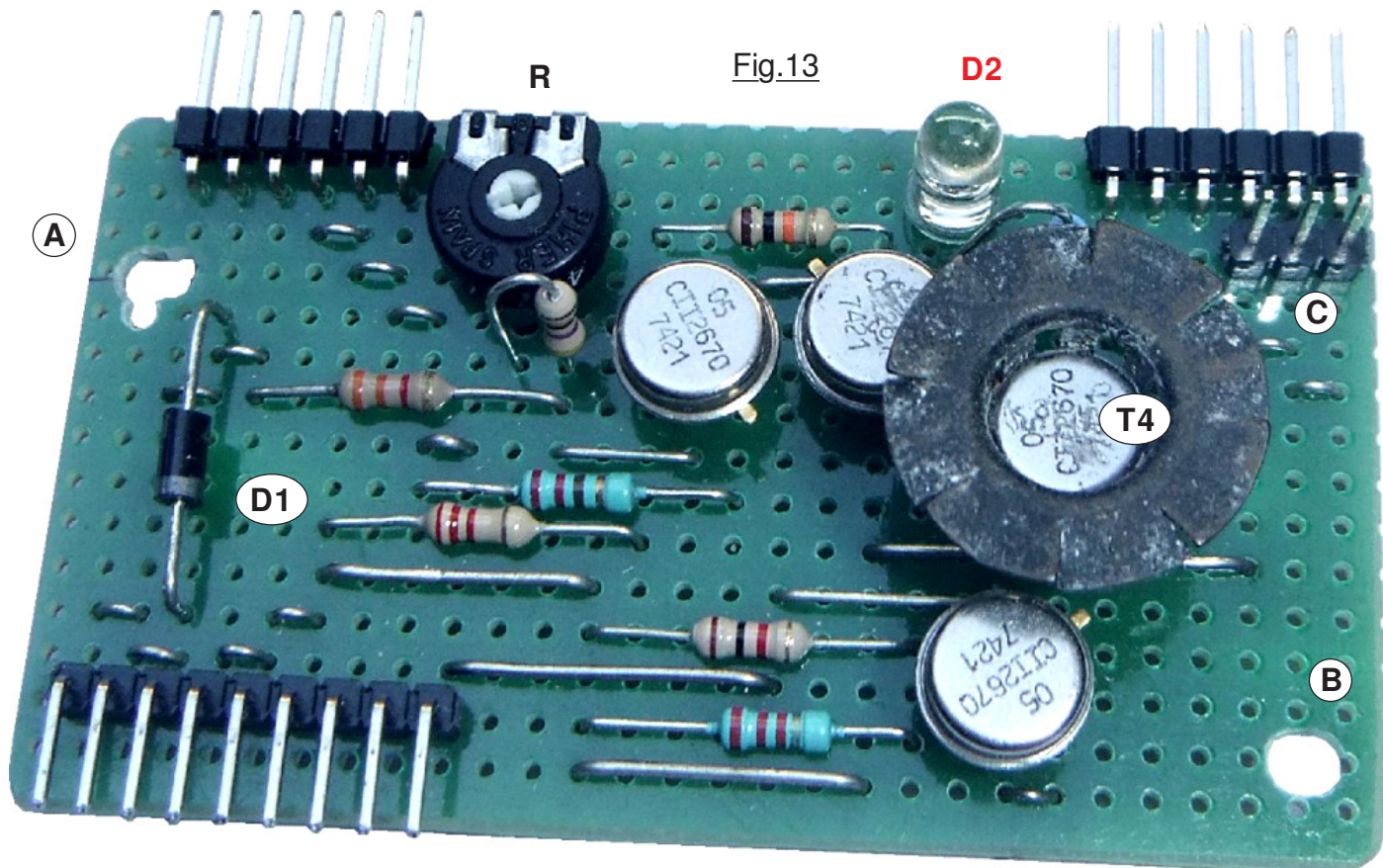


Fig.13

coffret. Vous pouvez constater que le transistor **T4** est muni d'un petit dissipateur thermique. Il pourrait s'en passer, car il ne chauffe pas beaucoup. Cependant, comme l'électronique est vraiment "tassée" dans le coffret, et que des fils de liaison peuvent venir en contact, moins il sera chaud et plus l'ensemble sera fiable. Enfin en haut de l'image on distingue parfaitement la LED rouge **D2** ainsi que la résistance ajustable **R**. Dans le dossier [<Galerie d'Images>](#) vous trouverez [Image02.JPG](#) qui présente ce circuit vu coté cuivre. On y distingue les deux trous **A** et **B**, mais surtout sur le haut de l'image se trouve un "gros trou" situé dans l'axe du curseur pivotant de **R**. On peut ainsi avec un petit tournevis, ajuster la valeur de **R** à travers le circuit imprimé. Cette précaution avait été prise lors de la réalisation du circuit imprimé, mais dans la pratique elle s'est avérée inutile, vous pouvez vous épargner le travail de percer ce trou.

**P**our souder les petits connecteurs HE14 coudés la procédure est un peu particulière. Considérons la Fig.14 sur laquelle en **P** se trouve le circuit Principal et en **F** la fiche femelle de la liaison filaire 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

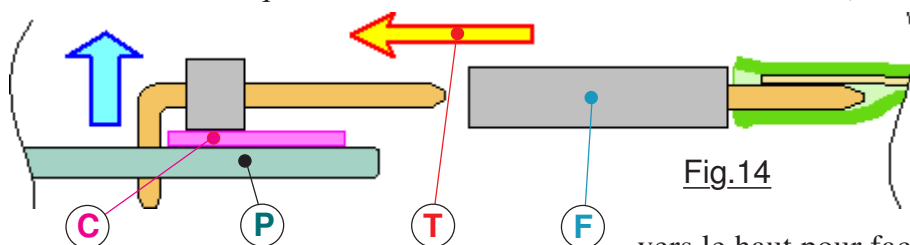


Fig.14

**C** provisoire (*En rose sur le dessin.*) au moment d'effectuer la soudure le total étant maintenu en place par une pince auto serreuse. Veiller à ce que les broches soient bien parallèles à **P**, ou légèrement

vers le haut pour faciliter l'introduction de **F**.

## 7) Réalisation des deux petits circuits d'éclairage.

**C**elui équipé des LEDs rouges sera intégré dans le phare qui est immobilisé sur le toit de l'abri de jardin et visible en **3** sur la Fig.2 de la page 2. Il faudra pour la circonstance confectionner un petit boîtier étanche, car cette petite électronique sera soumise aux intempéries et devra être bien protégée de la pluie et de l'humidité. Ce n'est qu'une mesure de longévité du matériel, car pour les humains (*Ou les oiseaux !*) il n'y a aucun danger vu les faibles tensions appliquées à ce module. Sur la photographie [Image03.JPG](#) le petit boîtier est montré en vue plongeante. Sur [Image04.JPG](#) les lignes électriques qui pénètrent dans le local de dépendance sont bien visibles. On peut aussi remarquer que pour augmenter le contraste lumineux des LEDs rouges, le couvercle du boîtier est lui-même réalisé avec



de la matière plastique rouge, cette dernière étant comme il se doit du matériau de récupération. Ce n'est naturellement pas impératif. Comme la ressource était disponible, j'en ai profité. On le remarque encore mieux sur [Image05.JPG](#) sur laquelle les quatre vis de fixation du couvercle sont bien visibles. Il faut autant que faire se peut rendre la liaison étanche, c'est également vrai pour le fil qui pénètre par le dessous. Sans ces précautions vous êtes certains que dans quelque temps des insectes vont élire domicile dans la petite boîte ! Je vous invite fortement à regarder l'[Image06.JPG](#) sur laquelle on peut analyser les précautions prises pour le câble qui va au panneau solaire. On peut voir sur l'[Image07.JPG](#) le côté soudure du circuit imprimé.

### L'éclairage blanc.

Montré sur la Fig.15 il semble visiblement que le technicien qui a soudé les LEDs devait avoir passablement arrosé un événement joyeux, et pas avec de l'eau bénite ! En effet, les diverses diodes de type cristal ont une fâcheuse tendance au strabisme divergent. Et bien c'est volontaire et impose lors de la réalisation du module pas mal de soin et d'attention. Les composants utilisés ont un rendement remarquable, ils sont d'une technologie MASER. De ce fait l'angle d'ouverture du

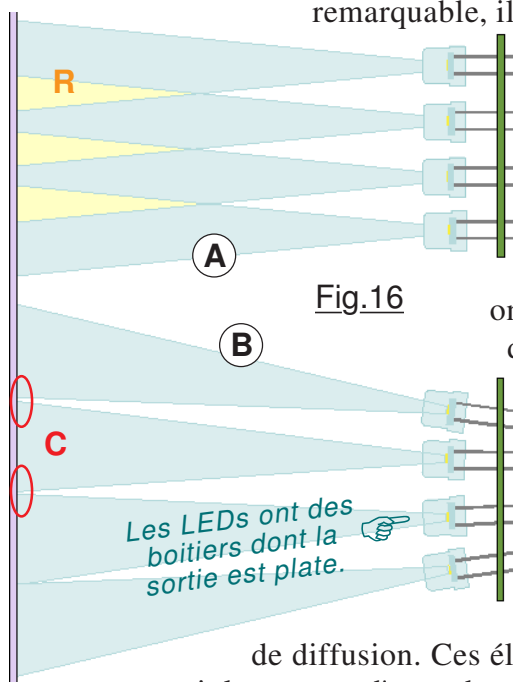


Fig.16

faisceau lumineux est relativement modeste. Considérons en **A** la Fig.16 relative à des composants soudés bien parallèles les uns aux autres. L'angle global de la couverture lumineuse reste relativement faible, hors avec une lampe on cherche en général à éclairer une grande surface. Par ailleurs, l'éclairage présente des zones bien plus lumineuses car des recouvrements tels que **R** augmentent localement l'intensité du rayonnement. En Fig.16 **B** on a volontairement orienté les diodes électroluminescentes dans des directions divergentes. La surface éclairée à la même distance est manifestement plus importante. En contrepartie, on peut de ce fait générer des zones moins éclairées tels que les "creux" lumineux **C**. Pour rendre plus homogène la répartition des photons, il suffit d'intercaler entre les LEDs et la sortie de la lampe un écran de diffusion lumineuse composé de quatre plaquettes translucides.

Observez attentivement la photographie [Image08.JPG](#) qui étale les quatre petites plaquettes qui constituent le filtre

de diffusion. Ces éléments sont taillés dans la chute d'une plaque antireflets servant à recouvrir le contenu d'un cadre pour photographie. L'antireflet n'empêche absolument pas la lumière de sortir, mais engendre un "flou" qui joue le même rôle que le verre "sablé" des ampoules électriques dites opales. Quatre plaques sont empilées pour augmenter l'effet. Si vous regardez [Image08.JPG](#) avec attention, vous constaterez que la plaque extérieure a ses contours repérés en jaune. En particulier on peut vérifier qu'elle ne comporte que cinq trous de fixation. En réalité, celui situé vers le centre à pour but d'assurer la liaison du circuit imprimé sur le coffret. Comme les vis doivent traverser la face avant du coffret plus les quatre filtres, pour que tous les trous soient bien alignés, ils sont façonnés et alésés par "contreperçage". Ils coïncident parfaitement ... à condition d'orienter correctement les plaques. C'est la raison pour laquelle les trois plaques intérieures ont leur orientation repérée par des encoches mises en évidence en couleur verte. Prise en atmosphère sombre, [Image09.JPG](#) montre la lampe allumée. Il est assez manifeste que la lumière émise est relativement homogène. Les filtres ne modifient pas vraiment la dispersion angulaire, ce qui fait que l'angle d'ouverture pour le faisceau lumineux est correct pour éclairer à relativement courte distance une grande surface. C'est que cette lampe est relativement proche de la table qu'elle est susceptible d'éclairer en secours quand le secteur 220V est déficient. Il importe que tous les convives puissent bénéficier d'une clarté équivalente. La solution adoptée pour atteindre ce but est pleinement satisfaisante. Passons à l'étude du circuit imprimé "rouge".

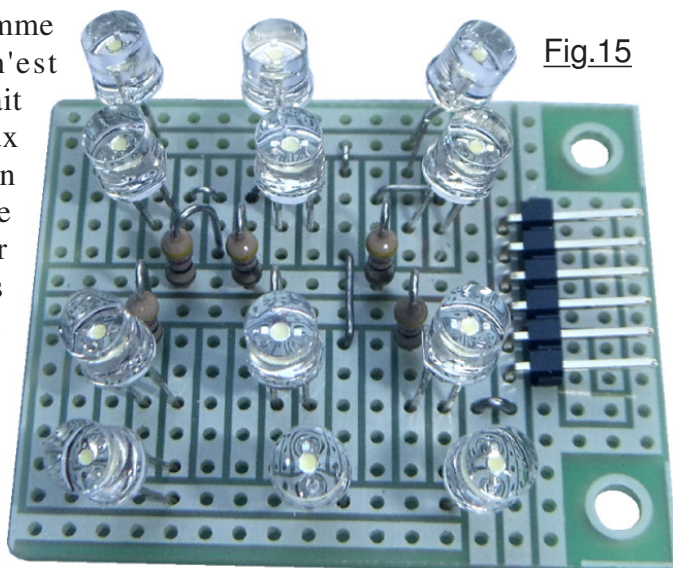


Fig.15

## L'éclairage rouge.

Frère presque jumeau de l'éclairage blanc, il en partage la plus grande partie de sa chaîne ADN car il est pratiquement identique. Du reste, quand on regarde les dessins donnés en page 8 du livret technique, mis à part la couleur des LEDs, les circuits ressemblent à du Copier / Coller. Il y a également un léger décalage du connecteur HE14 imposé par le fait que les pistes cuivrées sur le dessous ne sont pas réparties de façon identique. On peut repérer en couleur orange les trous d'implantation de deux résistances de  $1\Omega$  qui ont été ajoutées par la suite pour diminuer la consommation du phare. En effet, les LEDs rouges n'ont pas du tout le même rendement que leurs homologues blanches.

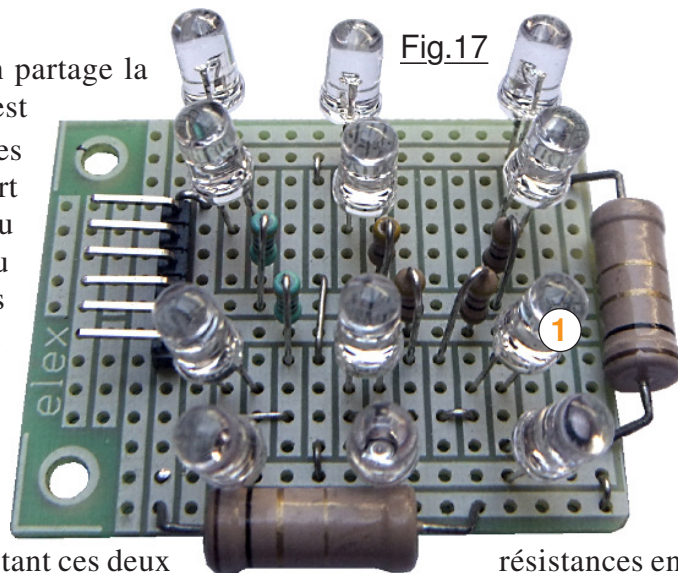


Fig.17

De ce fait l'ensemble consommait un peu trop. En ajoutant ces deux résistances en série, on ramène la consommation à une valeur raisonnable tout en conservant une clarté suffisante. N'oublions pas que le but du phare n'est pas à franchement parler d'éclairer fortement une grande zone, mais uniquement de guider la nuit pour se rendre à l'abri de jardin sans risquer de heurter un obstacle.

Masqué par la LED 1 sur la Fig.17 le petit circuit imprimé comporte comme son homologue de la Fig.15 un trou de fixation. (Sur la Fig.15 ce troisième trou est également presque invisible.) On le distingue un peu mieux sur [Image10.JPG](#) prise de l'autre côté. Du reste si la résistance de  $1\Omega$  est notablement décalée à l'extérieur du circuit imprimé, c'est pour laisser le libre passage de la troisième vis de liaison. Sur le prototype ce sont des résistances de 2W qui sont implantées sur le circuit imprimé. Ce n'est pas du tout qu'elles dissipent une telle puissance, mais uniquement parce qu'elles étaient disponibles et évitait d'avoir à passer commande. On voit parfaitement sur ces diverses photographies que les connecteurs HE14 coudés sont légèrement orientés vers le haut pour faciliter le branchement des broches femelles. Observez attentivement [Image11.JPG](#) qui présente le petit coffret du phare rouge. Ce dernier réutilise un boîtier dont le contenu n'était plus d'actualité. Du coup, les trous qui étaient malvenus, sont bouchés en "soudant" sur toute la surface une plaque complémentaire. Vous constaterez que les deux traverses dans lesquelles sont inclus les écrous prisonniers et qui recevaient le couvercle sont légèrement à l'intérieur. Dans l'embrèvement ainsi disponible sont insérés les deux filtres de diffusion montrés sur [Image12.JPG](#) qui utilisent des plaquettes identiques à celle de la lampe blanche. Ces deux plaques dépassent très légèrement des flancs, ce qui fait que les couvercles rouges portent sur toute la surface. Nous disposons de tous les éléments pour effectuer l'assemblage final et l'intégration. Voyons maintenant comment procéder pour réaliser le coffret, tout au moins si vous acceptez d'utiliser mes techniques.

## 8) Réalisation du coffret de la lampe blanche.

Outre la plaque de LEDs, ce petit boîtier devra également contenir les deux résistances de dissipation d'énergie, le petit conteneur des piles, le galvanomètre et surtout l'électronique de gestion des énergies. Ça fait pas mal de "monde" à loger, sachant que pour des raisons pratiques, il est tentant de faire une lampe relativement petite. On va donc chercher à tasser, mais sans présumer de nos compétences. La conception du coffret doit absolument envisager les volumes pour que l'assemblage ne soit pas une galère, que les liaisons électriques soient faciles à répartir et que l'on puisse tout déposer en vue de la maintenance. Pour vous donner une idée, le corps du prototype fait 140mm de long et 86mm de large, *les débordements de la semelle* étant comptés, pour 58mm de hauteur sans le couvercle ni les pieds en caoutchouc. *Pour des raisons esthétiques, et compte tenu de mes techniques de réalisation, je fais toujours dépasser la semelle de 1mm à 1,5mm tout le tour des faces latérales.* Pareil pour le couvercle, tout au moins pour trois côtés puisque le "haut" de la lampe déborde amplement pour servir à la suspension en plafond.

Avant de commencer à usiner, il est impératif de définir avec précision l'agencement complet du coffret. **Il faut OBLIGATOIREMENT faire des dessins à l'échelle 1** pour mieux se rendre compte. **C'est INCONTOURNABLE** si vous voulez éviter de sérieuses déconvenues. Par exemple, presque à la fin, quand tout est soudé et installé, impossible de glisser la vis qui immobilise le truc machin que ça va finir par gicler à travers la fenêtre. Bon, je caricature un peu, mais si vous saviez le nombre de fois où pratiquement à l'arrivée : Paffff, deux jours de plus pour contourner un oubli ... dommage !



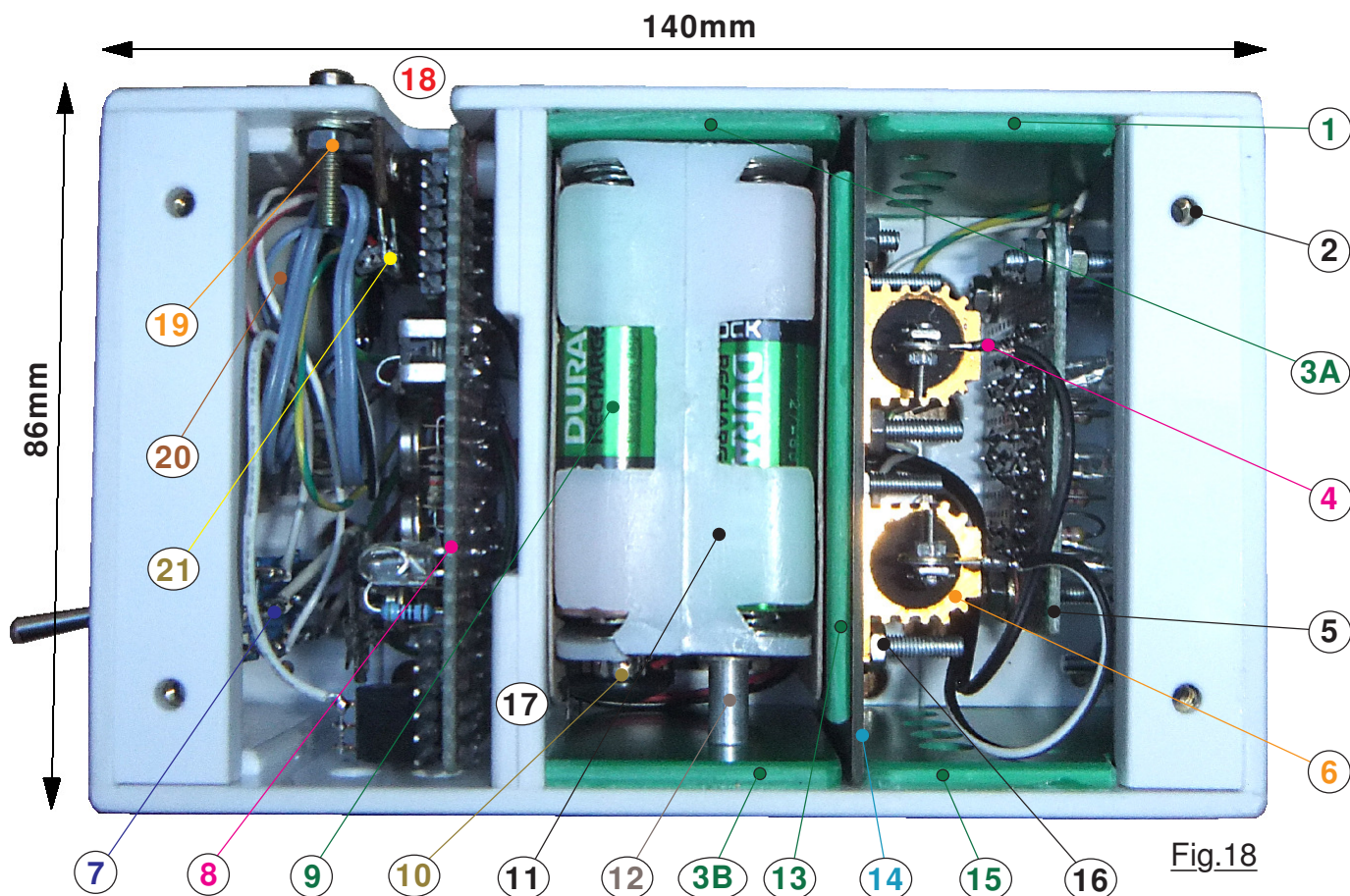


Fig.18

Délicat me semble t'il de faire bien plus petit. La photographie de la Fig.18 met bien en évidence qu'il n'y a pas beaucoup de place perdue. Et encore, comme on va le voir, l'assemblage et la dépose des divers éléments ont été soigneusement étudiés pour rester faciles, bien qu'ils imposent une bonne dose d'attention et de soins. Commençons par une visite guidée avant de détailler la fabrication du coffret. La cloison **17** est soudée à la semelle et aux deux flancs latéraux. (*Ce choix impose des traversées pour le câblage.*) Également soudés sur les flancs les plaques **1**, **3A**, **3B** et **15** forment deux rainures dans lesquelles peut se glisser verticalement la fine plaque **14** sur laquelle sont immobilisées les deux résistances de charge **6** au moyen des petits boulons  $\phi$  M3 repérés **16**. Cette plaque réalisée dans une chute de circuit imprimé époxy peut ainsi être librement enlevée par simple translation rectiligne verticale. En **9** on observe l'une des six piles rechargeables logées dans le petit conteneur **11** qui par le "clips" **10** à deux pôles (*Pas très visible sur cette image.*) se branche au reste du circuit électrique. Pour ne pas que ce module ne puisse trop se déplacer en translation latéralement, il est maintenu en place par la petite butée **12** qui s'immobilise sur le coffret. Enfin, la plaque **13** est ajoutée à **14** pour diminuer le jeu latéral évitant un ballotement du conteneur **11**. Observez [Image13.JPG](#) et [Image14.JPG](#) qui montrent bien l'assemblage de ces éléments ainsi que les entailles coté semelle qui autoriseront la passage des liaisons électrique sous le bloc **11**. Les deux photographies proposées en [Image15.JPG](#) et [Image16.JPG](#) révèlent des détails importants de la zone concernée. Le couvercle s'immobilise sur le coffret au moyen de quatre vis  $\phi$  M3 qui s'insèrent dans les écrous noyés **2**. Pour pouvoir déposer librement l'ensemble **14**, les fils électriques sont reliés aux résistances **6** par des cosse liées au moyen de petits boulons  $\phi$  M1 repérés **4**. Peu visible en **5** est solidarisé de la face avant le petit circuit imprimé supportant les LEDs blanches.

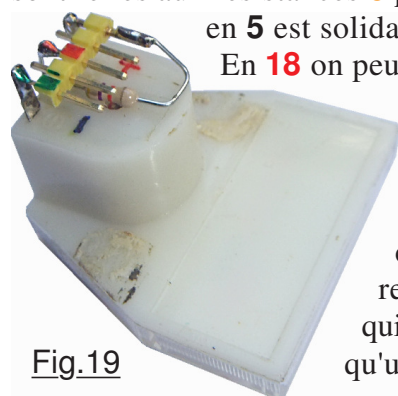


Fig.19

En **18** on peut remarquer une ouverture à travers laquelle une petite clef servira à serrer l'écrou  $\phi$  M3 qui immobilise le circuit imprimé principal **8** sur la cloison **17** par l'entremise d'entretoises isolantes en nylon. L'intégralité du contenu du coffret peut être déposée à des fins de maintenance ou de modifications ultérieures potentielles, y compris les liaisons électriques. En particulier la cosse de soudage **21** est solidarisée sur le flanc au moyen du boulon  $\phi$  M3 repéré **19**. Enfin, très peu visible en **20** le petit galvanomètre de récupération qui sert de voltmètre avec sa résistance de  $47k\Omega$ . On peut constater sur la Fig.19 qu'un connecteur HE14 permet de le débrancher à convenance.

## 9) Mes techniques de réalisation des coffrets.

**B**ien qu'il soit commode d'utiliser des coffrets du commerce, personnellement je préfère de loin réaliser entièrement mes propres boîtiers. L'avantage incontestable réside dans le fait qu'on n'est jamais aussi bien servi que par soi-même. Traduisez : On peut faire exactement ce qui correspond à nos désirs, et en particulier optimiser les formes et les dimensions. Ma technique étant aisément abordable par tout un chacun, autant en faire profiter la collectivité. Le matériau miracle pour confectionner mes réalisations est connu sous le vocable de **polystyrène choc**.

**N**ombreux sont les didacticiels déjà publiés sous mon pseudonyme "Nulentout" qui, décrivant des appareils électroniques, informatiques, astronomiques, détaillent mes méthodes d'usinage. Il serait commode d'indiquer ici les liens et faire référence aux chapitres concernés. Pour vous éviter des allées et venues sur la toile, j'ai pensé plus convivial de copier honteusement les chapitres relatif au travail de ce merveilleux matériau qu'est le polystyrène choc.

Commencez par lire les informations données dans l'encadré de la page 13 et vous aurez en main la marche à suivre pour créer toutes les merveilles issues de votre imagination.



### **ATTENTION : DANGER !**



Libre à la vente n'implique pas "sans danger". Dans les drogueries, on peut aussi acheter de l'acide pour nettoyer du ciment par exemple. Bien que libre en vente il faut prendre des précautions pour les mains, le visage ou les yeux. **Pour le diluant cellulosique c'est analogue. Les vapeurs qui se dégagent de la réaction chimique sont nocives. Donc :**



- **Lisez bien les informations portées sur la bouteille.**



- **Travaillez dans un local bien aéré quand vous procédez au soudage.**

### **Technique générale d'assemblage.**

**F**açonner avec soin et précision les divers éléments à réunir pour construire l'ensemble sera un garant de qualité. Prendre son temps, vérifier les dimensions et la géométrie, ne pas se précipiter. Percer et réaliser si possible l'intégralité des trous et des orifices sur les éléments individuels, c'est tellement plus commode que lorsque le coffret est entièrement assemblé. D'une manière générale, la médiocrité d'une réalisation quelconque est directement impactée par son élément le plus faible. Ou si vous préférez, quand vous adoptez un niveau de qualité, tous les aspects du projet doivent présenter une valeur analogue. Bref, il faut tracer sur toutes les pièces à assembler la position précise des éléments qui viennent en contact. Pour ma part tous les repérages sont réalisés avec des feutres classiques du commerce. Quand les ensembles sont achevés, j'efface tous les traits avec de l'alcool ménager qui me sert également à nettoyer les pièces avant soudage ou avant peinture. Une petite équerre métallique me semble indispensable pour vérifier les perpendicularités un peu partout. Vous préparez tout le matériel dans un local bien aéré, sans oublier un support quelconque pour poser le pinceau qui sert à appliquer le diluant sur les zones à souder.

**C**onsultant avec attention le dessin de l'ensemble, vous déterminez les tranches ou les surfaces à souder. Vous mouillez avec le diluant. Vous appliquez fortement la pièce sur les zones mouillées. La prise est immédiate, mais si le local n'est pas trop chaud, vous disposez d'un temps largement suffisant pour assembler et positionner sept ou huit pièces. Puis, avant que l'ensemble ne soit définitivement solidifié, vous repassez tout en revue pour parfaire la géométrie : Les diverses cotes de positionnement, les orientations relatives, les équerrages ...

**Toujours partir de dessins rigoureux réalisés à l'échelle unitaire** pour façonner les divers éléments, après avoir tracé un **dessin d'ensemble précis pour s'assurer que l'intégration des éléments et leur câblage ne sera pas une corvée** sans nom. Méfiez-vous, certaines pièces ne sont pas symétriques, placer à gauche celle de droite engendrera à coup sûr une difficulté. Ceci dit, pas de panique. Si vous constatez une erreur inacceptable alors que l'ensemble est solidifié depuis deux jours, et que les éléments sont soudés entre eux par la tranche, en forçant un peu avec un cutter rigide on arrive à désolidariser sans détruire. Beaucoup d'erreurs seront pardonnées ... heureusement, car souvent mes prototypes souffrent leurs lots de maladrances ...



**Suite en page 14.**



## Mettre en œuvre du polystyrène choc.

**F**acile à se procurer par le biais du commerce en ligne, particulièrement agréable à usiner, percer, limer, ce matériau vendu en plaques de diverses épaisseurs et diverses tailles, est absolument parfait pour le bricoleur du dimanche. Utilisé depuis des années pour réaliser des coffrets électroniques, des petites mécaniques de robotique etc, je ne saurais plus m'en passer. Pour trouver un magasin de vente par correspondance, proposez les deux mots clef **Polystyrène** et **Choc** à un quelconquemoteur de recherche et vous n'aurez plus qu'à mettre dans le panier une ou deux plaques de votre choix. Pour ma part j'ai utilisé plusieurs épaisseurs, le meilleur compromis semble 3mm que j'approvisionne en grandes plaques blanches, car j'en fais une consommation abusive.

**Outillage indispensable :** On ne peut vraiment pas se contenter d'un simple cutter, il faut impérativement investir dans du luxe. La débauche de matériel à acquérir est présentée sur la



Fig.20 qui correspond au minimum vital. En 1 la petite chignole à manivelle qui m'a été donnée par mon amis Jules

il y a plus de quarante ans car je n'avais rien pour percer mes circuits imprimés.

Elle n'avait déjà pas le bouchon du manche prévu pour y loger des forêts tels que 2.

L'engrenage a pris du jeu, elle en a percé des milliers de trous cette fidèle compagne ! Il existe bien des petites perceuses électriques sur colonne, mais je n'ai jamais rien trouvé de plus précis que ma

ringarde "tournicotine". En 3 des petites limes de qualité,

ou comme en 4 une lime pour réaffûter les chaînes de tronçonneuses.

Ajoutez deux ou trois feuilles de **papier verre** pour poncer avec finesse et l'on a pratiquement tout ce qu'il faut. Avec ces ustensiles, je découpe et peaufine mes pièces sans problème au dixième de millimètre. Je dispose d'un alésoir qui permet d'agrandir les trous de grand diamètre, mais avec une lime ronde ou semi-ronde on peut s'en passer. Ajoutez également une équerre et l'indispensable est réuni. Pour les forêts 2 il faut une série complète entre 1mm de diamètre et six millimètres, ou plus pour chanfreiner les trous.

