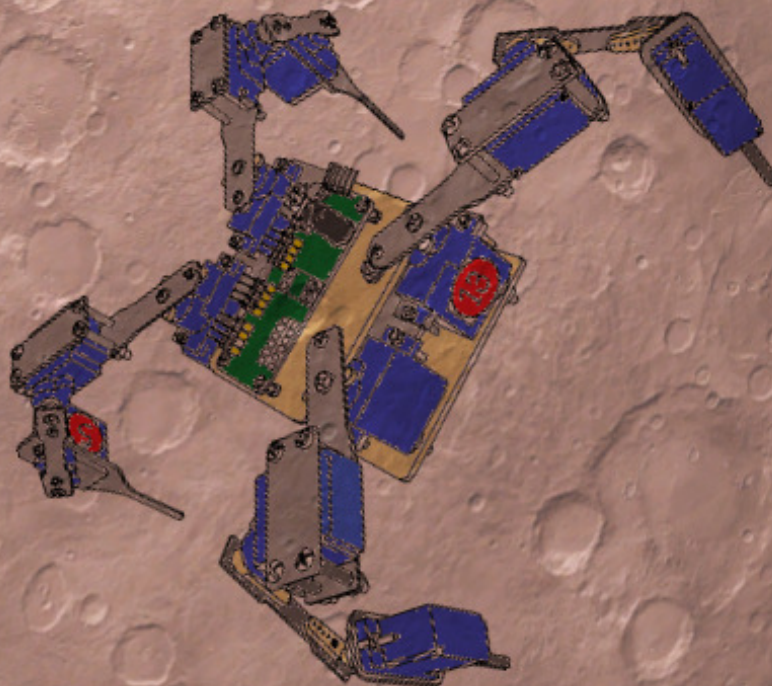


# Sonde martienne JEKERT

## Réalisation du PUPITRE de télécommande



Landing Site



Par Nulentout : Dimanche 30 Septembre 2018.



# Développement du projet Sonde martienne JEKERT

Piloter JEKERT à partir d'un petit pupitre dont le didacticiel précédent a détaillé la richesse des commandes vous incite "à plonger". Le joli petit coffret de la Fig.162 vous tente, et vous décidez de franchir le pas. Le moment est venu de matérialiser notre rêve, et pour assurer la réussite nous allons procéder dans un ordre qui privilégie une progressivité rassurante. Par exemple il serait totalement illusoire de commencer à créer le coffret alors que tous les modules qui y sont inclus ne sont pas encore disponibles pour en mesurer avec précision toutes les dimensions. Par ailleurs, il me semble judicieux de commencer par créer l'intégralité de l'électronique, de l'assembler provisoirement sur la table et d'en vérifier le parfait comportement. Ce n'est qu'après avoir créé et validé l'intégralité du matériel et du logiciel, que l'on pourra sereinement tailler les pièces du coffret, les usiner, y pratiquer les ouvertures et les orifices et enfin les assembler. Dernière étape du processus, pupitre terminé il restera à y intégrer tous les composants, étape qui impose forcément méthode et rigueur. Notre route est toute tracée. Allez, pour mémoire on "zieute" encore une fois notre rêve d'ingénieur astronaucobricolopassionné, puis on retrousse les manches et on s'y colle avec joie et enthousiasme, la conquête de Mars est à notre portée.



Visiblement, ce tutoriel constitue la suite "linéaire" du précédent comme on peut le constater aux repères des figures et des chapitres qui continuent dans l'ordre croissant, poursuivant chronologiquement les paginations qui précèdent. Avoir divisé le didacticiel en trois volumes ne l'est que pour des raisons pratiques, l'ensemble forme un tout cohérent d'où la continuité dans les repérages divers. Bon, trêve de remplissage, passons à la concrétisation du pupitre.

Avant de tailler des circuits imprimés et de faire des soudures, nous allons commencer par préparer les deux microcontrôleurs en y logeant les programmes et les données. Nous serons ainsi "débarrassés" de cette phase incontournable, et surtout il sera possible de tester en "temps réel" les divers modules pour procéder aux validations. Téléverser des entités dans les ATmega328 n'exige aucun matériel particulier si ce n'est que le circuit intégré doit être inséré sur une carte Arduino NANO, cette dernière étant reliée à une prise USB du P.C. Donc cette étape peut se faire dès maintenant. C'est ici que l'on appréciera de pouvoir brancher la prise mini USB de la petite carte NANO qui équipe la sonde. Il est du coup facile de reprogrammer son microcontrôleur.

Comme nous l'avions déjà fait pour la petite carte Arduino qui équipe la sonde, il faut pour celle qui sera intégrée dans le pupitre charger les données dans l'EEPROM ainsi que le programme qui anime l'écran OLED et le clavier. De plus, la sonde maintenant gère la stabilisation gyroscopique ainsi que le dialogue avec le pupitre. Il importe donc d'en mettre à jour son logiciel. Si vous avez oublié les procédures pour téléverser les octets sur l'ATmega328, revoir l'encadré de la page 30 du didacticiel la petite sonde JEKERT.PDF qui détaille les protocoles à respecter. Logiquement l'environnement **IDE** ainsi que le DRIVER de la petite carte Arduino NANO sont présents puisque vous avez déjà réalisé JEKERT.

01) Déclarer pour le compilateur C++ la bibliothèque **Adafruit\_ssd1306syp.h** qui se charge de gérer le petit écran graphique OLED. Normalement, ayant déjà installé les bibliothèques impératives pour la sonde quand vous listez celles qui sont reconnues de l'**IDE** en cliquant respectivement sur **Croquis > Importer bibliothèque...** vous devez avoir au minimum la liste de la copie d'écran proposée ci-dessus avec également quelques autres "library" qui vous seraient personnelles.

```
Adafruit-PWM-Servo-Driver-Library-master
Adafruit_ssd1306syp
DHT11
I2Cdev
MPU6050
```

02) Mettre à jour le logiciel de la sonde :

- La brancher par sa ligne USB sur le P.C. (*Le moniteur doit dialoguer normalement.*)
- Téléverser en premier **P60\_Clone\_EEPROM\_sonde.ino** qui installe les tables de postures et diverses données d'exploitation comme un panoramique ultrasons ...
- Téléverser en second **P50\_PGM\_ESCLAVE\_SONDE.ino** qui anime JEKERT.

03) Débrancher la ligne USB de sur la sonde et la brancher sur la deuxième carte Arduino NANO qui logiquement est vierge et toute seule sans être encore installée sur le PUPITRE.

- Téléverser en premier **P35\_Ecrire\_les\_textes\_en\_EEPROM.ino** qui inscrit les textes qui seront affichés sur l'écran OLED dans la mémoire EEPROM de l'ATmega328.
- Téléverser en second **P40\_PGM\_MAÎTRE\_RAQUETTE.ino** qui anime le PUPITRE.

Tous ces "Sketchs" sont disponibles dans le dossier **<Les programmes pour Arduino>** qui se trouve dans le dossier **<Réalisation du pupitre>**.

*Après ces différentes manipulations, les deux microcontrôleurs sont aptes à dialoguer et à assurer les missions qui leur sont confiées, à condition naturellement qu'ils soient en liaison filaire par le cordon ombilical qui matérialise la ligne "série". (Voir la page 10 du didacticiel précédent.)*

Accompagnant les documents relatifs au didacticiel de présentation du pupitre, vous y trouverez le petit livret **VALIDER JEKERT.pdf** qui sera indispensable au moment de procéder aux premiers essais de l'ensemble SONDE/PUPITRE. Ce document est préservé dans **<Présentation du pupitre>** car c'est au cours de ce volet que l'on propose de réaliser les livrets. Bien entendu, vous pouvez parfaitement attendre d'en avoir réellement besoin pour le concrétiser. Nous allons pouvoir commencer la réalisation du pupitre. **En toute logique l'approche devrait ressembler à :**

- 1) Réaliser le circuit imprimé du clavier d'exploitation, car sans ce dernier on ne peut rien faire.
- 2) Créer le petit circuit imprimé qui supporte la carte Arduino NANO.
- 3) Effectuer et justifier le choix des divers accumulateurs qui fourniront l'autonomie énergétique de l'ensemble. Les servomoteurs devront avoir une source d'alimentation "puissante".
- 4) Réaliser le circuit imprimé de distribution de l'énergie et de rechargement des accumulateurs de puissance, leur circuit étant spécifique.
- 5) Créer un petit circuit imprimé supportant les LEDs techniques et un petit module sur lequel seront soudées les LEDs blanches du système de rechargement des accumulateurs de puissance.
- 6) Réaliser les différents éléments constituant le coffret.
- 7) Assembler ces éléments pour agencer un pupitre digne de ce nom.
- 8) Intégrer les divers modules électriques et électroniques, phase qui imposera méthode et rigueur.
- 9) Réaliser le cordon ombilical qui relie les deux machines.
- 10) Procéder aux essais et la validation de l'ensemble.

#### 45) Réalisation pratique du clavier.

Probablement l'élément le plus délicat à étudier et à réaliser, car on désire des dimensions réduites et l'on cherche à regrouper un grand nombre de composants. Outre les seize touches, cinq diodes électroluminescentes sont présentes, dont l'une est tricolore. L'étude s'imposait de regrouper toutes les résistances nécessaires sur la plaque cuivrée, ainsi que les quatre diodes de multiplexage du clavier. Ça fait pas mal de monde à loger. Bien qu'ayant cherché à minimiser le nombre de ponts de câblage, il n'a pas été possible de faire avec moins. Un seul toutefois est placé sur le dessous.

##### ➤ **Le choix des boutons poussoir.**

Initialement, j'aurais bien aimé utiliser les boutons poussoir montrés sur la Fig.163 car je disposais d'un nombre suffisant avec des couleurs variées. Du reste il suffit de consulter la Fig.104 par exemple pour constater que ces beaux boutons étaient bien prévus dans les études préliminaires. Difficiles à trouver sur Internet, leur prix de vente est également trop élevé. Par ailleurs, réaliser la plaque du coffret qui supporte le clavier aurait été particulièrement malcommode. Réaliser tous ces trous carrés parfaitement centrés sur les boutons constitue un travail de bricolage hors de la portée des "débutants" et ce d'autant plus qu'il y a la face support et la plaque transparente qui recouvre la feuille des textes imprimés. Percer des trous circulaires avec précision est bien plus à la portée des ajusteurs occasionnels. J'aurais préféré des boutons un peu plus gros, mais finalement mon choix s'est orienté vers ceux de la Fig.165 car leur prix d'achat est particulièrement attractif, et leurs cabochons sont multicolores. On peut ainsi choisir les teintes à notre



Fig.163

guise. Sur cette photographie en A se trouve le corps des ces petits boutons poussoir. La partie active qui s'enfonce quand on clique porte un tenon conique sur lequel s'emboîte le cabochon B disponible en sept couleurs. En E l'un de ces composants est assemblé. On constate que ces dispositifs sont bien plus petits que ceux initialement prévus, et ajoutés en C et D pour que l'on puisse faire la comparaison. Avantage incontestable, les faibles dimensions des cabochons laissent bien plus de

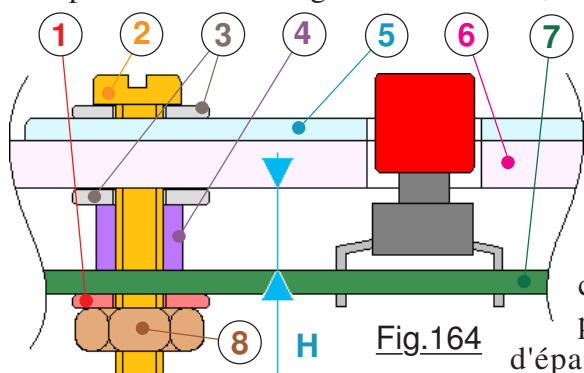


Fig.164

place pour les informations qui seront imprimées sur une feuille qui servira de "série-graphie". Toutefois, la contre partie réside dans la finesse avec laquelle il faut agencer le clavier. Consultez la Fig.164 qui présente à l'échelle des dimensions le bouton poussoir, avec manifestement une hauteur H faible entre le circuit imprimé 7 et la plaque du coffret 6 qui servira de façade. La feuille imprimée qui contiendra les inscriptions sera pincée entre la plaque 6 de 3mm d'épaisseur et la plaque transparente 5

de 1,5mm d'épaisseur. L'ensemble sera assemblé par des petits boulons  $\Phi M3$  constitué de la vis 2 et de l'écrou 8.

Dans l'état actuel du projet rien ne prouve que 2 ne sera pas plus longue, pour tenir une autre plaque qui servirait de séparation dans le coffret par exemple. Les deux plaques 5 et 6 sont immobilisées l'une contre l'autre avec interposition des deux rondelles métalliques 3. Le circuit imprimé est disposé contre la façade par l'intermédiaire des entretoises 4 de 4mm de longueur. H fait environ 5,5mm ce qui n'est pas beaucoup. Enfin les rondelles 1 placées coté pistes cuivrées sont en matériau isolant pour éviter tout court-circuit éventuel entre les diverses lignes à souder.

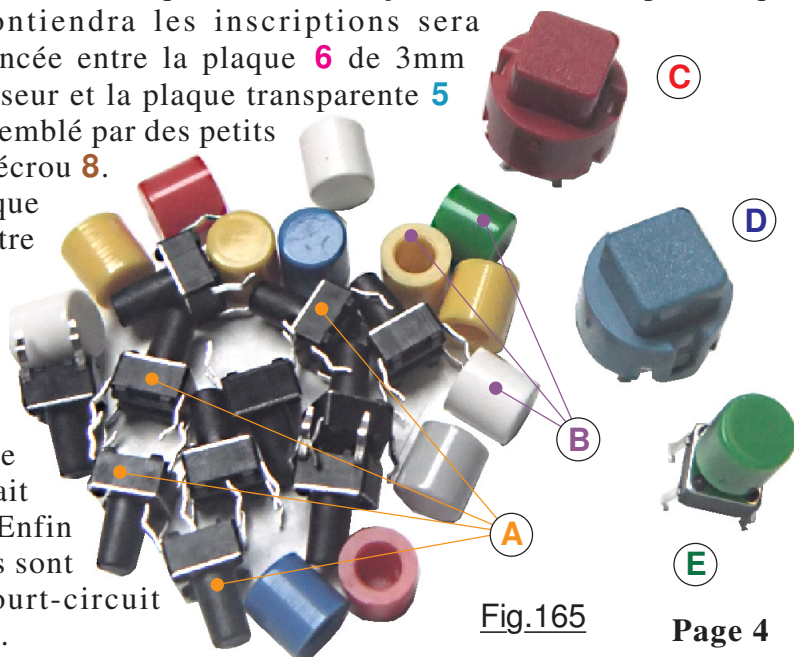
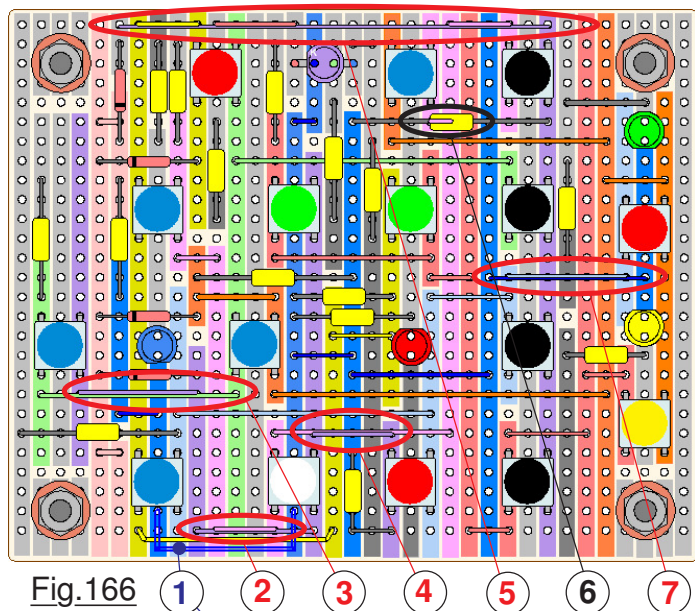


Fig.165



### ➤ Dessin du circuit imprimé.

Disponible dans le document **Réalisation du pupitre.spl** qui peut être imprimé avec la **visionneuse** fournie avec ce volet, vous en trouverez également sa représentation dans le dossier technique. Dans ce chapitre nous allons simplement passer en revue certains détails qui méritent d'être soulignés. Pour réaliser le circuit je vous conseille fortement d'imprimer la page nommée **1 : Cl. Clavier** avec en haut le dessin coté composants et coté cuivre à grande échelle. Au centre le plan du circuit clavier pour éventuellement vérifier le dessin. Enfin en bas le dessin vu coté cuivre à l'échelle 1 pour faciliter la réalisation des séparations sur les pistes cuivrées. Les



LEDs ne sont pas représentées sur le schéma du clavier. Sur la Fig.166 du haut le circuit imprimé est vu coté composants. Les pistes cuivrées sont visibles comme si la plaque prépercée était transparente et que l'on voit le dessous. Les couleurs facilitent la comparaison entre le schéma et la réalité. En **1** est vu par transparence le pont qui relie deux pistes sous le circuit imprimé. Attention : Dans les encerclés **2, 3, 4, 5** et **7** les ponts courts sont en réalité situés sous les ponts les plus longs. Ils sont représentés au dessus uniquement pour les voir. Surtout n'oubliez pas en **6** le petit pont rose qui relie deux pistes voisines. Placé sous la résistance de **12kΩ**, il est peu visible sur le dessin. Toutes les lisons filaires qui vont du clavier vers le circuit imprimé du microcontrôleur sont soudée coté pistes cuivrées. Globalement les pistes cuivrées sont écourtées par des isolements dont la largeur correspond à un trou. Toutefois il ne faudra pas oublier les cinq "fentes" de faible largeur repérées par les encerclés ovales **8**.

### ➤ Réalisation pratique du clavier.

Compte tenu du grand nombre de ponts superposés, de résistances, de boutons poussoir, la réalisation se présentait sous un aspect passablement indigeste. Ce pressentiment négatif était conforté par le fait que l'empâtement des boutons poussoir n'est pas en dixième de pouces, les broches ne coïncident pas aux trous standard de la plaque prépercée. Finalement,

avec de la discipline et un peu de méthode, l'opération s'est avérée sans aucune difficulté, il a suffi de procéder dans un ordre que l'on va qualifier de "logique". Notez au passage que les quatre diodes de multiplexage du clavier sont des diodes pour faible signaux et non des composants spécialisés dans le redressement. Outre le fait qu'elles sont moins volumineuses, surtout la chute de tension en état de conduction est plus faible que pour des composants prévus pour des courants importants.

#### Première étape : Préparer les nombreux ponts filaires et divers composants.

Conditionner à l'avance tous les composants impose un temps qui n'est pas du tout négligeable. Aussi, le faire alors que le fer à souder est chaud n'est pas une très bonne idée. Aussi, personnellement je commence par dénuder s'il le faut tous les fils, coude ces derniers ainsi que les résistances. (*Important : Pour les débutants, sachez qu'il est plus facile de dénuder les extrémités des petits fils avant qu'ils ne soient soudés.*) Les divers ponts de câblage sont réalisés avec les queues de composants pour les plus courts, et avec du fil de câblage rigide pour les plus longs. Les diodes sont à leur tour préformées, ainsi que la LED tricolore dont il faut écarter les broches pour qu'elles

soient à l'écartement standard des trous prépercés. Au fur et à mesure de cette phase de conditionnement des composants, ces derniers sont positionnés sur la plaque du circuit imprimé. On vérifie ainsi encore et encore la justesse de l'étude théorique. *(Pour la petite histoire, sachez que le clavier a fonctionné correctement du premier coup, sans aucune correction, ce qui prouve une fois encore que la cascade permanente de contrôles n'est jamais du temps perdu.)*

### Deuxième étape : Façonner les boutons poussoir.

Un peu redoutée par anticipation, cette opération s'avère au final très facile. Observons la Fig.167 sur laquelle l'un de ces petits composants est posé sur le circuit imprimé. En **X** le bouton est vu de

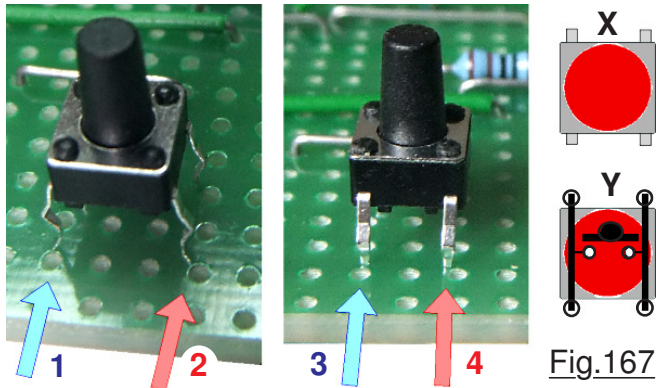


Fig.167

dessus, avec en **Y** son schéma électrique interne. En "largeur" la distance entre deux broches fait un peu moins de 5mm et ne correspond pas à l'écartement de deux trous. Par exemple la broche **3** est positionnée exactement en face d'un trou. Celle de droite en **4** est légèrement à l'intérieur. Il n'y a pas lourd, mais ce petit écart empêche de placer correctement l'élément sur la plaque prépercée. La "hauteur" correspond à presque quatre trous. Pour s'en rendre compte en **1** la broche est alignée sur l'orifice. En **2** vous pouvez appuyer de toutes vos

forces, la lamelle va se plier mais refusera obstinément de pénétrer dans le trou. Un peu de chirurgie s'avère indispensable. Avec une pince plate on commence par éliminer les pliures des petites broches comme montré sur la Fig.168 en **A**. Pour cette opération, le cabochon coloré n'est pas mis en place sur le tenon conique comme montré sur la Fig.169 ce qui octroie une meilleure prise du corps lors de ces manipulations. Quand les lamelles sont presque plates, on replie la partie inférieure comme montré en **B** pour obtenir

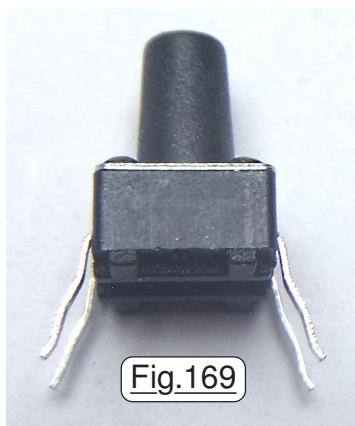


Fig.169

l'écartement correspondant exactement à la distance entre quatre trous.