**Façonnage des pièces :** Pour les découper, après avoir tracé avec précision le contour, on marque un peu en profondeur des deux cotés avec le cutter. En forçant entre les deux voisinages d'une rayure, les éléments se séparent. Petite amélioration de l'aspect visuel à la lime, puis *parfaire la rectitude et la perpendicularité éventuelle avec un autre coté* sur la feuille de papier verre et

l'élément est paré pour son inclusion dans l'ensemble dont il va faire partie. La méthode présentée en Fig.21 pour ajourer des formes complexes peut sembler indigeste. Elle consiste à percer des trous de diamètre 3mm proches les uns des autres ou sécants pour fragiliser la zone centrale. Au cutter on coupe les tenons. Et quand "l'étoile" centrale se décroche, les limes ou le papier verre font le reste. C'est facile et très précis. Si des cotés sont long, quatre trous réunis permettent d'introduire une lame de scie. On coupe alors de façon rectiligne rapidement sur de fortes longueurs.

**Souder les éléments entre eux :** On trouve librement en droguerie ou dans les magasins de bricolage du **Diluant Cellulosique**. Avec un petit pinceau, vous en passez sur la tranche à souder, vous appliquez un peu fortement sur l'autre pièce et les deux se soudent. Ce n'est pas du collage, mais bien de la soudure autogène. On peut facilement en souder trois ou quatre, et avant que l'assemblage ne devienne résistant, les faire glisser pour les placer bien bord à bord ou corriger des équerrages. Pour aboutir à des éléments de forte épaisseur, on applique du diluant sur toute la surface de l'une des plaque et l'on presse sur l'autre. Un petit serrage à l'étau d'établi et l'on a définitivement une pièce unique de forte épaisseur. On peut ainsi, par exemple créer une semelle très rigide, empiler plusieurs couches. Quand le total est durci, on lime alors les cotés pour obtenir une pièce parfaite, avec arrondis, chanfreins etc.

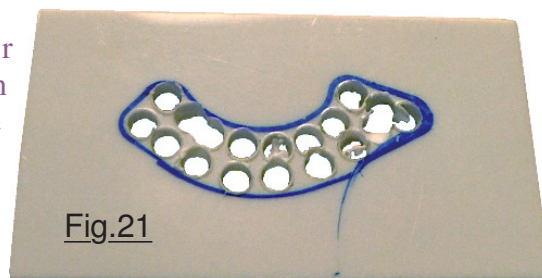


Fig.21

### Technique d'assemblage pour deux plaques soudées en surface.

**S**ouder sur la tranche sera une opération très facile. Mais si deux éléments sont collés à plat l'un sur l'autre par toute une surface, (*Comme souvent la semelle du coffret par exemple.*) la technique est un peu plus délicate, et je vous invite fortement à expérimenter sur des "chutes inutilisables". Voici comment je procède personnellement pour assembler deux plaques en surface :

- 1) Je trace les repères de positionnement sur les deux éléments.
- 2) La pièce de réception est placée à plat sur l'établi, zone à coller vers le haut. Sous cette dernière un grand carton propre est disposé, pour pouvoir presser fortement les deux éléments l'un sur l'autre sans abimer celui de dessous. (*Un carton, un catalogue publicitaire etc.*)
- 3) La pièce à souder est retournée, zone commune à mouiller bien repérée vers le haut.
- 4) On ouvre un bocal dédié rempli avec du diluant. (*Tremper le pinceau dans la bouteille n'est pas du tout commode, car on ne voit pas le niveau du fluide.*)
- 5) On mouille un petit pinceau si on soude sur tranche, un plus gros si on colle face contre face.
- 6) On étale proprement le juste ce qu'il faut sur la surface à "dissoudre" et l'on pose le pinceau.
- 7) On place provisoirement l'élément complémentaire sur la pièce de réception. Inutile de soigner pour le moment car les pièces au pressage vont glisser.
- 8) Sans tarder on presse fortement les deux pièces dans l'étau, muni des cornières (*Pour élargir les mords.*) et de mordaches de protection. (*Inexorablement les deux éléments se décalent un peu.*)
- 9) Immédiatement on les aligne et on les positionnements correctement **par glissement plan sur plan** entre les deux surfaces soudées. Il faut forcer pas mal, car le serrage à l'étau a déjà bien solidarisé les deux éléments. Pièces bien alignées, on peu souffler, car plat sur plat constitue une opération qui mérite de s'entraîner sur des "pièces poubelle", vu que le réalignement n'est pas très aisé.

### Les écrous inclus dans "la masse".

**C**lef de voûte d'une réalisation soignée, ma préférence va vers l'emploi d'écrous métalliques noyés dans des nervures de renfort. Il serait infiniment plus simple de tarauder directement le polystyrène choc. Toutefois, un écrou métallique est bien plus résistant, sans compter que des tarauds  $\phi$  M3 et un "tourne-à-gauche" ne sont pas forcément disponibles dans toutes les chaumières.

### Principe de conception des écrous prisonniers

**F**acile à comprendre, le principe de cette "technologie" est représenté sur la Fig.22 sur laquelle en violet on retrouve les longerons et en jaune le couvercle **C** du coffret rapporté sur le dessus. Ces longerons sont composés de trois bandes de polystyrène choc collées à plat les unes sur les autres. Comme montré en **E** un écrou  $\phi$  M3 présente une épaisseur de moins de 3mm. Il peut donc facilement s'inclure dans la bande du milieu **Y**. Quand on désire assembler ou déposer l'élément, il n'est pas possible de tenir l'écrou à l'intérieur. La "poutre" qui vient en contact de la face avant ou arrière est constituée de trois bandes qui sont donc collées à plat les unes sur les autres. Il serait possible de tarauder le trou et d'y visser directement **V**. Un écrou métallique est préférable au point de vue usure et permet un jeu légèrement plus grand. Dans la bande **Y** l'orifice pratiqué pour l'écrou est hexagonal et ajusté avec précision. Les deux trous dans **X** et dans **Z** laissent passer la vis **V** avec un léger jeu. Celui dans **X** présente un diamètre de 3,3mm alors que celui sur **Z** peut être légèrement plus grand car la plaque ne sert qu'à empêcher l'écrou de tomber. Il faut un peu de latitude, car les quatre trous doivent être alignés sur un axe commun.

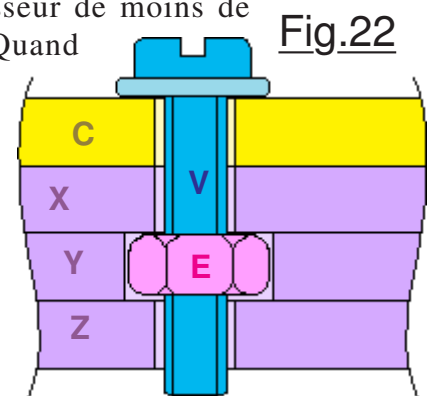


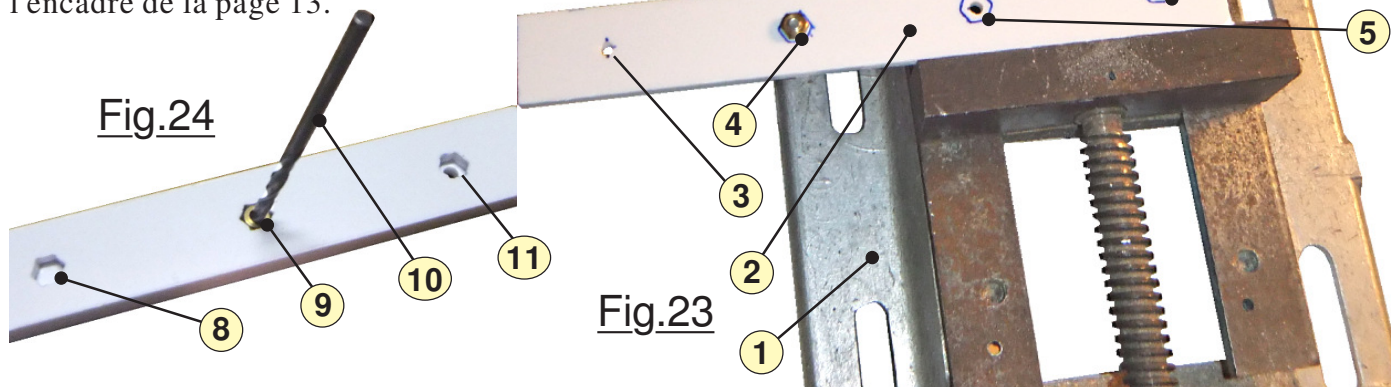
Fig.22

### Technique de réalisation des écrous prisonniers

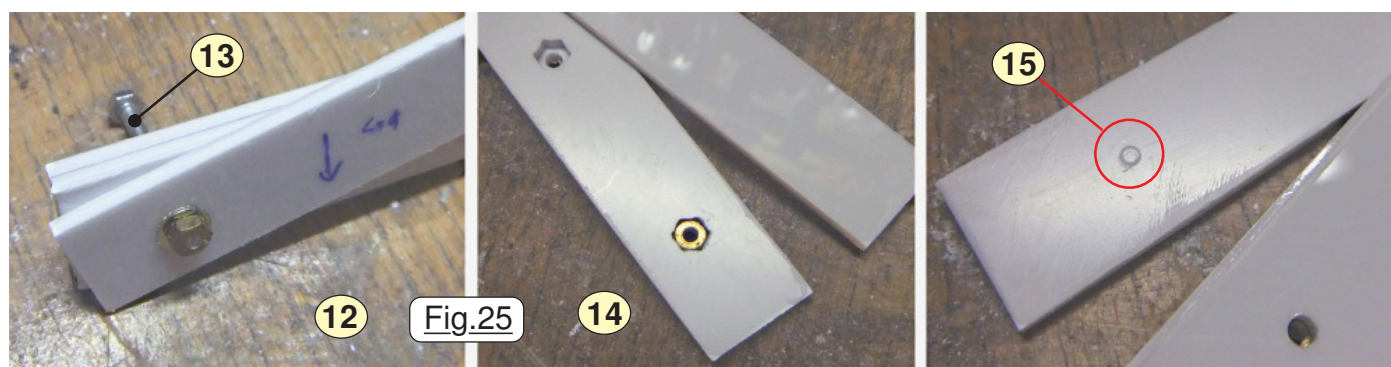
**R**elativement simple à mettre en œuvre, la première étape consiste à ajuster les trois trous hexagonaux dans la plaque centrale. Idéalement saisie dans un petit étau de maquettiste **1**, la Fig.23 présente la pièce **2** avec quatre phases chronologiques. On commence par repérer finement les centres des trous, que l'on perce comme en **3** d'un trou de diamètre 3mm. Puis, comme en **4** on y place un petit boulon  $\phi$  M3 et l'on trace le contour de l'écrou. En **5** on retire l'écrou, puis, en **6** on perce à un diamètre plus grand qui sert à ébaucher l'orifice. La dimension de ce trou est suffisante pour pouvoir introduire



une petite lime comme celle visible en 7. Avec un peu de patience, et d'entraînement sur des chutes non réutilisables, on arrive rapidement à usiner des trous hexagonaux dans lesquels l'écrou pénètre "en sifflant". L'étape suivante consiste à coller à plat la plaque "extérieure". Montrée sur la Fig.24 on peut constater en 8 l'orifice hexagonal borgne. Il faut y pratiquer un trou de passage pour la vis. Symboliquement le forêt 10 est montré seul, bien que dans la réalité il est saisi dans la petite chignole présentée dans l'encadré de la page 13.



**P**réambule au perçage il faut marquer le centre du trou. Dans ce but, on utilise un écrou  $\phi$  M3 qui a été transformé en "canon de perçage" en réalésant son filetage sous la forme d'un trou cylindrique de diamètre 3mm. C'est cet écrou qui comme visible en 9 guide le forêt 10 pour marquer le centre. Puis on retire l'écrou de guidage, on vérifie le centrage de la marque et l'on perce à 3mm comme en 11. Si le trou est parfaitement centré, on réalèse avec un forêt de  $\phi$  3,3mm. S'il est un peu décalé, on agrandi le juste ce qu'il faut avec une toute petite lime "en corrigeant le tir".



**N**ettement plus délicate, l'étape suivante qui comporte plusieurs phases consiste à préparer la contre plaque qui empêche les écrous de tomber. N'étant pas soumise aux efforts de serrage, on peut, si on en possède, se servir de plaque moins épaisses de 2 ou 3mm. Il faudra percer les trous pour qu'ils soient parfaitement coaxiaux avec les écrous prisonniers. La première phase 12 consiste à percer l'un des trous d'extrémité, puis à serrer les trois plaques par un petit boulon 13. Sa vis sera centrée en traversant l'écrou prisonnier. Puis, sur chaque face extérieure on a disposé une rondelle d'appui et un écrou. On serre les deux écrous externes pour solidariser les trois plaques bien alignées. En 14 on a écarté la contre plaque pour vous montrer que l'on a placé un écrou dans l'alvéole hexagonale. Plaques parfaitement alignées, on introduit dans cet écrou une vis et l'on force un peu pour qu'elle laisse en 15 une trace précise de sa position. On écarte les deux éléments, et l'on peut alors percer à 3,3mm exactement avec le bon entraxe. Quand les trois trous sont percés exactement où il faut, on place les écrous prisonniers et l'on colle la contre-plaque en veillant à ce que les trous coïncident exactement avec les écrous. Il est probable que la contre plaque sera un peu décalée par rapport aux deux autres pièces du longeron. Peu importe, un petit usinage final (*Quand la soudure est "durcie".*) sur les surfaces périphériques et la poutre est parée pour son soudage sur le coffret. Plusieurs impératifs devront être respectés lors du collage des deux longerons sur la face avant et la face arrière du boîtier. Il faudra les centrer proprement longitudinalement, critère d'autant plus facile à respecter que la longueur de ces éléments aura été calibrée pour que l'insertion se face à frottement doux. Il importe surtout de souder la tranche en s'assurant que la face supérieure affleure rigoureusement l'arête du haut des deux faces du boîtier.

## 10) Passons à la confection du coffret.

Méthodes de base pour usiner et souder étant assimilées, nous pouvons enfin concrétiser. Naturellement, il n'y a aucune loi qui vous oblige à adopter mes techniques. Libre à vous de faire avec du bois, des plaques d'aluminium, de l'or en barre ... pourvu que le matériau utilisé soit maîtrisé et que vous soyez capables de créer entièrement un coffret à votre convenance. Le votre sera plus simple que le mien, car probablement qu'il n'intégrera pas pour des raisons économiques le petit galvanomètre **1**. Peu importe, si tel est le cas vous aurez la lumière de traversée, et la place disponible à l'intérieur sera plus confortable. Dans ce cas, vous aurez libre court pour inverser les deux inverseurs. La vis visible en **2** sert à immobiliser une l'intérieur plaque **1** contre la face arrière. En **3** on trouve de la Fig.18 pour le passage d'une clef qui bloquera le deuxième écrou assurant l'immobilisation du circuit imprimé principal. La vis **4** pour son compte immobilise sur le flanc le petit manchon repéré **12** sur la Fig.18 qui maintient en position latérale le conteneur des accumulateurs. Enfin, sur cette vue où la lampe de secours est couchée, on voit bien les quatre pieds en caoutchouc ainsi que les trous de ventilation tels que ceux en **5**. Sur la Fig.27 le boîtier est entièrement achevé. Seuls les pieds en caoutchouc ont été assemblés, il reste à effectuer l'intégration de tous les composants internes. Notez au passage que les vis qui immobilisent les pieds en

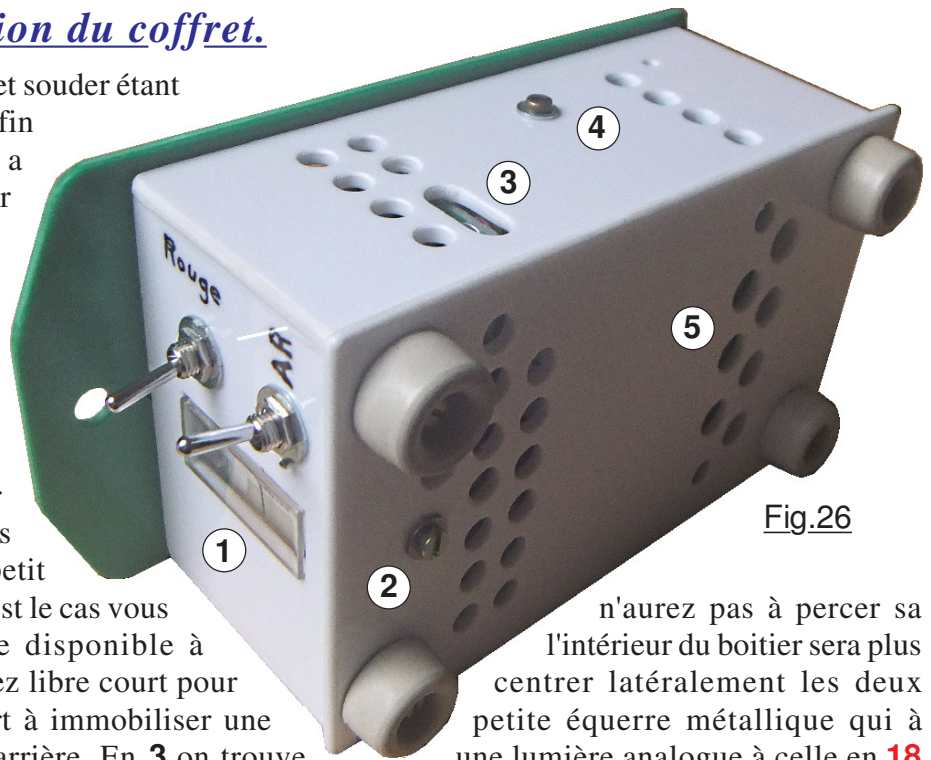
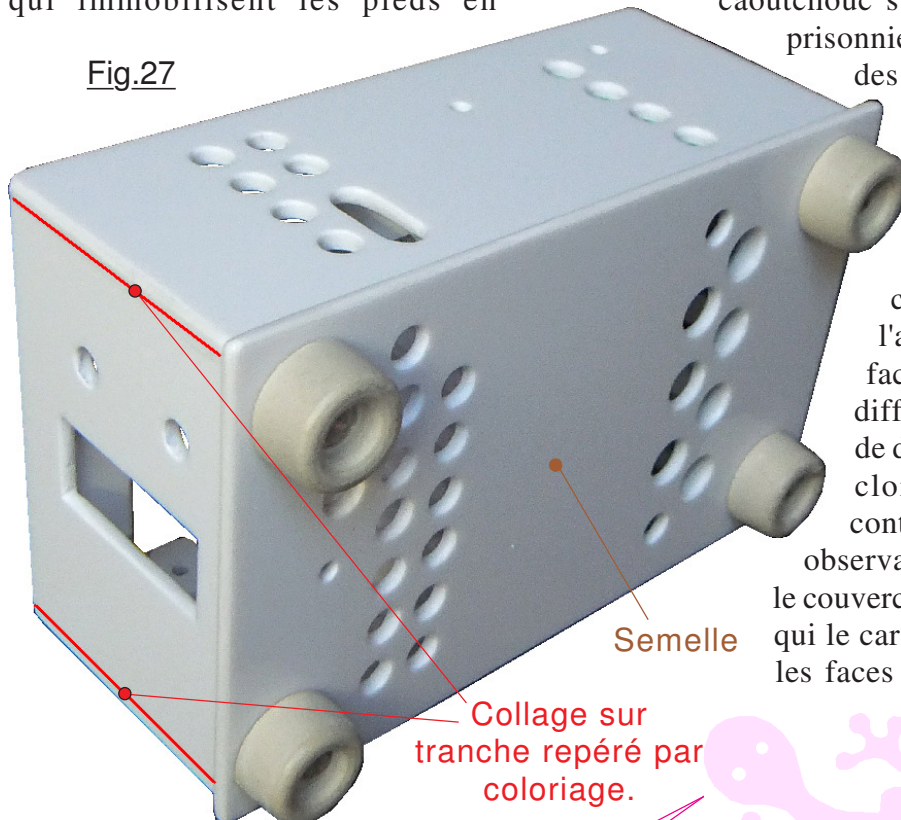


Fig.26

n'aurez pas à percer sa l'intérieur du boîtier sera plus centrée latéralement les deux petite équerre métallique qui à une lumière analogue à celle en **18**

prisonniers, elles se vissent directement dans des trous taraudés dans la semelle. Pour mieux comprendre cet aspect particulier, je vous recommande plus que fortement l'observation d'[Image17.JPG](#) qui commente la zone concernée. Toujours vide de composants, [Image18.JPG](#) montre l'autre côté de la lampe, c'est à dire la face avant qui sera équipée des filtres de diffusion et du module d'éclairage. Avant de détailler l'agencement intérieur avec sa cloison et son faux plancher sous le conteneur des accumulateurs, une petite observation de l'[Image19.JPG](#) nous montre le couvercle avec les divers orifices fonctionnels qui le caractérisent. Comme pour la semelle et les faces latérales, les trous de ventilation ne sont pratiqués que dans les zones où ils sont utiles.

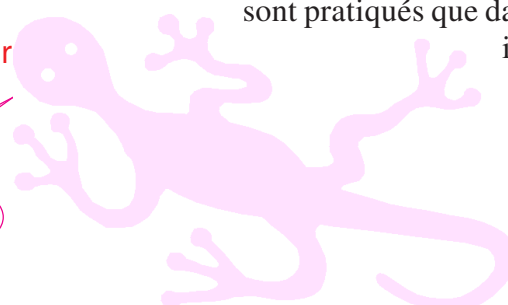
Fig.27



Semelle

Collage sur tranche repéré par coloriage.

Hé Totoche, avec ton panneau solaire tu frimes dans une apparence écolo, mais ton coffret en matière plastique, c'est pas écolo du tout !





## 11) Analyse de la confection du coffret.

**C**oncevoir, c'est obligatoirement prendre le risque de se tromper. Les conséquences d'une erreur commise et détectée trop tard peuvent enliser définitivement un projet si la déconvenue s'avère trop brutale. Je n'insisterai jamais assez sur la **nécessité impérieuse de bien penser le projet avant de commencer à concrétiser**. Ne pas se précipiter sous l'influence insidieuse de l'enthousiasme, prendre le temps pour analyser tous les aspects importants et en particulier :

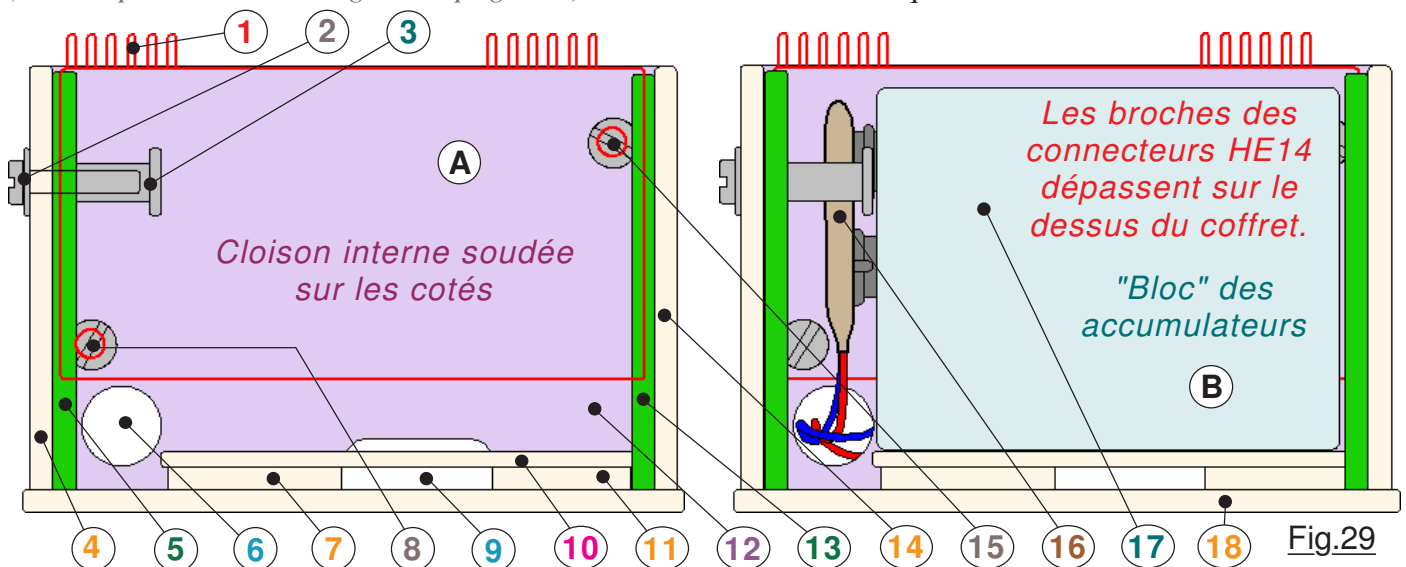
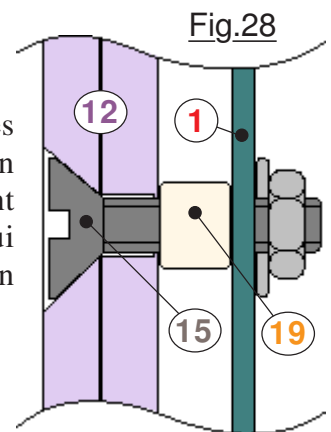
- Une belle boîte, esthétique et proportionnée dans ses formes.
- Encombrement optimisé pour des raisons évidentes de commodité d'usage.
- Disposer les prises, les douilles, les fusibles pour l'aspect visuel, sans toutefois oublier la qualité opérationnelle qui sera directement fonction de leur répartition sur la périphérie du coffret.
- **Pouvoir facilement intégrer, et plus tard en maintenance déposer, n'importe quel élément.**
- **Prévoir une distribution interne qui facilitera le câblage et les soudures.**
- **Passer impérativement en revue l'intégralité de ces aspects par des vérifications sérieuses effectuées sur des dessins réalisés proprement et à l'échelle unitaire. PRIMORDIAL !**

### Mise en pratique de ces critères fondamentaux.

**E**sthétique et beauté sont des notions personnelles, temporelles (*Victimes des modes.*) pas forcément partagées. Chacune et chacun héberge ses propres instincts d'appréciation issus du vécu. Aussi, l'avantage de créer ses propres coffrets offre une liberté "artistique" totale. Je ne prétendrai donc pas que mon coffret est beau, mais qu'il correspond tout à fait à mes désirs. Quels que soient vos choix, on va passer en revue sur le prototype, les aspects techniques qui aboutissent à vaincre certaines difficultés et à contourner bien des pièges. En particulier la satisfaction des critères énoncés en vert ci-avant.

#### Première difficulté.

La cloison **12** soudée par la tranche sur les flancs **4** et **14** et sur la semelle **18** obstrue entièrement l'intérieur du boîtier. Le gros conteneur des accumulateurs **17** occupe beaucoup de place et n'en laisse que très peu pour le passage des fils électriques. Il faut contourner ces deux difficultés. La solution adoptée est décrite dans les deux dessins Fig.29 réalisés avec précision à l'échelle des dimensions. En **1** est représenté le circuit imprimé principal comme s'il n'était pas caché par **12**. Sur le dessin **A** le conteneur des accumulateurs **17** n'est pas en place. En revanche, est représenté en **3** le petit manchon qui cale **12** latéralement, et l'on voit sa vis de fixation **2** comme s'il était transparent. (**3** est repéré **12** sur la Fig.18 en page 11.) Les deux vis **8** et **15** qui servent à immobiliser **1** dans le



coffret avec interposition des entretoises en nylon **19**, comme visible sur la Fig.28 sont "noyées" sur la cloison **12**. Comme il ne sera pas possible de les empêcher de tourner avec un tournevis, elle se vissent dans un trou taraudé à  $\phi$  M3 usiné directement dans **12**. C'est pour avoir assez d'épaisseur que deux plaques de 3mm sont soudées plat sur plat dans cette zone. Enfin pour ne pas risquer qu'elles ne puissent se desserrer, quand on les met en place on ajoute du vernis à ongle sous les tête de **8** et **15** pour que ce dernier s'interpose dans le trou taraudé, y compris dans la région du filetage.

Les deux vis **15** sont alors "soudées" dans le coffret et seul l'écrou sera à manœuvrer. On retrouve en **5** et **13** les plaques soudées sur **4** et **14** qui matérialisent les rainures latérales pour glisser le support des résistances de charge. Remarquez au passage que ces plaques masquent en partie les vis **8** et **15** rendant impossible l'usage d'un tournevis. Sur la cloison **12** on a pratiqué deux orifices pour le passage des fils de câblage. En **6** un orifice circulaire qui, placé sous le circuit imprimé **1** laissera passer les fils du connecteur **16** clipsé sur le conteneur des accumulateurs **17** mis en place sur le dessin **B**. En **9** une lumière relativement large, est également pratiquée sous le circuit imprimé **1**. Le conteneur **17** situé au dessus "écraserait" les liaisons électrique transitant à travers cette lumière. On a donc réalisé un tunnel de passage composé des deux plaques **7** et **11** collées sur la semelle **18** et du "faux plancher" **10**. Très significative, [Image20.JPG](#) fournit un gros plan sur la cloison transversale coté circuit imprimé, alors qu'[Image21.JPG](#) est saisie coté conteneur des accumulateurs. L'[Image21.JPG](#) complète ces deux vues et surtout [Image23.JPG](#) est une vue extérieure de la lampe observée depuis sa face avant qui précède l'intégration des systèmes internes. Cet assemblage final concerne le chapitre suivant :

## 12) Câblage interne et assemblage final.

**C'** est trop souvent la phase qui révèle les erreurs de conception du coffret si l'étude préalable a été insuffisante. Pour le prototype, il n'y a eu aucune mauvaise surprise ce qui prouve que l'expérience est notre plus efficace alliée ... sans compter aussi un peu de chance, car penser à tout n'est jamais gagné. Aussi, ce chapitre va souligner la chronologie et les opérations qui se sont succédées pour aboutir à un résultat totalement satisfaisant. Le manuel technique [Petit éclairage solaire.PDF](#) regorge de données techniques et de mesures effectuées sur le prototype. Il est surtout accompagné de la fiche individuelle dont une face fournit "l'éparpillé" du câblage qui met en évidence les éléments qui se débranchent. De l'autre coté en haut est traduit symboliquement par des flèches l'ordre d'[Assemblage / Démontage](#), information bien utile pour ce chapitre. On

se doute que le connecteur HE14 qui se branche sur le module d'éclairage blanc et les deux cosses qui se vissent sur les résistances de charge ne peuvent traverser le **Tunnel** situé sous le bloc conteneur des accumulateurs. Il sera donc important de prévoir une ligne de longueur suffisante pour pouvoir déporter à l'extérieur du boîtier les éléments situés à leurs extrémités quand on désire intervenir à l'intérieur. On commence par préparer le petit module des résistances de charge, c'est à dire que l'on façonne une petite plaque époxy à la bonne taille qui glisse pratiquement sans jeu dans les rainures latérales. On y immobilise les deux résistances et on relie par soudure un petit fil électrique coté semelle. Puis on ajoute la cale latérale, en remarquant que pour ne pas que les têtes de vis ne dépassent, on a choisi des vis de type F90 comme celles de la Fig.28 située en page 17. On recherche de tout petits boulons qui peuvent traverser les cosses laissées libres et des rondelles adaptées. *(Personnellement j'abuse de rondelles plates pour améliorer les appuis et de rondelles éventails pour freiner les écrous.)*

**A** boutissement de plusieurs heures de passion, les Fig.30 et Fig.31 traduisent l'état "du chantier" lorsque l'on a tout câblé. Il ne reste plus qu'à procéder à l'intégration des divers modules. Significatives de ce à quoi il faut arriver, les liaisons filaires sont les plus courtes possibles pour minimiser l'encombrement quand il va falloir "tasser", *mais assez longues pour pouvoir déporter à l'extérieur chaque élément*. On peut ainsi modifier, souder librement, et surtout dégager les zones dans lesquelles on doit introduire un élément. Ces deux figures empruntent des repérages identiques, raison pour laquelle sur la Fig.31 les repères ne sont pas ordonnés. En **1**

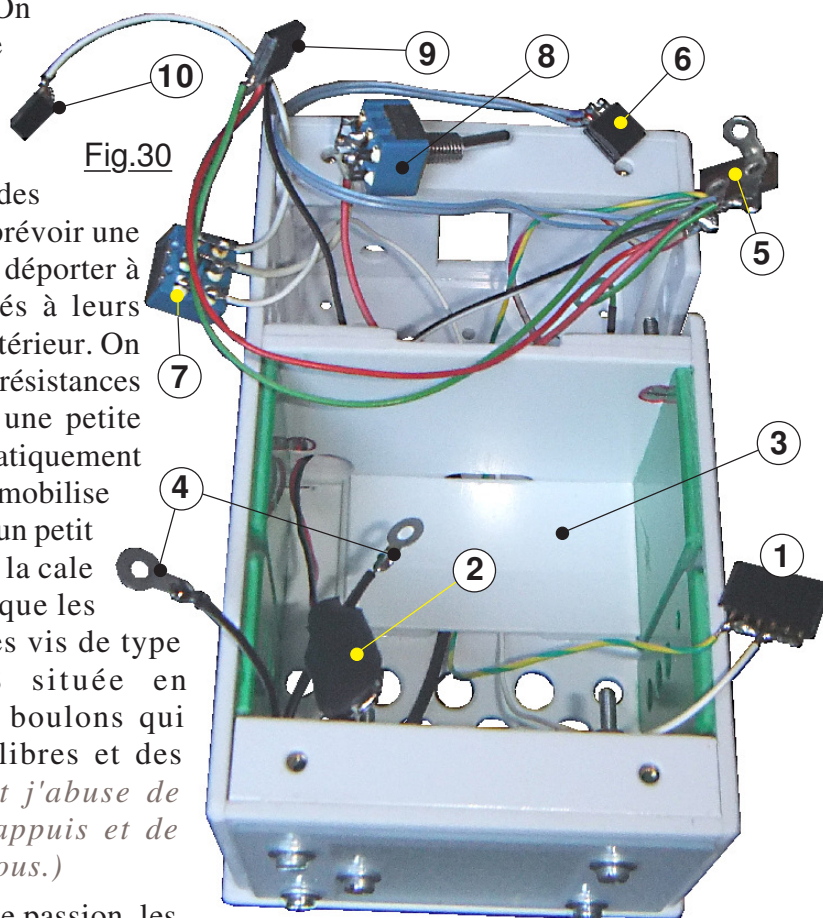
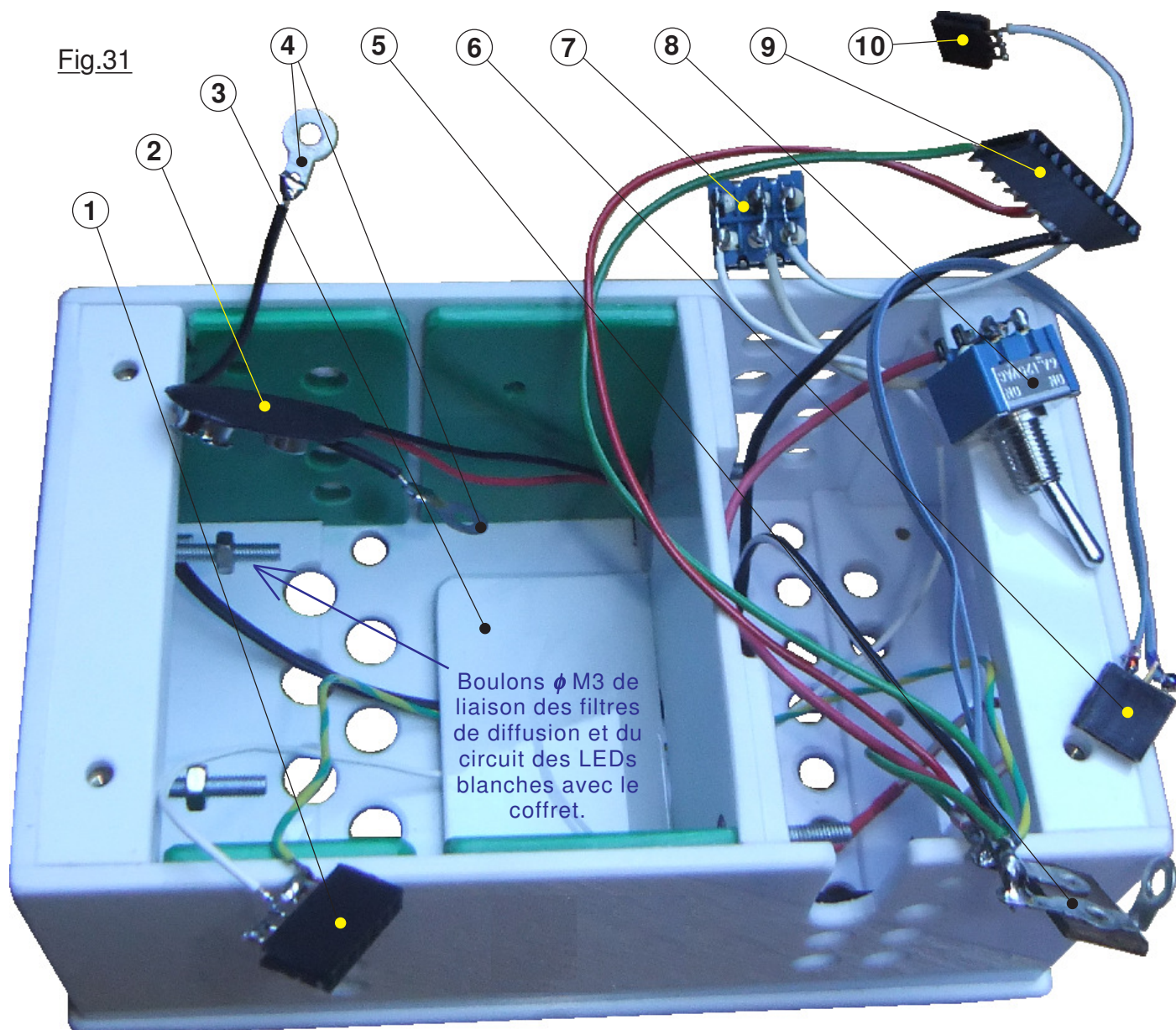


Fig.30



Fig.31



pend le petit connecteur HE14 qui s'insère sur le circuit imprimé des LEDs blanches et en **2** la prise qui se clipse sur le bloc alimentation des accumulateurs. En **3** on reconnaît le "faux plancher" qui matérialise le tunnel dans lequel transitent des liaisons électriques telles que **4** qui se vissent sur les cosses des résistances de puissance. En **5** on peut observer un "relais de câblage" qui sera immobilisé sur le flanc latéral situé vers nous. Quand plusieurs conducteurs doivent se souder ensemble, je trouve commode d'utiliser d'un tel petit accessoire qui octroie au câblage de la clarté et du maintien en position. En **6** on trouve le petit connecteur HE14 qui sera branché sur le galvanomètre présenté en Fig.19 dont les broches sont coloriées avec du feutre permanent pour repérer leur sens de branchement. L'inverseur **7** sert à sélectionner entre la lampe blanche ou le phare rouge, alors que l'interrupteur **8** coupe l'énergie sur ces deux éclairages. Le connecteur **9** à neuf broches s'insère dans le HE14 situé vers le bas du circuit imprimé principal. Sa liaison est assez longue pour pouvoir le brancher avant de chercher à mettre en place ce module. Par contre, le connecteur **10** ne sera embroché que lorsque tous les éléments seront intégrés. [Image24.JPG](#) illustre cette étape, alors que sur [Image25.JPG](#) le circuit d'éclairage est en place. On passe ensuite à l'intégration du circuit imprimé principal, *les inverseurs et le galvanomètre étant déjà en place*. Les [Image26.JPG](#), [Image27.JPG](#) et [Image28.JPG](#) illustrent cette étape. Il ne reste plus qu'à mettre en place les résistances de charge. Puis on place le carton rigide comme montré sur l'[Image15.JPG](#). Naturellement, avant de refermer le coffret avec le couvercle, comme sur [Image29.JPG](#) on procède à toutes les vérifications électriques et fonctionnelles pour la validation. *(Remarquez au passage que les connecteurs dépassent du couvercle pour faciliter leurs branchements.)* Cette première facette de notre projet "solaire" s'achève en rechargeant pleinement la lampe. Puis on débranche cette dernière pour ne pas diminuer inutilement la durée de vie des accumulateurs. **À la place, on branche le BOLOMÈTRE ...**

# Petite station scientifique d'enregistrement de l'énergie solaire au cours de l'année.

Avec cette petite application ludique, avouons que l'on se fait un petit plaisir "écologique", il n'y aura pas de quoi révolutionner l'avenir de notre bonne vieille Terre. C'est avant tout un prétexte déguisé pour se divertir en microinformatique et programmer une carte Arduino NANO. C'est également un argument "politique" pour justifier la conception et la réalisation de l'électronique associée au petit module ATmega328. Bref, on ne peut prétendre que cette application va nous changer la vie.

Toutefois, il serait dommage de ne pas entrevoir l'opportunité avec cette réalisation, d'acquérir une foule d'informations sur le comportement des panneaux solaires. Ces dernières peuvent s'avérer bien utile le jour où un représentant commercial vient vous proposer les services de son entreprise qui installe des cellules photovoltaïques. Ce genre de technologie peut vous séduire. Hors une telle installation reste coûteuse. Aussi, pour prendre une décision "objective", certains paramètres seront à prendre en compte pour évaluer la pertinence d'un tel investissement. Ce didacticiel se terminera par un chapitre qui peut vous aider dans cette voie, les résultats obtenus par nos études "scientifique" pouvant fournir des arguments objectifs. Bon, trêve de blabla, passons à l'étude de notre future station Bolométrique.

## 13) Présentation du petit BOLOMÈTRE informatisé.

Avant de foncer tête baissée dans les développements techniques, un petit chapitre de présentation de ce que peut faire notre future réalisation me semble judicieux. ATTENTION : Je ne vous cache pas que ce chapitre à pour but de vous faire envie ... je vous aurais prévenu !

Sur un RESET, la LED verte du petit clavier à deux touches clignote rapidement vous invitant à cliquer sur l'un des deux B.P. (*Nous verrons plus loin la raison de l'écran noir initial.*) Dès que l'on clique sur l'une des deux touches, on obtient l'écran de la Fig.32 qui précise la version du logiciel. Sans entrer dans les détails, le bolomètre est un détecteur développé par le scientifique Samuel Pierpont Langley en 1878 qui permettait d'étudier le rayonnement solaire en convertissant ce dernier en chaleur, son appareil étant associé à un thermomètre.

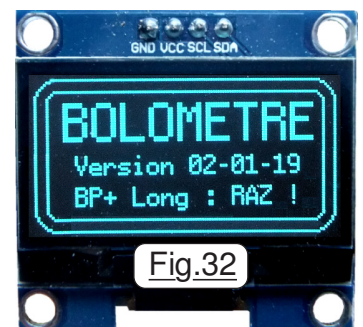
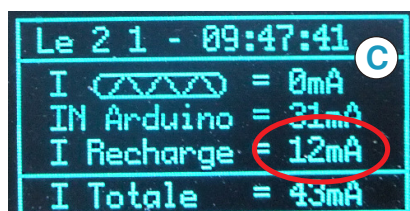
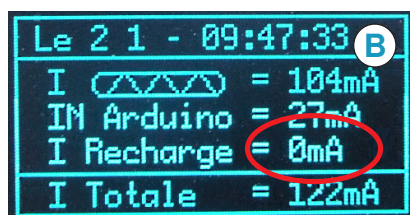


Fig.32



Aussi, le petit appareil décrit, bien que basé sur une technologie totalement différente emprunte le même nom car sa finalité est strictement identique. Voici grossièrement comment se comporte l'appareil :

Ne comportant qu'un clavier élémentaire à deux touches, globalement le B.P. rouge signale "OUI" alors que le noir sera réservé à la "fuite" lorsque l'on sera dans un menu de saisie d'information. Avec seulement deux touches, pour doubler les possibilités, le système prendra en compte les *clics courts* et les *clics longs*. Par exemple, de façon permanente, *un clic long sur le B.P. noir* fait basculer entre le *mode veille*, (*Écran noir pour ménager la durée de vie de l'afficheur et surtout pour minimiser sa consommation.*) et *l'affichage des données sur l'écran*. Un clic court sur le B.P. rouge fait avancer d'un Item dans les Pages de données. Un clic court sur le B.P. noir fait reculer d'un Item. Il n'y a pas de butée, mais une recirculation quand on arrive "à la frontière" des écrans possibles. La première Page de données montrée sur la Fig.33 en A est obtenue lorsque l'on quitte l'écran d'accueil de la Fig.32 avec un clic sur la touche noire. Cette page présente les "conditions actuelles" avec dans le cadre

Fig.33 du haut la date et l'heure. Cette copie



d'écran a été effectuée le deux janvier à 9H, 45min et 26S. Du reste l'écran est rafraîchi environ une fois pas seconde, donc on voit évoluer l'heure en temps réel. (*Lors de cette manipulation c'est une alimentation stabilisée qui simulait un ensoleillement estival de forte valeur ce qui explique l'énergie disponible.*) La cellule photovoltaïque sensée maintenir 16.8v délivrait 268mA, soit une puissance instantanée de 4,49W. Comme l'expérience n'a été conduite que depuis une courte période, l'énergie délivrée ne fait pour le jour courant **Jr** que 2mAH. Un petit clic sur la touche rouge et l'on passe à l'item suivant. Les informations le concernant sont visibles sur les photographies **B** et **C**. Le petit dessin représente la résistance de charge qui dissipe la puissance électrique sous forme de chaleur.

**- Hé bé Totoche, transformer cette électricité en chaleur c'est pas écolo du tout ! Avec ton Bolotruc tu contribue à augmenter l'échauffement climatique !**

**- Chuuuuuuutttttt Dudule, tu vas nous faire repérer !**

Fig.34

**OK** les amis, quand on abordera la conception du schéma électronique, je justifierais cette contradiction patente.

Poursuivons notre visite guidée. En **B** on remarque que 104mA vont dans la résistance de charge. La carte Arduino pour sa part consomme 27mA, car l'écran OLED est allumé. Sous ces conditions les accumulateurs ne sont pas rechargés. On remarque que les cellules solaires ne délivrent que 122mA, c'est à dire qu'en réalité 9mA sont pris en décharge sur les accumulateurs. Pour éviter un tel cas de figure qui est contradictoire avec les objectifs initiaux qui doivent privilégier le rechargement des accumulateurs, un dispositif de disjoncteur commute actuellement les résistances de charge. C'est ce

qui se passe en **C** où les résistances sont isolées. Du coup le panneau solaire dispose d'assez d'énergie pour alimenter la carte Arduino à 31mA tout en injectant 12mA dans les accumulateurs NiMH.

**C** clic sur le bouton rouge pour passer à la page suivante Fig.34 qui en **D** propose un bilan des diverses tensions sur les sections électriques du système. La cellule maintien 12,9v à ses bornes. La broche d'alimentation externe de la carte Arduino nommée **VIN** reçoit 7,6v alors que la pile NiMH n°2 présente 8,7v car elle est pleinement chargée. Nous verrons plus avant que le module horloge installé comporte une petite pile au lithium de 3,3v pour assurer la sauvegarde de ses données si la tension d'alimentation du circuit est coupée. On peut mesurer cette tension, mais il ne faut le faire que ponctuellement. Un branchement permanent sur l'entrée concernée d'Arduino provoquerait une très lente décharge de cette pile. Aussi, en temps normal une petit "strap" à languette est enlevé, du coup l'ATmega328 voit son entrée "en l'air". Inutilisé ce "strap" est rangé sur un connecteur HE14 voisin qui du coup prévient le logiciel que l'entrée de mesure est isolée. Pour prévenir l'opérateur la tension est remplacée par "////" qui s'il le désire peut à convenance effectuer une mesure temporaire comme en **E**. Pour tenter de "sécuriser" l'autonomie y compris en hiver lorsque le ciel est "tristounet", on a doublé les accumulateurs. Un inverseur donne à l'opérateur la possibilité de choisir sur lequel est effectué la mesure de tension.

Fig.35

**P** assons à l'Item suivant : Clic court sur le bouton rouge. Avec cette nouvelle page l'heure ne défile plus comme sur les précédentes. Cette page constitue un bilan effectué depuis le jour où le petite station a été mise en service et ses données réinitialisées à "zéro". Sur la copie d'écran de la Fig.35 c'est le 19 mai que le RESET est supposé avoir été déclenché manuellement, soit le jour n°123. (*En fait il y a contradiction*

*entre ces deux données, car elles ont été forcées pour le jeu d'essais à des valeurs faciles à retenir.*) Dans la case du bas est précisé que ce cumul résulte d'un enregistrement sur deux jours. Ne tenez aucun compte des valeurs affichées qui sont artificiellement imposées par programme pour tester les affichages. Lorsque le programme d'exploitation est téléversé, toutes ces données seront cohérentes. Cette page liste dans

| Vendredi   | Smn n° 1 |
|------------|----------|
| Jour MAX : | 7346 mAH |
| Jour min : | 1 mAH    |
| Moy / Jr : | 1234 mAH |
| Nb jours : | 73       |

Fig.36

|                    |          |
|--------------------|----------|
| Le 21 - 09:48:58   | <b>D</b> |
| U cellules = 12.9v |          |
| IN Arduino = 7.6v  |          |
| U PILE SAV = ////  |          |
| U PILE n°2 = 8.7v  |          |

|                    |          |
|--------------------|----------|
| Le 21 - 09:48:33   | <b>E</b> |
| U cellules = 12.9v |          |
| IN Arduino = 7.8v  |          |
| U PILE SAV = 2.8v  |          |
| U PILE n°1 = 8.6v  |          |

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| RAZ le 19 5 >      | J123      |
| Veille :           | 1200.1mAH |
| Semaine :          | 29.4 AH   |
| Annee :            | 2621.0 AH |
| Cumuls au Jour n°2 |           |

l'ordre l'énergie fournie par le panneau solaire la **Veille**, Au cours des sept jours qui précèdent et durant l'année depuis la dernière RAZ. En résumé, le champ du haut concerne la date de la dernière RAZ et celui du bas indique le nombre de jours d'enregistrements. La page suivante dans les Items, représentée sur la Fig.36 est relative aux bilans énergétiques particuliers. Comme pour

la précédente il ne faut pas tenir compte des valeurs qui sont fictives et imposées lors de tests logiciels. On profite de cette page d'informations pour indiquer des données de base relatives au module calendrier. Par exemple en haut à gauche est précisé le jour de la semaine. S'il ne correspond pas à la réalité, il faut engager le protocole d'initialisation décrit plus avant dans le didacticiel. De la même façon le n° de la semaine dans l'année est indiqué dans le rectangle situé en haut à droite. Enfin, on retrouve dans le cadre du bas le nombre de jours ayant été enregistrés. Durant cette période, une journée aura produit plus d'énergie que toutes les autres, la valeur est alors donnée dans **MAX**. Dans le cas inverse, on affiche sur la ligne **min** le résultat le plus "tristounet". Enfin la ligne **Moy / Jr** indique l'énergie moyenne obtenue en tenant compte de toutes les journées enregistrées. Si l'on fait courir l'enregistrement sur 365 jours, ce sera la moyenne annuelle qui ainsi sera calculée.

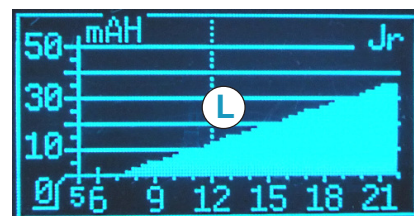
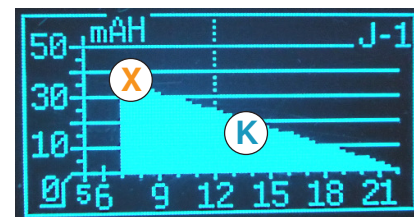
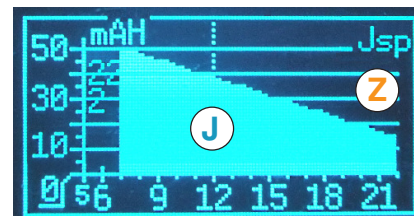
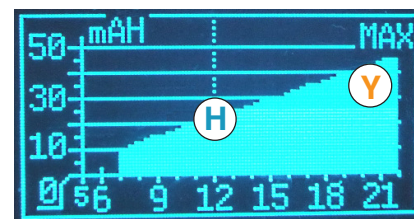
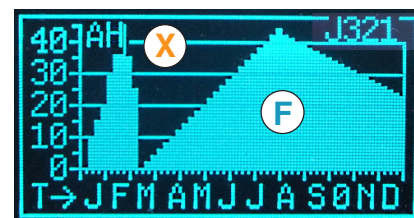
Fig.37

Oublier que l'écran est graphique serait bien dommage, aussi on va s'en donner à cœur joie en traçant des graphiques à faire pâlir de jalousie le "manager" d'une entreprise. Avant d'aborder le sujet, il faut que vous sachiez que l'on utilise la mémoire non volatile EEPROM de l'ATmega328 pour sauvegarder en permanence les données. Ainsi, si pour une quelconque raison la petite carte Arduino n'est plus correctement alimentée, les informations collectées au cours des mois ne seront pas perdues. Il y a toutefois une limite : La période d'enregistrement ne pourra pas dépasser 365 jours. Ceci étant précisé, on peut effectuer une RAZ des données et commencer une campagne d'enregistrement à un moment quelconque de l'année. Clic court sur le bouton rouge, maintenant on connaît ! Et Poufff, le beau graphe **F** de la Fig.37 fait son apparition sur l'écran OLED. Il représente l'énergie fournie par les cellules photovoltaïques pour les 52 semaines que comptent une année. Deux remarques importantes s'imposent :

- Vous aurez envie, dès que votre appareil sera réalisé, de faire afficher des beaux graphes. Hors pour obtenir celui de l'image **F** il faut un an, et pour celui en **G** une semaine. Aussi, pour vous permettre de tester le logiciel et d'expérimenter les affichages d'exploitation, un petit programme de servitude Ecrire les Valeurs en EEPROM.ino génère en EEPROM des données spécifiques. Ces dernières ne sont pas vraisemblables sur le plan physique, mais sont faciles à interpréter pour le programmeur. Par exemple en **F** on inscrit des "rampes" numériques, alors qu'en **G** on génère un "escalier descendant".
- Les unités en **X** ainsi que les options de type **Y** ou **Z** ne risquent pas de se voir "écraser" par le tracé des données quand les données seront cohérentes, c'est à dire directement issues des mesures et des cellules photovoltaïques. En **X** de l'image **F** nous n'aurons jamais une telle énergie captée en Janvier à 7H. De même qu'en **Y** capter 45mAh à 22H n'est pas réaliste, y compris au solstice d'été. Le Soleil commence en effet à décliner sérieusement vers l'horizon. Par ailleurs, il n'est plus dans le plan médian du panneau solaire, mais très sur le côté. Le rendement des cellules photovoltaïques décroît alors considérablement.

Le graphe **F** étale sur 52 semaines les énergies capturées au cours de l'année. En **G** on visualise l'énergie capturée chaque jour de la "semaine" qui précède. (*En fait les sept jours de capture précédents.*) Sur cet exemple

on est un Jeudi. Du coup la veille est un **M**ercredi ce qui explique la répartition des lettres précisant le jour de la semaine concerné. Notez que ces divers graphes sont détaillés dans la notice d'utilisation, on se contente ici de faire un inventaire pour ... vous donner envie ! En **L** on étale l'évolution énergétique au cours de la journée courante **Jr**. En consultant ce graphe, logiquement il ne sera pas complet sauf si vous allez voir les résultats ... la nuit ! Vous avez certainement déduit que la page **J-1** correspond à l'évolution journalière de la veille, c'est à dire celle qui sur le graphe **G** correspond à **M**. Par ailleurs, il est évident qu'au cours de l'année, la quantité d'énergie que fournira le panneau solaire sera différente





chaque jour. Aussi, la page écran **H** nommée **MAX** montrera comment a évolué l'ensoleillement au cours de la journée la plus énergétique, alors que la page écran **J** nommée **Spe** sera relative à un enregistrement Spécial que l'utilisateur peut réaliser à tout moment pour une journée particulière.

- Hé Totoche ?

- Oui Dudule, tu désires ?

- Ben l'est pas bon ton ductidactitruc !

- Ha bon, mais pourquoi il n'est pas bien mon didacticiel ?

- Ben t'as pas causé de la LED trilumicouleur !

- OUPS ! T'as raison, faut rectifier immédiatement.

### **Le contrôle du petit appareil électronique.**

Réduit à sa plus simple expression, le "pupitre" de commande du Bolomètre ne comporte qu'un afficheur de définition modeste, et un clavier presque ridicule équipé de seulement deux touches. Pour faciliter la maîtrise de notre instrument scientifique, une LED tricolore et un petit Buzzer viennent compléter les informations issu de l'écran OLED. La LED peut éclairer en bleu, en rouge et en vert. En usage normal de l'appareil, pour minimiser la consommation de la carte Arduino et ménager la durée de vie de l'afficheur, ce dernier est mis en veille, et son écran est alors tout noir. Du coup nous ne savons pas si la petite machine mouline ses instructions. Pour palier ce manque, une fois par seconde la LED illumine un court instant en bleu. Une courte "pulse" une fois par seconde. La durée d'éclairement est très éphémère pour consommer le minimum d'énergie sur les accumulateurs, car lorsque la clarté céleste est insuffisante ce sont eux qui toute la nuit sustiennent la petite carte Arduino. Le composant acoustique émet un petit bruit chaque fois que l'on enfonce une touche signalant que cette dernière est prise en compte. Un BIP sonore plus "agressif" est généré lorsqu'en sortie d'une saisie on modifie le contexte, ou pour attirer notre attention. Par exemple lorsque l'écran de la Fig.32 en page 20 est affiché pour prévenir que l'action BP+ Long provoque une remise à zéro de toutes les données. La couleur verte est allumée dans deux cas :

- Clignotement rapide pour indiquer que le programme attend une action de notre part sur l'un des deux boutons poussoir du clavier. *(Par exemple suite à un RESET alors que l'écran est tout noir.)*
- Elle s'allume et reste éclairée tant qu'une touche est enfoncée. On peut objecter que le petit bruit sonore est suffisant. Certes, cependant cette confirmation lumineuse reste très conviviale, et surtout sera indispensable aux lectrices ou aux lecteurs qui ont la malchance d'avoir des problèmes d'audition. Enfin, également très commode pour l'opérateur, la LED ajoute au vert de l'enfoncement d'une touche la **couleur rouge** dès que la durée de l'action est considérée comme un **clac long**.

- Hé Totoche ?

- Oui Dudule, qu'y a t'il ?

- Ben ya un gros problème informaticolécolo !

- Ha bon, tu m'inquiète sérieusement Dudule. Quel est ce problème?

- Ben quand tu fais compiler le croquis, ya à peine 81% de la mémoire programme utilisée ?

- Et alors ?

- Ben c'est pas rentable, t'as acheté 5800 octets pour rien !

### **14) L'art de dilapider les richesses !**

Abondance de bien ne nuit pas annonce l'adage populaire. Figurez-vous, que depuis le tout début du développement du programme, j'ai optimisé à outrance le codage. Chaque fois qu'un octet pouvait être économisé, quitte à créer une procédure spécifique, j'ai optimisé l'intégralité des décisions, que ce soit dans le choix du type des données, l'exploitation au mieux de l'EEPROM etc. Optimiser l'optimisation est une obsession, un réflexe de programmeur auquel je ne déroge jamais. Ce n'est que de cette façon que l'on peut traiter une foule de choses avec des microcontrôleurs relativement modestes. Et puis cette approche est rassurante, car elle nous laisse à penser que "tout finira par rentrer" dans les neurones de silicium. Cette optimisation à outrance a conduit à la situation suivante : Quand l'intégralité de ce que j'avais envisagé de faire sur la petite machine a été effectif, comme le dit si bien Dudule il restait encore 19% de place disponible pour ajouter du code binaire. Quelle aubaine. Du coup, j'ai craqué !

Scandale, gaspillage, gabegie, j'ai décidé de donner dans un luxe outrancier. Sans vergogne j'ai dépensé la bagatelle de 1578 octets pour m'offrir un petit tableau, un joli papillon. Le pire c'est que cette folie dilapide pas moins de 601 octets en mémoire dynamique. Comme tout "nouveau riche" qui




se respecte, j'ai décidé qu'il restait largement assez d'espace dans le PILE de l'ATmega328 pour assurer un fonctionnement fiable du programme. Cet argument fallacieux est d'autant plus pertinent que le programme est pratiquement achevé, et que je doute fortement de trouver de nouvelles idées pour ajouter des fonctions importantes au logiciel. Hop hop hop, dépensons, balançons les octets par la fenêtre ...

### Une belle petite page graphique.

Dernière page de donnée ajoutée à celles qui ont été décrites dans le chapitre précédent, comme il restait une place confortable dans les ressources du microcontrôleur, j'ai pensé qu'un écran qui précise quels sont les journées dans l'année qui ont conduit au **MAX**imum et au **min**imum d'énergie n'était pas foncièrement idiot. Lorsque sur le papier quelques griffonnages ont été tracés pour déterminer les positions et les textes qui figureraient sur l'écran, la pauvreté de la nouvelle page est devenue évidente. Seulement deux données laissaient un écran bien vide. Aussi, l'idée d'agrémenter l'ensemble d'un petit dessin "écolotruc" s'est rapidement imposée.

Rassurez-vous, en moins de deux heures le code source était en place et vérifié, car j'avais déjà réalisé ce dessin lorsque j'ai étudié la bibliothèque de l'afficheur OLED utilisée. Il suffisait d'ajouter un Item dans le menu et de copier/coller le dessin et sa routine de traitement. Le plus long a consisté à ajouter le texte **RST** sur l'image, (Voir la Fig.40) dans les valeurs des Octets définissant la matrice graphique. Pour celles et ceux qui s'engagent régulièrement dans la programmation, je joins à ce didacticiel un petit livret

à imprimer  [Bibliothèque U8glib.pdf](#), comme pour la notice [Fig.39](#) d'utilisation. Ce petit manuel décrit en détails les très nombreuses possibilités offertes par la bibliothèque qui accompagne le petit écran OLED. Je joins également au didacticiel cette "library".

Pour "plaider non coupable", les séquences de programme qui traite de l'image sont très formatrice. Pour ceux qui sont très attirés par la programmation, le code ajouté peut servir d'exemple lorsque vous désirez créer un dessin de type "matrice de Pixels", sans compter que pour cette page particulière le programme réalise une "rotation" d'écran de 90°. L'objet du délit est présenté sur la Fig.38 qui est orientée dans le sens transversal pour des raisons de "mise en page", le bel insecte ne conservant ses lignes que si sa définition verticale est bien supérieure à 64 points image. Du coup, pour observer cette page particulière, il faudra orienter "verticalement" le petit coffret, comme nous le faisons naturellement avec les appareils photographiques ou les téléphones cellulaires. Voir la Fig.39 plus apte à présenter le Lépidoptéris Pixelisus Miriatus. Pour pouvoir valider le logiciel d'exploitation, le petit programme de servitude [Ecrire les Valeurs en EEPROM.ino](#) impose en **2** comme dates pour les extrémums celles des solstices, données qui pour de l'arbitraire sont assez logiques. Notez au passage que si l'une des valeurs est inférieure à dix, un espace en tête est généré pour parfaire l'alignement horizontal des quatre nombres. Petit "plus collatéral", en **1** a été ajoutée une information qui complète l'ensemble des données systèmes. Nous verrons plus avant que la petite carte Arduino NANO peut fort bien engager des RESETs intempestifs, quand insuffisamment chargées, les batteries se déchargent la nuit en dessous de la

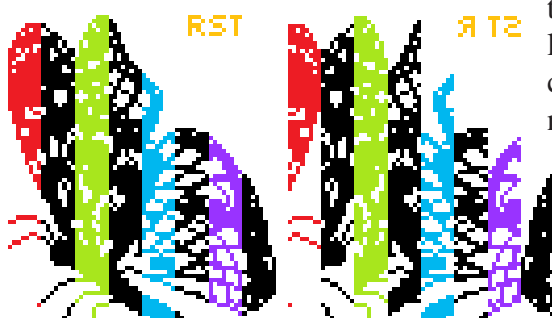


Fig.40

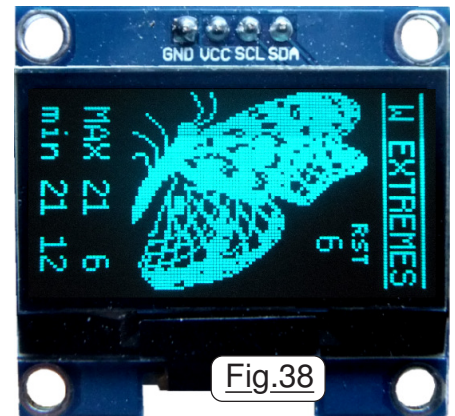
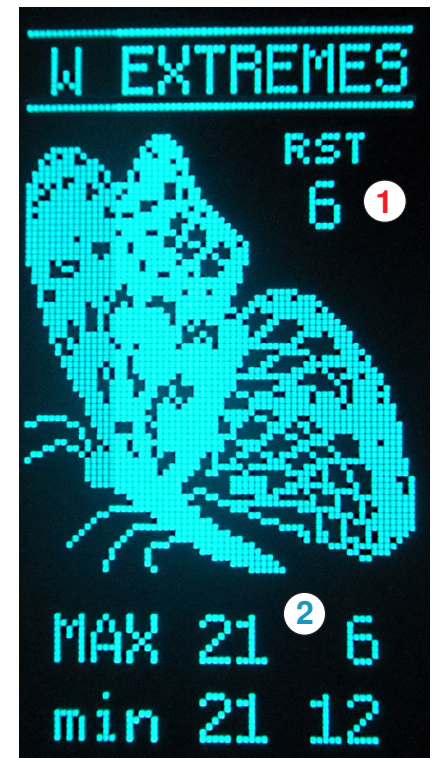


Fig.38



tension de service qui assure le fonctionnement correct de l'ATmega328. Dès que la tension "solaire" redevient suffisante, la carte Arduino redémarre sur un RESET, obligeant comme nous le verrons plus loin l'opérateur à cliquer sur le clavier. Comme plusieurs jours peuvent ainsi ne pas être enregistrés, les graphes contiendront des zones nulles en énergie. Enregistrer le nombre de redémarrages depuis la RAZ générale n'est pas fondamental mais comme il restait de la place à revendre pour le programme autant l'indiquer.