Enfin, pour que le composant soit apte à son insertion sur le montage, on écarte latéralement dans l'autre direction pour avoir l'empâtement de trois trous. Attention, y aller tout doux car dans cette direction la correction à effectuer est minime. Placer le bouton poussoir sur le circuit imprimé, vérifier qu'il est facile de faire traverser les quatre broches simultanément. Tous les composants sont parés pour les assembler sur le circuit, on peut brancher le "frère à souder". Pour l'ensemble des composants j'utilise un fer de taille et puissance "moyenne". Pour les boutons poussoir, *(Pas tout de suite.)* un outil à pointe fine sera préférable,

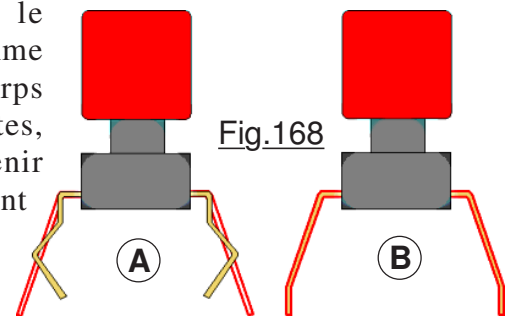


Fig.168

pour peut mieux "mouiller" de souder les broches qui dépassent à peine des pistes cuivrées.

### Troisième étape : Souder les ponts filaires qui sont plaqués sur le dessus du circuit.

L'opération est relativement simple à conduire. La plaque prépercée étant soutenue en l'air par un dispositif quelconque, on place tous les ponts dont les fils ne sont pas isolés. Puis, après avoir bien vérifié qu'ils sont exactement à leur position théorique, on plaque sur le dessus un morceau de carton rigide et l'on retourne le tout que l'on pose sur le bureau. Le carton rigide empêche les ponts de sortir des trous. Bandes cuivrées avec les fils dépassant vers le haut, procéder aux soudures. Quand tous les ponts sont soudés, couper les "tiges" qui dépassent et procéder à la vérification des soudures avec une loupe à fort grossissement. Chaque soudure doit présenter un aspect parfait, bien brillant et surtout ne pas relier par débordement la piste voisine. En particulier ne pas "ponter" les fentes fines comme celle qui sur la Fig.170 est encerclée en rouge.

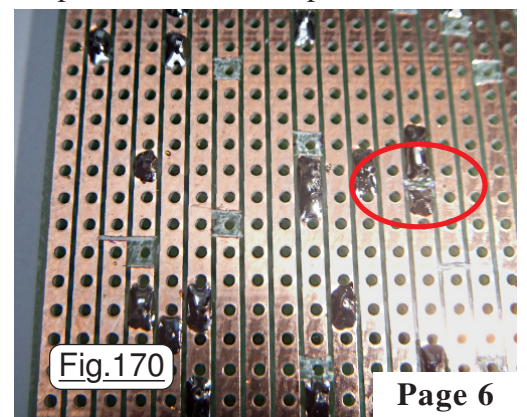
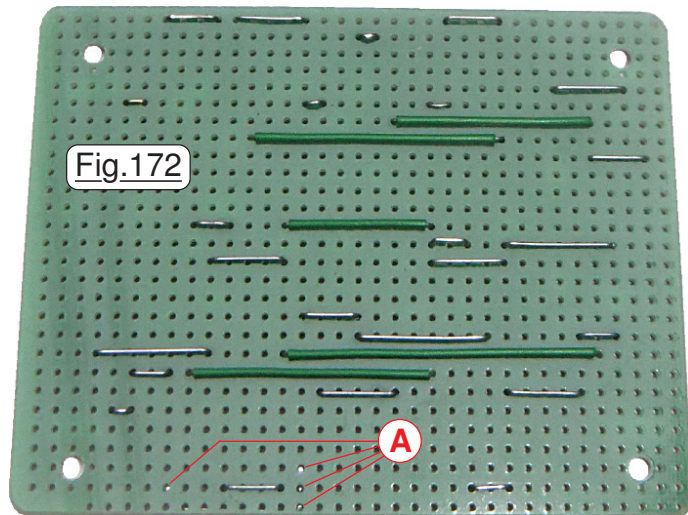


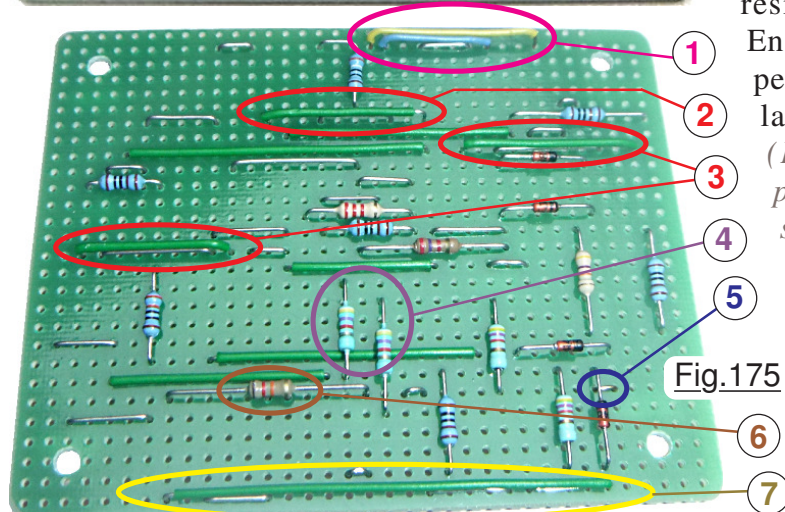
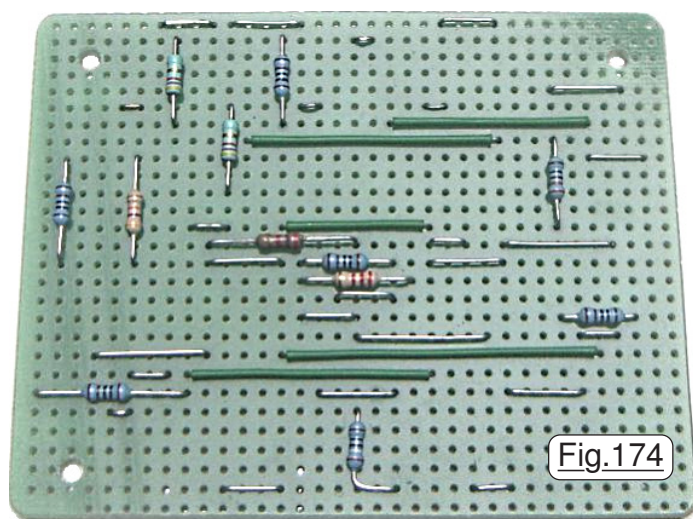
Fig.170



Lorsque tous les fils non isolés sont soudés, on place ensuite tous les ponts avec une gaine qui sont directement en contact avec la plaque imprimée. On recouvre avec le carton rigide, on retourne sens dessus dessous et on soude fil à fil. Profitez de cette manipulation pour placer le pont situé sur le dessous comme visible sur la Fig.171 et souder ce dernier sur les pistes cuivrées. On coupe tout ce qui dépasse, on



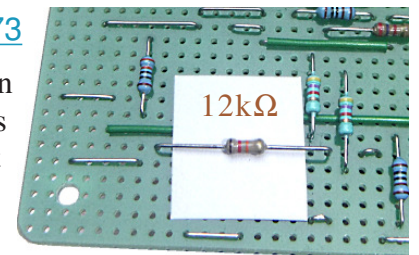
souder. De la sorte les ponts ne sont pas "écrasés" sur les fils qui sont dessous et l'on évite d'abimer l'isolant quand on chauffe au moment du soudage. Les dernières résistances à mettre en place sont celles qui chevauchent des ponts. Avant cette étape le circuit présente l'état de la Fig.174 avec en bas la résistance de  $390\Omega$  coudée latéralement. Pour souder les



obtient la première couche de la Fig.172 dont on revérifie minutieusement, ça va sans le dire, toutes les soudures. L'état actuel de notre chantier ressemble à ce que montre la photographie dont on devine en **A** les soudures du pont placé sur le dessous coté pistes cuivrées.

#### Quatrième étape : Souder les résistances.

Il importe d'attendre pour la couche des ponts qui sont par dessus ceux actuel que les résistances soient en place, car ainsi elles surélèveront un peu l'ensemble quand on retourne la plaque pour souder. De la sorte les ponts ne sont pas "écrasés" sur les fils qui sont dessous et l'on évite d'abimer l'isolant quand on chauffe au moment du soudage. Les dernières résistances à mettre en place sont celles qui chevauchent des ponts. Avant cette étape le circuit présente l'état de la Fig.174 avec en bas la résistance de  $390\Omega$  coudée latéralement. Pour souder les résistances qui sont au-dessus de certains ponts de câblage, en étant certain qu'il y aura un petit espace entre les deux composants, il suffit d'intercaler comme montré sur la Fig.173 un petit morceau de papier un peu épais.



#### Sixième étape : Souder les diodes et les ponts qui chevauchent.

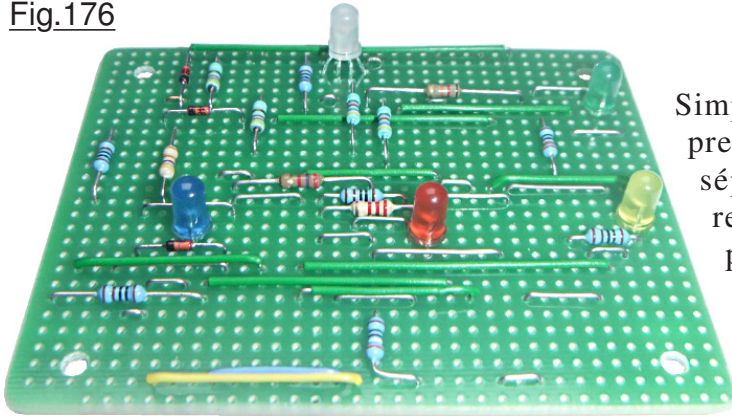
Le résultat de cette manipulation est donné sur la Fig.175 avec en **1** les trois ponts situés sur une même ligne "horizontale". En **2** et **3** des superpositions banales. En **4** on trouve les deux résistances de  $4,7k\Omega$  qui sautent le fil vert. En **5** on pourrait croire que la diode touche le petit pont. C'est un effet de perspective car dans la réalité la distance est de presque 2mm.

(En fait si ça touchait ce ne serait pas problématique vu que les deux éléments sont soudés sur la même piste cuivrée.)

En **6** on devine tout juste la présente du tout petit pont sous la résistance de  $12k\Omega$ . Enfin en **7** le long fil isolé en vert passe au dessus de trois ponts plus courts situés sur la même ligne "horizontale". On peut alors souder les diodes électroluminescentes, tout va pour le mieux ...



Fig.176



### Huitième étape : Souder les diodes électroluminescentes.

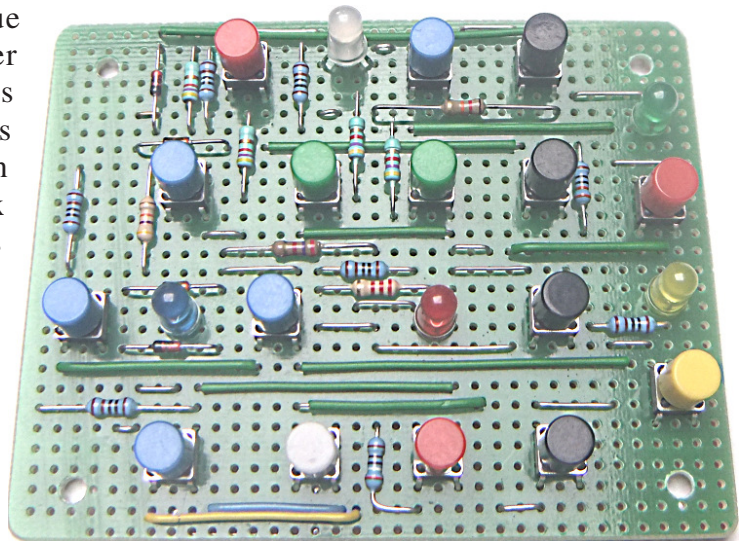
Simple formalité. Les quatre diodes "banales" sont presque contre le circuit imprimé. Elles en sont séparées d'à peine 1mm. Ainsi elles seront en retrait par rapport aux divers boutons poussoir pour ne pas gêner leur utilisation. Cas particulier : La diode électroluminescente tricolore. Comme on peut le constater sur la Fig.176 la base de sa collerette se trouve à environ 4mm du dessus du circuit imprimé. Pour la placer plus

proche il aurait fallu plier encore plus les broches extérieures pour avoir l'écartement standard. Je n'ai pas osé pour ne pas prendre le risque d'inclure des contraintes mécaniques trop élevées. Elle dépasse en hauteur d'environ 2mm par rapport aux cabochons de couleur, mais vu l'emplacement de ce témoin lumineux il ne gêne strictement pas l'usage des touches voisines. Attention à orienter correctement ces composants avant soudure et surtout à ne pas provoquer de court circuit entre les deux broches des diodes banales car les pistes cuivrées ne sont isolées que par un fin sillon.

### Dernière étape : Souder les boutons poussoir.

Phase ultime et surtout indispensable pour que notre plaque électronique devienne un clavier digne de ce nom. Sur la Fig.177 les cabochons sont disposés en choisissant des couleurs logiques. Couleur Bleue pour la fonction **MOUVOIR** et les quatre translations. Les deux rotations sont en vert. La touche pour les phares est blanche, correspondant à la lumière qu'ils émettent, quand au LASER le rouge s'impose. Les quatre autres touches d'appel des fonctions sont noires. La touche **NON** adopte le jaune correspondant à la LED qui incite à cliquer sur **FIN**. La fonction **APPRENDRE** et La touche **OUI** sont potentiellement dangereuses pour la petite sonde JEKERT si l'on ne respecte pas rigoureusement les protocoles du manuel d'utilisation. C'est la raison pour laquelle nous sommes avertis de ce fait par la couleur rouge de leurs cabochons respectifs.

Fig.177



Petite difficulté éventuelle pour assembler tous les boutons poussoir : Bien les aligner verticalement par rapport au circuit imprimé. Élément par élément on soigne à outrance son orientation. Quand on retourne la plaque en principe ils ne bougent pas étant relativement agrippés par leurs quatre pattes. On ne soude qu'une seule broche. Puis on vérifie finement l'orientation verticale et l'on soude les trois autres lignes. Cette opération n'est pas du tout compliquée, il suffit de progresser avec patience. Assembler toutes les touches demande au final bien moins de temps que je ne l'avais envisagé initialement. Sur la Fig.177 on a l'impression que les touches divergent comme un bouquet de fleurs. C'est un leurre issu d'une prise de vue rapprochée qui engendre beaucoup de distorsion trapézoïdale sur la photographie. Elles sont parfaitement parallèles. Encore un petit conseil : J'ai personnellement emboîté tous les cabochons avant de souder les touches sur le circuit imprimé. Les boutons étant plus haut on peut observer plus facilement leur orientation. OUF ... un tout joli petit clavier trône sur le bureau. Quelle facilité pour mémoriser la fonction des diverses touches. À l'usage il s'avère d'une qualité opérationnelle manifeste. C'est autre chose qu'un clavier matriciel carré du commerce qui imposait en permanence un effort intellectuel pour cliquer sur la bonne touche. Notez que les LED sont disposées de façon "rationnelle". La jaune incite à cliquer sur le bouton jaune. La verte est au dessus de la touche **OUI** et sa couleur stipule que l'action sera sans danger. La LED bleue se trouve entre les touches de translation précisant que les déplacements sont actifs. Enfin la LED rouge est placée bien centrée ... où il restait de la place !



#### 46) Le circuit imprimé du microcontrôleur.

Lors du développement, le pupitre se résumait à ce que représente la photographie de la Fig.178 et n'était pas très convivial, c'est le moins que l'on puisse dire. Aussi, on va devoir "tasser" tout ce petit monde dans un coffret, y ajouter les accumulateurs d'énergie, et le clavier bien plus grand que celui visible en 7. Bref, si l'on veut aboutir à un coffret relativement modeste en dimensions il va falloir tasser. Ce n'est jamais facile, et ce d'autant plus que l'assemblage et la maintenance

doivent rester faciles. Bref, une étude des circuits imprimés s'avère indispensable et doit évoluer simultanément avec la genèse des dessins du coffret. Dans ce didacticiel le pupitre est achevé et opérationnel, on peut donc avancer "linéairement". Examinons au passage l'ensemble de développement avec en 1 la ligne ombilicale des données

qui va vers JEKERT. En 2 le petit écran OLED est bridé sur le support 3 qui l'oriente convenablement et le maintient "au dessus de la mêlée". Nettement visible

la ligne standard USB permet de programmer le microcontrôleur caché sous "la tignasse" 5 qui domine la petite plaque à essais. Assisté par un autre module de branchement en 4 se trouvent diverses

LEDs dont la tricolore. En 6 on observe l'adaptateur de multiplexage du petit clavier matriciel 7, avec en 8 le codeur rotatif. En 9 une plaque à essais sert de base de départ pour le cordon ombilical. En 10 se trouve un petit module dont on utilise le mini contacteur pour déporter le RESET, car sous la canopée 5 celui de la carte NANO Arduino est inaccessible.

Enfin en 11 un petit module comportant un inverseur double permet d'isoler la ligne TX/RX

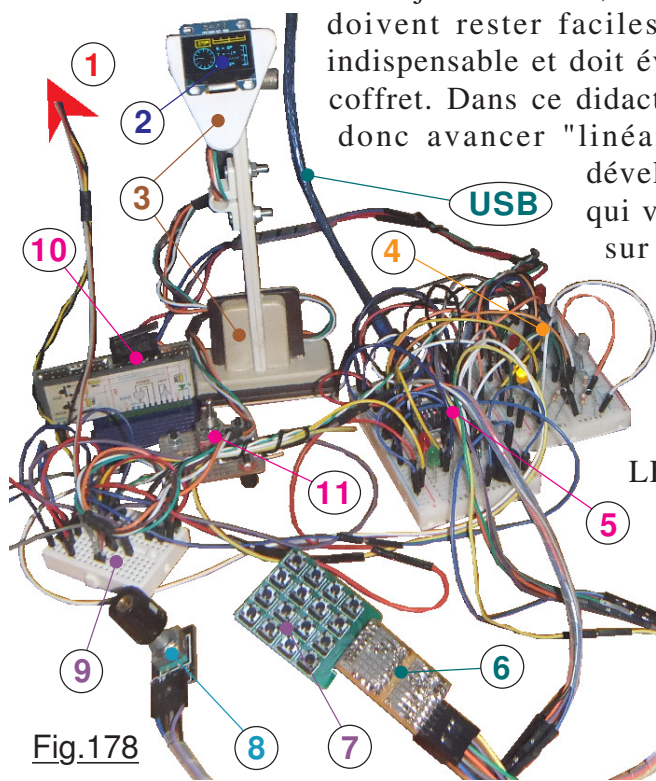


Fig.178

de dialogue entre les deux microcontrôleurs quand on téléverse un programme dans la mémoire de l'un d'entre eux. Vous pouvez observer que pour "aérer" l'ensemble, plusieurs lignes sont regroupées par des petites torsades, facilitant les innombrables interventions lors du développement.

#### ➤ **Le dessin du circuit imprimé.**

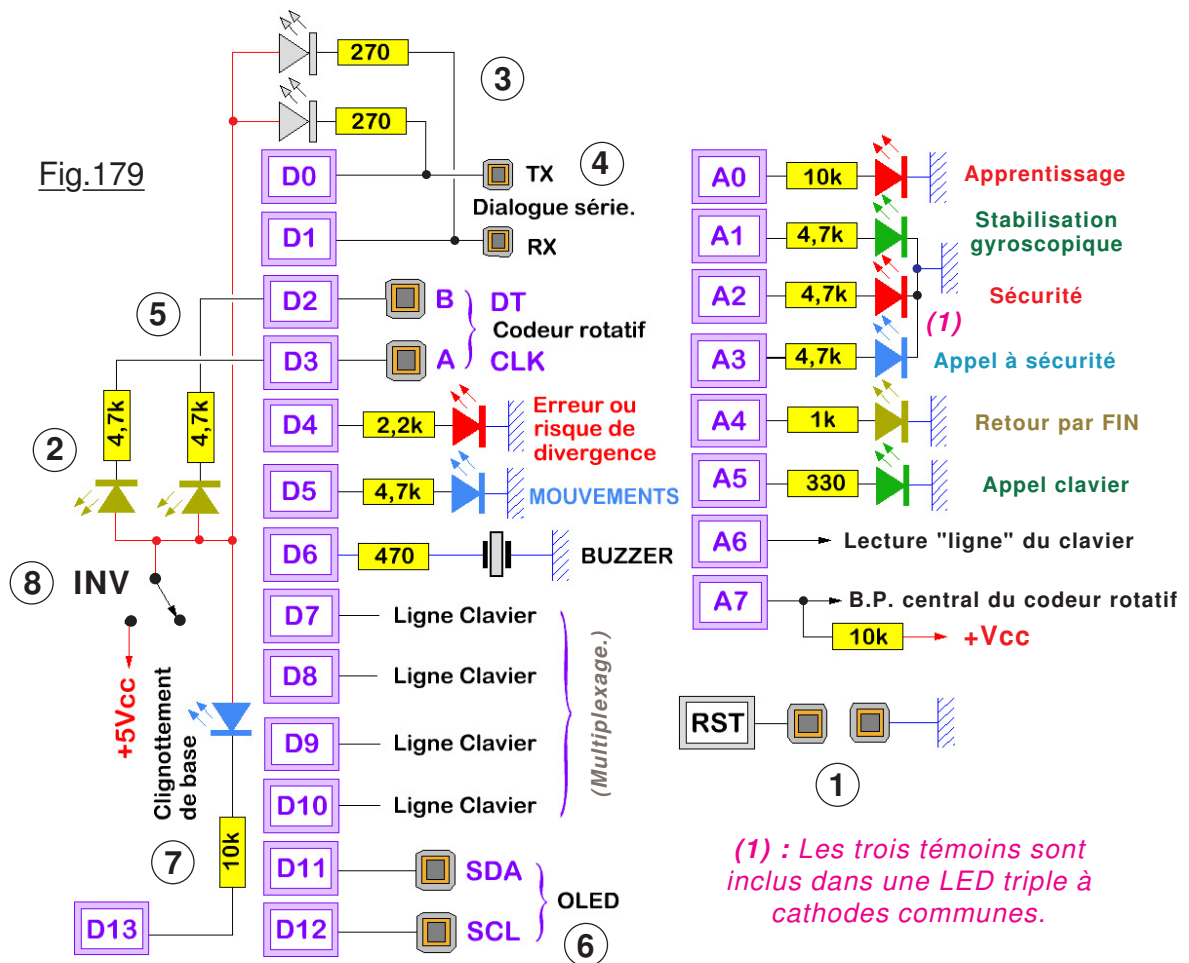
Outre le circuit du clavier déjà étudié, le pupitre intègre cinq autres modules que nous allons analyser séparément. Commençons par le plus important, celui qui supporte la carte NANO Arduino et divers composants qui y sont reliés. Bien que très petit, le circuit comporte un grand nombre de composants, et comme nous allons le constater, les torons de liaison dans le coffret occupent un volume considérable en proportion des circuits imprimés. C'est du reste cette connectique qui a engendré beaucoup d'études pour s'assurer de la faisabilité. Bien que figurant en page 4 du livret **DOSSIER TECHNIQUE**, le schéma électrique de branchement du microcontrôleur est reproduit sur la Fig.179 car le circuit imprimé décrit sur la Fig.180 en découle directement.

En vis à vis du schéma électronique, dans le manuel vous avez la page d'affectation des broches d'entrées et de sorties. Il est indispensable de consulter cette page pour établir le lien entre le schéma et le dessin du circuit imprimé. Il importera également de faire référence à ces informations quand on passera à l'étude de l'interconnexion des divers modules entre eux dans le coffret.

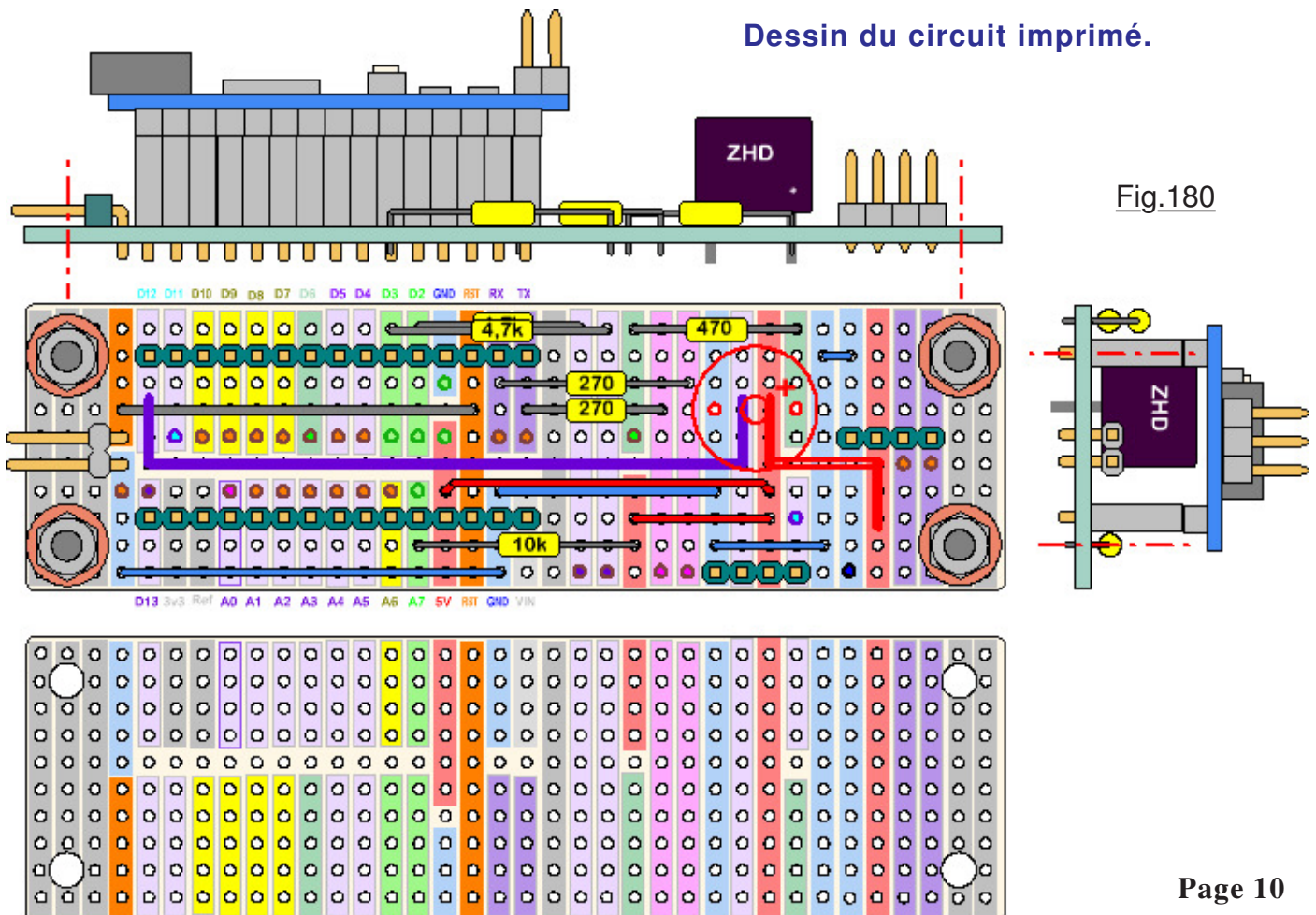
Lorsque le boîtier sera achevé et qu'il sera fermé, la carte NANO ne sera plus accessible et le bouton de RESET deviendra indisponible. On disposera toutefois d'un petit connecteur HE14 en 1 face à une petite ouverture pour pouvoir reprogrammer facilement à notre guise le microcontrôleur si l'on désire modifier le logiciel. Par ailleurs, sur la face avant seront disponibles certains témoins lumineux "techniques". Par exemple en 2 on notera que deux diodes électroluminescentes indiqueront l'état des deux contacts DT et CLK du codeur rotatif. Quand on tourne ce dernier, les deux LEDs clignotent en fonction de l'état logique de chaque contact électrique. Lors des interventions techniques, cette information s'est avérée bien utile, notamment en programmation quand le logiciel ne présente pas le comportement attendu. Également précieux en 3 les deux témoins lumineux qui s'illuminent lors des dialogues entre les deux processeurs. Si TX s'illumine et que RX reste

## BRANCHEMENTS DE L'ATmega328 du pupitre.


Fig.179



## Dessin du circuit imprimé.





éteint, c'est que le dialogue série n'est pas effectif. Du coup le programme se bloque. Pouvoir visualiser les échanges de données entre les deux cartes électroniques est pratiquement indispensable pour le suivi technique de l'ensemble. Notez au passage que sur le schéma de la Fig.179 le symbole  précise que la broche du microcontrôleur va sur un connecteur de type HE14 mâle soudés directement sur le circuit imprimé. C'est le cas en **4** pour le dialogue série, en **5** pour la liaison avec le codeur rotatif et en **6** pour l'afficheur OLED. Pour les autres liaisons les connecteurs sont situés aux extrémités de lignes filaires reliées en torons électriques. En **7** une LED bleue atteste du "ronronnement" de la boucle de base du programme. Quand elle clignote, le processeur déroule les instructions de **void loop**. Si elle reste allumée ou éteinte en permanence, c'est soit que l'ATmega328 est occupé dans d'autres séquences du programme, (*Tout va bien.*) soit que le programme est "planté". On se doute que cette LED n'est vraiment utile qu'en mise au point des programmes. Comme toutes ces informations lumineuses ne sont utiles qu'à des périodes très spécifiques et surtout particulièrement gênantes en exploitation de la sonde, le commutateur **INV** en **8** permet de les éteindre quand on ne veut plus qu'elles titillent exagérément notre attention.

### ➤ Présentation du pupitre.

Comprendre un schéma et sa logique n'est pas du tout aisé si l'on n'a pas bien présent à l'esprit ce qu'il est supposé représenter par des symboles conventionnels. Pour mieux se repérer, la Fig.181 présente le coffret entièrement terminé, en favorisant la face avant et le clavier de pilotage. On retrouve en **2**, **3** et **7** les LEDs déjà mentionnées ainsi qu'en **8** l'interrupteur **INV**. Bien visible en



**9** se trouve à gauche (*Pour les droitiers !*) le gros bouton du codeur rotatif. Sur la face avant en **10** se trouve la LED rouge pilotée par **A0** qui signale que le mode APPRENTISSAGE est actif. Importante en exploitation cette LED n'est pas coupée par **8**. Le clavier étant disposé à droite, on reconnaît en **11** la LED triple pilotée par les sorties **A1**, **A2** et **A3** et en **12** celle jaune qui impose de sortir d'une fonction par la touche **FIN**. En **13** la LED rouge prévient d'une situation potentiellement dangereuse pour JEKERT et en **14** la LED bleue qui précise que le mode MOUVEMENTS est en cours. Les touches bleues auront dans ce cas un effet sur les déplacements du petit robot. Nous verrons plus loin que l'alimentation en énergie utilise trois sources distinctes. Les deux cartes NANO Arduino sont alimentées par un petit bloc 5Vcc. La mise en marche des deux cartes électroniques se fait par l'inverseur **18**. Indépendamment des microcontrôleurs, la motorisation est alimentée par deux blocs accumulateurs de 6Vcc pouvant être mis en fonction par les inverseurs **15** et **16**. Nous y reviendrons. En **17** deux LEDs blanches témoigneront de la mise en recharge des accumulateurs de puissance, cette dernière étant indépendante pour chaque bloc énergétique.

### ➤ Souder les composants sur le petit circuit imprimé.

Quelques petits détails technique ne peuvent que vous faciliter la tâche. En particulier, (*Je ne pense pas l'avoir précisé dans les didacticiels précédents.*) un circuit imprimé qui a été stocké sur une longue période s'oxyde. La couleur rouge du cuivre change légèrement de teinte et ce n'est pas évident du tout. Cette minuscule couche d'oxyde constitue l'ennemi numéro un du soudage. L'étain refuse d'adhérer proprement sur la piste cuivrée. On doit insister, ce qui surchauffe les composants. On fait un "gros paquet" pour au final aboutir à ce que les électroniciens nomment une soudure sèche. Pourtant, éliminer ce problème est enfantin. Quand une éponge artificielle a trop souffert, elle commence à se désagréger et part en petits morceaux lors de son usage. Vous en séparez le "gratte avec le dos" et vous obtenez l'outil idéal de la Fig.182 qui frotté avec énergie sur les pistes cuivrées en modifie l'apparence sans pour autant en diminuer l'épaisseur du métal rouge. Devenues plus brillantes, les soudures seront faciles à soigner et mouilleront parfaitement le cuivre et la queue du composant assemblé.

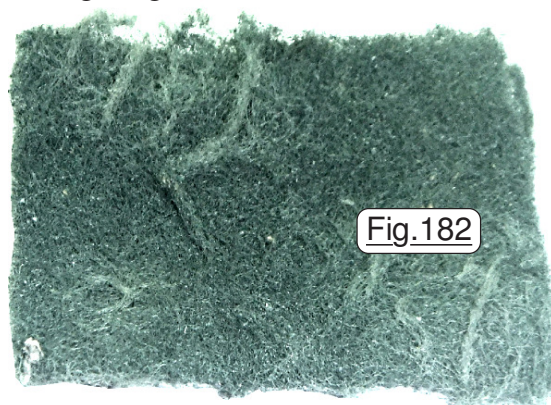


Fig.182

Notez au passage que le fil d'étain de la soudure mise à contribution s'oxyde également. Si vous le frottez fortement avant de vous en servir, les dépôts de résine sur la plaque cuivrée seront bien plus propres. Pour ma part, je commence par dérouler environ 80cm de soudure de la bobine. Puis je frotte tout le long pour enlever la pellicule périphérique. On peut alors passer au soudage. Quand tous les composants sont soudés sur la petite carte, on peut déjà la tester puisque la liaison vers l'afficheur OLED est sur connecteur HE14. Reliez cette dernière au connecteur de l'afficheur avec des fils d'expérimentation. Alimentez avec la mini prise USB. L'écran d'accueil doit s'afficher normalement. OUF, c'est bon signe. Nous allons provisoirement en rester là pour l'instant, nous verrons comment souder les torons de liaison au moment de l'intégration. Expliciter les différentes liaisons sera plus pertinent quand tous les circuits imprimés seront entièrement définis.

#### 47) Choix des blocs énergétiques pour alimenter JEKERT.

Conférer à l'ensemble Pupitre / Sonde une autonomie complète n'a pas été du tout facile, à tel point qu'à un stade des études préliminaires j'étais pratiquement aculé à renoncer et à fournir en énergie les moteurs à partir de l'alimentation secteur. Autant alimenter en 5Vcc les deux cartes Arduino n'a jamais posé de problème, autant animer les moteurs s'est avéré bien délicat. Initialement les premières tentatives ont été conduites avec un petit bloc du commerce montré sur la Fig.183 qui permet en voyage de recharger vos téléphones, appareils photographiques etc. Nous savons tous qu'une prise USB ne peut fournir qu'environ 500mA, guère plus. Hors en statique les servomoteurs SG90 consomment très peu. Ce n'est qu'au cours des transitoires de mouvements que les appels de courant sont virulents.

J'avais naïvement supposé que des dispositifs tel que celui de la Fig.183 étaient munis d'un limiteur de courant. Les démarrages des moteurs auraient ainsi été un peu "mous" mais les mouvements raisonnables.

Et bien c'est illusoire. Les

dispositifs commerciaux du genre "réserve USB d'énergie" sont protégés par des disjoncteurs.



Fig.183

Alimentation de type USB

Quand une surintensité se produit, la sortie se coupe totalement. Nos moteurs SG90 restent alors définitivement inertes. C'est bien dommage, car ils sont populaires, et de ce fait vendus en très grande quantité ... donc à des tarifs avantageux.

Compte tenu des surintensités transitoires très élevées générées par la motorisation adoptée, il

faut se tourner vers **des accumulateurs sans protection**

**interne, à forte capacité et à résistance interne très faible**



Fig.184

pour ne pas que la tension ne se "mette à genoux" quand



les douze SG90 sont simultanément activés. Dans la kyrielle de produits disponibles, mon choix s'est porté sur celui de la Fig.184 car sa tension nominale de 6Vcc convient parfaitement. Nous savons que les moteurs engendrent de très forts appels de courant, il importe que la résistance interne de la batterie soit faible, car une chute de tension aux bornes trop importante aura pour effet la divergence des asservissements du multiplexeur, les mécaniques partant inexorablement en butée. Le modèle présenté sur la photographie autorise ces débits dont les intensités crêtes sont "virulentes". Toutefois, une mesure précise de sa capacité montre qu'elle ne dépasse pas les 1300mAh, soit à peine plus de la moitié de la performance annoncée en **X**. Pour retrouver une réserve d'énergie suffisante à mes yeux, au final c'est deux de ces modules qui ont été insérés dans le pupitre, aboutissant à un cout qui confine à du luxe. (*Vous pouvez parfaitement faire avec un seul bloc.*)

### ➤ Bloc alimentation des microcontrôleurs.

**L**argement commenté dans les chapitres qui précèdent, nous savons qu'il est impératif de ne pas utiliser une alimentation unique pour la motorisation et pour les cartes ATmega328. Les parasites induits sur la ligne par les servomoteurs SG90 risquent de perturber fortement les deux Arduino. Il serait totalement possible d'utiliser le petit bloc de la Fig.183 de type bâton. Il convient parfaitement. Toutefois, mon choix c'est porté sur celui montré en **Y** de la Fig.185 pour des raisons de forme et d'encombrement. Sur cette photographie est également visible l'un des deux blocs de puissance pour comparer les dimensions. Celles de **Y** sont parfaitement adaptées pour une intégration rationnelle dans le coffret, d'où ce choix. L'énergie sera disponible sur la prise USB **4**. Il est facile de se procurer des fiches USB pour réaliser le couplage. En **3** se trouve la mini prise pour procéder au rechargement à partir d'un petit bloc secteur 220V fourni avec l'accumulateur. L'électronique interne détecte automatiquement une charge branchée en **4**, y compris si elle consomme un courant dérisoire. Dans ce cas la petite rampe lumineuse en **2** indique l'état de charge de ce bloc d'accumulateurs rechargeables. Quand un seul point est allumé, il faut commencer à envisager de procéder à une régénération. Le bouton poussoir **1** permet d'allumer la rampe **2** si rien n'est branché en **4** pour évaluer la disponibilité énergétique du module.