## 15) La carte "informatisée" qui équipe le bolomètre électronique.

Outre une minuscule carte **Arduino NANO** qui constitue le cœur du système, on se doute qu'il faut lui adjoindre une "tripoté" de composants pour mettre en œuvre le clavier, le petit écran OLED ainsi qu'une horloge locale et les dispositifs assurant l'interfaçage pour effectuer les mesures. D'une façon générale, les amateurs d'informatique qui débutent avec la famille des cartes électroniques Arduino, font leurs apprentissages avec l'incontournable module UNO. C'est par excellence un "KIT" extrêmement polyvalent parfaitement adapté à l'expérimentation. Gravitent dans cet environnement à base d'ATmega328 une kyrielle d'autres cartes plus ou moins puissantes et présentant des particularités alléchantes. *Lorsque l'on désire réaliser un ensemble très petit, la carte NANO fait merveille.*

Conçue pour présenter des dimensions vraiment petites, cette minuscule chose est *réputée pouvoir remplacer une UNO sans avoir à modifier une seule ligne de code, réputée 100% compatible*. Ben ... non seulement *c'est vrai*, mais elle est au final plus puissante puisqu'elle met à notre disposition deux entrées analogiques de plus ! On la trouve ce jour pour moins de 3,67• port compris et livrée à domicile avec son cordon de raccordement USB. À ce tarif, elle est moins onéreuse qu'un ATmega328 seul. Compte tenu de son coût, il devenait particulièrement tentant de vérifier les affirmations relatives à ses performances. 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 huit exemplaires commandés, tous à la même adresse, deux cordons USB étaient défectueux : poubelle. *(Les cordons, pas les NANO !)* Par ailleurs, la ligne USB n'était effectivement pas reconnue par WINDOWS. Toutefois, 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 l'un de mes projets 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, et ce d'autant plus qu'elle est encore plus petite que BOARDUINO, alors pour "miniaturiser" elle confine au parfait.

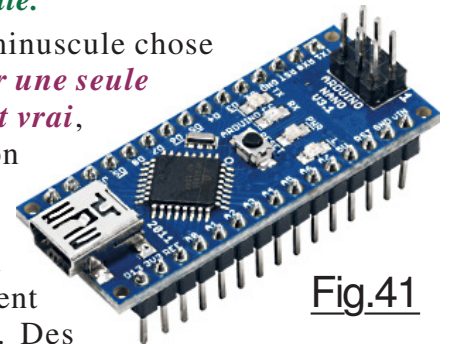


Fig.41

D'une façon générale, je ne mentionne jamais les adresses de mes fournisseurs, dans un souci d'équité pour toutes les entreprises qui font du télécommerce. Je fais toutefois une exception pour cette carte Arduino NANO, dans le but de vous éviter de rencontrer un problème de dialogue sur la ligne série USB de l'**IDE**. Ayant commandé en deux années huit de ces cartes chez :

[https://www.amazon.fr/dp/B00QPUEFNW/ref=pe\\_3044141\\_185740131\\_TE\\_item](https://www.amazon.fr/dp/B00QPUEFNW/ref=pe_3044141_185740131_TE_item)

je n'ai eu que de bonnes surprises. Oui, deux cordons USB étaient défectueux, mais vu le prix de vente de la carte, franchement ce n'est pas un drame. Si vous approvisionnez chez ce fournisseur, *(Je ne touche aucune commission, vous avez sur ce point ma parole !)* je joins dans un dossier <DRIVER USB2> le module dont vous aurez besoin, accompagné d'un petit fichier texte explicatif.

**Attention :** Vu que cette carte dispose de deux entrées analogique de plus que sa grande sœur la belle carte UNO, un programme qui les utilise ne pourra pas "tourner" sur cette dernière on s'en doute. Contrairement aux six autres entrées analogiques d'Arduino qui peuvent librement être conditionnées en sorties binaire, les broche **A5** et **A6** ne peuvent fonctionner qu'en entrée et n'ont pas de résistance interne de forçage de l'état "1". Pour ceux qui se sentent concerné, est joint à ce didacticiel le petit complément séparé **Carte Arduino NANO** qui, se trouve dans le document des fiches techniques nommé

 **Fiches pour le Bolomètre.pdf**. *(Fiches individuelles plus conviviales qu'un regroupement en livret.)*



Pour concrétiser une telle petite fiche, il faut imprimer le document au format classique A4. Puis, couper la feuille bien au milieu sur le trait central. Avec un bâtonnet de "colle U" enduire la surface de l'un des morceaux, *(Et si possible coté non imprimé !)* puis coller les deux éléments en veillant à orienter correctement le haut et le bas. *(Que celle ou celui qui n'a jamais cloué, collé, vissé en inversant le haut et le bas me jette la première pierre ... mais pas une trop grosse toutefois.)* Il ne reste plus qu'à découper tout le tour à environ deux à trois mm du cadre extérieur et vous posséderez une fiche qui se range facilement dans le manuel d'utilisation de la station solaire. Bien que réaliser un livret ne soit pas compliqué, quelques conseils me semblent utiles, aussi le chapitre qui suit me semble le bienvenu.



## 16) Un petit manuel d'utilisation de la station d'enregistrement solaire.

Compte tenu du nombre considérable de fonctions et options disponibles pour utiliser le petit BOLOMÈTRE, il me semble impossible de se remémorer toutes les commandes sur le long terme, ainsi que le comportement attendu du programme d'exploitation. Par ailleurs, certaines consignes peuvent engager des risques matériels si des conditions initiales ne sont pas respectées. Enfin, certaines manipulations imposent une suite notable d'instructions qui doivent s'enchaîner dans un ordre strict. Avoir des protocoles optimisés sera forcément un atout important. Encore faut-il que le manuel d'exploitation de la petite machine soit commode et convivial. Ce chapitre est prévu pour vous donner quelques détails sur la conception du livret et la façon rationnelle de l'assembler.

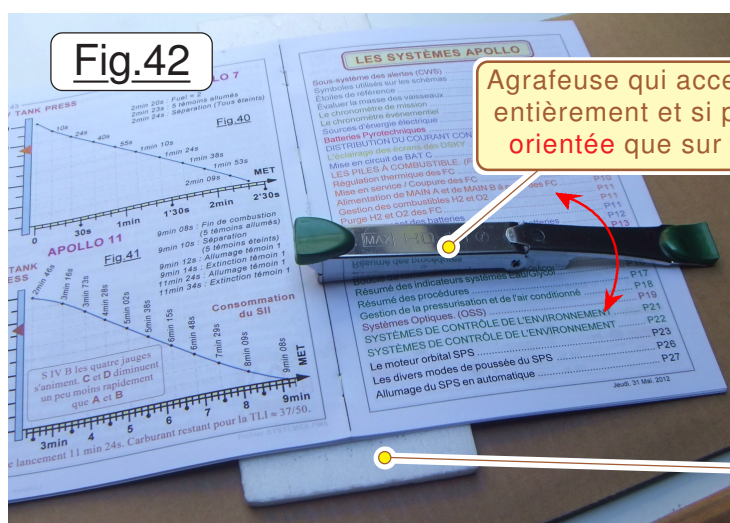
### ➤ **Réalisation matérielle des livrets d'un projet "solaire".**

Agencé à un format A5, les faibles dimensions de ce manuel en font un document parfaitement adapté à son usage. Pas trop petit, les dessins et schémas sont de dimensions suffisantes, pas trop gros, il trouve facilement sa place dans le coffret de rangement de la lampe solaire par exemple et n'est pas trop encombrant sur le terrain ou lors des actions de maintenance sur le bureau. Les fichiers tels que  NOTICE de l'éclairage solaire.pdf ,  Valider le Bolomètre.pdf sont prévus pour être imprimés RECTO/VERSO. Il importe donc de choisir du papier d'épaisseur "normale" pour ne pas que l'encre ne traverse. Papier recyclé méga écolo s'abstenir ! Personnellement je commence par imprimer toutes les pages impaires. Puis, paquet de feuilles replacé sur le bac à papier de la machine **CORRECTEMENT ORIENTÉ ET DANS LE BON ORDRE** je fais imprimer toutes les pages paires. Pour cette phase il me semble moins risqué d'opérer page par page, et vérifier à chaque tentative que deux A4 n'ont pas été "aspirés" par le mécanisme qui tracte les feuilles sous les têtes d'impression. Vous ne perdrez ainsi qu'une seule épreuve, alors que si vous engagez l'opération pour toutes les feuilles ... c'est tout le paquet qu'il faudra entièrement réimprimer. Bien réfléchir quand on replace le paquet dans le bac de la machine, car les pièges sont nombreux. (*Inverser le haut et le bas, face sur le dessus qui n'est pas la bonne, pages entassées dans l'ordre incorrect ...*)

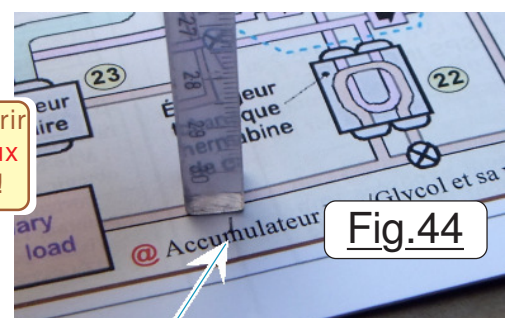
Puis, quand tout est imprimé, réaliser l'assemblage est relativement élémentaire :

- 1) Commencez par plier toutes les pages en deux. (*Et si possible du bon côté !*)
- 2) Trouvez une plaque de polystyrène ou du carton bien classique. (*Voir Fig.42*)
- 3) Positionnez les pages bien à plat et surtout bien les unes cadrées sur les autres.
- 4) Avec une petite agrafeuse qui accepte de s'ouvrir complètement mettre en place quatre "crochets".

**ATTENTION : Quand on appuie sur l'agrafeuse il faut bien la tenir latéralement car elle veut se décaler sur les cotés.** Du coup comme montré en Fig.43 l'agrafe est mal enfoncée et se plie. Quand une agrafe s'est tordue, la retirer avec un cutter et en placer une deuxième exactement au même endroit. Le deuxième essai sera le bon ...



Agrafeuse qui accepte de s'ouvrir entièrement et si possible mieux orientée que sur cette image !



Agrafe qui dépasse  
Polystyrène ou carton  
d'emballage dans  
lequel se plante  
l'agrafe qui dépasse  
avant "sertissage"

Fig.43

OUPS !

Agrafe tordue latéralement

- 5) Retourner le livret **sur un support rigide** et fermer les agrafes à la main avec un outil quelconque. Dans mon cas j'utilise une règle de section carrée comme montré sur la Fig.44 sur laquelle à peine visible on voit un coté de l'agrafe non encore replié.

Notez que pour vous faciliter la tâche les pages sont numérotées verticalement au centre pour repérer plus facilement l'ordre d'assemblage. Gutembérisez bien les amis ...

## 17) Problème posé par la résistance interne des cellules photovoltaïques.

**S**uite à de nombreux essais, les innombrables difficultés imprévues qui accompagnent tout projet, *(Et tout particulièrement comme celui-ci, qui dans l'imagination semble élémentaire, et l'on croit naïvement qu'en quelques heures on aura abouti ...)* ont été contournées, et le schéma adopté semble suffisamment pérenne pour considérer la solution comme valide. On ne peut absolument pas comprendre les circuits retenus, sans passer par l'observation préalable du comportement d'un panneau solaire. Quelle que soit la technologie, donc son rendement de conversion d'énergie, on retrouvera forcément une limite résultant du flux d'énergie reçue sur les surfaces photovoltaïques.

**C**ellules photovoltaïques et panneaux solaires appartiennent à une catégorie particulière de générateurs de courants. Contrairement à des batteries au plomb ou à des piles rechargeables de type NiMH qui présentent une résistance interne relativement constante, les cellules solaires génèrent un courant limité par "le nombre de photons" qui les excitent. De ce fait la résistance interne s'avère particulièrement variable. Le diagramme de la Fig.6 donné en page 4 montre la diminution de la tension du générateur solaire en fonction de la résistance de charge. Les mesures ont été effectuées dans les conditions d'énergie maximale, c'est à dire au solstice d'été, par une belle journée sans nuage et le panneau solaire orienté idéalement. Le graphe présente les conditions les plus optimistes, car l'effondrement de la tension devient catastrophique en hiver lorsque le Soleil est bas sur l'horizon et que le ciel est couvert. Par exemple l'encadré de la Fig.45 propose des résultats de mesures effectuées au solstice d'hiver. Compte tenu de cette particularité, il devient impossible d'envisager une prévision fiable de comportement permettant de calculer l'intensité fournie, paramètre constituant la base du calcul de l'énergie solaire récupérée sous forme électrique. Deux conclusions s'imposent :

- \* **Le courant fourni par le panneau solaire devra être mesuré effectivement et en temps réel.**
- \* **Si l'éclairement est faible** il faudra éliminer la consommation engendrée par les résistances de charge, pour **privilégier le rechargement des deux piles rechargeables**, priorité maximale.

**HIVER : Le matin.** (Sur charge  $2 \times 68\Omega$ .)

Fig.45

09H : 1,8v 12mA.

10H : 6v 21mA. *(Le Soleil monte à peine au dessus des arbres.)*

11H : 8,5v 45mA à 60mA car présences de nuages.

13H : 35mA car ciel couvert.

Ces deux conclusions impactent directement la conception du schéma électronique adopté et le développement du programme qui anime l'ATmega328.

Par ailleurs, une deuxième priorité s'impose : ***Il faut concevoir un ensemble électronique qui favorise au maximum le rechargement des accumulateurs NiMH sans pour autant les surcharger quand l'ensoleillement est maximal au solstice d'été.*** *(L'orientation du panneau solaire favorise cette période qui correspond à celle où s'effectuent les observations astronomiques, il faut donc privilégier le rechargement du bloc des piles d'éclairage qui constitue l'autre application de ce didacticiel.)*

### **Pourquoi deux accumulateurs ?**

**C**onsultant le schéma Fig.50 donné en page 29, on observe la présence de deux accumulateurs qui alimentent en parallèle la carte NANO via les diodes **D2** et **D3**. Le choix de la source d'énergie s'est porté sur des petits accumulateurs 8,2V nominal pour des raisons d'encombrement. Il se trouve qu'au plus "sombre de l'hiver", la clarté peut dans certains cas se montrer suffisante pour n'assurer l'alimentation de la carte Arduino que pendant 5H environ. Pour ne pas engendrer un RESET, les accumulateurs doivent fournir le courant de  $\approx 20\text{mA}$  durant 19H soit 380mAH. Une batterie NiMH neuve est supposée présenter une capacité de 200mAH. Au final, pour couvrir la demande, il en faut au moins deux.

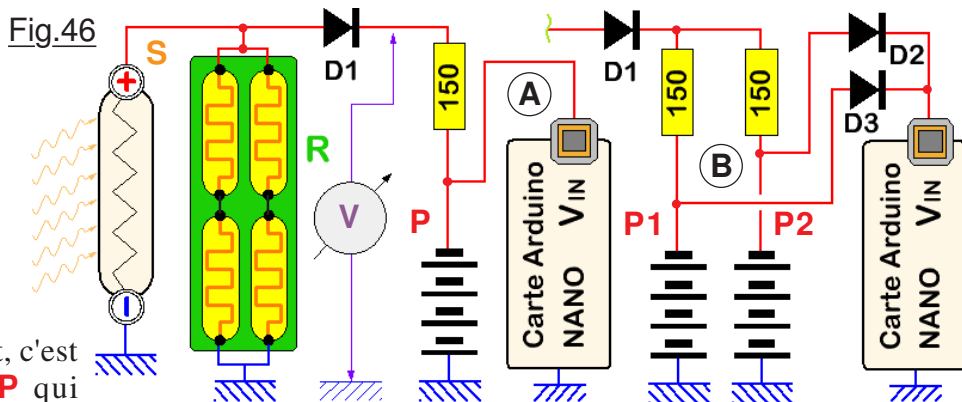
- La continuité du fonctionnement ne sera effective que si la performance des accumulateurs n'est pas trop dégradée. Hors nous savons que le nombre de recharges est limité, et que la capacité d'un tel composant diminue au cours de son utilisation. *(Vieillesse "naturel" de tout ce qui existe !)*
- De plus, le fonctionnement ne sera continu, que si durant l'ensoleillement ce dernier soit suffisant pour assurer la pleine charge des accumulateurs. ***Ce ne sera pas le cas en hiver, aussi il sera normal de constater dans les données "des journées stériles".***



## 18) Conception du schéma électronique pour cette application.

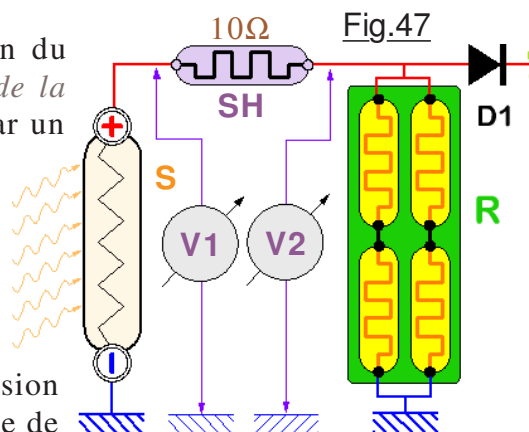
Comme trop souvent en informatique, l'idée de base confine à des concepts qui semblent élémentaires, puis au fur et à mesure que l'on avance dans le développement, les difficultés se bousculent pour parfois remettre complètement en cause le projet. C'est exactement ce qui s'est passé pour cette application qui au départ semblait élémentaire. Le schéma de base envisagé est proposé Fig.46 en **A** dont une seule pile rechargeable NiMH de 8,5v assure l'autonomie. Le principe de fonctionnement est assez rudimentaire.

Le panneau solaire **S** recharge la pile NiMH **P** en limitant le courant maximal en plein été par la résistance de  $150\Omega$ . La diode **D1** évite que la pile **P** ne puisse débiter un courant dans **S** quand la luminosité baisse et que sa tension devient inférieure à celle de la pile rechargeable. Dans ces conditions, et notamment la nuit, c'est l'accumulateur rechargeable **P** qui prend le relais pour alimenter la carte Arduino NANO. Les résistances de charge **R** consomment un maximum de courant sur **S** pour pouvoir mesurer toute l'énergie possible sur les cellules photovoltaïques. Par une entrée analogique **A2** on mesure la tension **V** disponible en aval de **D1**.



**Première difficulté :** Comme la résistance de  $150\Omega$  est prévue pour ne pas dépasser 25mA en recharge lorsque l'ensoleillement est maximal, (*Protection du potentiel des piles P.*) en hiver le rechargement de l'accumulateur est insuffisant pour assurer l'autonomie durant la longue période nocturne et de faible clarté solaire. Aussi, pour "engranger" un maximum d'énergie, comme montré sur la Fig.46 en **B**, deux accumulateurs **P1** et **P2** sont prévus. Du coup il faut assurer leur recharge séparément, ce qui impose deux résistances de  $150\Omega$ . Pour les "isoler" on doit impérativement placer deux diodes **D2** et **D3** sur la branche qui alimente la carte Arduino, pour qu'ils ne soient pas directement en parallèle.

**Deuxième difficulté :** Si l'on connaît la consommation du montage électronique en fonction de **V**, (*Facile : Il suffit de la mesurer en faisant varier une tension appliquée en "V".*) par un calcul idoine on peut en déduire le courant débité par **S**. Un tel calcul supposerait que la résistance interne des cellules photovoltaïques soit constante. Hors elle dépend directement de leur éclairage. Du coup un calcul informatisé devient illusoire. On doit donc **mesurer en temps réel le courant fourni par le panneau solaire**. La méthode archi-classique consiste à insérer en série un shunt et à mesurer la chute de tension à ses bornes. Pour obtenir une précision suffisante, il importe de rechercher une plage de tension de l'ordre de 5v pour optimiser l'usage des convertisseurs analogiques vers numériques des entrées CAN de la carte Arduino. Après de nombreux essais le choix s'est porté sur un shunt de  $10\Omega$  sans trop pénaliser le courant maximal qui pourra être fourni par **S**. La Fig.47 montre l'évolution du schéma pour satisfaire ces impératifs. Comme Arduino ne peut pas "être placé en série", pour mesurer  $\Delta U$  aux bornes du shunt **SH** on va mesurer la tension **V1** avec **A1** et **V2** avec **A2**. Par simple différence on calculera la valeur de  $\Delta U$ . Si l'on considère la chute de tension aux bornes de la diode **D1** de type 1N4002 en fonction du courant qui la traverse, valeurs mesurées et précisées dans le tableau de la Fig.48 on constate que dans la zone utile coloriée en jaune,  $\Delta U$  varie notablement. Pour ne pas dégrader la précision concernant la mesure de  $\Delta U$  aux bornes de **SH** on branchera **A2** en amont de **D1**. Le courant total débité par **S** sera facile à déduire et égal à :  $I = (V1 - V2) / 10$ .



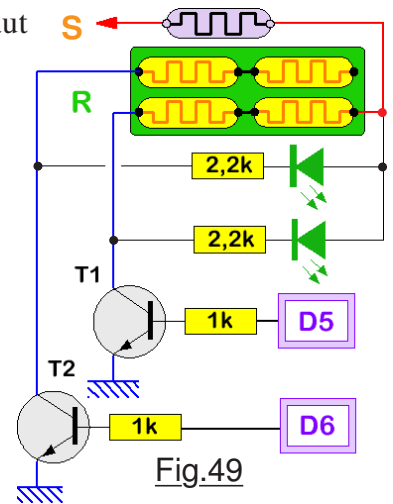
### Caractéristiques de la diodes D1.

| I (mA)         | 600  | 500  | 400  | 300  | 200 | 100  | 50   |
|----------------|------|------|------|------|-----|------|------|
| $\Delta U$ (v) | 0,85 | 0,84 | 0,82 | 0,81 | 0,8 | 0,79 | 0,77 |

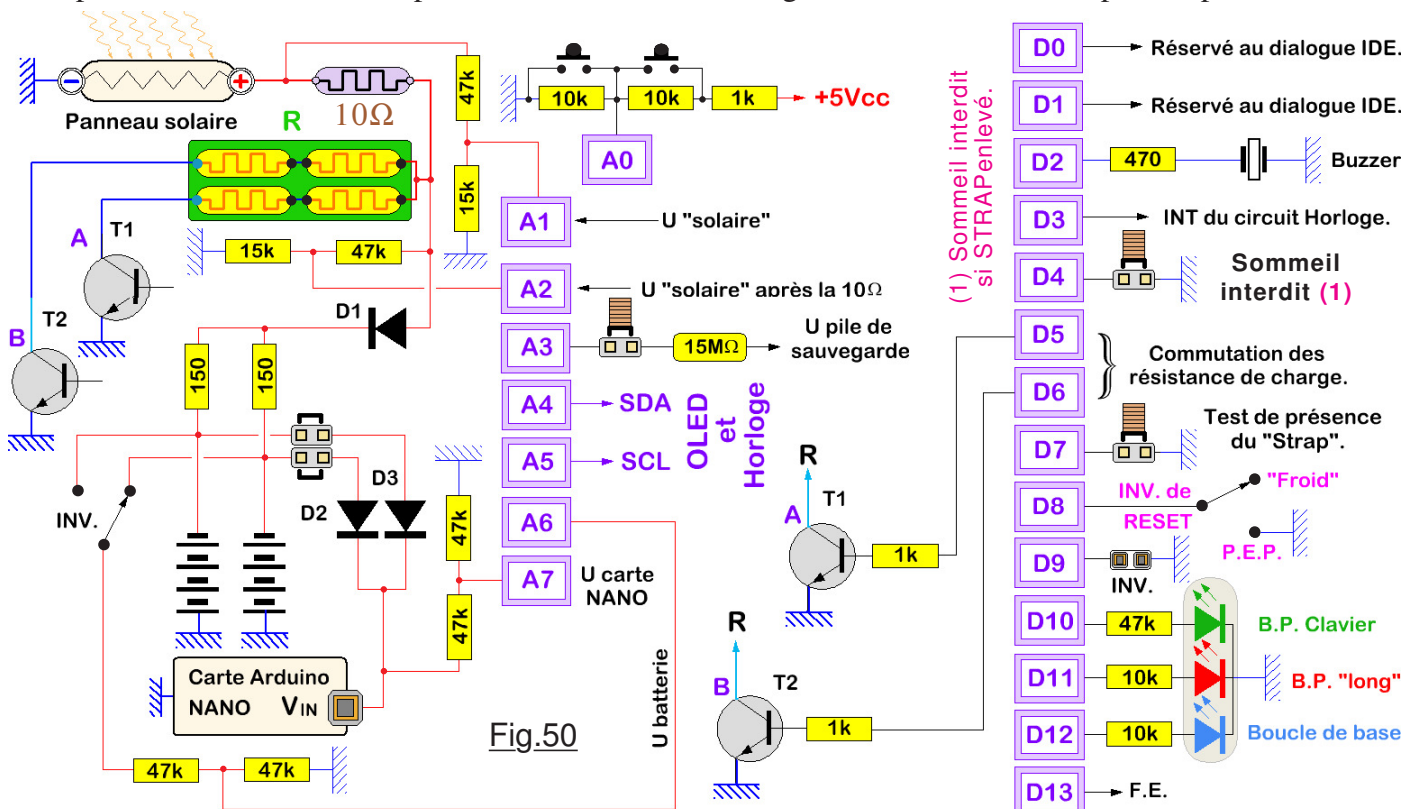
Fig.48

**Troisième difficulté :** Nous avons vu que si l'éclairement est faible il faut éliminer la consommation engendrée par les résistances de charge **R**, pour **privilégier le rechargement des deux piles rechargeables**, priorité maximale. Pour respecter cette contrainte, le point "froid" des résistances **R** ne va plus directement à la masse **GND** mais sera connecté au moyen de deux sectionneurs électroniques constitués par les transistors **T1** et **T2**. Les résistances de charge **R** étant constituées de deux sections, chacune composée de deux résistances de puissance de **68Ω**, il devient possible de les commuter séparément. On peut ainsi doser à deux niveaux la charge imposée aux cellules photovoltaïques **S**. Vu que rien n'interdit d'augmenter la charge de quelques mA, on place deux diodes électroluminescentes vertes en parallèles sur les sections **R** pour visualiser l'état des transistors **T1** et **T2**. N'importe quel modèle du genre 2N1711 conviendra car fonctionnant en "Saturé/Bloqué" ces transistors ne dissipent que peu d'énergie et ne chauffent pas. Inutile de prévoir un quelconque radiateur pour les refroidir. Sur le prototype ce sont des CII2670 car ces éléments étaient disponibles dans "mes stocks de récupération". Compte tenu de leur gain en courant, les résistances de base fournissent des courants largement suffisants pour les saturer lorsque **D5** et **D6** sont à "1".

**19) Schéma complet de l'électronique pilotée par la carte Arduino NANO.**



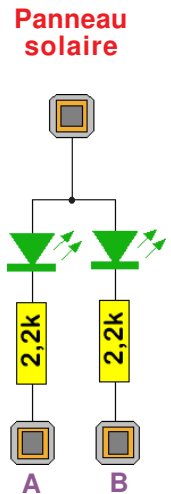
Détaillé sur la Fig.50 proposée ci-dessous, les diodes électroluminescentes vertes en parallèles sur les sections **R** ne sont pas représentées pour simplifier le dessin. Compte tenu du "faible" nombre d'options envisagées pour cette application, dès le début un clavier ne comportant que deux boutons poussoir a été adopté. Ces deux B.P. seront gérés par l'entrée analogique **A0**. L'utilisation d'un petit écran OLED d'une part, et d'un module Horloge/Calendrier d'autres part imposent la mise



en œuvre d'une ligne I2C qui sur Arduino monopolise traditionnellement les broches "analogiques" **A4** et **A5**. Comme un petit avertisseur sonore de type Buzzer complète l'écran d'informations graphique, ce dernier est piloté par la sortie binaire **D2**. On ne branche rien sur **D0** et **D1** qui sont requises pour le dialogue série USB avec l'**IDE** en phase de développement logiciel. La broche binaire **D3** est nécessaire au pilotage du circuit Horloge, usage imposé par la bibliothèque associée. Les études préliminaires ont montré que deux LEDs seraient utiles pour visualiser l'état du petit clavier. Une LED verte pilotée par **D10** signalera l'appui sur une touche, ou l'attente d'une frappe au clavier. La gestion d'un nombre élevé de fonctions



avec seulement deux touches est facilitée par la *notion d'appui court* ou *d'appui long*. Dès qu'un enfoncement dépasse la durée minimale d'un clic considéré comme long, une LED rouge pilotée par **D11** s'allumera. Vu que l'on dispose de plus de sorties binaires sur l'ATmega328 que n'en impose cette application, on peut se permettre "d'en gaspiller". (*C'est la raison qui nous a déjà poussés à ne pas utiliser D0 et D1.*) Aussi, une LED bleue clignotera une fois par seconde pour visualiser le bon fonctionnement de la boucle de base **void loop()** du logiciel. Pour minimiser la consommation sur les accumulateurs en période "nocturne", cette dernière sera "pulsée" par de courts flashes lumineux. La durée est programmée pour avoir l'activation la plus courte possible, compatible toutefois avec une observation diurne efficace. Sur le schéma proposé, on utilise une LED triple à cathodes communes, car cette dernière était disponible en local, et ainsi fait gagner de la place. Naturellement vous pouvez librement la remplacer par trois composants séparés, et sélectionner les couleurs de votre choix. Notez au passage que diverses broches de sorties peuvent être permutées. L'implantation définitive résulte de choix modifiés lors de l'étude du circuit imprimé pour en faciliter la conception. Pour information, il aurait été possible de ne concevoir qu'un seul circuit imprimé principal supportant l'intégralité des composants. (*Mis à part le clavier bien sûr.*) Vous constaterez que sur le prototype on "éparpille" l'ensemble de l'électronique sur plusieurs petits modules. Il ne faudra pas vous en étonner, car c'est la conséquence d'un développement dont plusieurs remises en cause ont imposé des ajouts et un empilage "gigogne".



**P**ouvoir surveiller les divers paramètres physiques de notre petite application coule de source. Dans ce but on utilise l'entrée analogique **A6** pour mesurer la tension sur les piles rechargeables et ainsi pouvoir estimer leur niveau de charge ou de décharge. Par ailleurs, l'entrée analogique **A7** sera réservée pour mesurer la tension sur l'entrées **VIN** de la carte Arduino. Enfin, la carte Arduino NANO fournissant huit entrées analogiques possibles, on peut utiliser **A3** pour surveiller la tension de la petite pile de 3,3v qui sur le module horloge sauvegarde en permanence le fonctionnement quand le module n'est pas alimenté en +5Vcc. Comme il est vital de ne pas consommer de courant sur cette petite pile alcaline de faible capacité, une résistance de **15MΩ** est insérée en série avec **A3**. (*Voir plus avant les modifications à effectuer sur le petit module.*) Pour les mêmes raisons, inutile de laisser la **15MΩ** en permanence branchée sur **A3**. C'est la raison pour laquelle un petit "strap à languette" permet de l'isoler. Une bonne idée consiste à prévoir un petit connecteur HE14 qui autorise son placement en deux positions. Quand il est débranché de **A3**, on le "range" juste à côté. Les deux picots de réception forcent alors un état "0" sur l'entrée binaire **D7**. De cette façon, sur l'écran la valeur de la tension sera remplacée par "///" prévenant l'opérateur que la mesure n'est pas effective, invitant ce dernier à déplacer provisoirement le "strap à languette" pour faire afficher la valeur de la tension s'il le désire. La sélection de la pile rechargeable testée par l'entrée analogique **A6** sera effectuée manuellement à l'aide d'un inverseur. Comme on dispose de plus de broches d'interfaçage que nécessaire, on adoptera un inverseur double. Ainsi, l'une de ses sections sera testée par l'entrée binaire **D9**, et ainsi préciser automatiquement sur l'afficheur quel est l'élément actuellement mesuré. (*Et oui, on donne dans le luxe, sans compter que l'on va persister et abuser dans ce sens avec le logiciel !*)

Notez au passage que **D2** et **D3** ne sont pas reliées directement aux accumulateurs rechargeables, mais par l'intermédiaire de connecteurs HE14 à deux picots. Au moyen de "straps" on peut ainsi à convenance isoler ces sections pour effectuer les essais de validation tant matérielle que logicielle.

#### Nomenclature pour le circuit imprimé principal, le clavier et le petit module à deux LEDs vertes.

Une LED tricolore.  
Deux LED vertes.  
3 diodes.  
3 Condensateurs. (\*)  
2 x 150Ω 1/2W.  
4 x 1kΩ.  
2 x 2,2kΩ.  
7 x 10kΩ.  
1 x 15kΩ.  
5 x 47kΩ.  
1 x 15MΩ.

Fig.51

(\*) Voir l'encadré page suivante.

**Le schéma étant entièrement défini, il nous reste :**

- À le concrétiser matériellement,
- À loger le logiciel dans la petite carte Arduino NANO,
- À valider le matériel,
- À valider le logiciel.

### Adapter les valeurs à votre réalisation.

**G**lobalement, l'intégralité des valeurs proposées sur les schémas électroniques conviennent. Il reste toutefois quelques éléments dont on devra éventuellement adapter les valeurs. Par exemple sur la nomenclature des composants en Fig.51 les valeurs des trois condensateurs ne sont pas précisées. Il s'agit d'ajouter des condensateurs de découplage sur l'énergie d'alimentation. Ces derniers ne sont pas obligatoires. J'en place toutefois systématiquement, par raison de discipline technique et par sécurité. Leurs valeurs ne sont absolument pas critiques. Ce n'est que pour illustrer le dessin du circuit imprimé que les valeurs de ceux qui y figurent sont indiquées. Prenez toutefois la précaution pour le condensateur polarisé de vérifier sa tension de service qui doit supporter au moins 30v.

**L'**autre adaptation probable consiste à sélectionner les résistances qui limitent le courant dans les diodes électroluminescentes du composant triple. Le rendement du composant que vous allez insérer ne sera pas forcément identique à celui de mon prototype. Donc, je vous suggère de tester différentes valeurs de résistance pour obtenir avec chaque couleur une luminosité qui convient parfaitement à vos désirs. Ceci étant précisé, les valeurs de mon schéma devraient convenir.

## 20) L'horloge / Calendrier.

**M**entionnée sur le schéma par ses trois branchements sur **A4**, **A5** et **D3**, elle sera chargée, comme sur les ordinateurs, de conserver en permanence la date et l'heure, tout en continuant à fonctionner quand l'appareil est hors tension. De nombreux modules sont disponibles dans le commerce en ligne, et tous se ressemblent, avec toutefois des dimensions différentes et surtout une bibliothèque spécifique. Hors le logiciel d'exploitation que je vous propose est assujéti au modèle que j'ai intégré dans le prototype. Aussi, et bien qu'en principe dans mes didacticiels je ne précise pas les adresses de mes fournisseurs, ici je suis un peu dans l'obligation de faire une exception pour que la compatibilité logicielle soit assurée. Il vous faut pour ça approvisionner la même carte électronique. Je joins à ce didacticiel la bibliothèque qu'il faudra valider dans l'**IDE** pour que le compilateur puisse coder le source. J'ai testé plusieurs modèles, et celui qui a retenu ma préférence est une référence, qui pour une somme pratiquement dérisoire, fonctionne à la perfection. Aussi pour vous faciliter les recherches, et surtout assurer la compatibilité, voici le lien : [https://www.amazon.fr/dp/B01DB8JECC/ref=pe\\_3044141\\_189395771\\_TE\\_3p\\_dp\\_1](https://www.amazon.fr/dp/B01DB8JECC/ref=pe_3044141_189395771_TE_3p_dp_1)

Le dossier de la "library" porte le nom peu évocateur **orbitalair-arduino\_rtc\_pcf8563-1fd3fcfc7941** mais il ne faut surtout pas le changer car il est déclaré comme tel à l'**IDE** et invoqué par la directive :

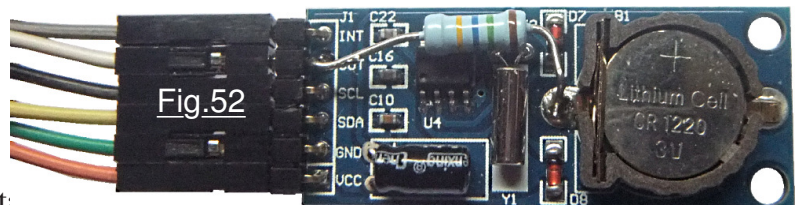
#include <Rtc\_Pcf8563.h>

### Un peu de chirurgie.

**R**assurez-vous, un trois fois rien facile à effectuer. Puisque l'on aborde le sujet de la modification d'un module issu du commerce, notez que pour ma part, souvent je coupe la piste qui sur les minuscules cartes Arduino NANO va à la petite LED rouge qui témoigne de la présence du **+5Vcc**. Je trouve qu'elle est "trop présente" et finalement apporte une gêne visuelle. En particulier, elle engendre parfois dans des coffrets très petits des reflets rouges parasites sur l'afficheur intégré.

Bon, rien d'obligatoire, c'est juste une petite information au passage. (Du reste sur le prototype j'ai pratiqué cette intervention bénigne.) Ce chapitre concerne en réalité le petit module Horloge/Calendrier. Pour accéder à la pile de sauvegarde de 3,3v la résist:

de **15MΩ** est soudée directement sur le circuit imprimé. Elle va du support de la pile jusqu'à l'une des broches du connecteur HE14. Parfaitement visible sur la Fig.52 c'est sur la broche du connecteur soudé HE14 nommée **OUT** que l'on effectue la soudure. Dans la <Galerie d'images> les photographies relatives à ce volet du tutoriel sont dans le sous-dossier <BOLOMETRE> bien que l'on continue à augmenter le numéro d'ordre des images pour éviter toute confusion. Dans ce dossier, **Image30.JPG** précise en gros plan l'endroit sur le support de la pile où on soude la résistance, alors qu'**Image31.JPG** montre clairement que le corps de la **15MΩ** est légèrement surélevé pour ne pas toucher les autres composants du circuit imprimé. En consultant la Fig.53 on peut voir avec précision où il faut couper une piste cuivrée, car si la sortie **OUT** du circuit n'est pas utilisée, il ne faut surtout pas perturber la mesure effectuée sur la résistance de **15MΩ** par les signaux qui peuvent y figurer, et éviter

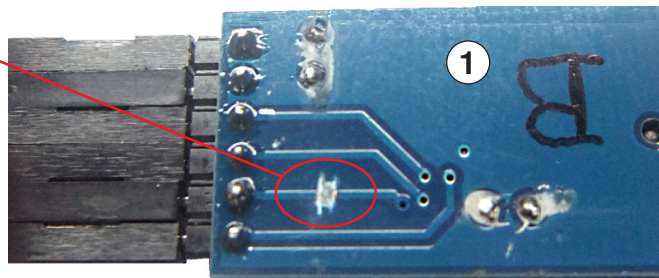




dans l'autre sens une tension parasite qui serait ainsi forcée sur cette ligne électrique. Cette coupure est aisée à réaliser au moyen d'un cutter, quand à souder la résistance, un minimum d'expérience est nécessaire, et surtout un fer à souder de faible puissance avec de la soudure de faible diamètre. Sur le dessous du circuit imprimé on remarque en **1** une lettre **B** tracée avec un feutre indélébile. Il se trouve que vu son prix de vente relativement faible, j'en ai approvisionné trois que j'ai repéré **A**, **B** et **C** pour les différencier. (Nous verrons plus avant l'intérêt de ce repérage. Si j'ai effectué une commande groupée, c'est que plusieurs de mes réalisations intègrent une telle Horloge/Calendrier.) On va maintenant pouvoir passer à l'étude des divers circuits imprimés qui équipent le petit instrument scientifique.

**Ici il faut couper la piste cuivrée.**

Fig.53



On remarque en **1** une lettre **B** tracée avec un feutre indélébile. Il se trouve que vu son prix de vente relativement faible, j'en ai approvisionné trois que j'ai repéré **A**, **B** et **C** pour les différencier. (Nous verrons plus avant l'intérêt de ce repérage. Si j'ai effectué une commande groupée, c'est que plusieurs de mes réalisations intègrent une telle Horloge/Calendrier.) On va maintenant pouvoir passer à l'étude des divers circuits imprimés qui équipent le petit instrument scientifique.

## 21) Réalisation du circuit imprimé principal.

Accompagnant la petite station scientifique, deux livrets sont disponibles dans la liste des fichiers fournis avec ce didacticiel et mentionnés en page 26. Souvent, je me contente d'un seul manuel pour mes réalisations, incluant les protocoles d'utilisation et l'aspect maintenance. Pour ce projet il m'a semblé plus judicieux de séparer l'aspect utilisation de celui de la réalisation et de la maintenance, les fichiers étant respectivement nommés **Manuel d'UTILISATION.pdf** et **Notice de maintenance.pdf** prévus pour être imprimés. Ainsi, sur le terrain le manuel des protocoles est plus simple à utiliser et moins encombré de pages techniques qui ne servent que plus épisodiquement. Pour consulter les dessins des circuits imprimés que nous aurons à réaliser, c'est donc dans le livret "**Bolomètre. Maintenance électronique**" qu'il faudra rechercher les informations nécessaires.

### ► Une réalisation un tantinet précipitée.

Il n'est pas inutile de faire appel à un expert pour se rendre compte que la matérialisation du circuit électronique relève d'une hâte évidente. Il saute aux yeux que par certains détails la conception du circuit imprimé principal frise le "bricolage". Par exemple sur la Fig.54 ajouter en **1** le petit circuit gigogne de mesure du courant montre une arrivée improvisée de ce module qui pouvait fort bien constituer un ensemble unique avec une plaque un peu plus longue. (Pour la rigidité cette solution serait bien préférable.) Quand on observe le connecteur RESET en **3** soudé sur le dessous, manifestement ce dernier a été ajouté tardivement. Quand au connecteur HE14 qui permet de suspendre le mode Sommeil, en observant en **2** et surtout la Fig.55 il devient évident qu'il s'agit d'une modification de dernière minute. En particulier il a fallu couper la piste cuivrée alors que tout était en place et notamment les connecteurs HE14 qui supportent la carte Arduino NANO. Autant dire que cette petite opération chirurgicale n'était pas foncièrement facile à mener. Le petit fil (Jaune sur la Fig.55) lui aussi montre clairement une opération de "rafistolage". Toutes ces faiblesses résultent du fait que pour pouvoir effectuer des premières expérimentations "en réel", il fallait que l'électronique soit déjà bien avancée. Cette expérience sur le terrain a induit une foule d'améliorations qui se sont greffées sur l'ensemble, avec molte reprises du fer à souder.

**EN RÉSUMÉ :** Bien que la solution décrite soit tout à fait opérationnelle, le circuit imprimé mériterait une "refonte" pour inclure **1** et surtout regrouper les connecteurs HE14 de façon plus rationnelles que sur le circuit imprimé actuel. À vous de voir si le jeu en vaut la chandelle.

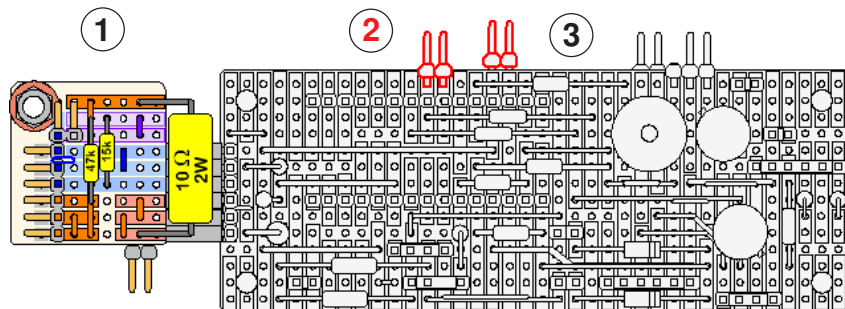


Fig.54

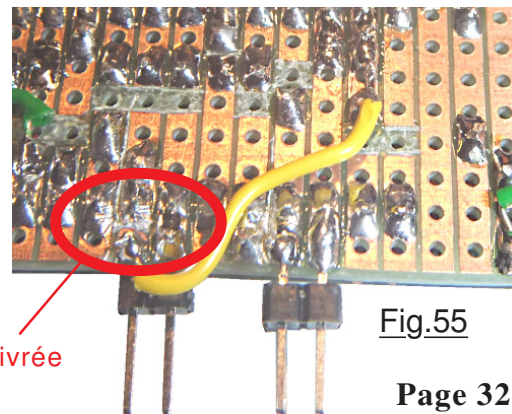


Fig.55

**Attention : La piste cuivrée est coupée ici.**

## ➤ Interprétation des dessins des circuits imprimés.

Autant vous prévenir qu'il me semble totalement prématuré de passer à la suite si vous n'avez pas imprimé et assemblé [Manuel d'UTILISATION.pdf](#) et surtout [NOTICE technique du BOLOMETRE.pdf](#) qui sont impératifs pour aborder la réalisation matérielle. Notons au passage que le livret technique est particulier. Il comprend deux "cotés" assemblés tête bêche. L'une des orientations concerne l'aspect matériel, alors que l'autre "chapitre" regroupe tout ce qui concerne le logiciel. Pour diverses raisons d'optimisation, le **Circuit imprimé principal** n'est pas décrit dans le manuel technique, mais dans une fiche à part. On peut y observer des zones qui ressemblent un peu à celle représentée sur la Fig.56 avec plusieurs fils voisins qui sont représentés les uns à côté des autres comme montré dans l'encadré **X**. Dans la réalité, ils sont les uns au dessus des autres comme visible sur la photographie en **Y**. Inutile de préciser que l'on soudera en premier ceux de dessous, puis la deuxième "couche" et éventuellement comme c'est le cas présenté ici le troisième niveau en dernier. (*Attention, cet exemple ne concerne pas le bolomètre mais un autre dispositif.*) Le dessin sur ordinateur met à notre disposition une palette de couleurs infinie. Les dessins des circuits imprimés en abusent pour différencier, avec le rouge pour le **+5Vcc**, le orange pour le **+9Vcc**, le bleu pour **GND**, le **violet pour une ligne d'Entrée/Sortie** etc. Nous savons que les circuits vus coté composants font comme si la plaque cuivrée était transparente pour laisser visibles les pistes conductrices. Pour réaliser les petits ponts électriques, on ne peut utiliser que les conducteurs disponibles. Le pont orange est devenu jaune, le violet vert et le rouge sans isolant. Il ne faut donc pas chercher à établir un lien quelconque entre le dessin théorique et la réalité montrée sur les photographies.

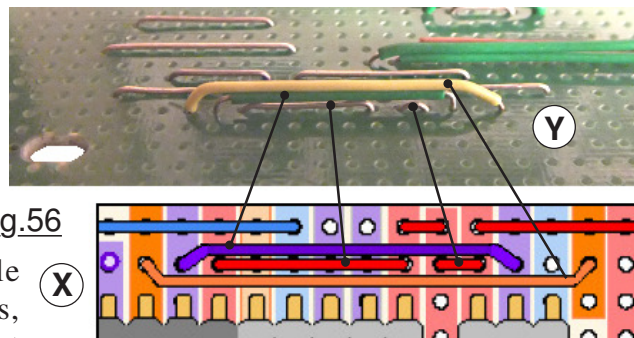


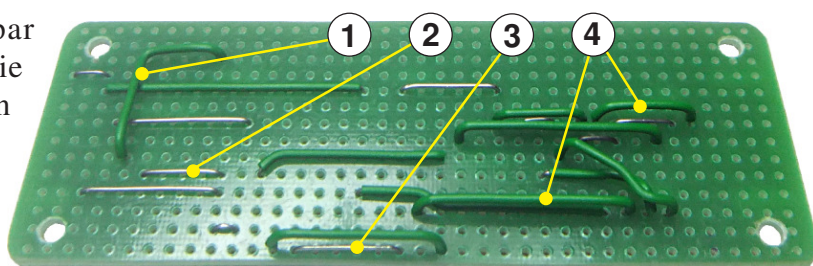
Fig.56

## ➤ Réalisation du circuit imprimé principal.

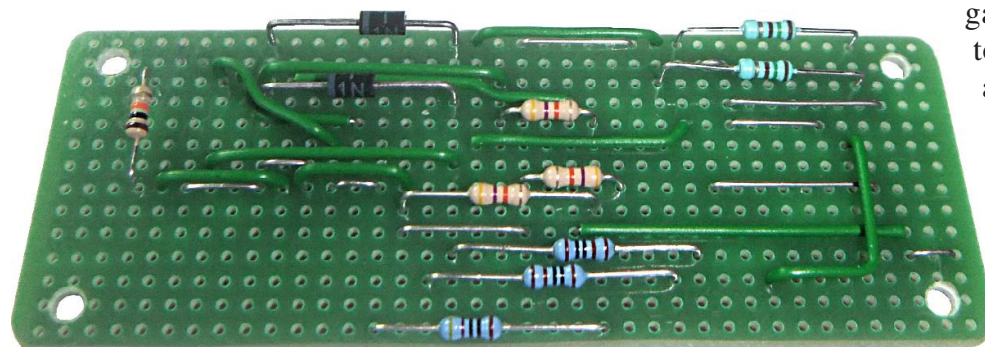
Fig.57

Opération facile si l'on procède par étapes en respectant une chronologie "logique". Comme une photographie est bien plus parlante qu'un long texte verbeux, nous n'allons pas nous en priver et puiser notre inspiration dans la [<Galerie d'images>](#).

En particulier [Image32.JPG](#) présente la



plaque en cours de préparation, opération qui consiste, rien de nouveau, à couper les pistes cuivrées. Sur cette photographie "truquée" la coupure "tardive" est visible, car si l'étude du dessin n'est pas reprise, cette séparation est impérative et bien plus commode à faire à ce stade du projet. Sur le gros plan proposé en [Image33.JPG](#) les coupures réalisées au "cutter" semblent profondes. Ce n'est qu'une illusion, seul le cuivre de faible épaisseur a été retiré. C'est parti pour la 3D, le fer à souder est chaud. La photographie [Image34.JPG](#) reprise en Fig.57 montre la première étape qui consiste à réaliser les ponts. Certains comme **2** et **3** sont réalisés en fils dénudés. Il me semble plus sérieux d'employer du fil isolé quand deux liaisons se croisent comme en **1** ou lorsque des fils sont situés les uns au dessus des autres comme en **4**. Observez également [Image35.JPG](#) la zone la plus "chargée" en ponts de câblage qui est présentée en gros plan sur la photographie. Puis, l'intégralité des "straps" étant en place on passe, comme présenté en Fig.58 au soudage des "composants horizontaux". Une fois encore, quitte à me répéter lourdement, prenez

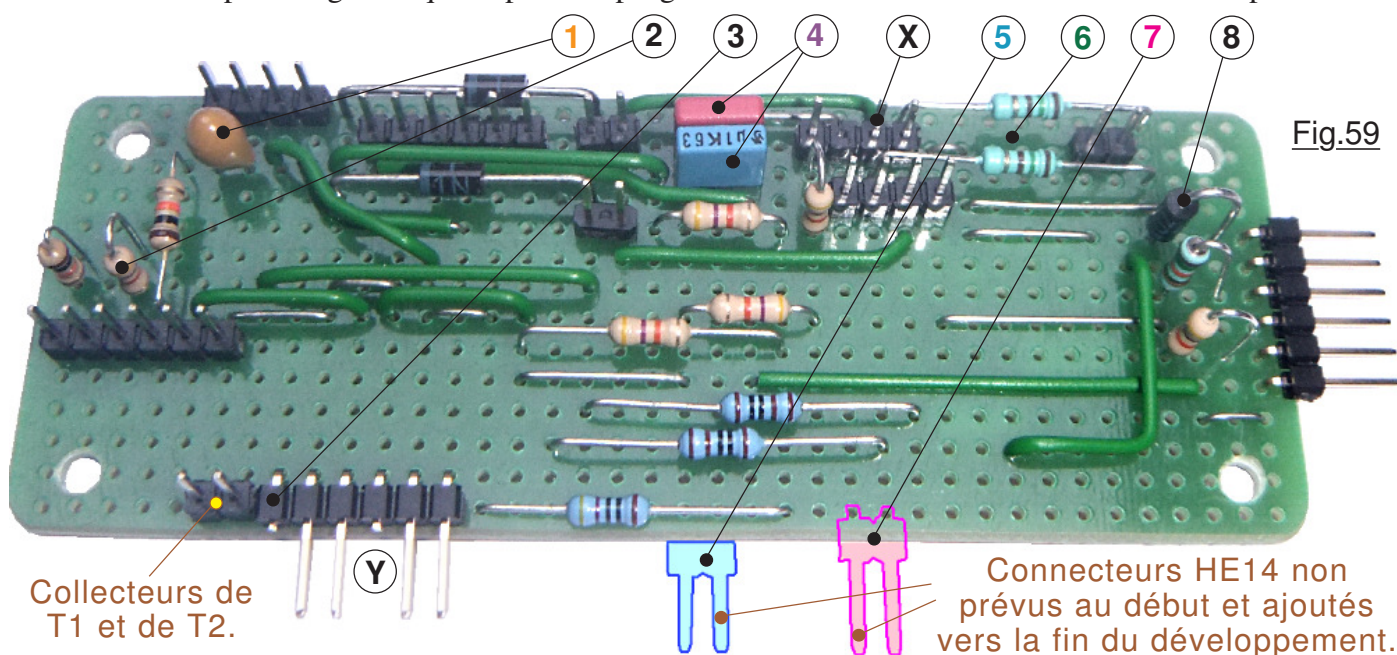


garde au fait que sur les images tout semble gros. Ce n'est qu'une apparence, dans la réalité il faut manipuler cette quincaillerie avec des pincettes, ou si vous préférez, manipuler avec soins. Sur la Fig.58 les diodes sont volontairement écartées

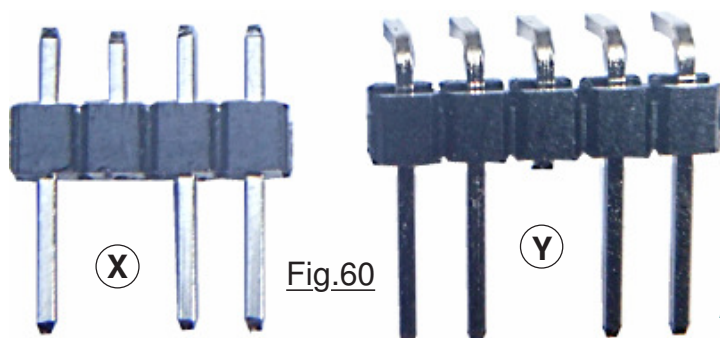
Fig.58



de la plaque cuivrée. Les résistances pas forcément. En retournant le circuit pour les souder, elles glissent dans les trous d'où certains espacements involontaires mais sans importance. Du reste je ne soude qu'un coté. Puis retournant le circuit je les déforme avec douceur pour qu'elles soient relativement parallèles à la plaque. Ensuite je soude l'autre coté et passe à un autre groupe de composants. Comme le suggère [Image36.JPG](#) le moment est venu de souder les composants verticaux en commençant par les moins hauts, c'est à dire les petits connecteurs HE14. Bien visible sur [Image37.JPG](#) une pince auto-serreuse facilite grandement l'opération en maintenant bien en place ces éléments rebelles. Révélatrice d'une image saisie lors de la réalisation du prototype, la photographie Fig.59 ne comporte pas l'intégralité des composants qui en fin de développement viennent "encombrer" le circuit. Par exemple en [6](#) se trouve actuellement un autre connecteur HE14 à deux broches relié sur le dessous à la broche **D8** de l'ATmega328. Par ailleurs, ont été soudés bien après sur le dessus en [7](#) un connecteur coudé à deux picots pour pouvoir y brancher en externe un bouton de RESET facilitant la modification du logiciel. Sur le dessous, en [5](#) figure actuellement un autre connecteur HE14 "soudé à plat" sur les pistes cuivrées pour recevoir le "strap" à languette qui impose au programme d'autoriser le mode sommeil sur le processeur.



Pour gagner de la place sur la plaque et "compacter" au maximum l'ensemble, certaines résistances telles que celles en [2](#), ainsi que la diode en [8](#) sont assemblées verticalement "en épingle". Je vous recommande de les placer au raz de la plaque et de couder le fil de liaison au plus court pour minimiser l'encombrement vertical. Viennent ensuite les condensateurs tels que [1](#) et [4](#) qui servent au découplage de l'alimentation et dont les valeurs de capacité ne sont pas du tout importantes. Seule sera à prendre en compte pour [1](#) la tension de service, et ne pas choisir un composant dont la valeur de service serait inférieure à 30v environ. Une petite mention s'impose pour le connecteur [3](#). C'est un "résidu" HE14 à une broche qui ne sert plus et qui a été écourté pour ne pas créer une confusion avec le connecteur voisin **Y**. Fonctionnellement, pour **Y** il serait possible de n'installer que deux HE14 à deux broches, puisque ces derniers reçoivent un "strap" à languette qui sera placé soit à droite, soit à gauche. Il se trouve qu'initialement j'avais soudé un connecteur à cinq picots. Pour éviter toute confusion sur les branchements, la broche centrale a donc été coupée au raz du support. Il est évident qu'en ce qui vous concerne, deux éléments plus petits conviendront parfaitement. Est-il bien nécessaire de préciser qu'il faut souder tous les connecteurs à ce stade, et de



couper comme visible sur la Fig.60 les broches surabondantes avant soudure ? L'[Image38.JPG](#) complète avantageusement la Fig.59 et surtout en gros plan sur [Image39.JPG](#) on peut situer la zone des transistors et du buzzer. Il est manifeste que la densité de population sur ce circuit imprimé est importante, raison pour laquelle *l'assemblage n'est commode et sans problème que si l'on procède avec méthode et dans l'ordre.*

L'[Image40.JPG](#) en gros plan démontre des soudures "bien mouillées" dont il faut contrôler la qualité au fur et à mesure de l'avancement des travaux. En particulier, avec une loupe à fort grossissement s'assurer que l'étain n'a pas réuni deux pistes voisines. Oui, je sais bien que ça a déjà été souligné, ceci dit je suis persuadé que si je n'insiste pas lourdement, vous serez trop tenté de "foncer la tête dans le guidon". **Un problème détecté le plus tôt possible sera infiniment plus facile à contourner.** Par exemple, le risque est grand de souder les liaisons en se trompant de piste. Pour vous en convaincre, l'[Image41.JPG](#) en est un exemple typique. Heureusement, le contrôle continu a révélé immédiatement ce hiatus qui a été corrigé avant de mettre sous tension l'ensemble. La suite consiste à souder les composants les plus "hauts" en commençant par les deux lignes HE14 qui supportent la carte Arduino, puis les transistors et le BUZZER. Il importe de surélever ce dernier en intercalant comme visible sur la Fig.61 une rondelle isolante pour le rehausser de quelques millimètres. (Voir également [Image42.JPG](#) et [Image43.JPG](#)) Sans cette précaution, la partie arrière du connecteur HE14 interférerait en **A**, zone sur la Fig.62 encerclée en rouge. [Image44.JPG](#) saisie en gros plan permet de mieux situer les différents connecteurs. Pour souder les deux lignes de la carte Arduino NANO, pour ma part je les insère sur cette dernière. Puis, le tout étant en place (*Dans les*

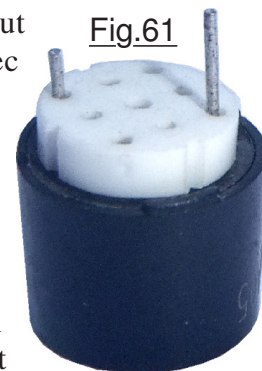


Fig.61

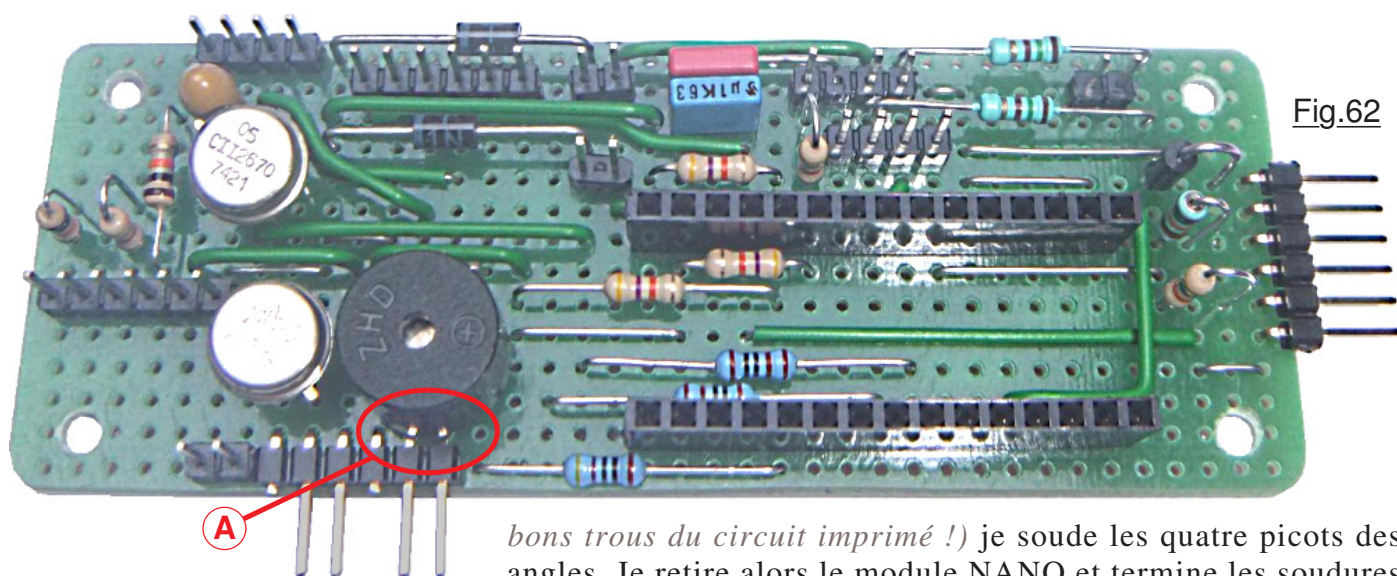


Fig.62

(**A** bons trous du circuit imprimé !) je soude les quatre picots des angles. Je retire alors le module NANO et termine les soudures sur les autres picots. Cette technique nous assure la parfaite orientation des lignes HE14 et par la suite la facilité d'insérer ou de déposer le circuit du microcontrôleur.

### ➤ Mise en place des ponts de liaisons filaires.

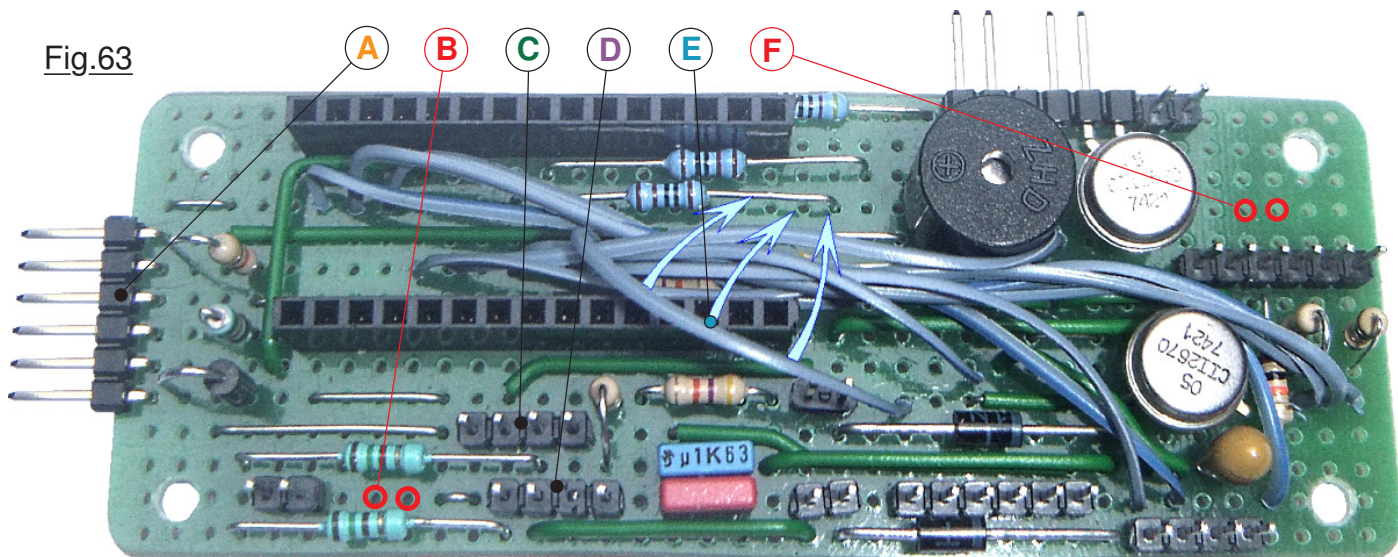
L'opération n'est pas particulièrement délicate, et n'exige qu'un peu de tact et de la patience. Fil à fil on réalise les liaisons en veillant à ce que la longueur des lignes soient assez courtes tout en assurant une soudure sans contrainte. Généralement, la difficulté réside dans le dénudage des extrémités. Pour ne pas galérer, pour ma part j'utilise des limandes de raccordement pour ordinateur. Séparant fil à fil nous obtenons des conducteurs idéaux pour réaliser nos ponts de câblage. Pour dénuder, rien de plus simple. Le fil est mis en contact avec la pointe fine du fer à souder qui fait fondre transversalement la moitié de l'isolant. Puis avec l'ongle on pince l'extrémité de la gaine grise et en tirant "tout doux" le fil se dénude. On peut ainsi préparer le fil alors qu'il est déjà soudé à une extrémité. Au départ j'en prends plus long qu'il ne faut. Puis un coté étant soudé il devient facile de déterminer la longueur "juste ce qu'il faut". On coupe, on dénude, on soude et vla le truc ... un fil de plus est en place.