Fig.185

**ATTENTION :** En **X** nous avons un risque important de destruction du bloc d'énergie. Pour pouvoir débiter des courants importants, les fils de liaison en **Z** sont de forte section. Il n'y a aucune protection interne prévenant d'un éventuel court circuit en **X**. L'écrou métallique ou le petit tournevis qui vous échappe se placera forcément entre les deux broches fatidiques du connecteur HE14. Présentant une résistance interne très faible, avantage recherché dans cette application, le courant sera considérable et pourra endommager définitivement le joli groupement vert. Aussi je peux vous assurer que durant les expérimentations j'ai pris toutes les précautions pour interdire une telle tragédie. **Nous verrons plus avant comment procéder en toute sécurité quand on va devoir introduire ces blocs électriquement et mécaniquement dans le coffret.**

#### 48) Mise en œuvre physique des alimentations de puissance.

**T**oute chaîne quelle qu'en soit la nature ne vaut que ce que vaut son plus mauvais maillon. Cet adage populaire est particulièrement illustré dans cette étude. Si lors des appels de courant transitoires la tension sur le multiplexeur descend en dessous d'un certain seuil, nous avons constaté que l'automatisme diverge et que les moteurs vont se bloquer en butée mécanique. Il faut à tout prix minimiser ce risque. **L'objectif** affirmé consiste à **réduire au maximum la résistance électrique qui s'opposera au cheminement des électrons** depuis le "réservoir vert" jusqu'à la nourrice d'alimentation du circuit multiplexeur. Pour aboutir au rotor des servomoteurs SG90, les électrons vont devoir franchir une série d'obstacles les uns à la suite des autres. C'est cette chaîne représentée sur la Fig.186 qu'il faut impérativement optimiser. La résistance propre à chaque maillon devra se voir minimiser par des choix technologiques judicieux. Ce chapitre va les passer en revue. **Page 13**

Il ne servirait à rien de sélectionner des batteries à faible résistance interne si en ligne on accumule des pertes exagérées. La Fig.186 relative à un seul des deux circuits identiques montre la chaîne des divers éléments rencontrés sur la ligne qui part des accumulateurs jusqu'au multiplexeur. Chaque perturbateur engendrera pour son compte une petite chute de tension, leur somme pouvant rapidement aboutir à la divergence des automatismes. Première optimisation : Le petit connecteur HE14 des accumulateurs visible sur la Fig.185 est purement et simplement éliminé, les fils rouges et noir étant directement soudés sur le bornier **A**. C'est un modèle pour intensité notable qui a été adopté. Vers la prise en **E** et vers le circuit des fusibles en **C** la résistance interne de ce bornier sera raisonnable. Il importe de choisir un support qui serre fort le fusible pour minimiser la résistance de contact et surtout de proscrire tout fusible **B** de type "retardé" dont la résistance propre est néfaste, surtout lors des appels de courant. L'inverseur **D** est en réalité un double inverseur, divisant ainsi par deux ses résistances de contact. Vous avez déjà compris que les fils de liaison utilisés seront de section

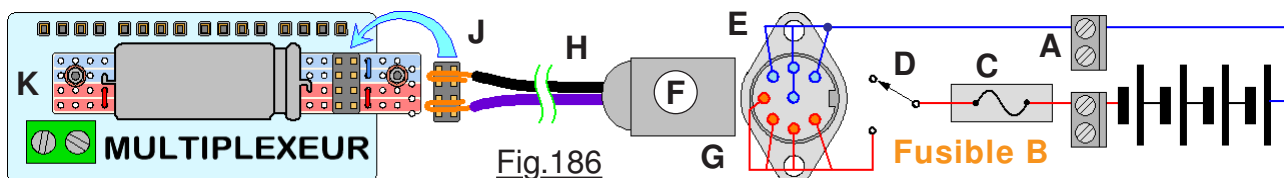


Fig.186

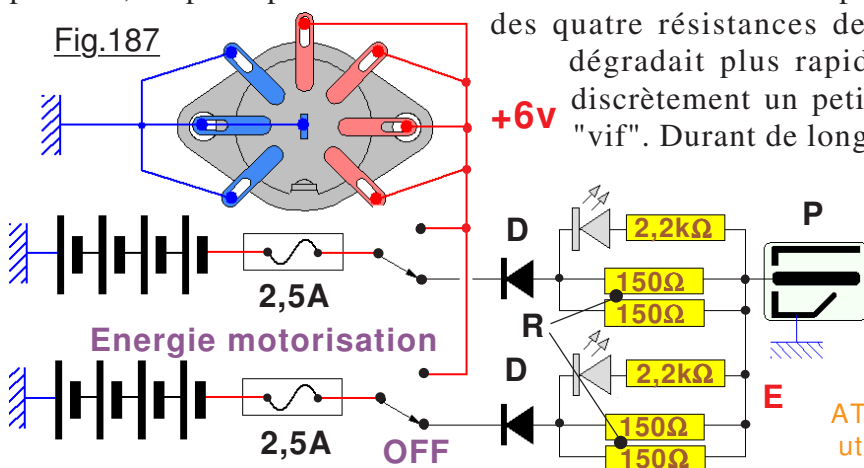
sérieuse, au même titre que la ligne de puissance **H**. (Déjà explicité lors de l'étude de la sonde.) En **J** on retrouve le connecteur HE14 de branchement sur le circuit imprimé du condensateur. Avec huit broches nous avons diminué la résistance de contact à ce niveau, ainsi que la liaison **K** sur le domino par de gros fils électriques. Entre la fiche **F** de la ligne d'alimentation et la prise pour châssis, la liaison se fait par les contacts **G** et **E**. On utilise des composants de type DIN mais à huit broches, quatre pour le plus et quatre pour le retour. Ainsi, on divise par quatre la résistance de chaque pôle, et par voie de conséquences les chutes de tension et les échauffements. C'est par toutes ces précautions que l'on aboutit à un ensemble cohérent pouvant fournir de fortes intensités.

**A**ucune obligation à doubler les blocs alimentation. Un seul module est suffisant pour faire fonctionner la sonde. Bien que mettant en ligne les deux accumulateurs pour assurer une plus longue durée d'utilisation, il est parfaitement possible de se contenter d'une version économique déjà tout à fait satisfaisante. Du reste tous les essais ont été effectués avec un seul module énergétique. Ce luxe peut être justifié par deux arguments :

- 1) Vu le volume des éléments approvisionnés, ils sont tout à fait compatibles avec les dimensions du pupitre. Un ou deux blocs 6v n'ont que peu d'influence sur les dimensions adoptées.
- 2) Le pupitre peut servir de bloc alimentation 6Vcc indépendant pour alimenter d'autres petites applications expérimentales de robotique de loisir.

### ➤ Recharger les accumulateurs de puissance.

**P**rocédure de rechargement et schéma électrique sont donnés dans le **DOSSIER TECHNIQUE** en Page 18 et Page 19. On retrouve le schéma de rechargement sur la Fig.187 sur laquelle les deux inverseurs de puissance sont sur **OFF**. Les moteurs ne sont donc pas alimentés. C'est la position qu'ils doivent adopter quand on veut recharger les blocs accumulateurs. On constate que dans cette position, les pôles positifs des deux modules sont en liaison par la chaîne de rechargement constituée



des quatre résistances de **150Ω**. Si l'une des deux unités se dégradait plus rapidement que l'autre, elle "pomperait" discrètement un petit courant dans l'accumulateur le plus "vif". Durant de longs mois de non activité, il se produirait une lente décharge des deux sources d'énergie. C'est précisément pour éviter ce petit inconvénient que les diodes **D** interdisent toute liaison électrique entre les deux entités quand les inverseurs sont sur **OFF**.

**ATTENTION** : Surtout ne pas utiliser des fusibles rapides.



Si les deux inverseurs étant en position de rechargement **OFF** on branche sur la prise **P** la sortie d'un bloc secteur délivrant environ 12Vcc en charge, les diodes **D** vont passer en conduction et un courant d'environ 40mA va circuler à travers **R**. Ce courant traversant **R** engendre une différence de potentiel de l'ordre de 3V ce qui est largement suffisant pour dépasser le seuil de conduction de la diode électroluminescente blanche qui témoigne du rechargement du bloc concerné. Avec une résistance de limitation de courant de **2,2kΩ** l'éclairage sera largement suffisant car ces composants modernes présentent des rendements lumineux assez magiques.

### ➤ Les circuits imprimés pour la distribution de l'énergie.

Conjointement avec l'étude du coffret, les circuits imprimés ont été conçus pour leur imbrication "facile" lors de l'intégration, étant bien entendu qu'il faut pouvoir facilement coupler ou libérer le bornier de puissance, déposer ou remettre en place les fusibles, agir de la sorte sur tous les modules qui viennent "se tasser" dans le boîtier. Ainsi, l'emplacement adopté joue un rôle sur les dimensions à affecter aux divers circuits imprimés. N'oubliez-pas que le dessin reproduit ici sur la Fig.188 peut être imprimé à partir de la **visionneuse** fournie, et est disponible en quatre vues dans l'onglet **4: Divers C.I.** du fichier **Réalisation du pupitre.pdf**. Tout particulièrement vous y trouverez également le dessin coté pistes

cuivrées pour déterminer les séparations à effectuer. Les connecteurs HE14 présents sur le circuit imprimé ne sont reliés qu'aux LEDs et aux circuits de rechargement, c'est à dire des liaisons qui ne véhiculent que des courants faibles. Encore que pour les fils qui sont reliés à la prise 12Vcc les picots sur les lignes HE14 sont doublés car je considère que ces connecteurs ne sont pas prévus pour des courants notables. 75mA au total n'est pas vraiment important ... j'ai préféré toutefois doubler la mise. La Fig.189 montre le circuit en cours de réalisation. Les fils qui conduisent les forts courants de la motorisation sont soudés directement sur les pistes cuivrées. En **1** et **2** les fils vont au bornier qui relie le module directement aux deux blocs accumulateurs. Un court-circuit à ce niveau n'est pas protégé. En **3** et **4** c'est la "sortie" des fusibles qui va au bornier, puis vers les inverseurs qui permettent de relier à convenance l'énergie sur la prise DIN qui est branchée à la ligne de puissance

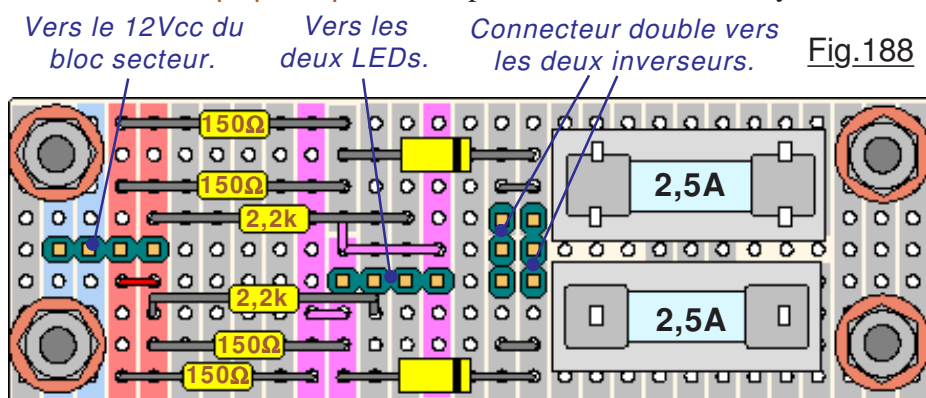


Fig.188

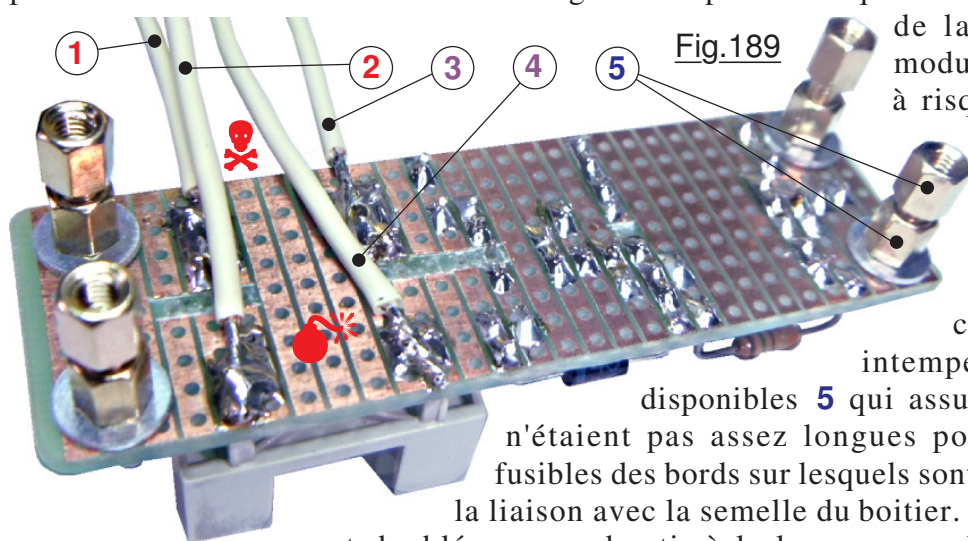


Fig.189

de la sonde. Avant d'intégrer ce module dans le coffret, toute la zone à risque a été sérieusement isolée.

Dans ce but les quatre régions soudées aux extrémités des gros fils ont été copieusement recouverte de vernis à ongle.

On protège ainsi les liaisons conductrices de tout contact

intempestif interdit. Les entretoises

disponibles **5** qui assurent la liaison avec le coffret n'étaient pas assez longues pour dégager suffisamment les fusibles des bords sur lesquels sont implantées les vis qui assurent

la liaison avec la semelle du boîtier. Aussi on constate en **5** qu'elles sont doublées pour aboutir à la longueur souhaitée. Autre remarque :

Une observation attentive du dessin du circuit imprimé de la Fig.188 montre que les supports de fusibles ne semblent pas identiques. L'un est soudé sur la plaque cuivrée par seulement deux picots alors que l'autre en comporte quatre. Une fois encore ces petites incongruités résultent d'un usage intensif de composants de récupération. Donc les deux modèles qui protègent la ligne électrique de puissance sont un peu différents. C'est également le cas pour les entretoises. Leur nombre doublé ici évite d'avoir à en commander qui présenteraient directement la bonne longueur, on se contente de ce qui est disponible ...

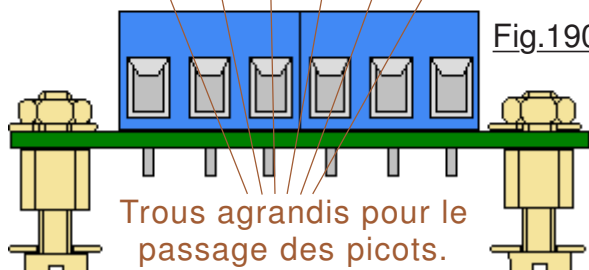
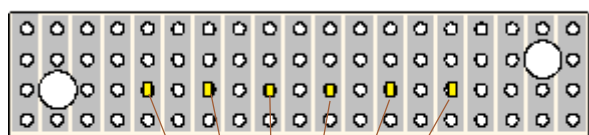
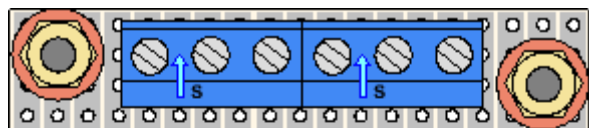


Fig.190

Trous agrandis pour le passage des picots.

La Fig.190 propose trois vues du circuit imprimé du bornier de puissance. Les trous de passage des deux vis de liaison sont décalés latéralement pour augmenter la stabilité du module. Comme pour le circuit des fusibles les pistes et les soudures critiques sont entièrement isolées avec du vernis à ongles. C'est d'autant plus important que deux de ces fils vont directement aux accumulateurs sans aucune protection contre d'éventuels courts-circuits malencontreux. Il n'est pas question de souder ces fils pour le moment, car le coffret n'étant pas disponible nous ne savons pas quelle longueur leur donner. Le moment venu nous aborderons la procédure rigoureuse à adopter pour effectuer ces soudures, car s'il y a une opération risquée, c'est précisément celle là.

### ➤ Les circuits imprimés complémentaires.

**C**oncrètement ils ne seront soudés que lorsque le coffret sera disponible. En effet, nous verrons comment procéder pour que les diodes électroluminescentes soient parfaitement centrées sur les trous de passage des plaques du coffret. Aborder ici la conception des petits modules ne fait qu'anticiper la phase d'intégration. Vous vous doutez que la répartition judicieuse des éléments sur la face avant ainsi que celle qui supporte le clavier a été soigneusement étudiée pour aboutir à un pupitre "élégant" et rationnel. Les diodes électroluminescentes étant réparties avec précision, on a alors conçu les circuits imprimés qui les supportent. La distance entre ces composants optroniques est choisie pour respecter l'écartement standard entre les trous des plaques préperçées. On confirme ici que l'étude est forcément globale. Quand tous les gros volumes ont été répartis dans le boîtier, avec l'assurance de pouvoir monter et démonter, ensuite on a défini avec précision la position des inverseurs, des LEDs, du codeur rotatif et de l'afficheur OLED. Tout est lié dans cette analyse. Les dessins présentés ici résultent donc de cette approche globale et ont été validés lors de la réalisation matérielle. Leur pertinence est avérée et vous pouvez vous en inspirer sans risque.

les trous de passage des plaques du coffret. Aborder ici la conception des petits modules ne fait qu'anticiper la phase d'intégration. Vous vous doutez que la répartition judicieuse des éléments sur la face avant ainsi que celle qui supporte le clavier a été soigneusement étudiée pour aboutir à un pupitre "élégant" et rationnel. Les diodes électroluminescentes étant réparties avec précision, on a alors conçu les circuits imprimés qui les supportent. La distance entre ces composants optroniques est choisie pour respecter l'écartement standard entre les trous des plaques préperçées. On confirme ici que l'étude est forcément globale. Quand tous les gros volumes ont été répartis dans le boîtier, avec l'assurance de pouvoir monter et démonter, ensuite on a défini avec précision la position des inverseurs, des LEDs, du codeur rotatif et de l'afficheur OLED. Tout est lié dans cette analyse. Les dessins présentés ici résultent donc de cette approche globale et ont été validés lors de la réalisation matérielle. Leur pertinence est avérée et vous pouvez vous en inspirer sans risque.

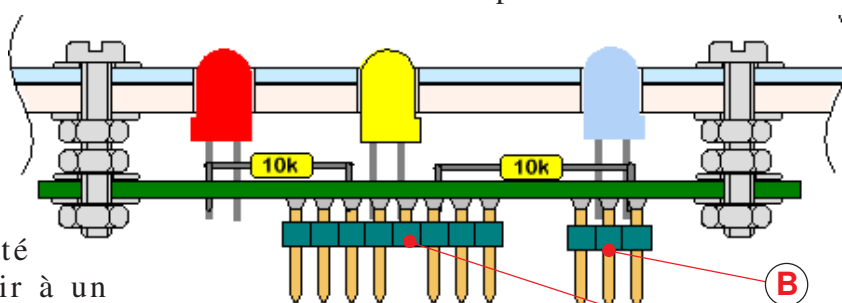


Fig.191

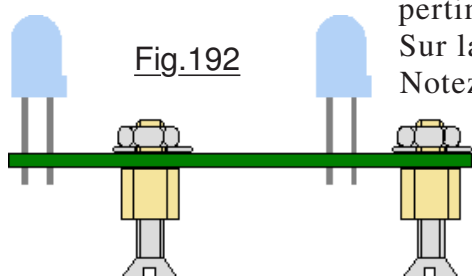
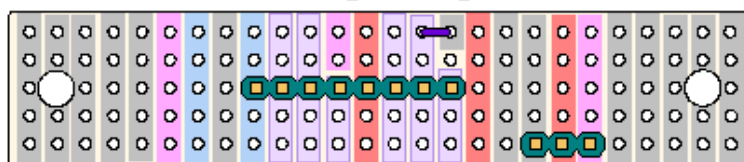


Fig.192



Sur la Fig 191 est représenté le petit circuit des LEDs de la face avant. Notez qu'en **A** un picot mâle du connecteur HE14 a été coupé pour repérer plus facilement au branchement le sens à adopter. Sur ce circuit, en **B** on utilise un connecteur HE14 à trois broches alors que seule celle centrale est utilisée pour amener le +5Vcc depuis l'inverseur. Le connecteur est ainsi mécaniquement plus résistant. En effet, les deux HE14 sont soudés coté pistes cuivrées. C'est le collage de ces dernières sur la plaque isolante qui constitue la résistance mécanique. Donc avec trois broches soudées la liaison est plus sérieuse. Le petit circuit de la Fig.192 montre le support des deux LEDs blanches de témoignage du rechargement. C'est une plaque préperçée qui au lieu de comporter des pistes linéaires est pourvue de petits plots cuivrés carrés.



#### 49) Réalisation pratique des éléments du coffret.

Façonner les différents éléments du coffret n'est pas spécialement élémentaire, car certaines plaques présentent des difficultés spécifiques, en particulier des tranches biseautées à des angles inhabituels sans compter la face qui supporte le clavier. Quelle que soit la technologie qui vous est propre, il faudra y aller avec patience et méthode. Comme déjà explicité dans d'autres didacticiels, je favorise le polystyrène choc et le collage par dissolvant cellulosique. Vous trouverez tous les détails de mise en œuvre de ce matériau ainsi que mes techniques d'usinage sur :

<http://www.robot-maker.com/ouvrages/interface-puissance-arduino/realisation-pratique-coffret/>

<http://www.robot-maker.com/ouvrages/interface-puissance-arduino/mettre-oeuvre-polystyrene-choc/>

<http://www.robot-maker.com/ouvrages/interface-puissance-arduino/ecrous-inclus-masse/>

##### ➤ Les plans du coffret.

Curieusement c'est l'étude de ce dernier qui a constitué, et de loin, l'opération la plus indigeste du développement du pupitre. La difficulté réside dans la compacité du boîtier. Vouloir à outrance minimiser l'encombrement induit des contraintes pas du tout faciles à respecter. La seule façon d'arriver à un boîtier très petit consiste à "entasser" les divers modules par couches. Il faut pourtant que l'assemblage et le câblage ne soient pas à la limite de l'impossible. Montage et démontage aisés sont impératifs pour assembler et surtout déposer les circuits si l'on désire effectuer ultérieurement de la maintenance facilement. Enfin, et ce n'est pas d'une évidence triviale, qui dit assembler impose le passage des outils. L'intégralité des dessins d'ensemble, et des dessins de définition cotés avec précision sont disponibles dans le fichier **Réalisation du PUPITRE.spl** qui peut être consulté ou imprimé avec la **visionneuse**. La page de l'onglet **7:ENSEMBLE** propose le dessin du pupitre "entièrement assemblé" en quatre vues. Attention : **Comme indiqué en haut à droite**, cette page n'est pas prévue pour être imprimée, elle est au format A3. (*Notez au passage que l'emplacement relatif des vues respecte la normalisation européenne.*) Cette planche met en évidence l'enchevêtrement combinatoire des divers modules et peut laisser imaginer qu'il y a des interférences matérielles. Rassurez-vous, le prototype démontre le contraire. Les différentes stratifications et empilements sont détaillés "chronologiquement" dans les onglets de **10:Couche 1** à **13:Couche 5**. Ce sont en quelques sortes les manipulations à conduire pour procéder à l'intégration des modules. La page **8:Face AVANT** détaille en sept vues l'organisation de la plaque qui complète celle du clavier. La page de l'onglet **9:Préparation** présente l'agencement de la plaque située juste sous le clavier qui supporte les deux LEDs des témoins de rechargement des accumulateurs et le circuit imprimé du microcontrôleur. Elle sert de préambule chronologique avant de passer à la phase décrite dans **11:Couche 2 et 3**, le module de l'Arduino NANO n'étant pas encore assemblé. Pour réaliser certaines pièces critiques, **14:Cotation 1** précise les dimensions à respecter pour aboutir à un coffret analogue à celui du prototype. En complément, **15:Cotation 2** indique les dimensions de la face avant, et de la plaque intermédiaire qui supporte le module de l'ATmega328. Surtout, cette page à imprimer propose deux patrons pour réaliser les perçages avec précision sur la plaque du clavier et sur la face avant du pupitre.