**- J'espère pour vous que la fiche de câblage est bien à coté du fer à souder !**

Sur la Fig.63 proposée en page 36 la majorité des fils souples de liaison sont soudés sur le circuit imprimé principal. En particulier celui en **E** n'est pas encore déplacé pour le "compacter" avec les autres par le déplacement symbolisé par les flèches bleues. Il manque en **F** le HE14 à deux broches pour se brancher sur la broche **A1** de l'ATmega328. De même en **B** n'est pas encore soudé le HE14 à deux broches qui relie l'inverseur à **D8**. On reconnaît en **A** le connecteur qui sera relié au panneau solaire. En **C** se trouve le HE14 pour brancher les lignes qui vont aux deux accumulateurs. Enfin en **D** on situe le connecteur relié à l'inverseur de sélection de l'accumulateur sur lequel on mesure la tension en service.



Fig.63



**A** ce stade de la réalisation on peut déjà commencer à effectuer les vérifications préliminaires. Attention, quand on va vouloir insérer la petite carte Arduino NANO sur les deux lignes HE14, les fils souples qui ont une fâcheuse tendance à "se gonfler" vont inexorablement s'interposer entre les connecteurs et se faire pincer. Aussi, le problème est radicalement éliminé en confectionnant une "rigole inversée" en carton qui vient coiffer les torons de fils. Quand cette protection est en place, comme sur [Image45.JPG](#) on peut réunir en provisoire les divers modules et tester le fonctionnement. En premier on vérifie tout ce qu'il est possible de mesurer lorsque le circuit imprimé est isolé sans liaisons externes. Puis on insère la carte Arduino. Il nous faut maintenant réaliser les autres circuits de complément.

## 22) Réalisation des circuits imprimés de complément.

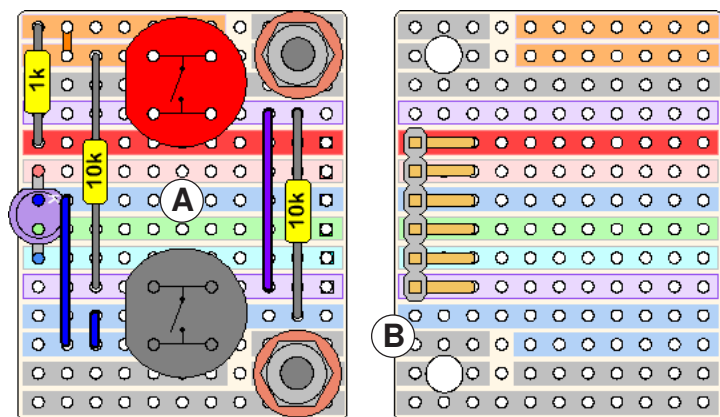
**E** tant donné que le programme teste la présence des divers inverseurs et autres "strap" à languette, il me semble impératif de terminer entièrement le circuit imprimé principal, et d'y ajouter tout ce qui n'était pas encore présent sur les photographies prises au début du développement. Ensuite seulement il sera raisonnable de passer à la suite. Ne cherchez-pas trop rapidement à alimenter la carte et brancher l'afficheur OLED, car le programme explore en permanence le clavier, et si ce dernier n'est pas branché, le comportement ne sera pas normal. Par ailleurs, les protocoles de mise en service et de validation sont rigoureux, car la combinatoire des configurations possibles est assez complexe. C'est la raison pour laquelle, quand il sera possible de brancher tous les périphériques, vous ouvrirez avec fébrilité et précipitation le livret *PROTOCOLES de VALIDATION matérielle et de vérifications logicielles*.

### ► Le petit circuit imprimé du clavier à deux touches.

**P** révu pour être immobilisé dans l'espace par les boulons qui assurent également la liaison entre le coffret et le circuit imprimé principal, les trous de passage des vis doivent présenter un écartement identique sur les deux éléments. Globalement il n'y a pas de particularité vraiment spécifique mis à part la préparation de la LED tricolore et la façon de souder sur le dessous le connecteur HE14 coudé. À l'achat, les broches de la LED sont parallèles et proches les unes des autres. Comme en hauteur elle ne doit pas dépasser de la plaque cuivrée au maximum de 14mm, il faut écarter les broches latérales comme on peut le voir sur [Image46.JPG](#) et sur [Image47.JPG](#) puis on peut alors commencer l'assemblage en commençant

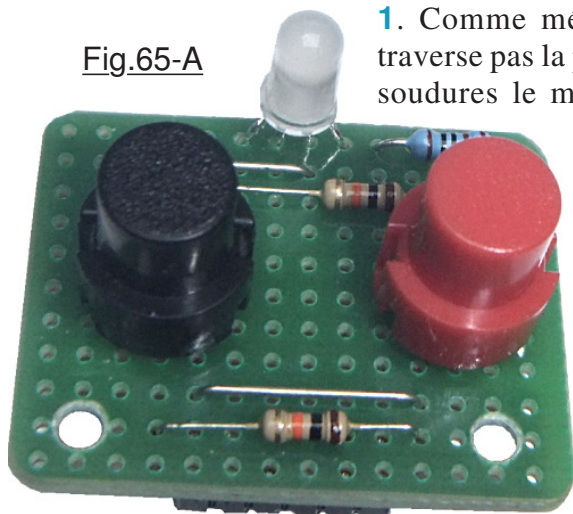
par les ponts de câblage, puis les résistances, puis la LED tricolore SANS SE TROMPER DE SENS. Enfin on termine coté composants par les deux boutons poussoir. Eux aussi, il est possible de mal les orienter, donc il importe impérativement de respecter le positionnement montré sur la Fig.64 en **A** qui précise la façon dont en interne le poussoir effectue la coupure électrique. Pour terminer ce petit module indispensable, il reste à souder sur le dessous de la plaque coté

[Fig.64](#)



piste cuivrées le connecteur HE14 à six broches. La vue de dessous coté pistes cuivrées montre Fig.64 en **B** qu'il est centré sur les trous de passage, mais sans les traverser. Pour faciliter l'insertion du connecteur femelle il est légèrement incliné "vers le haut" comme symbolisé par la flèche bleue en

Fig.65-A



1. Comme mécaniquement il ne traverse pas la plaque percée, seules les soudures le maintiennent en position.

Pour assurer la stabilité et la solidité de cette liaison il importe comme visible en 2 d'effectuer des soudures qui englobent parfaitement les broches tout le tour de ces dernières.

On peut voir en gros plan ces soudures sur [Image48.JPG](#). Sur la Fig.65 le tout petit clavier est achevé. Il serait possible éventuellement de commencer à tester la carte électronique principale, mais avant, autant en finir avec les modules de complément.

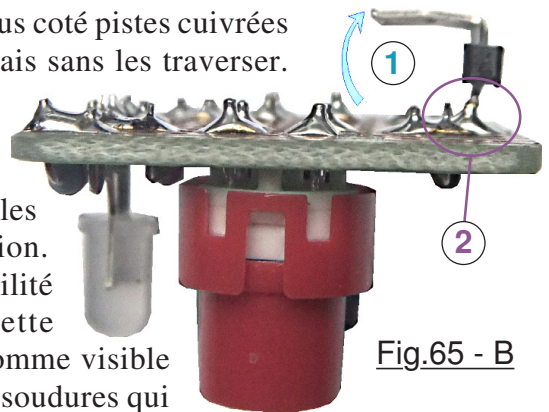


Fig.65 - B

### ➤ Les témoins d'activité de T1 et de T2.

Analysant le schéma Fig.49 en page 29 du tutoriel, nous avons vu que les résistance de charge sont "doublées" par des témoins optiques à base de LED vertes qui témoignent de l'état de conduction ou d'isolation des transistors de commutation **T1** et **T2**. Deux raisons ont conduit à l'adoption d'un petit circuit imprimé indépendant. D'une part cette solution facilite l'étude du coffret qui sera très compact, d'autre part cette idée est survenue alors que le circuit imprimé principal et celui du clavier étaient déjà terminés et opérationnels. Du coup les essais en situation réelle ont montré que visualiser la "puissance consommée" sur les cellules solaires par des LEDS serait plus convivial que d'avoir à consulter les écrans. Montré sur la Fig.66 ce petit module n'appelle que peu de commentaires. Outre les deux LEDs et leurs résistance de limitation de courant, on y observe les trois connecteurs HE14 assurant les liaisons avec le circuit imprimé principal et avec la sortie du panneau solaire ... enfin, pas directement car les études ont montré qu'il fallait encore ajouter "une bricole". Ces trois connecteurs sont un tantinet surabondants. Celui qui est soudé et soudé sur le dessous a été ajouré par la suite pour faciliter les opérations d'intégration et de maintenance. Consultez les photographies [Image49.JPG](#) à [Image51.JPG](#).

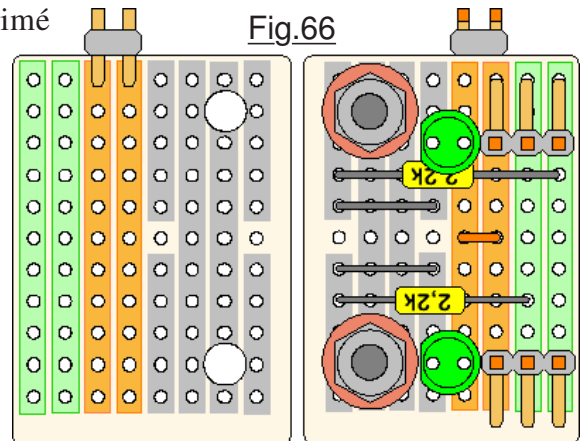


Fig.66

### ➤ Dix ohms de plus pour faire bon compte.

Déterminer les courants qui circulent dans diverses branches du circuit électronique s'est avéré bien plus délicat que les approches préliminaires ne le laissent supposer. Autant pour certaines intensités on peut se contenter d'une évaluation approximative, autant pour le courant total fourni par les cellules photovoltaïques on doit mesurer avec précision, car cette intensité conditionne directement la puissance instantanée et surtout l'énergie que l'on cherche à étudier

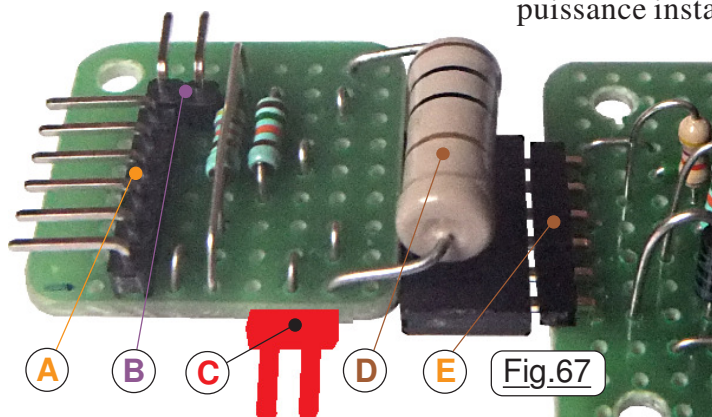


Fig.67

et présenter sous diverses formes. Comme on peut le constater sur la Fig.54 en page 32 de ce tutoriel, il était prévu d'ajouter une résistance de  $10\Omega$  sur un petit module inséré en bout de la carte électronique principale sur le connecteur **E** qui est alors "déporté" à gauche en **A**. Le circuit prévu initialement est montré ici en Fig.67 sur lequel était soudée directement en **D** le shunt de  $10\Omega$  de mesure d'intensité. En **B** on trouve le connecteur HE14 à deux broches pour mesurer



la tension en aval du shunt. Sur cette photographie le connecteur HE14 à deux broches qui permet de mesurer la tension en amont du shunt, directement sur la sortie des panneaux solaires n'est pas encore en place. Dans le pire des cas l'intensité qui va traverser **D** sera de l'ordre de 300mA. Cette intensité engendrera une différence de potentiel de 3V. ( $U = R \times I$ ) La puissance que dissipera cette résistance sous forme de chaleur sera d'environ 0,9W et cette dernière est largement dimensionnée pour ça.

➤ **Une solution correcte n'est pas forcément "parfaite".**

**T**echniquement nous pourrions en rester là, et passer à la réalisation du coffret. Néanmoins, trois aspects ne me séduisent pas dans cette solution qui reste parfaitement exploitable. Les résistances **R** qui dissipent la puissance des panneaux solaires en chaleur sont des modèles surdimensionnés pour des raisons de fiabilité. (Voir la Fig.1 de la notice technique.) Prévus pour des puissances de 10W elles sont incluses dans des dissipateurs à ailettes de refroidissement. Hors ces composants ne dissipent qu'environ 1,2W chacun. On voit que pour une puissance de peu inférieure le shunt n'est pas d'une technologie équivalente. (La qualité technique n'est pas homogène.) Autre détail négatif : Quand on regarde la Fig.68 on constate que pour laisser passer la fiche mini-USB de programmation de l'ATmega328, la résistance

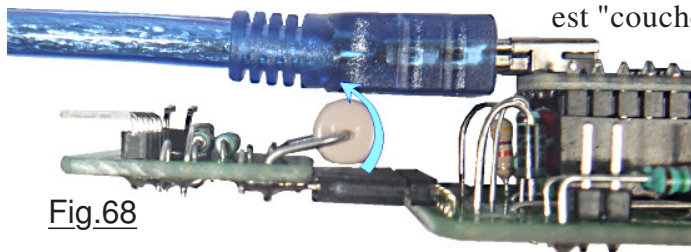


Fig.68

est "couchée sur le côté droit. Toutefois, pour ne pas chauffer le connecteur femelle on est obligé de la dégager un minimum vers le haut comme symbolisé par la flèche bleue. Du coup elle reste relativement proche de la fiche. Certains vont objecter que cette ligne n'est branchée qu'occasionnellement pour reprogrammer le microcontrôleur, sans compter que

la puissance n'est alors pas présente forcément sur le connecteur des cellules solaires. Reste que je n'aime pas trop la promiscuité de ce composant chauffant si proche de la fiche en matière thermoplastique. (Soyons franc, ces arguments ne sont pas décisifs.) Troisième argument qui me semble plus crédible, c'est la localisation de cette résistance. Elle est dans une zone mal ventilée du coffret. Aussi, l'été quand le soleil sera au plus "fort" de la journée, que la dissipation sera maximale et que dans le local où se trouvera le Bolomètre règnera une température caniculaire, je préfère utiliser un composant de type analogue à celui des résistances **R et de le placer dans la zone la plus ventilée du coffret.**

➤ **Changer de stratégie.**

**C**hanger l'emplacement et le type de composant impose un peu de chirurgie dont la Fig.69 symbolise le principe d'action. On retire la résistance actuelle en coupant ses fils rigides de liaison. En **B** on peut constater en consultant la fiche nommée **Plan de câblage des divers modules** que seul le connecteur sera utilisé. J'ai donc coupé ma résistance au raz de la plaque cuivrée. En **A** une liaison filaire "de forte section" sera reliée à la résistance de 10Ω. Sur le prototype le fil rigide du composant a été couté assez haut au dessus de la plaque pré-percée pour pouvoir faciliter la soudure de cette liaison filaire. Pour votre part, contentez-vous de prévoir un picot de soudure, ou soudez directement le petit fil qui sera relié à la 10Ω en traversant la plaque sur l'un des trous disponibles. Ce module étant achevé, on dispose de presque tous les éléments qui seront intégrés dans le coffret. Avant de passer à cette phase finale du projet, réalisons en préambule l'usinage du support des résistances de puissance. (Voir aussi l'Image52.JPG.)

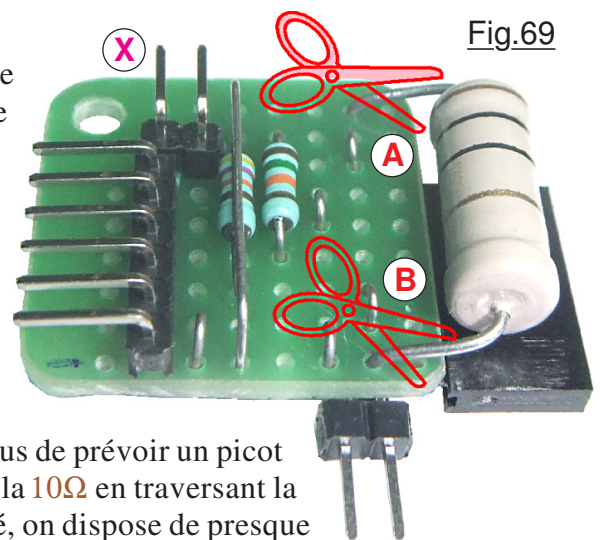


Fig.69

➤ **Résistances à part.**

**P**lacé verticalement dans le coffret, le circuit des résistance forme une "cheminée" qui favorise les mouvements de convection de l'air qui circule à travers l'intégralité de la hauteur du coffret grâce à une multitude d'orifices de ventilation pratiqués sur le dessus, sur le dessous et dans la cloison horizontale intérieure. Le flanc latéral et l'extrémité gauche sont également largement pourvus d'orifices d'aération. Ne dissipant que 5W au maximum ces précautions sont largement exagérées, toutefois je persiste à penser que dans un environnement qui l'été sera forcément relativement chaud, ces précautions vont dans le sens de la fiabilité. En outre, j'ai déjà signalé que j'avais horreur des grandes surfaces, raison

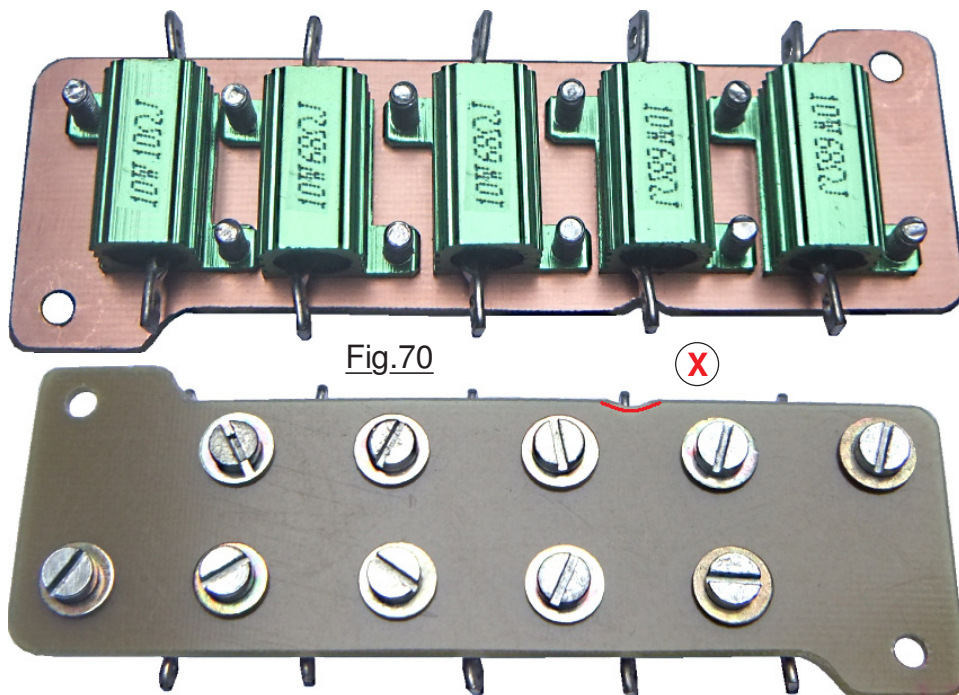


Fig.70

X

participe à "étalement" de façon uniforme la chaleur produite par les résistances. L'ensemble étant globalement symétrique, pour ne pas se tromper au montage et inverser l'orientation verticale, en **X** une encoche est pratiquée pour repérer le bas. C'est important dans la mesure où latéralement les longueurs de fils pour réaliser les liaisons électriques ne sont pas identiques et optimisées en vue de l'assemblage.

### ➤ Taraudage des trous d'immobilisation.

**V**ous avez tous remarqué sur la Fig.70 du haut qu'il n'y a pas d'écrou pour assurer la liaison mécanique. Initialement les résistances étant de petites dimensions, les orifices sont de faibles diamètres. Il serait possible d'employer des boulons  $\phi$  M2. Outre que ce type de visserie n'est pas très courant, l'écrou se trouverait très proche du corps vertical de la résistance. Donc pas facile à tenir avec une clef et ce d'autant plus que le composant voisin fait obstruction. Aussi il est bien plus commode, tout au moins si l'on dispose de l'outillage nécessaire, de tarauder à  $\phi$  M3 ces orifices. Compte tenu du diamètre des trous initiaux, j'ai personnellement utilisé directement le "taraud  $\phi$  M3 finisseur". Pour clore le sujet, je dispose aussi d'une résistance de  $10\Omega$  strictement identique à celle de la Fig.70 dont la couleur pour l'anodisation est orange. C'est celle qui est sélectionnée pour l'intégration définitive, avec pour avantage de ne plus risquer de se tromper dans l'orientation du module lors de l'assemblage ou en opération de maintenance.

## 23) Bricoler n'est pas jouer !

**D**ésolé chères lectrices et chers lecteurs, mais avant de pouvoir passer à la réalisation du coffret, chapitre d'autant plus attendu qu'il constitue l'achèvement matériel de ce projet, je me sens obligé d'ouvrir une parenthèse pour apporter quelques petites précisions que je crois indispensables. Nous savons que ce didacticiel n'a pas été rédigé lorsque l'appareil était entièrement achevé et parfaitement au point. Il faut savoir que pratiquement une année a été investie pour le développement complet. Attendre la fin pour tout rédiger serait infiniment trop indigeste. Aussi, la rédaction du tutoriel est conduite "en temps réel", et du coup la narration n'est pas linéaire et peut intégrer des atermoiements. Ce chapitre sert à décrire quelques petits détails pour m'assurer que l'intégralité des explications vous sera disponible si vous franchissez le pas. Commençons par la Fig.71 qui montre en gros plan en **A** le connecteur HE14 à deux broches qui va sur celui noté **X** en Fig.69 de la page 38. Sur cette photographie il manque encore un petit fil souple qui relie **B** et **D** pour amener **GND** sur la broche de gauche du HE14 situé en **A**. En **C** on retrouve le connecteur qui pont

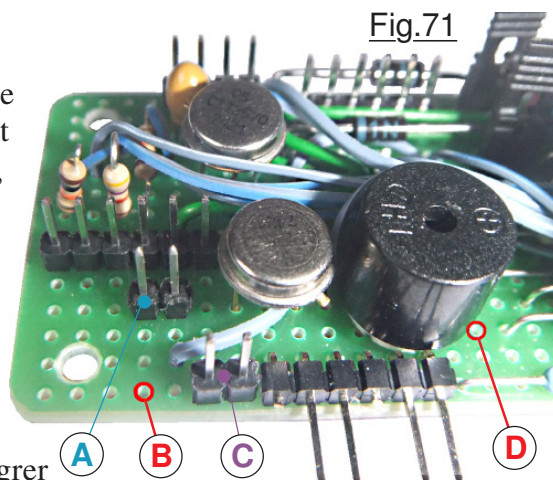


Fig.71



**T1** et **T2** aux résistances de dissipation de puissance. Allez consulter maintenant [Image53.JPG](#) et [Image54.JPG](#) qui présentent en gros plan des connecteurs ajoutés par la suite. Sur la première photographie c'est le coté composants du circuit imprimé principal qui est montré. On y distingue parfaitement le petit connecteur à deux broches qui nous alloue la possibilité de brancher un bouton poussoir extérieur pour faciliter la génération de RESETs quand on procède à une modification du programme. On peut naturellement accéder au bouton de la carte NANO par un orifice prévu dans ce but sur le couvercle, c'est toutefois moins commode. Deux ou trois actions en passant est faisable, mais si l'on s'engage dans une reprogrammation un peu longue, viser avec un stylo à travers le trou prévu n'est pas assez convivial. Sur [Image54.JPG](#) le gros plan est effectué coté pistes cuivrées et permet de voir le pont en fil jaune qui ramène GND sur le connecteur. Notez qu'il faut faire très attention quand on soude cette liaison à ne pas faire un court-circuit au dessus de la petite fente qui isole cette broche de la ligne HE14 qui supporte la carte NANO Arduino. Du reste c'est pour éviter un tel incident et faciliter la soudure que le fil rigide part vers l'extérieur et déborde un peu du circuit.

## **24) La réalisation matérielle du petit BOLOMÈTRE.**

Maintenant que le logiciel a "démontré" un fonctionnement attendu, avec des branchements volants sur les divers circuits imprimés, associé à des plaques à essais interconnectées on va enfin pouvoir se faire plaisir et concrétiser une petite merveille qui tiendra dans la main. Il n'est pas question ici de reprendre en détail toutes les techniques auxquelles je fais appel pour façonner et assembler un petit boîtier et évoquées dans les pages 12 à 15. Riche de ces informations, nous pouvons sereinement aborder en détails les spécificités de notre petite station scientifique, avec, comme pour mes autres chapitres, un grand nombre de photographies illustrant l'avancement des travaux.

### **➤ 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. 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 station électronique sans exaspérations ni énervements. Il s'agit d'un loisir de détente, il faut se faire plaisir et "ne pas viser trop haut". Dans ce qui suit, je vais vous présenter au mieux les petits détails du prototype qui, fortement inspiré de mes autres "productions", 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 :

### **➤ Les dessins réalisés à l'échelle 1.**

Consacrer un temps significatif à étudier dans le moindre détail la conception du coffret permet de gagner un temps fou. Passer plusieurs heures à tracer des vues dans toutes les directions, en coupe et surtout à l'échelle unitaire me semble la seule façon d'aboutir à une solution crédible. C'est une phase INCONTOURNABLE si l'on veut éviter de sérieuses déconvenues. Mince, impossible de mettre en place cette vis. Mince alors, impossible d'introduire le module truc ... trop tard. Il faut tout refaire. C'est la mouise, on s'énerve, et ce qui devait constituer un loisir agréable tourne en galère.

Penser à tout n'est pas immédiat. L'expérience aide considérablement. Pour ma part, ayant pratiqué le dessin industriel une grande partie de ma vie professionnelle, j'ai la chance de "penser volume". Il m'est alors possible de concevoir des coffrets très compacts, bien remplis, tout en ayant une facilité raisonnable d'assembler ou de déposer les différents éléments. Je vous propose, avant d'aller à l'atelier pour couper, limer, percer et siffloter de bonheur, de voir ensemble la conception du coffret. Les dessins que je vous propose sont tracés à l'échelle unitaire et seront précieux pour passer aux actes.

**STOP ! Interdit de tourner la page tant que vous n'aurez pas lu les pages 1 à 3 du fichier**

 **Dessins Echelle 1.pdf et imprimé les deux pages 4 et 5.** Ces deux dernières pages seront indispensables à l'atelier pour tracer, mesurer, usiner les différents éléments. Les dessins ont été affinés sur le document pour que la taille soit réellement à l'échelle unitaire. Toutefois, on n'est jamais à l'abri d'une légère altération dimensionnelle résultant de l'imprimante. Aussi sur la feuille se trouve une échelle graduée à éventuellement découper pour mesurer à loisir sur le dessin imprimé sans se soucier du facteur d'échelle.

### ➤ Les pièces détachées du coffret.

**S**oudées les uns aux autres les divers éléments constituent le boîtier. Ils sont pourvus d'un grand nombre de trous et d'orifices aux formes diverses qu'il faut positionner avec précision. Aussi, il est infiniment plus commode de tracer les contours avec exactitude et usiner ces éléments quand ils sont indépendants, c'est à dire avant l'assemblage. Par exemple sur la pièce entièrement achevée de la Fig.72, le groupe principal est en place. On distingue en dessous la traverse taraudée qui porte les deux vis F90 collées par du vernis à ongles assurant la liaison mécanique du module horloge calendrier. (*Quand cette plaque a été réalisée, en X la résistance de 10Ω est toujours en place car celle de puissance n'était toujours*

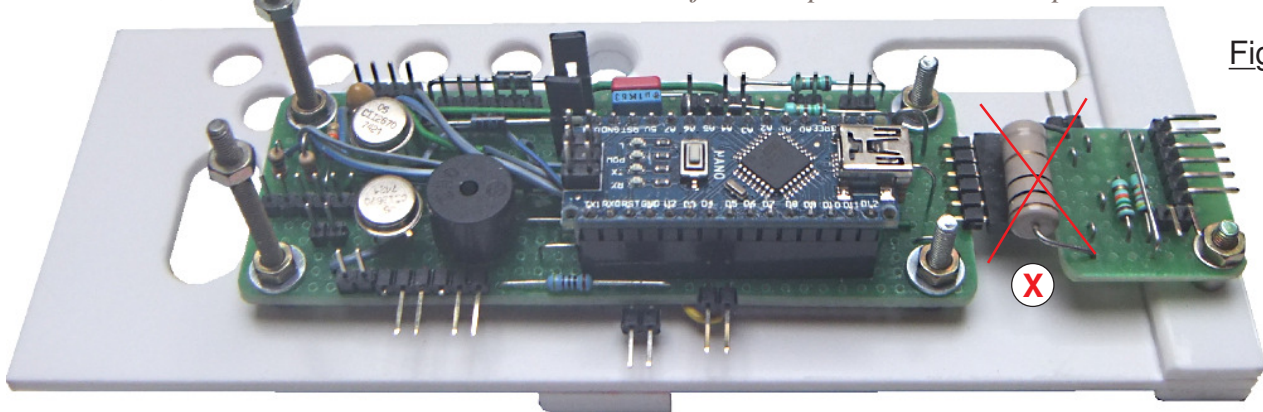
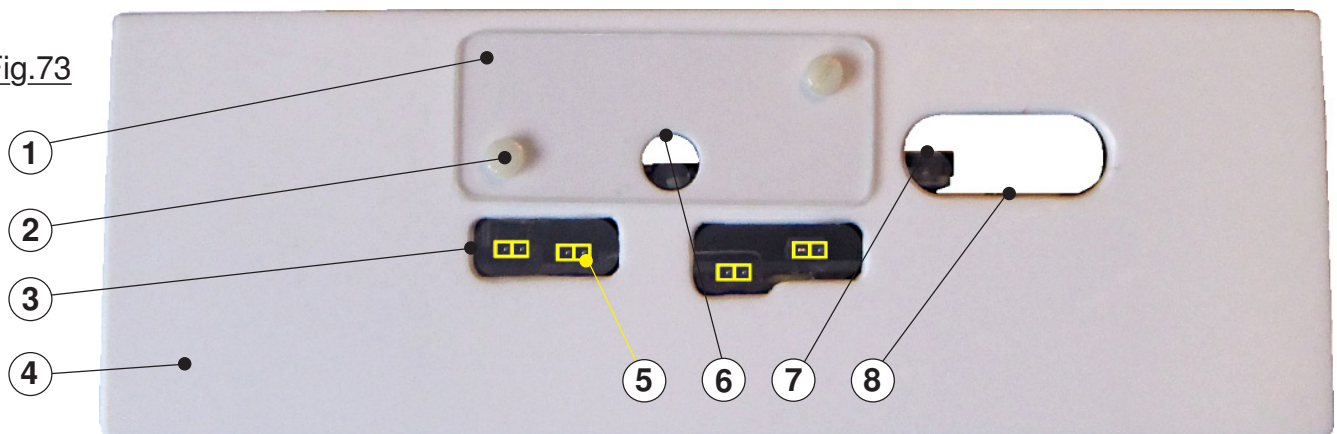


Fig.72

*pas disponible.*) Tous les trous sont usinés, l'élément est "bon pour le service", il ne reste plus qu'à déposer les deux circuits imprimés, mais avant, réalisons les autres pièces. Une étude détaillée de la photographie en [Image57.JPG](#) montre une foule de détails relatifs à cette cloison interne qui constitue l'élément le plus élaboré. Pour les orifices des flancs, il n'est pas évident du tout de faire correspondre les lumières exactement en face des connecteurs. Ma technique bien au point est la suivante : À partir des plans, l'élément est découpé et ajusté avec finesse à ses dimensions précises. Concrètement, je réalise les quatre cotés et la cloison interne en même temps. Puis j'en peaufine avec précision les contours pour que toutes les pièces soient de même hauteur et de longueur identique deux à deux pour les faces latérales. Les angles et les orientations des diverses plaques sont repérés **A**, **B**, **C** et **D** pour établir les correspondances. Observez par exemple [Image58.JPG](#) et [Image59.JPG](#) sur lesquelles figurent ces repérages. (*La plaque située à gauche sur la photographie d'Image59.JPG n'est pas totalement achevée car, comme surchargé en jaune il y a trois orifices d'aération qui ne sont pas encore percés.*)

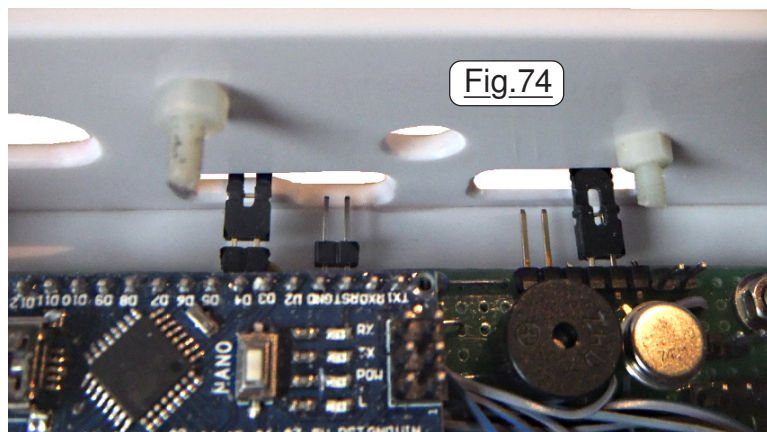
Est ensuite, sur toutes les faces latérales, tracé l'emplacement exact en hauteur de la cloison interne horizontale. Puis, sur l'un des éléments, utilisant le dessin on repère les contours de la (*Ou des*) lumière.

Fig.73



Pour la positionner avec précision, on place bien aligné sur les repères de hauteur la cloison interne avec ses circuits imprimés. On pointe des jalons caractéristiques des lumières à réaliser. Avec les dessins on trace alors les contours et on usine. Pour terminer avec précision on présente la pièce contre la cloison interne et éventuellement on affine le contour de l'ouverture. Par exemple la Fig.73 montre la face avant **4**, celle qui sera vers nous lorsqu'elle est placée bien en position sur la cloison horizontale interne. On peut vérifier alors que les vis nylon **2** qui immobilisent "la vitre" **1** ont assez de jeu avec le circuit imprimé principal. Vous constaterez que les lumières **3** pour les "straps" à languette **5** sont parfaitement centrées. Sur l'image les "straps" ne sont pas en place, et comme les picots des connecteurs HE14 ne

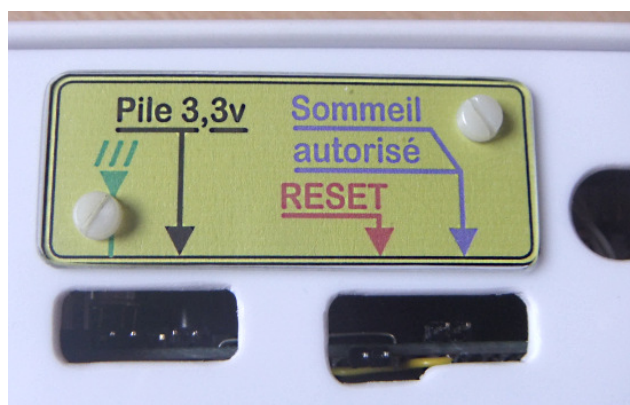




sont pas très visibles, la photographie a été surchargée en jaune. En **6** on observe un trou qui sera caché par l'étiquette. Ce n'est pas une erreur. Cet orifice est prévu pour laisser traverser un tournevis très fin qui aidera à déposer la petite carte Arduino si le besoin s'en fait sentir. Intercaler la pointe de cet outil facilite l'extraction. La grande lumière **8** nous permet de bien voir la mini prise USB **7** de la carte NANO, indispensable pour insérer la fiche proprement quand on désire alimenter l'appareil avec un bloc secteur USB, ou

reprogrammer l'ATmega328 sans avoir à ouvrir le coffret. Comme on peut le constater sur la Fig.74 il ne sera pas nécessaire de raccourcir les vis nylon **2**, il y a largement assez de place entre leur extrémité et la carte Arduino NANO. Si on a soigné les pointages, les tracés et les usinages, les orifices doivent se trouver parfaitement centrés quand on place la cloison centrale à la bonne hauteur. On peut facilement vérifier sur la Fig.75 que l'orifice qui facilite l'extraction d'Arduino est totalement invisible. Sur la version définitive du coffret j'ai utilisé l'étiquette bleue pastel bien plus belle que celle de cette photographie.

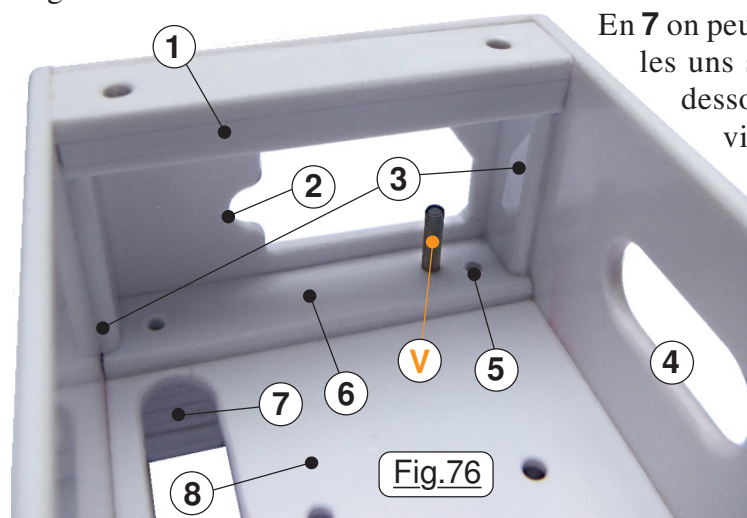
Fig.75



### ➤ Assemblage du corps du boîtier.

Lorsque tous les éléments principaux du corps du coffret sont disponibles, on peut passer à leur "soudure" en utilisant le diluant cellulosique.

Personnellement je prépare l'opération avec beaucoup d'attention et dispose les éléments de façon à ne pas risquer de les intervertir. On ne se trompera pas de sens puisqu'il faut respecter les correspondances des repérages **A**, **B**, **C** et **D**. Une petite équerre est indispensable pour affiner les positions relatives. On colle les cinq éléments entre eux, puis, avant que les "soudures" ne se solidifient on vérifie les équerrages et l'on corrige la géométrie. Durant une heure environ on peut si c'est indispensable séparer les soudures sans excorier les éléments. Aussi, avant la fin de ce délai, quand l'ensemble est collé et semble parfait, on efface tous les tracés de repérage avec de l'alcool ménager, on fonce au bureau et on introduit rapidement tous les modules pour s'assurer "qu'il n'y a pas de couf". Ouf, on a bien mérité un soda, le projet est sur des rails. On redémonte tout ce qui a été intégré pour la validation, et l'on prépare les petits éléments tels que les renforts d'angle, les traverses des écrous prisonniers, la cloison transversale de séparation des accumulateurs. Puis un à un on ajoute par soudure ces pièces au corps du coffret. Par exemple sur la Fig.76 on voit parfaitement les renforts latéraux **3** sur lesquels repose la traverse **1** qui inclut les écrous prisonniers. En **2** la lumière qui permet de brancher le panneau solaire est élargie pour ménager un jeu large au connecteur. En **6** se trouve le renfort horizontal dans lequel est taraudé le trou de la vis collés **V**.



En **7** on peut observer une ribambelle d'éléments collés à plat les uns sur les autres pour réaliser la traverse qui sur le dessous permet l'immobilisation de la semelle par les vis un peu longues qui simultanément solidarise les pieds en caoutchouc. Du reste on voit bien en **5** le trou taraudé qui traverse l'empilage, la cloison intermédiaire **8** et le renfort **6**.

**ATTENTION :** Si vous adoptez exactement les dimensions du prototype, le clavier est très proche de la traverse homologue à **1**. Aussi, et surtout avant de souder cet élément sur le corps, pratiquez avec des limes le dégagement **X** montré sur la Fig.77 prise en gros plan.

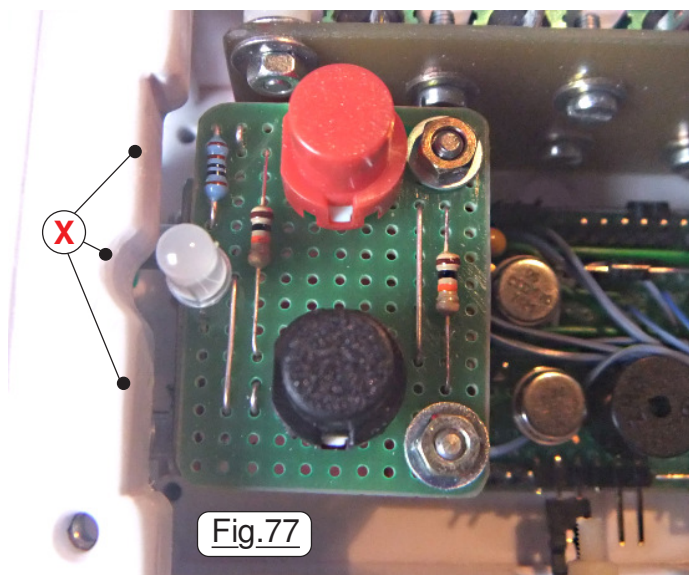


Fig.77

Prenez garde au positionnement des trous sur le flanc latéral gauche. Comme vous pouvez le vérifier sur [Image60.JPG](#) la LED de droite est décalée latéralement de la vis d'immobilisation du circuit imprimé des LEDs vertes. Un rapide coup d'œil sur [Image61.JPG](#) devrait vous convaincre que le coffret est calculé au plus juste, à mon avis faire plus petit risque de conduire à des impasses. Par ailleurs, sur [Image62.JPG](#) on constate qu'effectivement en **E** la distance entre l'écrou et le HE14 voisin à deux broches sont très proche. C'est la raison pour laquelle on ne peut mettre en place n'écrou que si la fiche HE14 n'est pas insérée sur le connecteur. (D'où l'ordre des opérations sur la fiche d'assemblage / désassemblage.) Du reste, cette proximité est parfaitement observable sur

[Image63.JPG](#) qui montre en macrophotographie l'ouverture qui permet de mettre en place la rondelle et l'écrou qui immobilisent de façon rigide le petit circuit imprimé complémentaire. On distingue sous ce dernier l'entretoise métallique de 3mm.

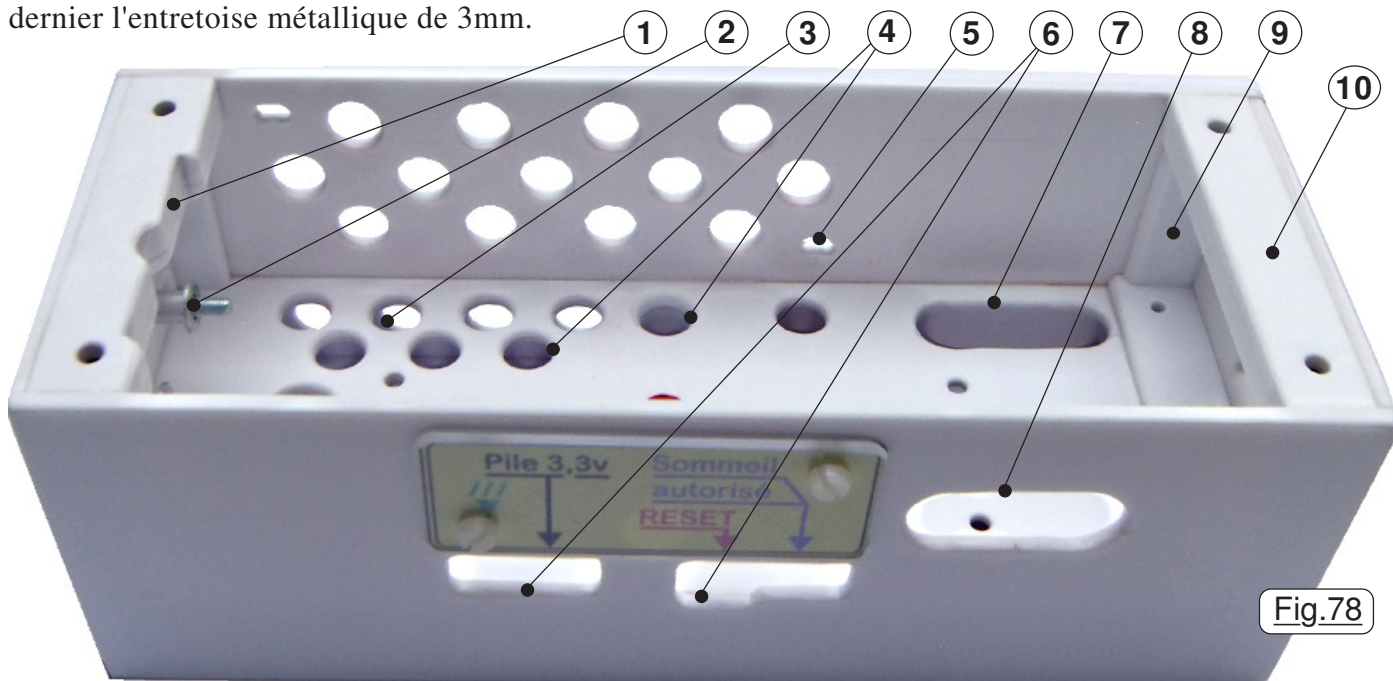


Fig.78

Sur la Fig.78 le corps du coffret est entièrement achevé avec en **1** le dégagement sur la traverse qui inclus les écrous prisonniers. En **2** est en place l'entretoise à collerette sur laquelle sera immobilisé le circuit imprimé des LEDs vertes. En **3** sont repérables les trous de ventilation situés en bas de la face arrière. Ils sont vus à travers ceux en **4** de la cloison interne horizontale. Notez que les deux trous **5** de passage pour les vis qui immobilisent le circuit des résistances de puissance sont allongés pour pouvoir écarter latéralement le module. (Les deux trous initiaux circulaires étaient trop à gauche.) En **6** on retrouve les deux ouvertures pour les "straps" à languette et en **8** la lumière pour voir la prise USB de la carte Arduino NANO. En **7** se trouve l'orifice sur la cloison intermédiaire pour laisser passer les lignes qui vont aux accumulateurs. On distingue en **9** l'un des renforts latéraux, et en **10** la traverses aux écrous prisonniers sur laquelle s'immobilise le couvercle. Les photographies commentées sur [Image64.JPG](#), [Image65.JPG](#) et [Image66.JPG](#) montrent différentes vues du corps du coffret entièrement achevé. Enfin, [Image67.JPG](#) regroupe deux vues "plongeantes" également commentées. Quand le corps du boîtier est entièrement achevé, on réalise la semelle et le dessus qui sont composées d'une simple plaque plate, sur laquelle il faut avec précision percer les trous de passage des vis de liaison. Il suffit de prendre un morceau de carton rigide aux dimensions précises de ces éléments, d'y pratiquer par "poinçonnage" un repérage des positions que l'on reporte sur les pièces à percer. Le positionnement précis de la lucarne de l'afficheur sera pointé de façon similaire. Coffret terminé nous en arrivons au plus valorisant : L'intégration des modules.



## 25) L'intégration des modules dans le coffret.

Phase ultime du projet, c'est celle qu'il faut aborder avec patience et rigueur pour terminer sans problème et dans la bonne humeur. À l'instar des maisons en constructions pour lesquelles on prépare à l'avance des réseaux électriques précâblés, à l'instar des automobiles et des avions pour lesquels les torons sont élaborés au kilomètre, pour notre petite station scientifique il sera infiniment plus facile de réaliser les lignes électriques de raccordement à l'extérieur du coffret. Puis, module après module, **en respectant strictement les protocoles** décrits dans les quatre **Fiches d'assemblage/désassemblage** on procède à l'intégration. Cette dernière s'avère alors pratiquement élémentaire, c'est à dire sans piège. Il n'en reste pas moins vrai que minutie et patience sereine seront nos meilleurs alliés.

### ➤ Les lignes de raccordement précâblées.

Modules électroniques à ponter électriquement en place dans le coffret, il sera aisé d'estimer la longueur à affecter à la ligne en cours de réalisation. La longueur résulte d'un compromis, car il faut chercher à la choisir la plus courte possible pour des raisons d'encombrement, tout en étant assez longue pour la mise en place. Par ailleurs, pour le couvercle, (*Voir la Fig.81*) il importe de pouvoir le dégager suffisamment pour débrancher les connecteurs HE14 sur l'afficheur et sur le circuit imprimé principal. Typique représentant d'une ligne de raccordement, le toron de la Fig.79 est constitué en 8 de fils issus d'une limande d'ordinateur. On sépare les divers fils élémentaire et on les torsade pour aboutir à une ligne mécaniquement compacte. Avant de souder les deux extrémités, on a enfilé quelques bagues 7 qui, la ligne étant terminée, sont réparties judicieusement et thermo-rétrécies. Sur la photographie on peut distinguer deux types de configurations. Sur la fiche 1 les fils partent à angle droit des picots de soudage. Dans cet exemple il s'agit de la fiche qui se branche sur l'horloge/calendrier. La direction des fils devant être parallèle à la semelle, il faut donc qu'ils partent perpendiculairement à la fiche. (*Car ils passent au dessus du petit module électronique : Voir Image72.JPG*) Par contre, comme on peut le constater en 5 de la Fig.81 sur le circuit imprimé principal les fils du HE14 sont verticaux, donc soudés dans le prolongement des picots. Du coup comme on le voit en 4 il est possible de les isoler par de la gaine thermorétractable, artifice qui améliore la résistance mécanique de l'ensemble. En 6 on en profite pour mettre en évidence par de la gaine rouge la broche du +5Vcc et ainsi repérer l'orientation du connecteur. Lorsque les fils sont soudés à angle droit on ne peut pas vraiment isoler avec de la gaine thermodurcissable. Aussi, en 2 le +5Vcc est repéré en coloriant en rouge le fil avec du feutre indélébile, alors qu'en 3 on utilise du bleu pour marquer GND.

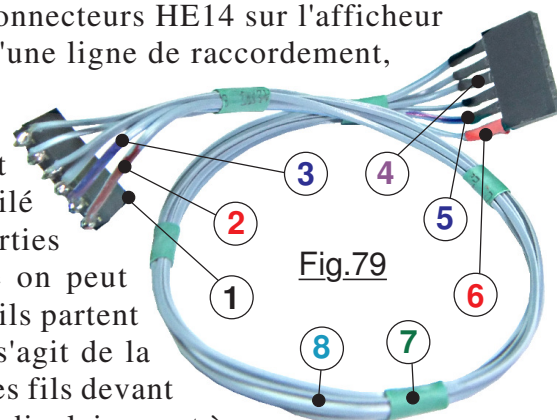


Fig.79

Recette identique appliquée à la ligne "double" qui relie les accumulateurs rechargeables au circuit imprimé principal. Sur la Fig.80 les deux cordons 13 munis des clips 12 sont soudés sur 11, la fiche du connecteur HE14, en conservant toute leur longueur. Comme cette dernière sera en orientation verticale sur le circuit imprimé principal et que l'on a de la place en hauteur, les fils sont soudés dans le prolongement des picots, ce qui autorise en 10 l'usage d'isolation "thermo-rétractable". Pour donner de la consistance à cette ligne qui n'est pas torsadée, en 9 on compacte les fils avec de la gaine thermo-rétractable. Sur la Fig.81 l'intégration des systèmes est bien avancée, la photographie est une invitation aux commentaires. En 1 on retrouve le petit circuit du clavier, alors que le circuit imprimé des résistances de puissance 7 est immobilisé sur la face arrière par les entretoises en nylon 2. Il me semble important de souligner ici que ce matériau n'est pas impératif, des éléments métalliques sont tout à fait utilisables. C'est la disponibilité de ces composants qui en justifie l'adoption.

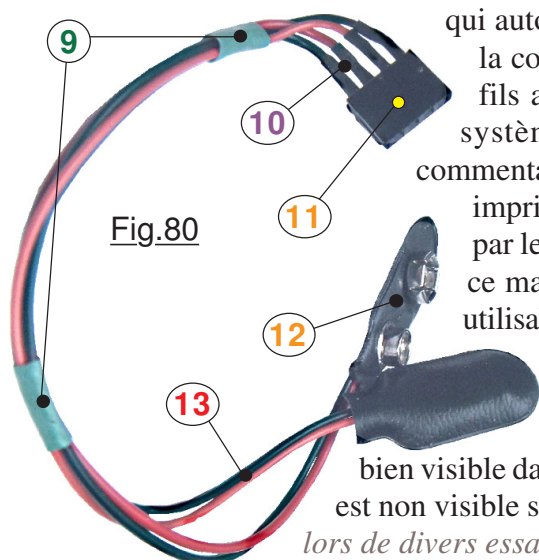


Fig.80

Le fil jaune 4 que l'on voit dans l'encadré n'est pas encore en place sur la broche axiale de la résistance de puissance 8. La liaison se fait par un tout petit boulon  $\phi M1,5$  qui pénètre dans la petite équerre bien visible dans l'encadré. Sur la cosse 3 de la résistance de puissance, un fil rouge est non visible sur la photographie car pas encore soudé. (*Cette image a été réalisée lors de divers essais de validation des solutions, bien avant l'intégration* Page 44

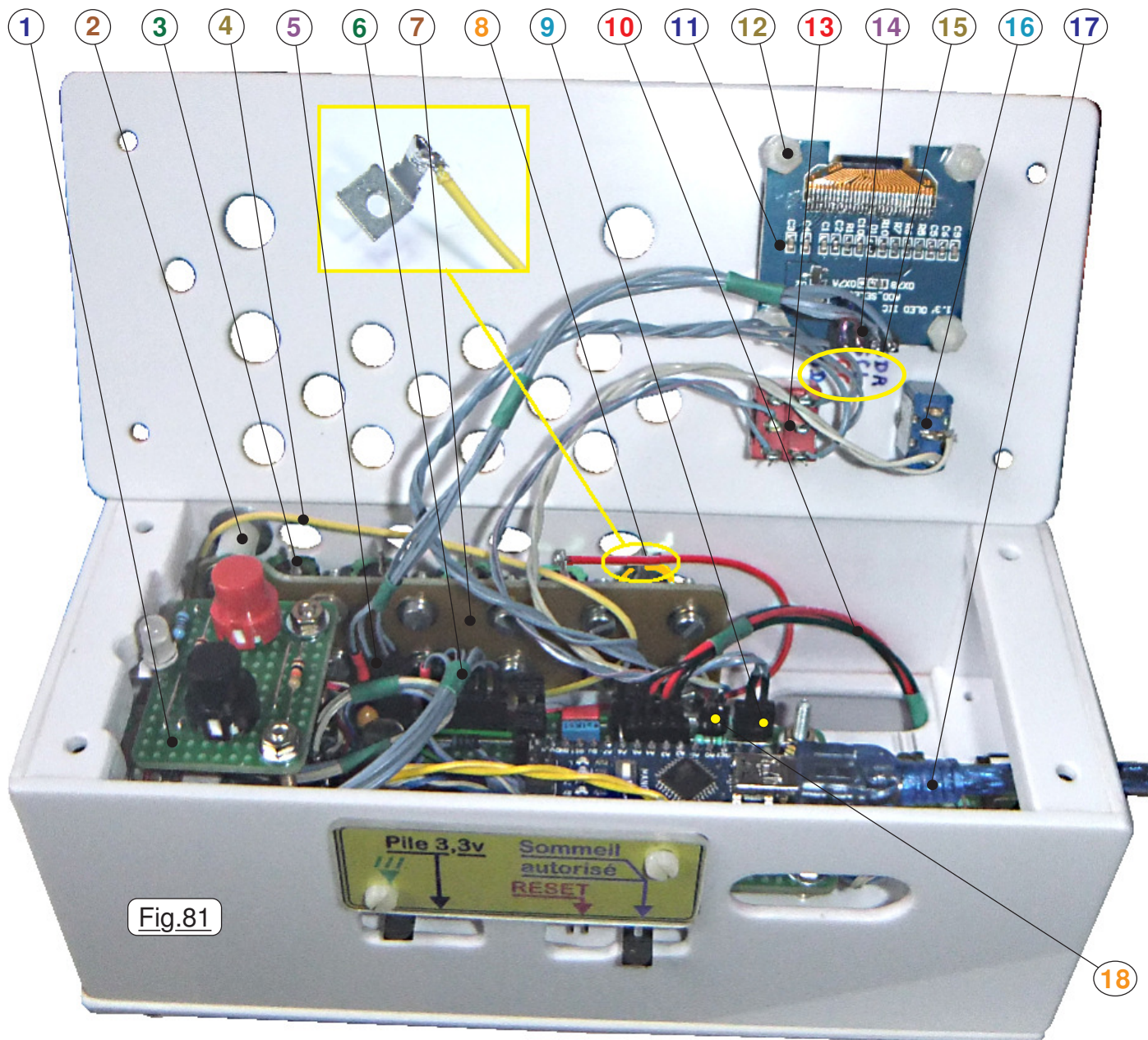


Fig.81

définitive ce qui explique certaines "divergences".) On retrouve en 5 la ligne qui se branche en 14 de l'afficheur OLED. Comme la sérigraphie de ce dernier n'est plus visible, pour écarter tout risque d'inversion d'orientation, en 15 les rôles des broches sont inscrites sur le couvercle. L'afficheur 11 est immobilisé sur le couvercle par les petits boulons  $\phi$  M3 en nylon 12 et écartés de la plaque par des petites entretoises métalliques. La ligne 6, dont les fils sont soudés dans le prolongement des picots du HE14 femelle relie le circuit imprimé principal au module Horloge/Calendrier situé sur le dessous. Le petit connecteur 9 à deux broches chemine vers la section gauche de l'inverseur 13, alors que l'inverseur "de RESET" 16 est ponté en 18. On pourrait imaginer que cet enchevêtrement de ligne implique un assemblage final compliqué. Si on procède exactement dans l'ordre préconisé par les quatre *Fiches d'assemblage/désassemblage*, au contraire on se rend compte que les manipulations sont aisées et sans difficulté. La ligne un peu rigide 10 qui va vers les accumulateurs trouve facilement sa place dans le volume qui accueille les inverseurs 13 et 16. Enfin on peut distinguer en 17 la ligne USB qui relie la carte Arduino à l'ordinateur, pour mettre à l'heure l'horloge par exemple, ou pour transférer les données vers un modèle pour tableur. Avant de commencer à mettre en place "toute la machinerie" du prototype, [Image68.JPG](#) montre une "révision générale" destinée à valider définitivement les solutions adoptées. On dépose alors le circuit imprimé des résistances de puissance, ainsi que le clavier et le circuit des LEDs vertes. L'intégration telle qu'elle est détaillée dans les protocoles qui ont démontré leur bienfondé peut commencer. La première étape détaillée sur la fiche n°1/4 consiste à mettre en place le circuit imprimé principal muni du module complémentaire. Au préalable il faut souder en 2 de la Fig.82 le fil de forte section sur le circuit imprimé de complément 7. Ce fil est muni à son extrémité de la minuscule équerre de liaison 1 qui sera immobilisée



sur la cosse de la résistance de  $10\Omega$  par un tout petit boulon  $\phi M1,5$ . (Voir 8 sur la Fig.83) On peut alors insérer par son connecteur 3 le circuit de complément 7 sur le HE14 du circuit imprimé principal et insérer le total dans le coffret, 7 étant immobilisé sur la vis incluse sur la cloison centrale par l'orifice 4. Le connecteur 6 recevra ultérieurement l'énergie issue du panneau solaire. Quand à 5, c'est la liaison qui reçoit le gros fil blanc du bloc des résistances de puissance. (Voir 11 sur la Fig.83) Respecter les items ① à ③ avant de chercher à intégrer l'ensemble. Pour ma part, lorsque l'intégralité des actions de 1/4 est achevée, j'effectue déjà certains tests en reliant provisoirement le circuit imprimé principal aux périphériques de base. Quand toutes les vérifications sont positives, alors j'engage la phase suivante qui consiste à immobiliser le circuit imprimé des résistances de puissance qui en préambule a été préparé conformément à la Fig.83 dont la photographie a été copieusement "surchargée". La première chaîne de résistances

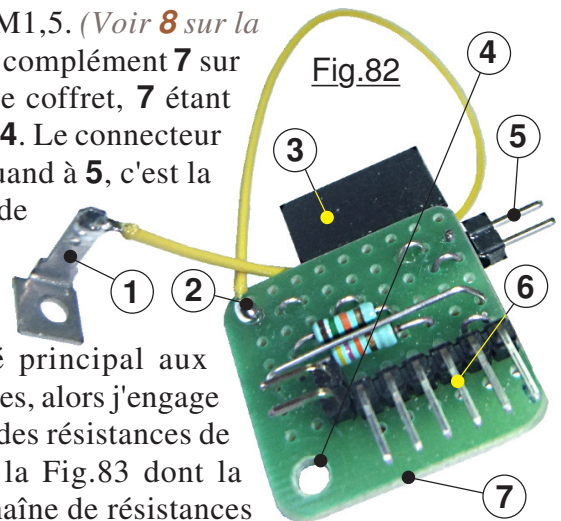


Fig.82

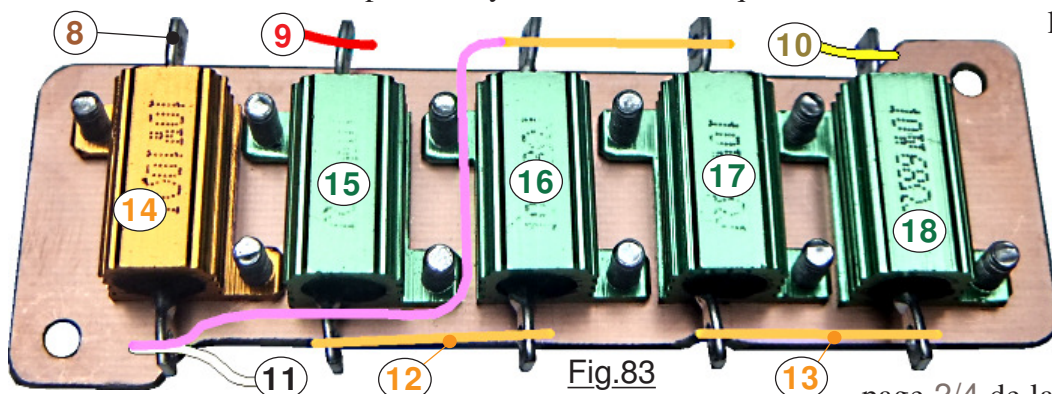


Fig.83

la ligne 13. Saisie en "macro" l'Image70.JPG détaille la zone 11. Les fils semblent de gros câbles, mais nous savons que les images sont trompeuses. Leur section cuivre utile fait environ  $1\text{mm}^2$ . La ligne 9 va en B du connecteur montré sur la

page 2/4 de la fiche d'assemblage, alors que le fil jaune 10 va en A du même HE14. Utilisant les mêmes repères, la Fig.84 facilite la corrélation entre les explications et les diverses photographies. On peut noter que la ligne 14 de la fiche 17 qui se branche en D du module des deux LEDs vertes, est soudée directement sur les picots de la fiche 15. Aussi, avant de procéder à la soudure, les deux extrémités cuivrées du fil blanc 11 et celle du fil fin 14 sont torsadées. (Le fil 14 est de faible section car il ne véhicule que de l'information, le courant qui y circule est dérisoire.) Notez au passage que j'avais coupé le fil 14 trop court ... du coup en 16 il a fallu souder une ralonge isolée par de la gaine thermo-rétractable ! des erreurs. Du reste c'est la raison pour laquelle avant de cascade de vérifications rigoureuses.) C'est ensuite le tour

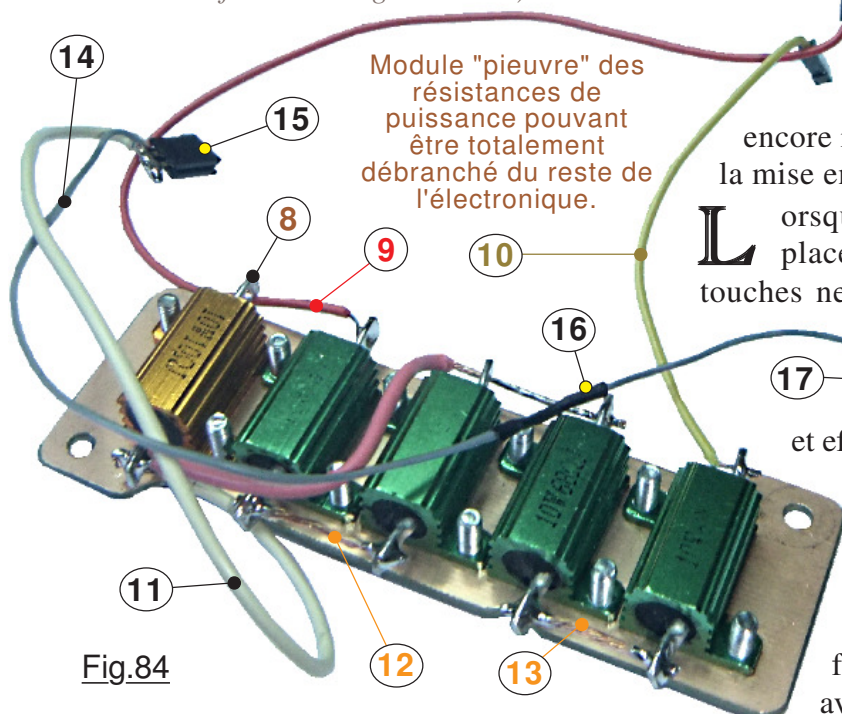


Fig.84

Module "pieuvre" des résistances de puissance pouvant être totalement débranché du reste de l'électronique.