##### ➤ Droitiers / gauchers.

Force est de constater que dans la vie de tous les jours, divers outils commerciaux réputés ergonomiques sont morphologiquement adaptés pour des droitiers majoritaires statistiquement. Tous les fournisseurs ne font pas forcément l'effort de créer des équivalents pour les gauchers minoritaires, et c'est assez injuste. J'ai conçu le pupitre et réalisé les dessins pour mon usage personnel. De ce fait, le clavier est placé à droite, le codeur rotatif est situé à gauche. Il m'a semblé plus commode de disposer l'afficheur directement en vis à vis du clavier. Étant droitier, ma description avantage une fois de plus la majorité. Toutefois, si vous regardez l'onglet **2:Sérigraphie** avec la **visionneuse**, vous constaterez que la minorité n'a pas été oubliée. Les étiquettes à imprimer pour embellir notre coffret prennent en compte les deux parités.

Pour les gauchers, le clavier est donc placé à gauche ainsi que l'afficheur OLED, mais il n'y a aucune raison de symétriser la disposition des touches. (*On conserve le même circuit imprimé.*)

**ATTENTION : Pour les gauchers il faudra symétriser l'intégralité du pupitre**, donc "retourner" tous les dessins. Vous disposez ainsi de tous les éléments géométriques pour réaliser votre pupitre. Il reste encore deux difficultés particulières à contourner ... ACTION !

### ➤ Trois outils indispensables.

Outre les habituelles ressources de bricolage qui permettent de percer, limer, visser, trois individus doivent absolument faire partie intégrante de vos ustensiles. Ces "nominés" sont à mon avis absolument incontournables pour un amateur qui consacrera une grande partie de ses loisirs à créer de ses mains une foule de petits dispositifs. Montré dans toute sa splendeur sur la Fig.193 le premier de ces nominés prend la forme d'un "tourne écrou" pour des boulons  $\phi M3$ . Il est absolument incontournable pour aller serrer un écrou sur un module placé tout au fond d'un coffret bien dans le coin. Aucune clef plate ni clef à pipe ne pourra manœuvrer l'élément rebelle. Hors, l'étude matérielle du prototype tient compte de la disponibilité d'un tel ustensile. STOP ! Avant de foncer au magasin attendez d'avoir la liste complète !



Fig.193

Les deux soldats qui suivent sont dédiés à la réalisation précise des trous circulaires. En premier on peut citer la queue de rat, c'est à dire une lime conique de petit diamètre. Présentée sur la Fig.194 la mienne est légèrement tordue, ce qui prouve que cette petite merveille de précision n'est pas du tout



Fig.194

adaptée pour forcer inconsidérément lors d'un usage pour lequel elle n'a jamais été prévue. Conçue pour usiner du métal, elle s'encrasse relativement vite quand on ajuste un orifice sur une pièce en polystyrène choc. Il faut régulièrement la carder. Le faible angle du cône en fait un outil de grande précision particulièrement précieux.

L'alésoir de la Fig.195 est probablement le plus couteux des trois compères. Quel qu'en soit le tarif annoncé sur l'étagère de la boutique, faites-en l'acquisition. C'est assurément l'allié totalement indispensable qui accompagnera vos heures de loisir durant toute votre vie de bricoleur invétéré. Franchement ça vaut le coup de cesser de fumer pendant deux mois pour économiser le financement de cette merveille. L'investissement consenti lors de l'achat sera très très très compensé par la précision obtenu avec cet alésoir quand vous chercherez à ouvrir des orifices circulaire avec des diamètres vraiment précis. Hors c'est indispensable pour réaliser les façades de nos coffrets électroniques. Les inverseurs, potentiomètres et autres LEDs doivent traverser les plaques "en sifflant". Quand aux boutons poussoir des claviers, un jeu minimal de passage sera le garant d'une esthétique soignée. L'angle d'ouverture très faible  $\alpha$  de cet outil autorise sur la réalisation des trous, facilement des précisions de l'ordre du dixième de millimètre. Son faible diamètre d'amorçage autorise le travail à partir d'orifices aussi petits que des trous de 3mm de diamètre.

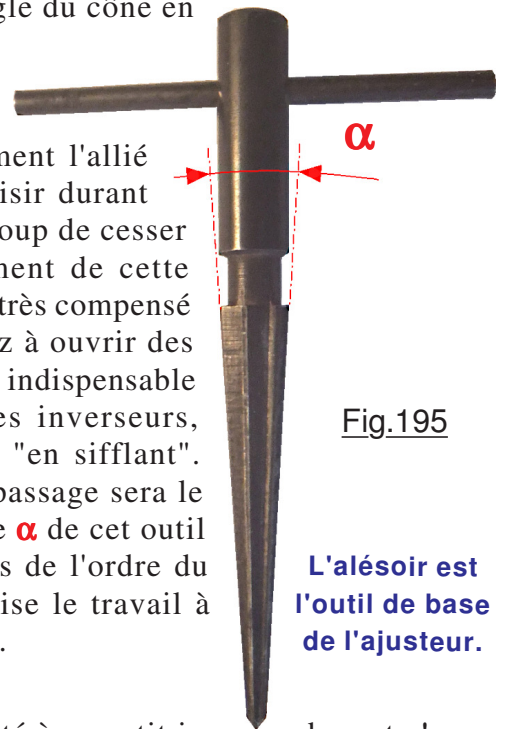


Fig.195

L'alésoir est l'outil de base de l'ajusteur.

### ➤ Des tranches pas normales.

Désolé pour cette petite plaisanterie, mais je n'ai pas résisté à ce petit jeu de mots ! En effet, ici "normales" est à prendre au sens angulaire de  $90^\circ$ . C'est la première difficulté à vaincre, et pas forcément des moindres. Il faudra certainement vous entraîner sur des chutes avant de limer et poncer les pièces

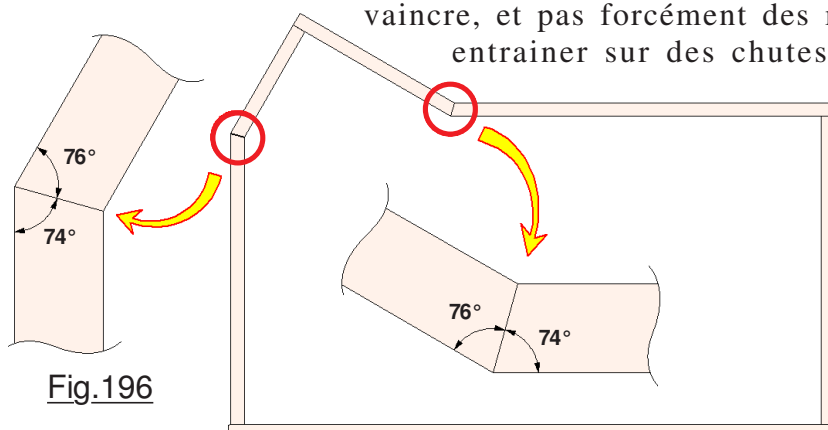


Fig.196

concernées, car arriver à affiner la tranche à  $74^\circ$  ou  $76^\circ$  sur toute sa longueur tout en lui conservant une rectitude raisonnable impose un doigté incontestable. La Fig.196 précise les angles à obtenir sur les diverses pièces impliquées. Cette géométrie un peu inhabituelle s'impose pour pouvoir coller les deux plaques sur toute la surface de la tranche. Les



deux angles indiqués ne sont pas impératifs. Il suffit de s'en approcher et d'avoir deux valeurs angulaires complémentaires qui placent les deux plaques à 30° d'ouverture désirée.

### ➤ La plaque du clavier.

**D** euxième pierre d'achoppement : Percer les trous des touches du clavier et de ses LEDs avec le maximum de précision. Pour des raisons esthétiques, on cherche à aléser tous les orifices parfaitement centrés sur les boutons poussoir et les témoins lumineux et avec le minimum de jeu fonctionnel. Pour y arriver, voici la méthode que je préconise et qui me semble la plus abordable :

**A) On réalise le gabarit de perçage et l'on trace le centre des trous,**

**B) On perce tous les centres à un diamètre d'environ 2mm, (Pointage.)**

*(Comme montré en **X** sur la Fig.197 il est fortement recommandé de marquer tous les trous d'un même type et de les réaliser. Puis on passe à un autre groupe; On commence par les orifices de plus petit diamètre et l'on termine par ceux des touches du clavier.)*

**C) On perce les orifices à un diamètre inférieur à celui désiré,**

*(Par exemple on perce à 5mm pour les trous des touches qui terminés font 6,5 à 6,8mm.)*

**D) On met en position le circuit imprimé, donc les quatre trous pour le passage des vis sont bien réalisés et les boulons  $\phi 3$  disponibles, (Voir la Fig.198)**

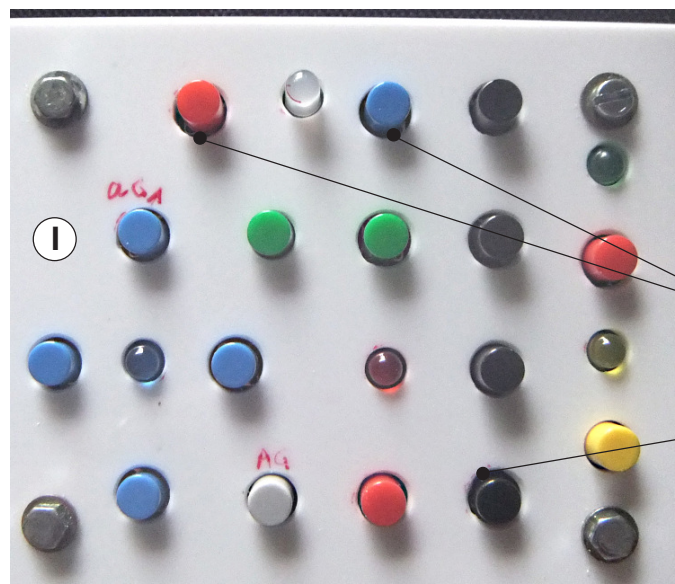
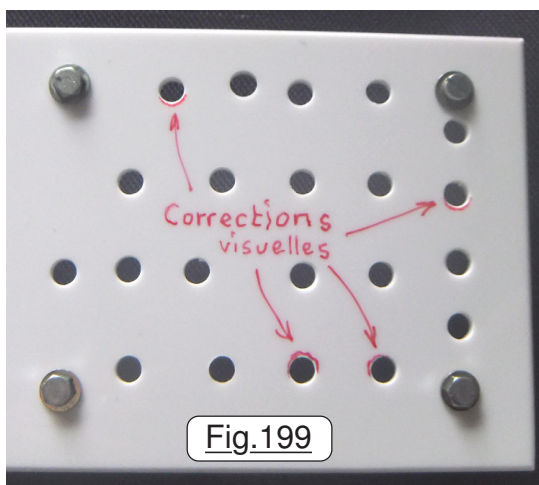
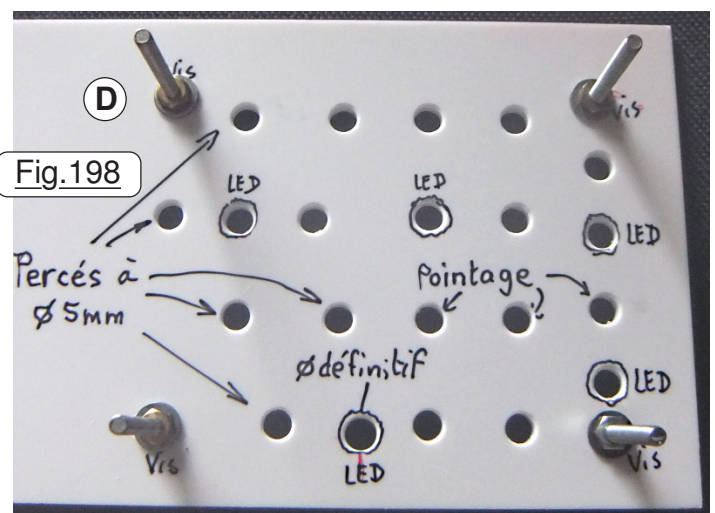
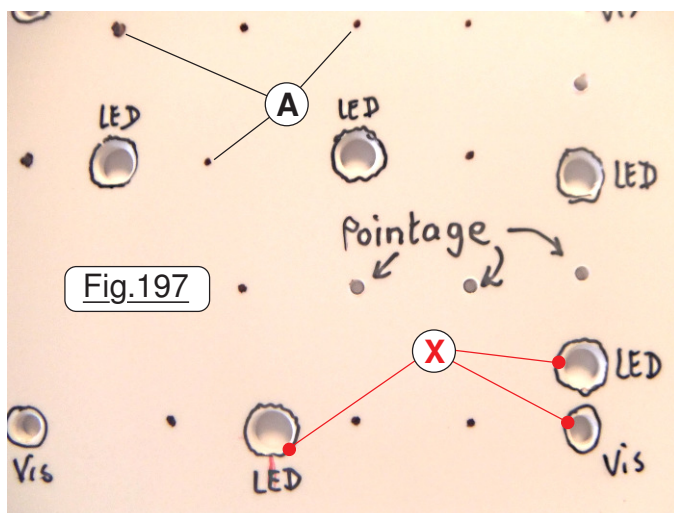
**E) Visuellement on indique les corrections à effectuer, (Voir la Fig.199)**

**F) Avec la lime de la Fig.194 on décale manuellement le trou,**

**G) Avec l'alésoir de la Fig.195 on circularise parfaitement l'orifice,**

**H) On remonte le circuit imprimé et l'on recommence en E,**

**I) Quand tous les orifices sont parfaitement centrés, on augmente finement leur diamètre pour que les LEDs et les touches traversent "en sifflant". Jeu faible : Garant d'un beau pupitre.**



On repère la direction dans laquelle il faut décaler le trou de passage qui n'est pas dans l'axe.

- *Il faut y aller progressivement.*
- *Ne pas hésiter à engager de nombreuses étapes. Pour ma part j'y suis arrivé en 14 manipulations. Ça se nomme faire de l'AJUSTAGE.*
- *Il est bien préférable de Monter / Démonter un grand nombre de fois que d'avoir à recommencer entièrement la pièce car un trou est franchement loupé.*

Personnellement, il m'a donc fallu quatorze manipulations de montage et démontage pour créer ma plaque avec tous les trous (*Presque*) bien en position. Ce n'est pas compliqué en soi, il faut simplement se méfier de toute impatience, avancer lentement mais sûrement.

**NOTE 1 :** Si d'aventure vous loupez un trou, ce n'est pas tragique. Trop grand, ovale, décalé, ces défauts seront masqués par le "cache misère" constitué par l'étiquette imprimée. Par exemple sur la Fig.200 en **X** les orifices sont un peu ovales, en **Y** il est décalé. En revanche, la "vitre" qui protège cette étiquette sérigraphiée sera au devant de la scène. Elle se doit d'être parfaite. S'il y a deux éléments à soigner, c'est précisément les plaques transparentes de façade.

**NOTE 2 :** Pour souder les LEDs sur les deux petits circuits imprimés auxiliaires il importe de réaliser entièrement le coffret. Puis C.I. avec ses LEDs en position, on les soude directement en place. Nous sommes ainsi certains qu'elles seront parfaitement dans l'axe de leurs trous de passage.

**NOTE 3 :** D'une façon générale et presque absolue, lors d'une étude quelconque ce sont toujours les décisions prises au tout début qui engagent le plus, alors que pas un centime n'a encore été dépensé. Pour illustrer ce principe de base, imaginez que nous ayons persisté dans le désir d'utiliser des touches dont les cabochons seraient carrés. Vous imaginez le travail d'ajustement des trous de passage, parfaitement en face, bien carrés, avec très peu de jeu fonctionnel ?

### ➤ *L'intégration du capteur rotatif incrémental.*

**C**onstituant un cas particulier, il impose un traitement spécifique. Sur la Fig.201 le composant est posé sur la plaque de support du clavier en cours de réalisation. On observe nettement sur la photographie dans l'encadré **A** un ergot moulé sur le corps du capteur servant à immobiliser par obstacle le composant sur le coffret. Il faut de ce fait prévoir sur l'élément support un orifice dans

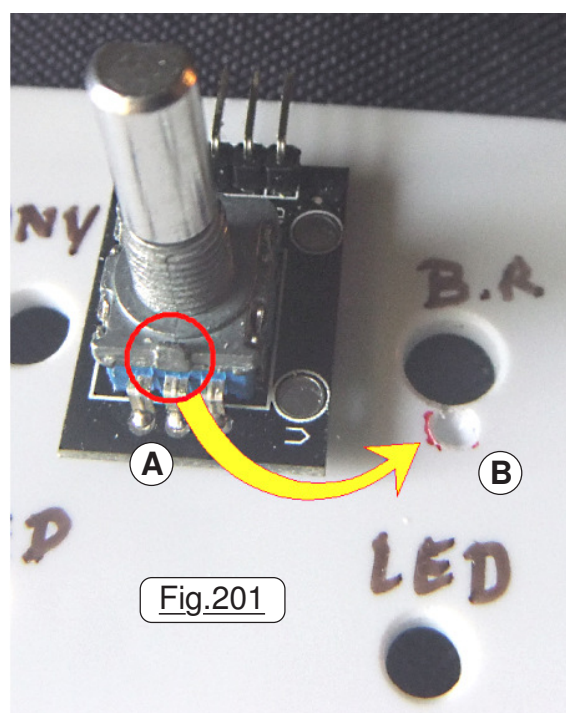


Fig.201

lequel pénétrera cet ergot au moment de l'assemblage. La profondeur du trou visible en **B** est de l'ordre de 2mm. C'est suffisant, inutile de faire un trou qui traverse entièrement. Ceci étant précisé, si d'aventure vous percez complètement ce ne sera absolument pas dramatique, l'orifice sera masqué par la rondelle d'appui du codeur et par le gros bouton placé sur son axe de rotation.

### ➤ *Les épures en représentation filaires.*

**D**isponibles dans les deux pages 16: [Epures 1](#) et 17: [Epures 2](#) dans [Réalisation du PUPITRE.spl](#) elles sont indispensables à l'atelier pour façonner les différentes pièces du boîtier. Prévu pour être imprimé au format A4 vertical, les représentations de l'ensemble sont tracées à l'échelle unitaire. On peut sur ces vues repérer la position de modules et éventuellement y mesurer certaines dimensions. Concrètement ces dessins sont construits à partir du contenu de l'onglet 7: [ENSEMBLE](#) et retravaillé pour passer sur l'imprimante. Le format A4

s'impose, mais également éliminer les couleurs pour économiser les précieuses cartouches d'encre. Les tracés se superposent créant une confusion indéniable. Toutefois on s'y reconnaît finalement assez rapidement. Les avoir à portée de la main au moment de percer évitera bien des soucis. Par exemple on réalise symétriquement gauche/droite, haut/bas. Si on utilise du bois ce n'est pas important. Par contre, le polystyrène choc présente une face terne et une face très lisse. C'est cette dernière qui placée à l'extérieur nous évite d'avoir à peindre notre réalisation.



### ➤ La plaque de recouvrement de la sérigraphie.

Particulièrement délicate à réaliser, elle ne tolère aucune erreur. Placée sur le dessus, elle plaque bien l'étiquette imprimée sur la face qui supporte le clavier. Il serait probablement bien plus facile de plastifier la feuille imprimée, ainsi rigidifiée elle serait directement utilisable. Je n'ai pas expérimenté cette technique. (*À vous de voir ...*) Constituée d'une plaque transparente antireflets pour équiper un petit cadre photographique, elle ne fait que 1,2mm d'épaisseur et présente une très grande fragilité. Interdiction absolue de peser sur la perceuse et de forcer sur les outils. Un tout petit effort non contrôlé et CLIC ! La plaquette se fend et il faut tout recommencer. Bref, c'est long, on est en apnée, et quand le dernier trou est alésé et que tout est "parfait" : OUF !



Limer un peu les bords pour les aligner sur les cotés du coffret.

Sur la Fig.202 sont tracés les petits correctifs à apporter pour que les bords de la plaque transparente soient bien parallèles aux cotés du coffret. Pas une fente et tous les orifices sont correctement centrés. La pièce la plus délicate est enfin disponible.

### ➤ Les étiquettes sérigraphiées à imprimer.

Utilisant une fois de plus la **visionneuse** fournie, on imprime directement la page de l'onglet 2: **Sérigraphie** avec les deux versions possibles. (*Désolé pour le gaspillage !*) Les dessins étant réalisés avec précision on pourrait penser que l'étiquette sera parfaite. FAUX ! Comme la plaque et sa couverture transparente ont été ajustées sur les touches du clavier, les trous ont été légèrement repositionnés. C'est suffisant pour dégrader la beauté de l'ensemble. Vous ne pouvez pas corriger les dessins, sauf si vous possédez le logiciel **SPLAN6.EXE** ce qui n'est probablement pas le cas. Une solution simple existe car je vous fournis **SERIGRAPHIE.BMP** qui contient les étiquette que l'on peut corriger librement avec n'importe quel logiciel de dessin. Pour ma part j'ai ajusté avec précision en utilisant **PAINT.EXE** qui est disponibles sur pratiquement toutes les versions de WINDOWS. Vous êtes ainsi autonomes pour parfaire la présentation des étiquettes.

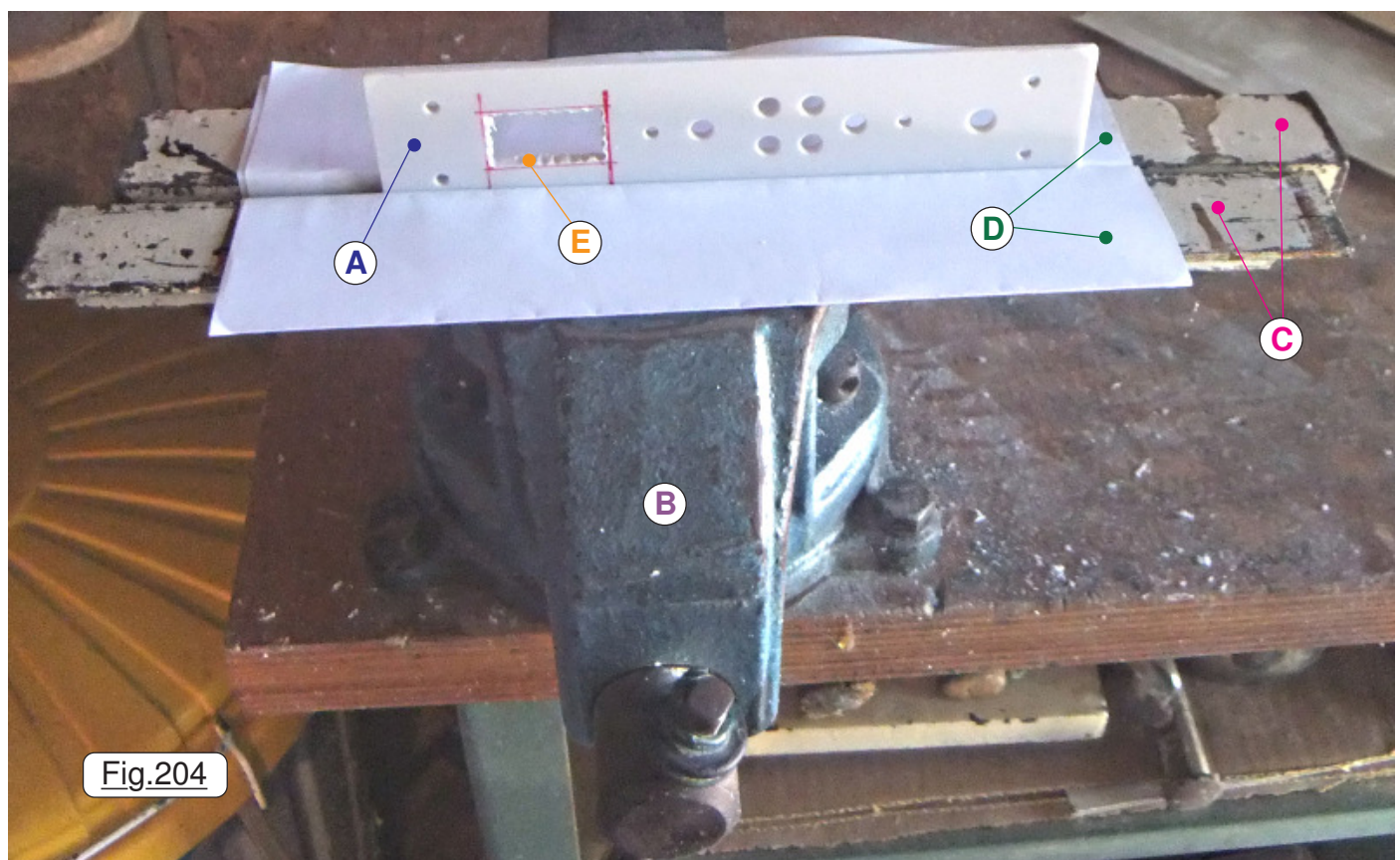
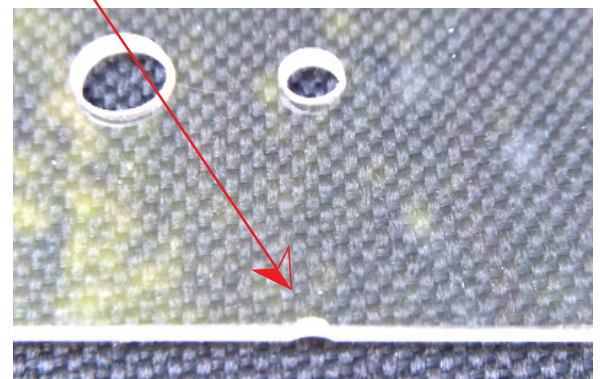
### ➤ La plaque de la face avant.

Contrairement à celle du clavier, elle doit être totalement transparente car c'est aussi une "vitre" pour observer le petit écran OLED. Elle ne pose pas de problème particulier et globalement sera réalisée avec les méthodes qui ont conduit à la réalisation du support du clavier. Le morceau de matière thermoplastique qui était disponible ici fait environ 1,5mm d'épaisseur. Contrairement à la plaque du clavier, nous n'avons pas trop de contrainte d'épaisseur et l'on peut sans difficulté aller jusqu'à 2mm voir plus. Toutefois, cette plaque est symétrique verticalement.

Aussi, comme vous pouvez le constater sur la Fig.203 le bas de la petite plaque translucide est repéré par une minuscule encoche faite avec une lime. Ainsi, au moment de peaufiner l'étiquette et d'assembler, une inversion préjudiciable de sens sera facile à éviter. (Voir également les deux Image 58.BMP et Image 59.BMP dans <Galerie d'images>.)



**B**ien que décrit dans la façon de travailler le polystyrène choc, il me semble utile de souligner ici la façon dont je m'y prend pour créer une lumière rectangulaire. Montrée en image sur la Fig.204 la pièce à ajourer a préalablement été percée par une ribambelle de tous  $\phi$  M3 qui globalement se touchent ou presque. Puis à l'aide d'un cutter on finit l'affaiblissement, le résidu intérieur se détache et il reste la dentelle **E**. Il faut alors terminer l'ouverture avec une lime plate ce qui implique de bloquer l'élément **A** dans un étau **B**. Généralement les mâchoires de ce dernier présentent une longueur inférieure à celle de la pièce à usiner. Aussi, pour élargir la prise, on place au préalable dans l'étau deux cornières quelconques **C**. Quelle que soit la tendresse avec laquelle vous allez

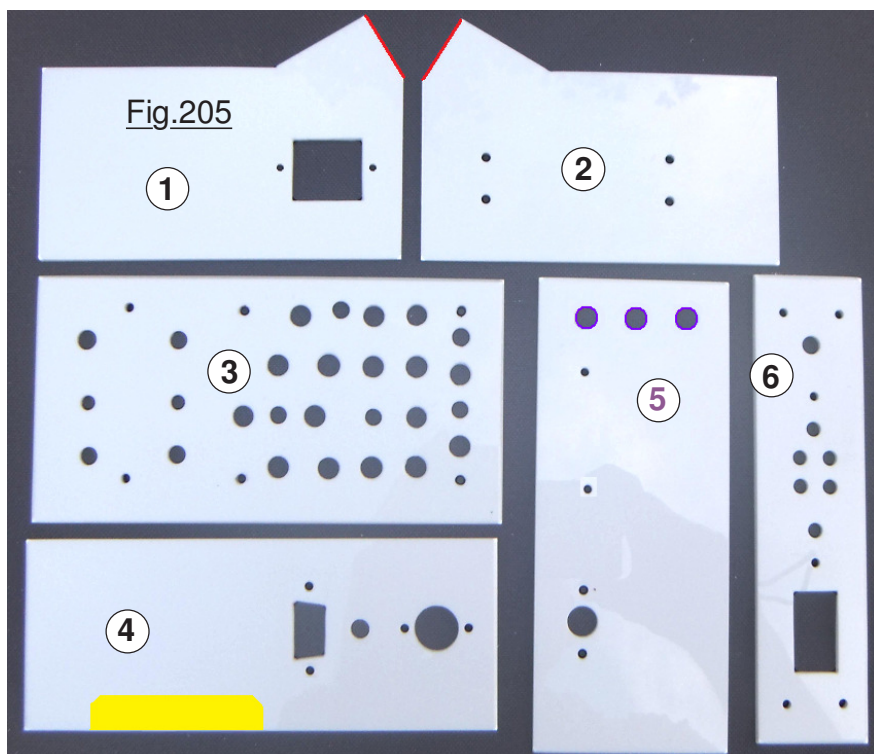


manipuler la fermeture de la "grande gueule", les cornières vont inévitablement excorier la belle plaque blanche. Pour éviter ce sacrilège, on ajoute en **D** plusieurs épaisseurs de papier assurant la mission d'une mordache très souple. N'oubliez jamais que le système vis écrou de l'étau amplifie énormément l'effort que vous exercez sur la barre de manœuvre. Aussi, manipulez avec finesse, en ne serrant la pièce à usiner que le minimum suffisant à son immobilisation, et ce d'autant plus justifié qu'avec la lime vous n'exercerez que des efforts très modérés.



## 50) Assemblage des éléments du coffret.

**R**ésister avec acharnement à l'envie de commencer à coller les éléments entre eux quand tous ne sont pas encore intégralement disponibles. Par ailleurs, percer de nouveaux trous ou modifier certains quand le boîtier est assemblé n'est pas toujours facile. Aussi, avant l'assemblage final il faut que la quasi intégralité des trous et des lumières soient réalisés sur les diverses plaques de notre Mécano. La Fig.205 étale différents éléments qui composent le coffret. On n'y voit pas celui qui vient à l'arrière sur les arrêtes colorées artificiellement en rouge, car il encombrerait trop l'image, mais je vous assure qu'il est disponible. On trouve dans l'ordre en **1** le flanc gauche, en **2** le coté droit, en **3** la plaque horizontale du clavier, en **4** la face arrière, en **5** la face avant verticale et en **6** la face avant inclinée à 30°. Sur cette image les plaques ne sont pas complètement achevées, car je déteste les "grandes surfaces vierges". En observant les images "du produit fini" vous constaterez un grand nombre de ces trous d'aération. Rien à voir avec une quelconque ventilation car l'électronique interne au pupitre ne dégage qu'une quantité de chaleur dérisoire. Ces orifices ont une



utilité purement esthétique et si vous le préférez, il est absolument inutile fonctionnellement de les réaliser. Aussi, comme montré en **5** par des cercles violets, je perce une quantité de trous d'aération. Assembler à ce stade serait largement prématuré, car repérée en jaune la lumière pour l'accumulateur 5Vcc n'a pas encore été découpée et ajustée. Il importe fortement de terminer tous ces orifices avant de passer à l'assemblage des divers éléments. L'avantage de pouvoir tout coller "en même temps" réside dans la possibilité de parfaire les juxtapositions et les équerrages tant que l'ensemble n'est pas solidifié. Quand tout est géométriquement "parfait", comme sur la Fig.206 qui présente la version pour droitier, on laisse sécher pour durcir les zones soudées puis on passe aux divers renforts

mécaniques et autres perfectionnements. Je vous recommande très fortement de réaliser les deux plaques translucides

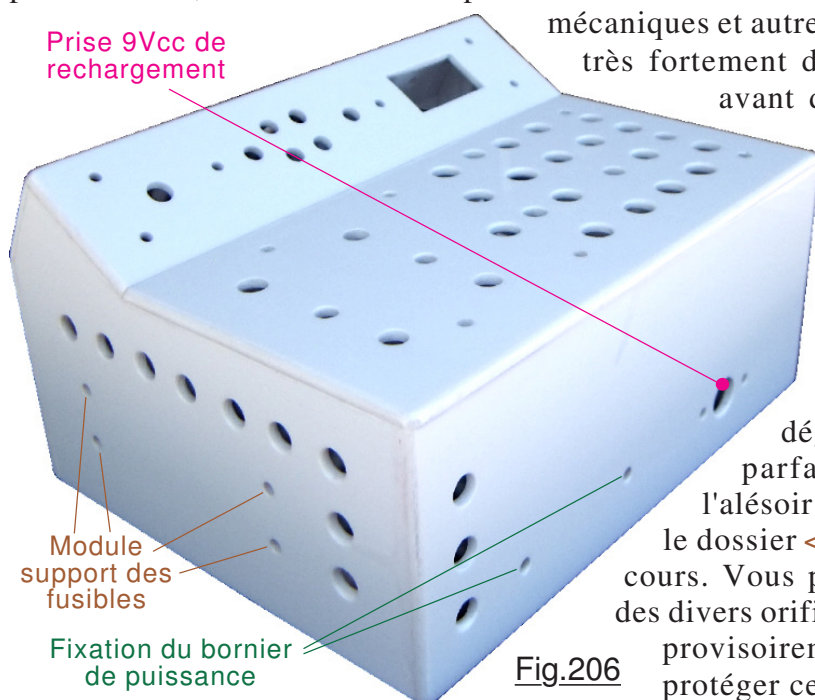


Fig.206

avant d'assembler. On peut ainsi facilement se servir de l'élément blanc pour repérer avec précision les centres des trous. Ces derniers sont percés puis dégrossis avec la petite queue de rat pour bien les centrer. On commence par les quatre trous de fixation. Ainsi, la pièce transparente étant immobilisée sur celle en polystyrène on trace les centres, on dégrossit. Quand tous les trous sont presque parfaits, on réassemble et on termine avec l'alésoir par "contre-perçage". [Image58.bmp](#) dans le dossier <Galerie d'images> montre l'opération en cours. Vous pouvez observer la précision de centrage des divers orifices. Des rondelles en matériau souple sont provisoirement intercalées sous celles en métal pour protéger cette plaque si fragile.

### ➤ Quelques détails de réalisation du coffret.

Avec un quelconque logiciel de visualisation d'images de type "bmp" vous allez explorer le dossier <Galerie d'images> qui propose une variété de photographies qui ont été saisies durant le façonnage et l'assemblage du coffret. Elles sont largement commentées et devraient clarifier entièrement cette phase importante du projet. [Image59.bmp](#) montre le coffret dans son ensemble alors qu'[Image60.bmp](#) présente deux autres cotés. Sur [Image61.bmp](#) c'est l'intérieur coté support des fusibles qui est visible en gros plan. Sur [Image62.jpg](#) on regarde le coté afficheur OLED. Observez bien [Image61.bmp](#) et [Image62.jpg](#) sur lesquelles les "poutres transversales" qui assurent

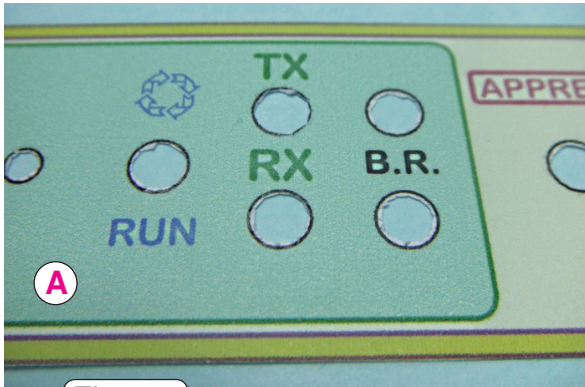
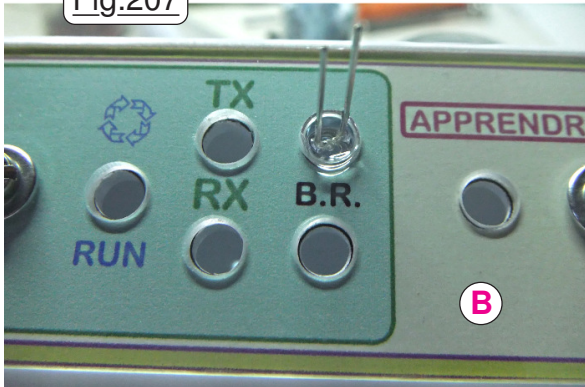


Fig.207



la liaison avec la semelle sont en place, le coffret est complet. L'[Image63.jpg](#) est proche de la face avant verticale, alors que [Image64.jpg](#) pour son compte présente la région de la face arrière coté prise DIN de puissance. C'est [Image66.jpg](#) qui dévoile une vue complète de la face arrière avec tous les orifices fonctionnels et esthétiques. La macro photographie de [Image67.jpg](#) montre qu'en **A** l'angle de 90° est facile à obtenir. En **B** la liaison sur la tranche entre les deux plaques de la face avant et du clavier est bien plus délicate à réussir sur toute la longueur. Même difficulté en **C** où l'angle sur la tranche doit aboutir à un total de 30°. Avec l'[Image68.jpg](#) on aborde la réalisation des sérigraphies qui embellissent le coffret. Les petits résidus qui dépassent légèrement vers l'intérieur des trous seront complètement masqués par les rondelles et les vis de fixation, ou repliés et invisibles quand on insère les inverseurs et les LEDs. Il importe donc de veiller à ne pas couper les tracés noirs qui entourent les trous et qui participent activement à la beauté finale de notre réalisation. Par exemple sur la Fig.207 **A** les résidus vers l'intérieur des trous sont parfaitement

visibles et dépassent notablement. *(La couleur du fond vient du fait que l'étiquette imprimée a été posée sur du papier pelure bleu au moment de la prise de vue.)* Sur la photographie **B** la plaque transparente est en place ainsi que les six vis de liaison avec le coffret. On insère une LED à contre sens ce qui provoque un "sertissage" de la bavure vers l'intérieur du pupitre. Ainsi, quand on placera définitivement la LED du bon coté, la bavure restera totalement invisible. Fastoche non ?

### 51) Intégration des modules et câblage intérieur.

Passe relativement critique car les pièges sont nombreux, et si l'on ne procède pas avec méthode, l'opération peut tourner au cauchemar. On va aborder point par point les différentes étapes, et avec de la méthode vous allez constater qu'au final avec de la rigueur on y arrive assez facilement. Pour la petite histoire, de toutes mes réalisations, c'est la toute première qui a abouti avec au total une seule erreur, ce qui méritait d'être souligné. Comme pour la réalisation du coffret, de nombreuses photographies commentées préservées dans <Galerie d'images> illustreront notre propos.

### ➤ Câblage des modules et composants de la face avant inclinée.

Étant donné que chaque piège sera énoncé à l'avance, vous ne rencontrerez aucun problème. C'est tout l'avantage de ne pas ouvrir la route. Première "entourloupe" : Quand on soude, il y a forcément des projections de résine. Bien qu'elles ne présentent aucun danger électrique, personnellement quand je constate une petite perle collée sur la paroi je la retire ... pour un vulgaire principe de rigueur. Tout à fait à la fin, quand on vient de refermer la semelle, on admire notre bébé. Et PAFFFFFFF ... une minuscule perle de résine est venue se coller sur la vitre en plein dans la zone de l'afficheur OLED. Elle est dérisoire, mais on ne voit plus qu'elle. Il faut tout redémonter pour la nettoyer. Gnarf gnarf gnarf de gnarf gnarf ! C'est précisément pour éliminer ce risque idiot que sur [Image69.jpg](#) on a pris la précaution initiale de cacher l'ouverture avec un petit morceau de papier pelure qui protège de toutes les projections de résine, et qui sera enlevé presque à la fin. N'oubliez pas d'enlever l'oxydation du fil de soudure comme déjà abordé dans le didacticiel.



Sur la photographie de [Image70.jpg](#) on voit que le coté de la plaque transparente aussi est entièrement protégé par une feuille de papier maintenue en place avec du ruban adhésif. Du reste, quand la plaque qui supporte le clavier est équipée de la sérigraphie et de sa protection transparente, elle est également totalement recouverte par une feuille analogue. Ces deux précautions sont indispensables car on va en permanence couler le boîtier sur les cotés et sur le dessus. Un accident est si vite arrivé, sans compter la pointe du fer à souder qui régulièrement approche des zones sensibles. Avouez que "massacrer" une belle plaque transparente si proche de la délivrance serait dramatique.

➤ **Première étape : Souder les LEDs sur le petit C.I.**

Assurer une parfaite coïncidence avec les orifices de traversée s'avère élémentaire si on procède avec méthode. La technique consiste à placer toutes les LEDS dans les trous du circuit imprimé. Puis ce dernier, comme montré sur la Fig.208 est immobilisé sur la face avant à son emplacement exact. Placer le circuit imprimé assez loin de la plaque blanche facilite la traversée des LEDs car si leur orifice n'est pas totalement coaxial, l'inclinaison qui en résultera sera dérisoire. Sur la photographie on voit bien que les pistes cuivrées sont brillantes. Elles ont été frottées avec l'outil de la Fig.182 pour en enlever la fine couche d'oxydation qui compliquerait le soudage. Vous devez trouver que j'insiste lourdement, mais c'est absolument vital pour que le travail soit facile et conduise à un résultat "parfait". Lorsque les LEDs sont soudées, on ressort le petit module, et confortablement installé on termine l'assemblage de ce dernier en soudant coté pistes les connecteurs HE14 comme montré sur [Image71.bmp](#) sur laquelle la broche n°4 du connecteur à huit plots n'a pas encore été coupée. L'enlever n'a aucun effet électrique puisqu'elle n'est pas utilisée. En revanche, quand on voudra insérer le connecteur femelle, le repérage de l'orientation de ce dernier en sera facilité. Sur le HE14 à trois broches qui amène le +5Vcc, seule celle du centre sera utilisée. Comme déjà précisé, c'est un but de rigidité mécanique qui incite à tripler le nombre de soudures.