(Ben oui quoi, ça m'arrive aussi de faire valider l'ensemble il faut effectuer une du petit module des deux LEDs vertes dont Image69.JPG présente en gros plan le début des branchements. Le connecteur noté D sur la fiche n'est pas encore inséré. Il n'y a pas grand chose à dire pour la mise en place du module Horloge/Calendrier.

Lorsque le petit clavier à son tour est mis en place, en respectant la hauteur pour que les touches ne talonnent pas sur le couvercle, tout en dépassant au maximum de ce dernier, j'ai relié provisoirement une ligne vers l'afficheur OLED et effectué quelques vérifications. Tout va bien, l'horloge incrémente régulièrement ses secondes et ses minutes. Fiche repérée 3/4 en main on passe alors à l'équipement du couvercle. Si à ce stade, carte Arduino NANO en place sur son HE14 le système fonctionne globalement, nous aurons bien avancé. Bon, il faudra ouvrir à

nouveau pour passer à la phase de validation intégrale des systèmes, mais observer un fonctionnement général qui correspond à ce qui est prévu sur les divers écrans est très encourageant.

Les quatre *Fiches d'assemblage/désassemblage*, sont prévues pour la maintenance. Elles supposent que la validation intégrale de l'appareil a été conduite avec satisfaction. C'est pour ça que lors de l'intégration on sera certainement obligé de débrancher certaines liaisons pour passer aux tests exhaustifs. Sur [Image71.JPG](#) le vernis à ongles à encore frappé. Repérer ainsi chaque accumulateur s'avèrera bien commode lors des opérations de validation ou de maintenance. Sur [Image72.JPG](#) et sur [Image73.JPG](#) la marque de l'accumulateur vert a été cachée, pour des questions d'équités vis à vis des fournisseurs. On distingue parfaitement le carton situé sur le dessous pour pouvoir intervenir sans que les inverseurs et les boutons poussoir du dessus ne soient en contact avec le bureau. Ces deux photographies montrent clairement les deux petits blocs de mousse synthétique qui servent à immobiliser les deux accumulateurs dans leur compartiment. Notez au passage que c'est tout à la fin que l'on clipse les accumulateurs, car à partir de ce moment ils sont en ligne et alimentent l'électronique tant que le panneau solaire (*Ou la ligne USB.*) ne prend pas la relève. Assez significative des techniques de découpage des étiquettes, [Image74.JPG](#) montre clairement que le contour de la fenêtre de l'afficheur est découpé contre le tracé de l'ouverture, alors qu'au contraire pour les inverseurs et les quatre trous de fixation on laisse une toute petite marge vers l'intérieur de la découpe. On peut alors constater sur [Image75.JPG](#) que le résultat final est "parfait". La fin d'une opération de remontage se termine par la mise en service.

## 26) Validation des systèmes et mise en service de la station.

**P**ratiquement, ces deux phases incontournables sont résumées respectivement dans le livret spécifique [Valider le Bolomètre.pdf](#) et dans le livret [Manuel d'UTILISATION.pdf](#) que bien entendu vous avez imprimés et agrafés. Pour valider le matériel et le logiciel, on est obligé de déposer le dessus ainsi que la semelle, et de réunir si nécessaire les éléments du couvercle provisoirement par des liaisons filaires plus longues. L'idéal serait de posséder deux multimètres pour pouvoir mesurer simultanément le courant et la tension. Néanmoins on peut se "débrouiller" avec un seul en procédant par deux mesures successives. C'est légèrement plus laborieux, un peu moins précis, mais largement suffisant pour l'application envisagée. Certaines validations imposent d'avoir enregistré plusieurs jours, de changer de semaine ... Effectuer les vérifications en temps réel serait trop long, ce n'est envisageable que lorsque l'on croit dur comme fer que le logiciel est totalement au point. (*Vantardise !*) Pour la validation logicielle, n'oublions pas que l'on peut librement changer d'heure, de date, voir d'année directement par dialogue avec le **Moniteur de l'IDE** sur une ligne USB d'un P.C. Faire appel à cette fonctionnalité sera une évidence lorsque fiche en main, pour pouvoir valider un item de la liste vous constaterez qu'il faut attendre plusieurs heures, ou plusieurs jours.

**R**este qu'aucune campagne de validation, aussi sérieux soit son jeu d'essais, ne saurait confirmer de façon absolue la pertinence totale du logiciel. Seule l'exploitation sur le terrain pourra sur le long terme augmenter le facteur confiance que l'on peut accorder à un système. Durant les premières tentatives en réel, plus de cent cinquantes modifications se sont imposées. Certaines pour corriger des erreurs, d'autre pour améliorer la convivialité. Il semble qu'actuellement ce Bolomètre se comporte de façon raisonnable. Toutefois, avant de crier victoire, il faudra qu'au moins une année soit écoulée sans aucune mauvaise surprise ce qui n'est pas encore le cas, car je désire mettre en ligne ce didacticiel avant un délai aussi long. Aussi, si par la suite vous me contactiez pour faire remonter un bug, ou que je constatais "une misère", alors sur la planche informatique serait remis l'ouvrage pour l'améliorer. À titre indicatif, vous pourrez consulter sur la fiche nommée *Caractéristiques logicielle* les valeurs et les performances relevées durant les essais sur le prototype. Voici mon adresse Internet pour tout contact, et surtout si vous rencontrez un problème et que vous avez besoin d'aide : [michel.droui@laposte.net](mailto:michel.droui@laposte.net)

**P**uisque nous sommes arrivés au terme du chemin, notez au passage que dans les fiches fournies, vous trouverez deux compères nommées *Exploitation des données du tableur*. Rien à voir avec un cours magistral sur l'utilisation de ce type de progiciel. Tout au plus, un raccourci très condensé de quelques manipulations simples pour présenter les données fournie par notre petite station scientifique. Initialement, j'avais envisagé d'intégrer les chapitres descriptifs du programme d'exploitation dans ce document. Il est possible, voir probable, qu'une minorité de lectrices et de lecteurs se sente concernée, soit par manque de temps, soit "parce que ce n'est pas leur tasse de thé". Aussi, pour ne pas encombrer cette narration, ce thème fait l'objet d'un document à part nommé [Aspect logiciel.pdf](#). Avant de nous quitter, il me semble important de mener une réflexion "philosophique" sur les panneaux solaires. **Page 47**



## 27) Installer des panneaux solaires sur la toiture de sa résidence.

**P**lusieurs motivations peuvent servir de facteur déclenchant. Il ne faut pas se leurrer, une telle installation présente un coût important. Aussi, à supposer que vous disposiez des fonds nécessaires, il me semble important de bien peser le pour et le contre. Pour vous proposer quelques pistes de réflexion, dans un premier temps examinons (*Exemple vécu ...*) la forme sous laquelle pourrait se présenter l'opportunité d'envisager une telle installation chez vous :

Ayant la chance d'avoir été en mesure de le faire, un petit placement financier que vous aviez contracté il y a belle lurette arrive à son terme, et votre conseiller vous a prévenu qu'il faudrait réaliser les sommes et envisager un autre placement. Comme nous sommes à une époque où les banques ne vous proposent que des placements risqués ou des misères dont le rapport est inférieur à l'inflation, vous ne savez trop que faire. Sollicité par téléphone, on vous propose une étude gratuite pour "du solaire". C'est le facteur déclenchant ... pourquoi pas ?

Vous acceptez alors la visite d'un commercial qui vous tient un langage parfaitement rodé du genre :

**- C'est de l'auto financement, je vais vous expliquer. Nous sommes partenaires avec EDF qui, si vous êtes éligibles, finance une partie de votre projet. EDF vous reprend l'électricité générée par notre installation, et vous allez gagner de l'argent. En plus vous allez gagner en confort dans votre maison l'été, car la nuit le système ventile blablabla.**

Suite à ces préliminaires, le démarcheur va évaluer la surface de toiture pouvant recevoir leurs produits, l'orientation de cette dernière. Puis, compte tenu de la région de résidence et des statistiques météorologiques qu'il connaît par cœur, la région lui étant à ses dires familière, il effectue un savant calcul pour déterminer si oui ou non vous êtes éligibles. Comme il utilise des abaques et sa calculatrice, car visiblement c'est du sérieux, vous êtes sur des charbons ardents et après quelques minutes de savants calculs :

**- C'est bon, les conditions sont excellentes, vous êtes éligibles !**

Un devis de l'installation est établi, et si vous êtes tenté par l'opportunité de mettre le pied dans le futur, alors toute la paperasse incontournable sera mise à votre disposition. Devis acceptés, engagement avec EDF, qui finance truc% dès que les travaux seront achevés et que le miracle de la technologie va s'accomplir et que votre maison servira à fournir de l'électricité au reste de la population, vous plongez.

### **➤ Pourquoi couvrir un pan de toiture de cellules photovoltaïques.**

**A** mon sens, trois sources de motivation peuvent nous engager à franchir le pas. Sans compter bien entendu que le foyer doit posséder un niveau de vie suffisant pour pouvoir mettre "de côté" les sommes nécessaires à investir dans une telle installation. (*Ce qui suppose à la base que vous soyez propriétaire de votre habitation, privilège qui ne constitue pas forcément une évidence !*)

- 1) Passionné de nouvelles technologie, vous avez envie de mettre le pied dans la modernité,
- 2) "Écologiste" jusqu'au bout des ongles vous désirez faire un effort pour préserver la planète,
- 3) Alléché par l'idée d'un investissement financier rentable sur le moyen terme.

Examinons chacun de ces thèmes possibles en commençant par le cas **1**. C'est celui qui sera le plus facile à justifier, et pour cause ... pas besoin ! En effet, tous, un jour où l'autre, on peut avoir un coup de cœur qui nous engagera dans une "petite folie". Dans ce cas, il n'y a strictement aucune raison de se justifier, pas plus que lorsque l'on se finance un VTT ou que l'on contracte un abonnement au stade pour le foot. Si tel est le cas et que vos finances le permettent sans pénaliser le foyer : Pas d'objection est ma conviction. Cas **2** on veut préserver notre Terre. Faisant partie de ces personnes qui adoptent un mode de vie dans lequel polluer le moins possible devient un pléonisme, conscient que c'est l'avenir de nos enfants que l'on condamne par nos trop fréquentes exagérations, vous décidez d'investir vos économies pour préserver notre mère nourricière. **Mauvaise pioche !**

En effet, contrairement à ce que perorent les médias à tout va, **une installation voltaïque n'a strictement rien d'écologique** et ce pour plusieurs raisons. Pour la fabriquer, on va engager de l'énergie, donc polluer. On va puiser dans les ressources terrestres en matériaux "précieux", donc appauvrir la planète sans compter l'énergie consommée pour trouver ces produits. Quand votre installation sera opérationnelle, elle va engendrer de la pollution électromagnétique, et de la chaleur. Enfin, quand cette machinerie sera usée au point de ne plus se justifier ... pas de recyclage des matériaux actuellement connus pour ce type de technologie. En conclusion, si vraiment vous désirez faire un cadeau à la Terre, consacrez votre argent à une association écologique qui replante des arbres dans le monde ... Ça c'est écolo !

Chère lectrice, cher lecteur, avant d'aborder le cas financier **3**, je tiens à préciser qu'*en aucun cas je souhaite me poser en donneur de leçons, je suis très mal placé pour me montrer en exemple*. Ce chapitre n'a qu'un seul but : Vous proposer quelques pistes de réflexion, et éventuellement vous permettre de porter un regard plus objectif sur toutes ces merveilles technologiques qui vont, je le crois, finir par s'imposer plus ou moins avec les évolutions des mentalités. Reste que le tout bon ou tout mauvais n'existe pas, aussi je crois bénéfique d'être à l'écoute et de systématiquement chercher à comparer les avantages et les inconvénients, quel que soit le domaine abordé.

### ➤ **Avantage financier d'une installation photovoltaïque.**

Soyons honnêtes, même si l'on invoquera des critères purement écoloplanétaires quand on vantera les mérites de cette installation qu'avec fierté on présentera à nos amis, la plus forte probabilité de décision réside dans l'espoir d'avoir fait "une bonne affaire". Si dans un fort intérieur, ce sont les arguments financiers proposés par le démarcher qui vous poussent à franchir le pas, alors parlons finance et commençons par décortiquer les "mots clef" utilisés par le commercial, qui vous a rendu visite :

#### - *C'est de l'auto financement ...*

Verbiage qui fait nettement moins peur que "Vous allez payer entièrement l'installation". Hors toute l'année, vous autofinancez. Par exemple quand vous passez à la caisse pour payer vos provisions, c'est de l'autofinancement. Donc cette phraséologie anesthésie discrètement le : "Faudra payer".

#### - *je vais vous expliquer.*

Rassurez-vous, les explications qui vont vous démontrer l'avantage, non : LES AVANTAGES d'une telle installation seront un peu compliquées, mais au final, *chez vous, ici, avec cette maison, dans cette région, la situation est très favorable, et vous serez rapidement bénéficiaire ...*

#### - *Nous sommes partenaires avec EDF qui, si vous êtes éligibles, finance une partie de votre projet.*

Vous remarquerez que chaque fois que vous êtes sollicités par téléphone, votre interlocuteur est toujours partenaire d'un organisme "sérieux". Pour provoquer la confiance on n'a pas encore trouvé mieux. Ensuite, les détails sur ce que financera l'organisme en question sont toujours proposés en termes un peu "compliqués" et permettent de noyer le poisson. Enfin, le plus significatif c'est le vocable *éligible*. Dans notre inconscient il signifie : On ne vous accordera ce privilège qui si c'est méga rentable.

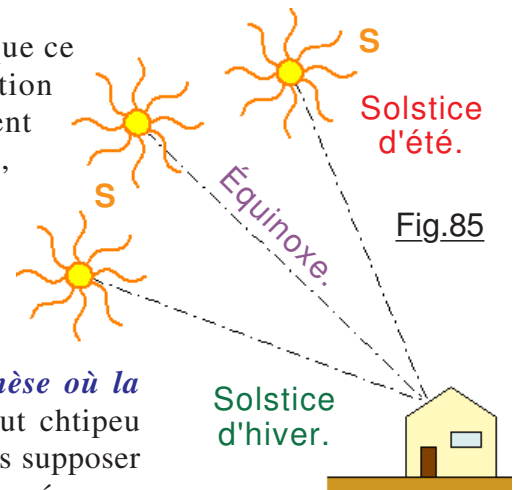
### ➤ **Éligibilité ... OUI ou NON ?**

Raison d'être de toute entreprise : Vendre. Ça s'appelle le commerce, et à son nom on peut tout justifier. Ne nous leurrions pas, le seul but du démarcher qui vient chez vous, ce qui pour son entreprise présente un coût important, c'est de vous "fourguer" une installation. C'est son gagne pain, et je peux vous assurer qu'il se moque pas mal que ce soit pour vous une bonne ou une mauvaise opération. Et vous constaterez par vous même que ... après tous ses calculs et vérifications ... avec un beau sourire de sa part, la réponse sera à 100% des cas : *OUI, vous êtes éligibles !*

Aussi, on ne peut tenir de tels propos péremptoirs sans un minimum de justifications. Je vais donc vous proposer quelques questionnements à engager avec votre visiteur pour estimer plus objectivement la rentabilité d'une telle installation, que ce soit sur le plan physique ou sur le plan financier.

#### **Rentabilité physique.**

C'est bien connu, la plus belle fille au monde ne peut donner que ce qu'elle a. Pour une installation solaire, sa rentabilité sera fonction de sa technologie. C'est un facteur sur lequel on peut difficilement se renseigner, mais on peut estimer qu'à une époque donnée, toutes les entreprises qui sont sur le marché proposent des produits équivalents. *L'orientation des panneaux solaires est fondamentale*. Si vous avez un tant soit peu expérimenté votre cellule photovoltaïque avec ce didacticiel, vous avez forcément constaté que *l'orientation* en hauteur et *en azimut joue un rôle fondamental*. Abordons l'orientation en hauteur, *dans l'hypothèse où la direction en azimut est parfaite*. On va commencer par un tout chti peu d'astronomie. Comme il faut raisonner sur du concret, nous allons supposer que l'habitation se trouve dans la région de Cahors. La Fig.85 tracée avec précision présente la hauteur du Soleil à la latitude de 44° aux périodes singulières de l'année. En particulier aux *Équinoxes* le Soleil **S** culmine à 44° quand il transite au méridien local. Puis, à la





belle saison, il se hisse de  $23,5^\circ$  plus haut au **Solstice d'été**. Ensuite il redescend pour se retrouver à  $44^\circ$  en hauteur à l'**Équinoxe** d'automne. Enfin, en hiver quand il est au plus bas, au **Solstice d'hiver** il arrive tout juste à monter aux dessus des arbres du voisinage.

**A** analysons maintenant l'influence de la hauteur solaire sur le flux d'énergie capté par l'installation photovoltaïque. On va envisager l'installation de la Fig.86 pour laquelle le panneau solaire est incliné de  $44^\circ$  sur l'horizontale, privilégiant les **Équinoxes**. C'est le cas **A** pour lequel la "surface" de lumière captée est la plus grande. On collectera un maximum d'énergie. Pour l'été, la "largeur" de capture **B** est un peu plus faible. Donc on perd un peu de flux solaire et le rendement énergétique est un peu moins bon. C'est dommage, car c'est en été que l'on risque le moins des couvertures nuageuses. Il importe de bien comprendre que plus le Soleil est proche du plan des panneaux, moins il ne fournit d'énergie sur ces derniers. Par exemple en **D** la "largeur" énergétique est à peine  $1/3$  de celle en **A**. Du reste si on dispose le panneau "par la tranche", les cellules ne collectent plus aucun électron. En **C** les conditions sont très mauvaises, car l'inclinaison collecte moins d'énergie, et surtout on favorise la saison hivernale, c'est à dire la période nuageuse, le soleil étant masqué de plus par les arbres.

### Influence de la pente de la toiture.

Dans l'état actuel de la technologie, les panneaux solaires remplacent la couverture, et sont disposés parallèlement à la pente de cette dernière. Dans nos régions, les pentes des toitures ressemblent à du  $30^\circ$ , c'est à dire le cas **P1** sur la Fig.87, avec le panneau solaire colorié en bleu. C'est une orientation favorable, car elle privilégie la belle saison puisque les cellules "regardent" un peu plus vers le haut. Pour les régions "plus froides", on augmente la pente des toitures pour diminuer le poids de la neige et favoriser son glissement. Avec des pentes de  $50^\circ$  ou plus comme en **P2** on collectera sur l'année moins d'énergie, car on favorise des époques moins ensoleillées. C'est donc un facteur à prendre en compte dans notre réflexion.

### ➤ Orientation en azimut de l'habitation.

**F**acteur décisif à prendre en compte pour la prise de décision, c'est à mon sens un élément fondamental à placer en tête des critères, encore que les statistiques météorologiques me semblent primordiales. Si les annales des stations locales annoncent à peine 20% d'ensoleillement par an ... abandonnez l'idée de panneaux solaires ! Considérons la Fig.88 sur laquelle l'habitation est vue par dessus. Pour les études qui

précèdent, nous avons supposé que la **maison** était **idéalement orientée**, c'est à dire comme pour le cas **A** la **pente de la toiture** étant **dirigée directement** vers le méridien local, c'est à dire **plein SUD**. L'installation dans ce cas collecte un maximum d'énergie dans la journée s'il n'y a pas de nuage. Observons maintenant les cas **B** et **C** pour lesquels la maison est orientée à  $30^\circ$  d'écart du méridien local. Cette déviation est proprement catastrophique, car les cellules ne collecteront le maximum de flux que lorsque le Soleil sera directement dans leur direction. À  $30^\circ$  par rapport au méridien il est très bas sur l'horizon, autant dire que la baisse de flux collecté est considérable. Pour faire l'expérience c'est facile. L'été, vous attendez 14H, c'est à dire le moment où le Soleil est au plus haut. Vous mesurer l'intensité débitée par votre petite cellule photovoltaïque. Sans en changer l'orientation en hauteur, vous la déviez horizontalement à  $30^\circ$  de chaque coté. Vous allez être médusés. De plus c'est l'été, le Soleil est haut. Alors imaginez l'hiver, ce serait bien étonnant qu'il ne se trouve pas "aussi bas" que des arbres ou des constructions qui alors masquent l'astre diurne. **CONCLUSION** : Si la déviation par rapport au SUD dépasse les  $20^\circ$ , le solaire devient une illusion.

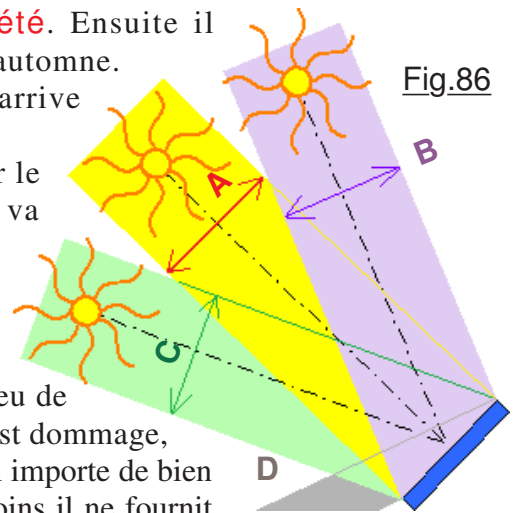


Fig.86

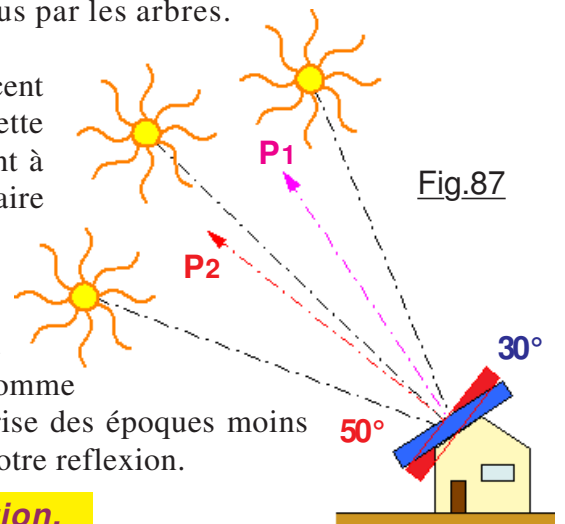


Fig.87

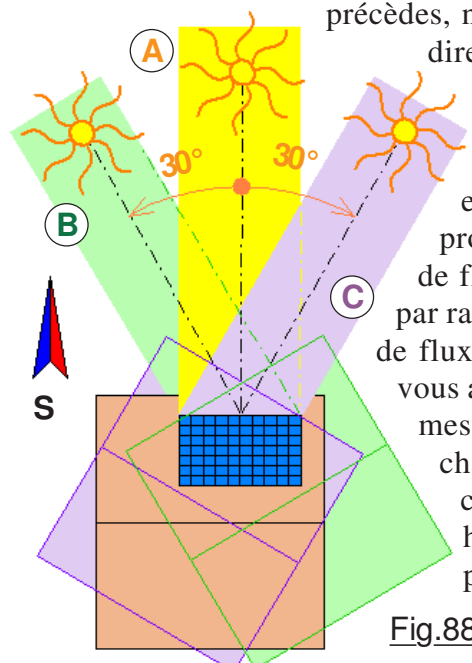
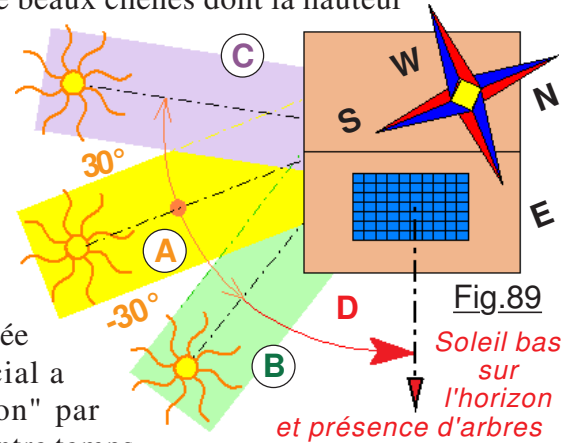


Fig.88

## ➤ Rentabilité financière.

Figurez-vous que mon habitation est orientée au  $115^\circ$  comme représenté sur la Fig.89 avec la pente qui devait supporter l'installation dirigée vers l'Est. Par rapport à la géographie locale, sur le dessin ont été reproduits les cas **A**, **B** et **C**. Sachant que le cas **B** est déjà peu envisageable au sens du rendement physique de l'installation, on constate que la déviation **D** est considérable. Ce que ne montre pas le dessin, c'est que dans la direction vers laquelle seraient dirigés d'éventuels panneaux solaires, le relief monte  $20^\circ$  au dessus de l'horizon. Sur cette butte de terre sont plantés de beaux chênes dont la hauteur représente un angle par rapport à l'horizon de  $70^\circ$ . Autant dire de depuis début Novembre jusqu'à fin Avril à aucun moment le Soleil ne s'élève au dessus de ces obstacles. Oui, l'hiver les chênes perdent leurs feuilles, mais c'est un petit bois qui orne le secteur, je peux vous garantir que l'obstruction est considérable. Et bien malgré ces conditions c'est magique, le cas étudié par le commercial est réputé **éligible**. Franchement, ce n'est pas crédible. Du reste quand on a constitué le dossier, sur lequel la quantité d'énergie collectée par année et **supposée verbalement certifiée**, le commercial a refusé catégoriquement de remplacer le terme "estimation" par "garantie". Comme j'avais prévu un délai de réflexion et qu'entre temps j'ai réalisé la petite station solaire, vous allez certainement en déduire que je n'ai pas donné suite ...



Supposons que chez vous la situation soit idéale. Il fait soleil la plus grande partie de l'année, la pente de toiture est de  $30^\circ$  et de plus, elle est orientée plein Sud géographique, en résumé du parfait. On peut alors raisonnablement envisager le placement financier. À partir de quand l'opération sera-t-elle intéressante pour le client ? Il faut dans un premier temps que les sommes qui vous seront versées par EDF en dédommagement de l'électricité fournie, couvrent le capital investi, augmenté des intérêts qu'auraient rapporté ce dernier si il était placé dans un quelconque produit boursiers. Vous allez vous rendre compte qu'il faut environ 28 à 32 ans, à supposer que d'une part EDF durant toute cette période vous rétribue au même tarif, en francs constants, et que l'énergie réellement collectée corresponde à celle prédite. Hors n'importe quelle technologie vieillit. Ce que ne dit pas le commercial, c'est la baisse lente mais réelle du rendement des cellules, car ces dernières l'été chauffent considérablement. (*Vous ne laissez pas la main sur le panneau en plein été à midi.*) Donc au fil du temps lentement la situation se dégrade. Par ailleurs, toutes les personnes qui vivent sous une toiture savent qu'un "Velux" se salit. Il se couvre de poussière, qui avec la rosée ou la pluie lentement moisit. Aussi, assez régulièrement il faut basculer le vantail pour laver la vitre. Les panneaux solaires vont subir forcément de telles salissures. Êtes-vous prêt à monter sur la toiture au moins une fois tous les trois mois pour les laver ? Si tel n'est pas le cas, les salissures diminueront également le rendement de la belle technologie. Enfin, sur une aussi longue période, on doit envisager les pannes, car à mon sens aucune machine placée dans des conditions aussi délicates (*Échauffements des cellules, des composants électroniques dans l'armoire électrique, surtensions dues aux orages et à la foudre ...*) ne peut fonctionner sans risquer des incidents technologiques. Il y aura alors perte financière car non collecte d'énergie, et frais de dépannage.



Bref, si vous désirez effectuer un placement financier, pesez bien le pour et le contre d'une installation électrique solaire, car ce n'est pas forcément la meilleure solution. Si ce trop long chapitre ne vous a pas trop barbé, vous disposez de pas mal d'informations qui devraient aider à prendre une décision en toute connaissance de cause. Et puis surtout, lorsqu'un commercial viendra vous rendre visite, insistez pour qu'il vous démontre avec précision et en termes simples :

- **Qu'à moyen terme, (Et pas à titre posthume !)** l'installation va réellement vous faire du bénéfice,
- **Chiffres à l'appui** : Combien de temps pour récupérer le capital investi,
- **Chiffres à l'appui** : Combien de temps pour " " " " ce qu'il aurait rapporté étant placé durant ce temps,
- **Comment il a pris en compte pour évaluer l'énergie collectée, la météorologie locale, (Valeurs publiques officielles et non un baratin du genre : "Dans votre région c'est idéal blablabla.") et surtout l'influence des obstacles qui masqueront éventuellement le Soleil au cours de l'année.**

Vous pourrez alors vous faire une idée si la bonne affaire est pour son commerce uniquement, ou si c'est une transaction équitable. Ce ne sera probablement pas facile, car ce n'est pas élémentaire. **Page 51**



## 28) Perspectives.

Programmer, c'est un peu comme chercher à remplir un tonneau sans fond posé sur du sable. On n'a jamais terminé. Aussi, à un moment ou à un autre il faut considérer que notre entreprise a abouti à un résultat tout à fait satisfaisant, et se tourner vers d'autres créations. Un point toutefois méritera d'être reconsidéré. Dans le document  [Aspect logiciel.pdf](#) est précisé qu'au cours du développement qui s'est effectué en Décembre et en Janvier, les données étaient insuffisantes pour déterminer avec pertinence les horaires où l'ATmega328 serait mis en sommeil. Pour optimiser il nous faut des données réelles saisies en été au plus fort de la canicule, qui ajoutées à celles déjà engrangées en hiver permettront de définir la zone bleue de la Fig.15 en p8 de  [NOTICE technique du BOLOMETRE.pdf](#) avec plus de crédibilité. Aussi, quand ces données seront disponibles, soyez certains que pour ma part je modifierais les constantes concernées dans le programme. Cette modification n'aura aucune incidence sur les données mémorisées en EEPROM, ni sur la taille du programme. C'est donc une amélioration "mineure".

On peut aussi, pour ceux qui désirent continuer ce "chemin programmatique", imaginer une foule de nouveautés, quitte à "chasser le PAPILLON" pour faire de la place. Il serait aussi envisageable de créer un programme qui "viderait l'EEPROM" sur le P.C, associé avec un complément qui se chargerait de la réciproque. On pourrait alors sauvegarder les données, puis les recharger pour un changement de processeur, le passage à un copain arduino d'une "année entière" etc.

Bref, l'aventure ne s'achève pas ici pour ceux qui sont titillés par le démon de la programmation. C'est l'avantage incontestable d'utiliser des composants programmables ...

Engranger un maximum de victuailles les années fastes pour anticiper celles qui engendrent de la disette est une attitude assez logique. Pour notre petite station expérimentale, deux accumulateurs sont utilisés. Il serait possible de les remplacer par un "bloc USB secteur" que les voyageurs utilisent comme ressource énergétiques pour recharger leurs téléphones cellulaires et autres tablettes électroniques. Ce type de produit commercial serait directement branché sur la mini prise USB de la carte Arduino. Il serait alors possible de recharger avec beaucoup plus d'énergie la réserve et ainsi garantir plus facilement l'autonomie hivernale. (*Sans compter que moins d'énergie serait gaspillée en chaleur dans les résistances de puissance.*) Actuellement, il ne s'est pas encore produit de RESET intempestif sur le prototype. Ce n'est pas significatif, car il n'a pas été soumis à tout un hiver, sans compter que celui de 2019 c'est montré particulièrement clément sur le plan météorologique. On dispose donc de données insuffisantes pour savoir si la solution actuelle reste viable pour des hivers rigoureux. (*Grand nombre de journées sombres seraient non enregistrées par manque d'énergie dans les accumulateurs.*) Cette approche n'a pas été explorée, et la porte reste ouverte. Il faudrait au préalable estimer l'incidence sur le coût et sur le volume que prendrait la nouvelle version de l'appareil. À vous de voir ...

*Chères lectrices, chers lecteurs, cette (trop) longue saga arrive à son terme. Tout à une fin, mis à part l'Univers, et arrive forcément un moment où il faut raisonnablement considérer que "le travail" est terminé.*

*Je souhaite intensément que certaines et certains oseront s'engager dans la réalisation d'un clone, je ne doute pas de leur réussite. Surtout, je vous souhaite à toutes et à tous de trouver dans ces lignes le plaisir de la découverte. Si d'aventure vous engagez vos heures de liberté dans une telle réalisation et que vous rencontriez une réelle difficulté, dans le pire des cas, vous pouvez me contacter sur : [michel.droui@laposte.net](mailto:michel.droui@laposte.net) et dans les limites de mon temps de libre, c'est avec grand plaisir que je tenterai de vous dépanner. Je vous souhaite à toutes et à tous agréable lecture et ... que votre vie de loisirs ludique soit magnifiquement ensoleillée.*

*Chaleureusement : Nulentout.*