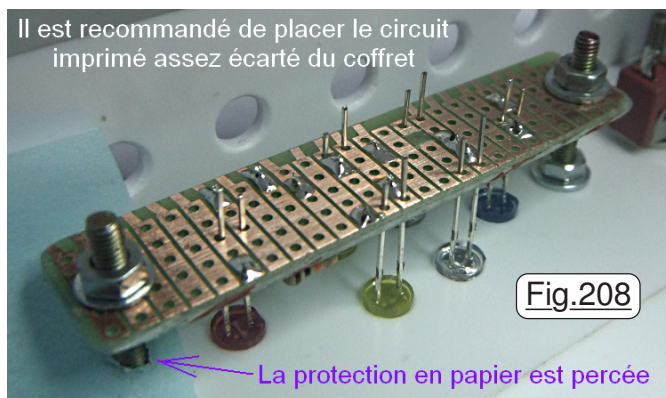
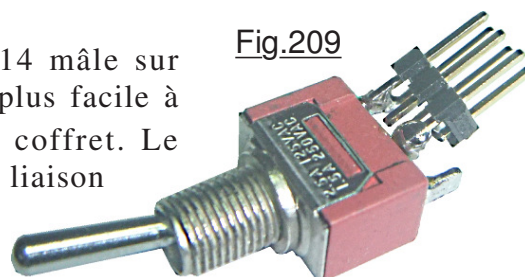


Fig.208

Une bonne idée consiste à souder le connecteur HE14 mâle sur l'inverseur de la face avant "incliné" pour qu'il soit plus facile à brancher quand il sera immobilisé tout au fond dans le coffret. Le connecteur est à double rangée ainsi on soude deux cosses de liaison électrique sur chaque plot de l'inverseur. La solidité mécanique sera meilleure et surtout le soudage grandement facilité. Pour avoir l'écart correct, on utilise un 3 x 2 cosses

Fig.209



sur le HE14 dont les deux centrales ne seront pas soudées. Riche d'enseignements, la Fig.210 montre qu'en 1 la protection papier n'est pas en place. **DANGER !** En 2 on peut observer que sur le coté gauche de la bride une petite cale en matière thermoplastique a été ajoutée. L'afficheur était très légèrement incliné latéralement par rapport à la lucarne d'observation. Cette petite cale rétablit un

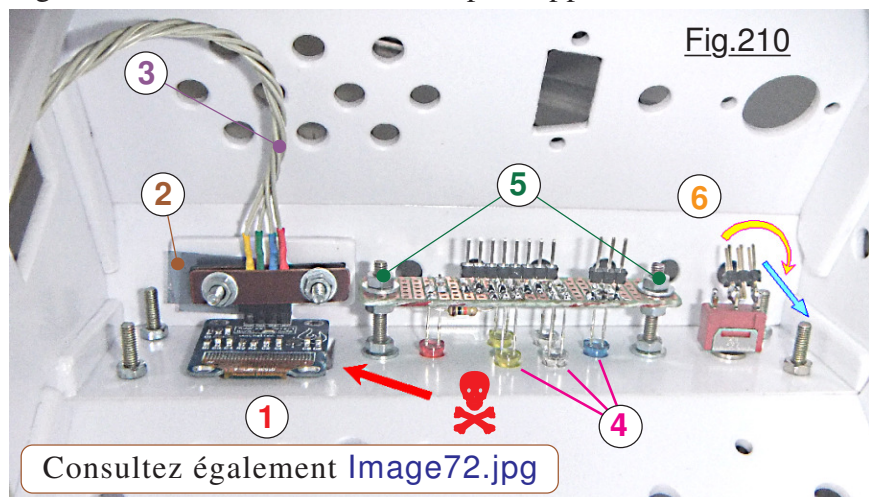


Fig.210

parfait centrage. Une petite cale d'épaisseur en carton placée sur toute la largeur permet d'ajuster avec précision la position en hauteur de l'afficheur OLED bien centré sur sa fenêtre de visualisation. En 3 le sens du cordon de liaison est repéré par des souplesseaux en matériaux thermo rétractables colorés. Si vous observez finement en 4 la Fig.210, vous constaterez que la collerette des LEDs ne touche pas directement la face du coffret.

Consultez également [Image72.jpg](#)

En effet, pour ne pas forcer mécaniquement sur l'optronique quand on serre les écrous **5** d'immobilisation du circuit imprimé, il suffit d'écarter légèrement ce dernier par rapport à sa position adoptée au moment du soudage. Outre que cette protection ménage la fragilité des témoins lumineux, en décalant légèrement ces derniers vers l'intérieur du coffret, leur dépassement de la face avant est plus esthétique. Ils sont ainsi en débordement optimal pour la beauté de l'ensemble.

C'est en **6** que je me suis lamentablement fourvoyé. J'ai soudé avec amour le petit connecteur HE14 sur l'inverseur, incliné avec précision. **Maïssssssss** quand on immobilise l'inverseur sur la face avant, il y a un sens à respecter. Quand on bascule le petit levier vers **ON** il serait politiquement correct que les témoins lumineux soient actifs. **BEN ... je me suis trompé au soudage**, le connecteur a été soudé du mauvais côté sur les cosses de l'inverseur. Résultat, au lieu d'être bien dégagé des plaques du coffret, le connecteur converge du mauvais côté. **DOMMAGE !** (*Bon, il faut positiver. C'est la seule erreur qui a été commise, donc un record personnel remporté avec fierté. Comme au final insérer le connecteur femelle reste tout à fait aisé, l'erreur n'a pas été corrigée.*)

➤ **Deuxième étape de la couche n°1 : Le clavier.**

**C** hargé d'assurer la maintenance d'une technologie quelconque, tout technicien est confronté à des problèmes réputés classiques statistiquement. En électronique la connectique fait partie de ces éléments critiques. Un fil souple soudé sur une broche rigide est vulnérable. Lors des manipulations ce lien électrique se brise souvent au ras de la soudure. Aussi, vous constaterez que les connecteurs sont tous munis d'isolants en gaine thermo rétractable. Non seulement cette précaution pare les dangers de court-circuits intempestifs, facilitent le repérage des broches, mais surtout **PROTÈGE MÉCANIQUEMENT** les minuscules conducteurs électriques.

➡ Outre cette technologie de sauvegarde, **il sera IMPÉRATIF de TOUJOURS MANIPULER AVEC UN SOIN TOTAL les connecteurs QUAND ON BRANCHE ou que l'on LIBÈRE les lignes électriques** réunissant les divers modules.

**O** uvrez, c'est de la routine, la **visionneuse** fournie, imprimez la page nommée **6: Branchements 2** du fichier **Réalisation du pupitre.pdf** qui sera indispensable pour fil à fil souder les deux lignes **A** et **B** dont les torons sont torsadés et réunis proprement par des bagues de gaine thermo rétractable. La ligne **B** relie les touches du clavier au module Arduino NANO alors que le bus **A** connecte les diverses LEDs du clavier.

Sur l'encadré rouge de la Fig.211 nous pouvons constater les "ravages" de l'oxydation sur les pistes cuivrées. Pourtant, entre la réalisation initiale du circuit imprimé et cette photographie il ne s'est écoulé que deux à trois semaines. **C'est la raison pour laquelle, quand c'est possible, il est toujours préférable de minimiser le temps de réalisation des circuits imprimés et des liaisons filaires.** Le soudage n'en est que plus facile à réaliser. N'exagérez-pas pour la longueur des torons. Celle que vous observez sur la Fig.211 est très correcte. Sur la photographie d'[Image73.jpg](#) le clavier est en place dans le pupitre. Il semble que l'on dispose d'un volume confortable pour insérer le reste des éléments. Pas vraiment en réalité, car les accumulateurs se taillent la part du lion, en concurrence acharnée avec toutes les autres lignes et torons d'interconnexions entre les différents modules. Il va falloir ruser et surtout se montrer rigoureux et méthodiques. Il faut à ce stade préparer les diverses lignes et torons torsadés qui soudés sur le circuit imprimé de la carte Arduino NANO établiront les liaisons électriques avec les broches de l'ATmega328. C'est précisément l'objet du chapitre suivant.

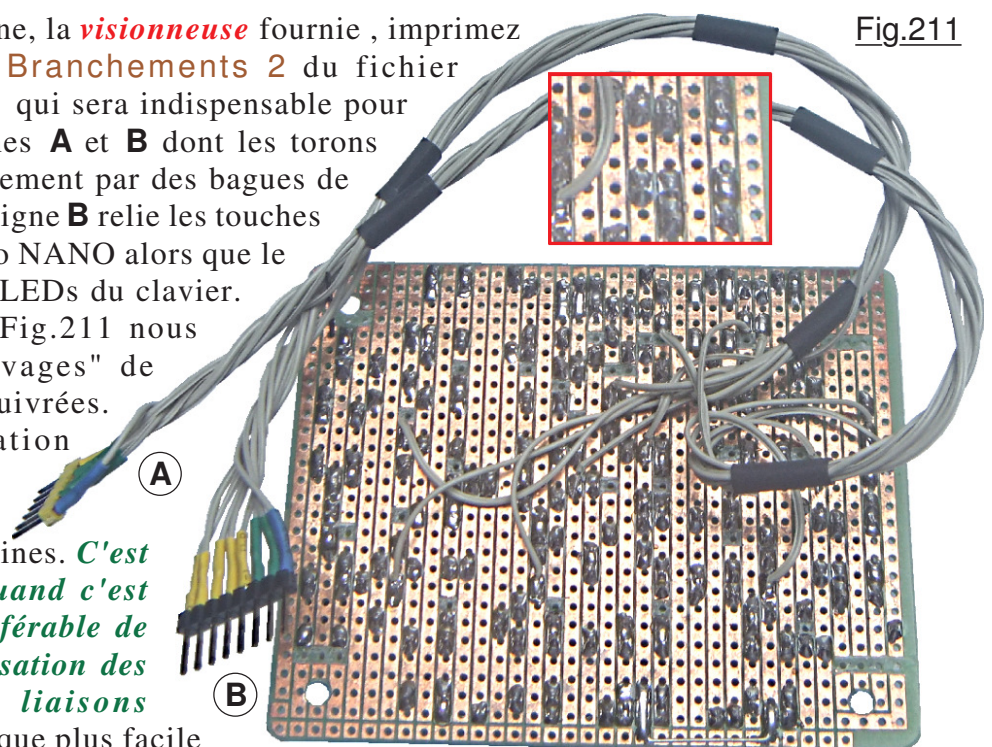
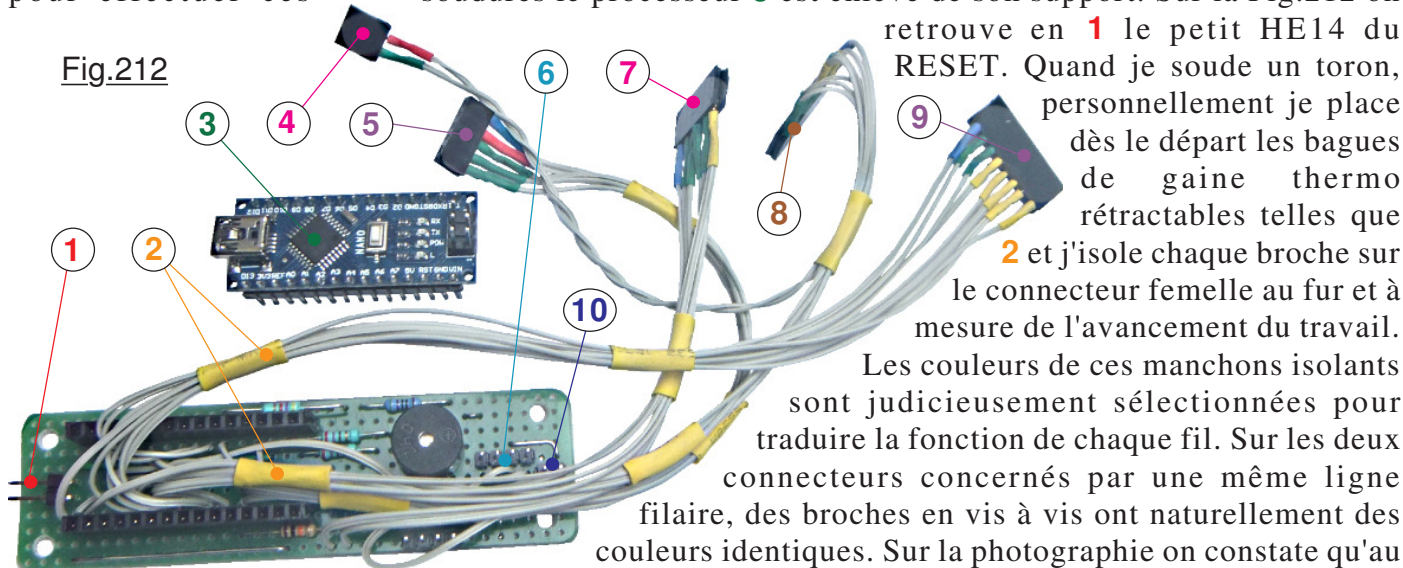


Fig.211



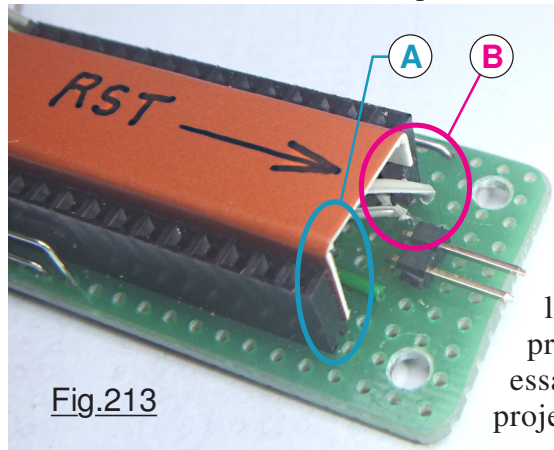
## 52) Préparation du circuit qui supporte le microcontrôleur.

Lorsque cette carte sera munie de toutes ses lignes de liaison il sera possible de tester entièrement le clavier. Une étape importante aura été franchie. On commence par ouvrir la **visionneuse**, puis on imprime (*Indispensable !*) la page nommée **5: Branchements** du fichier **Réalisation du pupitre.pdf** qui sera incontournable pour souder un à un les nombreux fils des lignes de liaison électriques. Outre les trois connecteurs HE14 mâles tel que **6** sur la Fig.212, nous devons ajouter sur le petit circuit imprimé la ligne filaire **5** qui va au codeur rotatif ainsi que celle **8** qui sera reliée au petit C.I. des LEDs de la face avant. En **4** nous avons la ligne à deux fils qui relie **TX** et **RX** sur le HE14 **10**. Et surtout les deux bus **7** et **9** qui seront reliés aux torons du clavier. Naturellement pour effectuer ces soudures le processeur **3** est enlevé de son support. Sur la Fig.212 on



final le volume occupé par les torsades est plus important que celui de la petite carte électronique. Souder tous ces fils impose de retourner constamment le circuit imprimé. Lors de ces manipulations les torons terminés accrochent tous les obstacles dans l'environnement de travail et sans arrêt viennent se placer exactement au dessus de la zone où l'on désire effectuer une soudure. Pour minimiser ce risque et simplifier grandement le travail, il est fortement recommandé de "brider" les lignes achevées à l'extrémité de la carte électronique comme montré sur [Image 74.jpg](#) avec un petit fil quelconque. Une petite observation d'[Image 75.jpg](#) démontre que les soudures à réaliser sur les pistes cuivrées ne posent vraiment aucune difficulté. Quand le câblage est terminé, nous allons pouvoir passer aux essais ce qui oblige à replacer la carte NANO Arduino sur son support.

**ATTENTION :** Le dessous entre les deux lignes HE14 est bien occupé et les torons vont marquer leur désapprobation à se tasser. On risque de pincer des fils quand on insère la carte Arduino. Pour éviter cet incident, comme montré sur [Image 76.jpg](#) on "enrobe" les fils électriques dans une "gouttière" en carton rigide. On remarque que cette protection doit être correctement orientée avec une flèche écrite sur le carton. La raison est simple. En **A** sur la Fig.213 le carton rigide va jusqu'au circuit imprimé. Dans la zone **B** il y a le petit fil souple qui ne doit pas se voir poussé vers le bas par le carton rigide. C'est la raison pour laquelle la face verticale de la "gouttière" est échancrée à son extrémité vers **B**. Le circuit imprimé est entièrement terminé. Nous allons pouvoir procéder aux essais ce



**B** qui implique d'insérer la petite carte Arduino NANO sur son support constitué des deux lignes HE14 femelles. Le choix s'était porté sur des modèles un peu hauts pour précisément laisser assez de place pour les bus situés sous la carte électronique. Sur [Image 77.jpg](#) la carte électronique du microcontrôleur est en place. Les diverses lignes sont bien protégées et ne sont pas du tout écrasées les unes sur les autres. Il faudra écarter les torsades pour mettre en place les lignes sur les connecteurs HE14 mâles soudés sur le circuit imprimé. Relier progressivement les divers bus aux périphériques et effectuer des essais complets. La carte Arduino fonctionnant correctement, notre projet est sur des rails. Chic chic chic ... on avance !

### 53) Continuer à câbler la couche électronique n°1.

Insérer la plaque intermédiaire qui sert de support aux accumulateurs de puissance exige qu'au préalable tout ce qui se trouve dessous soit assemblé et soudé. En particulier nous allons devoir réaliser les lignes à forte sections qui véhiculent l'énergie 6Vcc vers la motorisation. En préambule il nous faut préparer certains éléments de cette chaîne énergétique.

#### ➤ **Préparer la prise DIN de puissance à huit broches.**

Devant y réaliser de nombreuses soudures proches les unes des autres, il sera bien plus aisé de précâbler cette prise avant de l'immobiliser sur la face arrière du coffret. Sur la Fig.214 le fil rigide **1** est courbé à convenance puis passé à travers les lumières des cosse de la prise. Il reste "coincé", et souder les quatre contacts est très facile. La prise est pour cette opération immobilisée sur l'établi par une quelconque pince ou étau de modéliste. Puis on procède de façon analogue pour **2**. Il faut deux petits fils, dont celui qui relie la cosse centrale. Une pince auto-serreuse maintient le fil central quand on soude les trois cosse périphériques. Puis on soude la cosse centrale et la prise est parée pour son intégration. À ce stade, nous allons également préparer le cordon ombilical.

Fig.214



#### ➤ **Souder la fiche DIN de puissance à l'extrémité du cordon d'alimentation.**

Procéder aux divers essais de validation implique de pouvoir brancher la sonde sur le pupitre. Comme nous en sommes à la distribution de puissance pour les servomoteurs, autant souder la fiche DIN à l'extrémité du cordon ombilical de la motorisation. Comme on peut le constater sur la Fig.215 la technique consiste à réunir deux par deux les broches de la fiche en insérant dans les cosse creuses des "épingles à cheveux" analogues à celles montrée en **A**. La fiche va devoir présenter une résistance électrique dynamique faible. Aussi, les soudures doivent être enveloppantes comme les "grosses perles" de soudure le prouvent sur la photographie. Courber très court un petit fil rigide n'est pas facile à réaliser avec une pince. Des ponts qui sur un circuit imprimé doivent réunir deux pistes voisine devront avoir un écart de 2,54mm. La meilleure technique pour obtenir ces épingles est présentée sur la Fig.216 qui montre qu'un simple morceau de plaque cuivrée sert de calibre d'écartement. On pince le petit fil rigide contre la plaque prépercée. Puis avec l'autre main on replie la partie qui dépasse du côté cuivre. On obtient ainsi une "épingle à cheveux" dont la zone cintrée est circulaire. Avec une pince le fil serait plus anguleux et surtout légèrement "mordu" par l'acier des becs. Comme faire de belles perles de soudure sur les cosse va

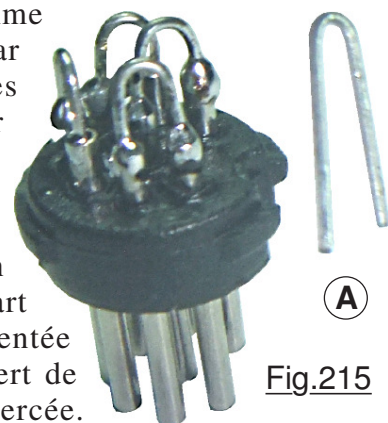


Fig.215

les échauffer notablement, pour éviter de risquer la fonte du corps de la fiche réalisé en matériau thermoplastique, les deux broches en cours de soudure sont serrées coté utilisation par une pince à auto serrage. La chaleur des broches sera ainsi plus rapidement évacuée par conduction thermique. Lorsque la fiche est préparée comme sur la Fig.215 on enfile son capuchon sur le cordon ombilical. Personnellement j'y ajoute un manchon complémentaire. Puis on soude les gros fils du cordon ombilical de puissance sur deux "épingles à cheveux" d'une même polarité. Avec de la colle rapide, le manchon de la fiche est emboîté et définitivement immobilisé sur le corps métallique de la fiche. Au préalable les fils d'alimentation ont été pincés par les ergots prévus à cet effet. Le manchon souple complémentaire est enfilé. Puis, à travers un orifice percé à cet effet sur le capuchon de la prise, je gavis entièrement l'intérieur avec de la colle Araldite. (Voir en page 36.) Cette dernière étant durcie, on obtient une fiche "moulée" que l'on peut insérer et retirer de la prise sans que le capuchon ne se déboîte du bloc solidaire des broches.

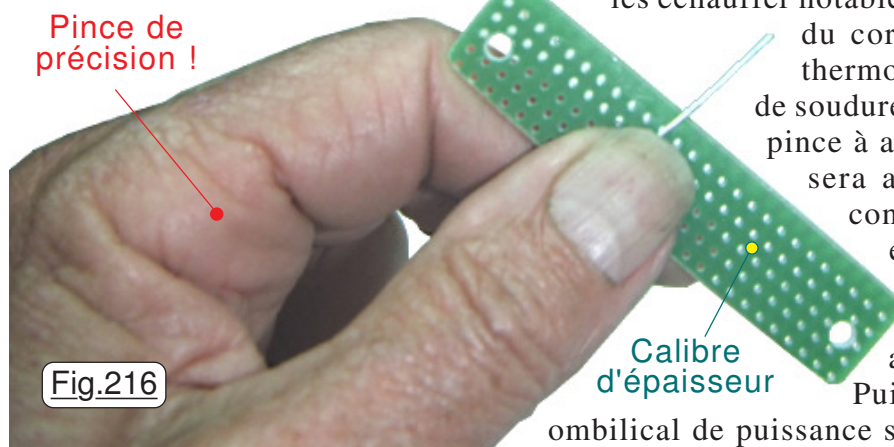
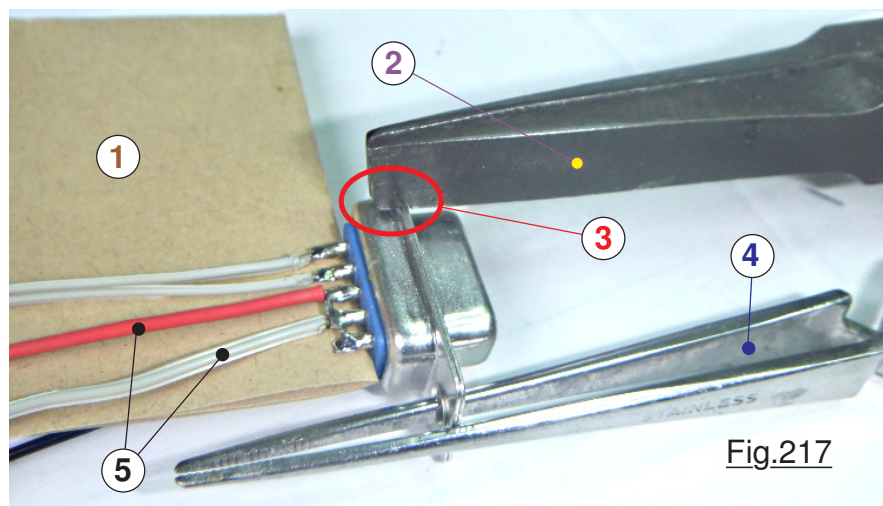


Fig.216



### ➤ Souder la fiche DB9 sur le cordon ombilical de dialogue.

Consultant le **DOSSIER TECHNIQUE** en bas de la page 5 et surtout **5: Branchements 1** du fichier **Réalisation du pupitre.pdf** que normalement vous avez imprimé, vous constaterez que huit broches sur les neuf sont à souder. Les broches 1 et 2 dans le pupitre vont à l'inverseur qui oriente **TX / RX** vers la sonde, ou ouvre les deux lignes pour pouvoir programmer les cartes Arduino NANO via leur mini prise USB. Les broches 3, 4, 5 ainsi que 7, 8 et 9 sont réunies par trois pour avoir le maximum de contacts dans la distribution du 5Vcc qui alimente l'électronique de la sonde. On divise ainsi le courant qui transite dans chaque broche. La sonde n'est pas énergivore, mais il s'agit comme pour toutes les décisions d'une optimisation dans l'utilisation des ressources disponibles.



Inutile de préciser que la prise femelle DB9 sera précâblée avant d'être introduite dans le coffret. Pour mieux distinguer les broches on intercale (*Voir Fig.217.*) en **1** un morceau de papier plié coincé entre les deux lignes de contacts. La prise est immobilisée et orientée par la pince **4** (*Auto-serrage.*) et plaquée sur le plan de travail par la pince un peu lourde **2**. Pas très visible dans l'encerclé **3** une fente a été pratiquée sur les bords de la pince pour l'empêcher de glisser,

en faisant un outil "spécial" dans notre environnement technique. En **5** on peut noter que le fil rouge du +5Vcc réunit bien les trois broches 3, 4 et 5. Le petit fil gris quand à lui va à l'inverseur qui alimente ou coupe l'énergie sur les LEDs de la face avant. Souder un fil sur un composant exige que nous tenions la soudure dans une main et le fer à souder dans l'autre. Il nous reste "zéro" main pour obliger le fil à rester contre la cosse sur laquelle il doit être relié. Comme montré sur [Image 78.jpg](#) nous devons impérativement nous débrouiller pour immobiliser comme on le peut les protagonistes sur le plan de travail. Sur cette photographie le pupitre est posé verticalement. Un couvercle de boîte en carton sert à brider avec la pince l'inverseur à la bonne hauteur, car il est relié à la DB9 par des fils de courte longueur. Bref ... débrouillardise !

### ➤ Les gros fils de la couche n°1.

Comme diminuer au maximum l'impédance des lignes d'alimentation de la motorisation constitue un objectif prioritaire, on utilise des conducteurs de forte section. Rien de bien nouveau puisque la DIN a déjà été soudée sur la ligne de la sonde. Ces conducteurs présentent une rigidité relative qui ne facilite pas spécialement les opérations. Sur [Image 79.jpg](#) et sur [Image 80.jpg](#) on commence par câbler les deux inverseurs qui disjonctent séparément chaque accumulateur de puissance. Inutile de préciser que la feuille imprimée de **6: Branchements 2** est étalée au premier plan sur la table de travail. Sur cette photographie la pince maintient les fils pendant que l'on procède à la soudure sur l'inverseur de droite. Les photographies [Image 81.jpg](#) et [Image 82.jpg](#) présentent la couche n°1 pratiquement terminée avec sur [Image 83.jpg](#) une vue d'ensemble "du chantier".

### ➤ Préparation de la plaque intermédiaire qui supporte les accumulateurs.

Avant de pouvoir l'intégrer "définitivement" dans le pupitre, il faut réaliser le petit circuit imprimé qui supporte les deux LEDs témoins du rechargement. L'opération n'est pas spécialement aisée, car le côté cuivre est en grande partie masqué par la plaque en polystyrène rendant impossible le soudage "en place" de la **LED 2**. (*Voir page 34 du DOSSIER TECHNIQUE.*) On positionne le petit circuit imprimé sur la plaque, on insère la **LED 1** qui est accessible. La plaque intermédiaire étant mise en place, la LED bien enfoncée dans l'orifice de traversée, on soude cette dernière. On redépose le total, on soude sur un seul fil et à hauteur identique de **LED 1** le composant **LED 2**. On oriente à la main ce témoin lumineux, on vérifie qu'il est parfaitement orienté quand on réintègre la plaque dans le coffret. Si l'ensemble se positionne vraiment

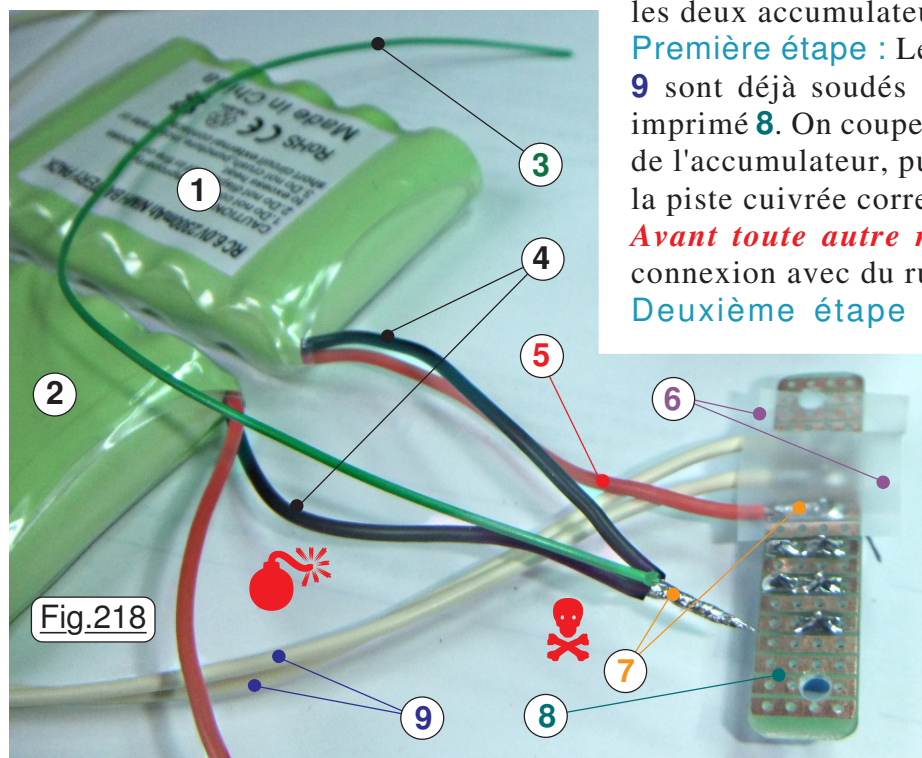
sans aucun problème, on retire encore le total et l'on achève de souder la deuxième broche de la **LED 2**. Ouf, une manipulation un peu délicate s'achève. On va pouvoir mettre en place "définitivement" cette plaque intermédiaire. Avant de l'intégrer dans le coffret, on a immobilisé les quatre boulons ou entretoises qui supporteront la petite carte Arduino NANO. Idem pour les deux visseries qui serviront à brider les accumulateurs avec la plaque orange. L'[Image 84.jpg](#) ainsi que l'[Image 85.jpg](#) montrent les zones des vis de support de la plaque intermédiaire avant son intégration. Notez qu'il faut bien dégager toute la région de la plaque intermédiaire pour effectuer son immobilisation. On doit pouvoir la positionner strictement sans forcer. N'oubliez pas au préalable de brancher le codeur rotatif ... ou il faudrait tout redémonter !

**➤ Terminer la "pieuvre" de puissance.**

**G**lobalement, le câblage a été conçu pour pouvoir déposer la quasi intégralité des circuits si nécessaire pour des raisons de modification ou de maintenance. Les gros fils roses et blancs de la couche n°1 viennent se brancher sur le bornier de puissance pas encore installé dans le coffret. Accumulateurs 6Vcc, bornier de puissance et circuit imprimé des fusibles constituent un sous ensemble indissociable présenté en Fig.1 de la page 32 du livret **DOSSIER TECHNIQUE**. En observant attentivement cette "pieuvre" électrique on constate que les fils noirs et rouges des deux blocs énergétiques verts sont soudés directement sur les pistes cuivrées du bornier de puissance. Également soudés sur les pistes cuivrées, on peut observer les fils blancs de forte section qui vont du bornier vers le circuit imprimé qui supporte les fusibles de protection.

**ATTENTION : C'est dans la réalisation de ce sous-ensemble électrique que l'on pourrait provoquer un court-circuit franc sur les accumulateurs 6Vcc et les endommager. Dans ce chapitre nous allons détailler la procédure particulière qui évitera un tel incident.**

La feuille imprimée **6: Branchements 2** du fichier **Réalisation du pupitre.pdf** encombre le plan de travail, car elle présente le schéma précis du circuit à réaliser. La puissance est véhiculée par des conducteurs électriques conséquents, alors que les fils du circuit de rechargement sont bien plus fins, ils ne sont parcourus que par des courants électriques très modérés. Sur la Fig.218 on retrouve



les deux accumulateurs rechargeables **1** et **2**.

**Première étape :** Les deux fils blancs de forte section **9** sont déjà soudés sur les pistes cuivrées du circuit imprimé **8**. On coupe le fil rouge **5** au raz du connecteur de l'accumulateur, puis on le dénude et on le soude sur la piste cuivrée correspondante de **8**.

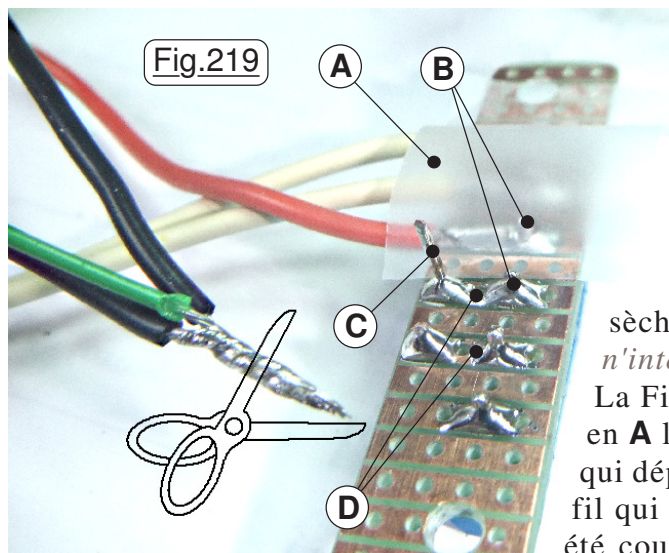
**Avant toute autre manipulation**, on recouvre cette connexion avec du ruban adhésif **6** pour bien l'isoler.

**Deuxième étape :** Les deux fils noirs en **4** des accumulateurs sont dénudés et torsadés ensemble. On y enroule aussi le fil vert **3** plus modeste qui ira au pôle négatif de la prise frontale de rechargement. Les trois fils sont alors étamés comme vu sur la Fig.218 puis raccourcis à la longueur idoine. Si à ce stade, repéré en **7**, les deux conducteurs se touchaient, l'accumulateur rechargeable **1** risquerait probablement d'être

irréremédiablement endommagé. C'est la raison pour laquelle on a protégé **5** par l'isolant provisoire **6**. On soude alors la liaison de polarité négative sur la piste cuivrée correspondante.

**Troisième étape :** On isole à son tour la piste "**7**" avec du ruban adhésif. On peut enfin couper le conducteur rouge de **2**, le dénuder puis le souder sur **8** en veillant à ne pas se tromper de piste cuivrée. Les trois liaisons sont définitivement séparées et ne risquent plus de se toucher. En revanche rien n'interdit par la suite qu'un quelconque élément métallique vienne réunir deux





pistes critiques. En particulier quand la "pieuvre" se trouve déposée, ou que l'on procède à l'intégration de cette dernière dans le pupitre. Aussi, pour définitivement parer un tel risque, on "barbouille" à refus les pistes cuivrées et les soudures critiques avec une couche bien épaisse de vernis à ongles qui assurera une isolation protectrice efficace. Surtout on attend que cette couche soit bien sèche et durcie avant de passer à la suite. *(Aucune loi n'interdit de barbouiller une deuxième couche !)*

La Fig.219 montre l'opération de soudage en cours, avec en **A** le ruban adhésif isolant et en **B** les picots du bornier qui dépassent sur le dessous. En **C** on peut observer le gros fil qui réunit les deux pistes **D** du pôle négatif qui n'a pas été coupé car il va servir à "brider la torsade "noire". Le

symbole de la paire de ciseaux indique que l'extrémité torsadée et étamée n'a pas encore été coupée à la bonne longueur pour la souder à son tour sur la piste cuivrée du circuit bornier. Sur la Fig.220 on retrouve les fils blancs déjà soudés en **1**, le "positif" en **3** et le ruban adhésif isolant en **2**. Pour souder la ligne **4** dont l'extrémité a été écourtée à la bonne longueur, le fil **C** visible en **5** est plié sur **4** pour le maintenir sur la piste cuivrée centrale. Grosse soudure sur les trois pistes voisines et le "moins est achevé". Il ne reste plus qu'à recouvrir la zone avec de l'isolant et terminer l'opération en soudant le deuxième fil rouge. On peut alors finir de souder les derniers fils qui vont sur la prise de rechargement et sur le module qui supporte des deux fusibles. La pieuvre de puissance ainsi que les deux accumulateurs peuvent maintenant être insérés dans le pupitre. Le protocole à respecter est détaillé en page 33 du livret **DOSSIER TECHNIQUE**.

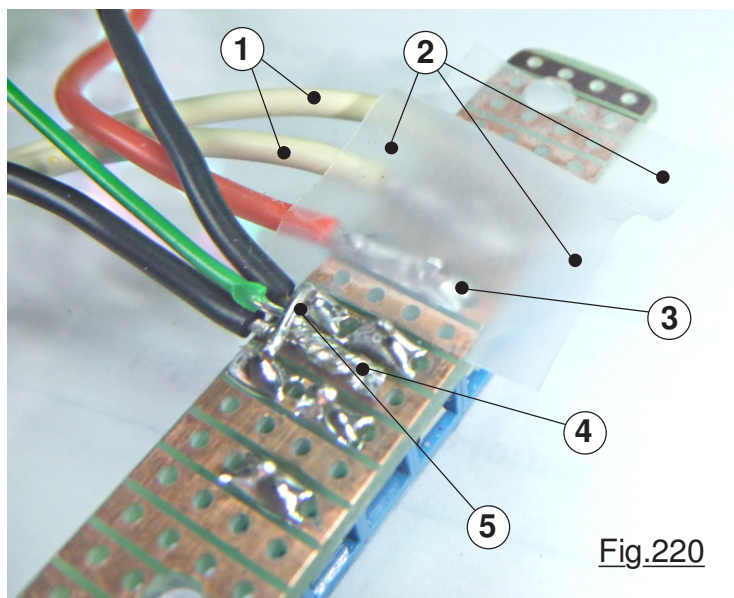


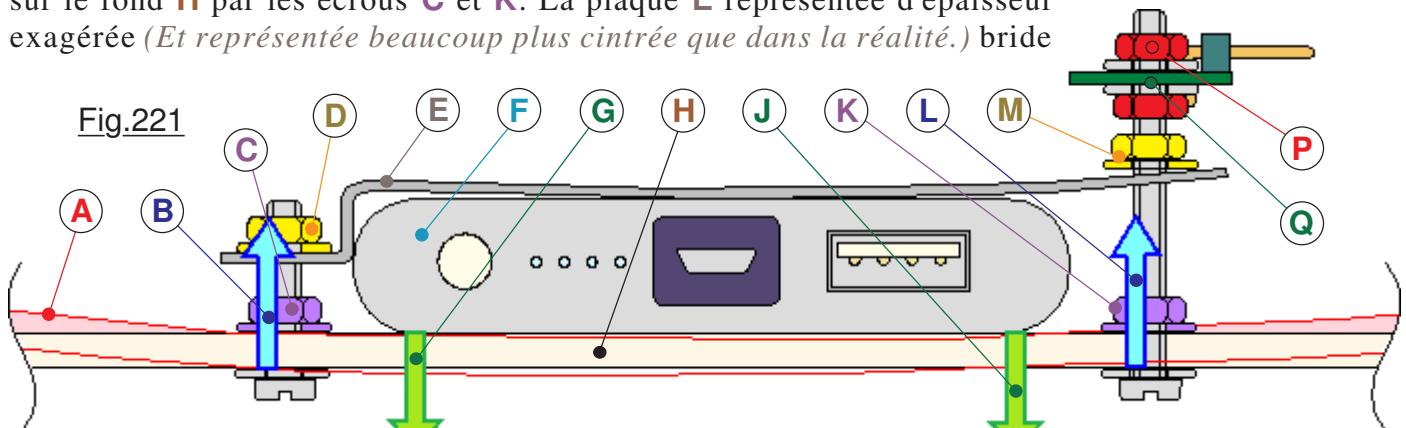
Fig.220

Respectez avec rigueur cette procédure car elle est optimisée pour simplifier au maximum les manipulations et surtout élaborée pour minimiser les risques de court-circuits malencontreux. Notez au passage que la carte Arduino est déjà en place, la procédure étant détaillée en page 35 du livret **DOSSIER TECHNIQUE**. Le pupitre est pratiquement achevé, on peut procéder aux tests de validation, préambule au meilleur moment de la journée : Refermer le couvercle. Consultez avec attention [Image 86.jpg](#) à [Image 88.jpg](#) qui montrent le pupitre tel qu'il se présente avant de pouvoir le refermer en immobilisant la semelle par les quatre vis situées dans les angles, vis qui assurent également la liaison des quatre pieds en caoutchouc situés sur le dessous du coffret.

**D**ernier chapitre de ce tutoriel, agencer le petit bloc d'alimentation en 5Vcc achèvera la réalisation du coffret. Pouvoir brancher l'alimentation des deux cartes Arduino est impératif pour conduire la validation intégrale des systèmes. Au final, le jeu d'essais complet est décrit dans le petit manuel [VALIDER JEKERT.pdf](#). Non seulement ce choix évite d'alourdir le didacticiel. Mais surtout, ne comportant que peu de pages, on l'imprimera pour en faire un livret bien commode pour conduire ces manipulations. Enfin, ce petit livret est écrit comme si nous étions en présence d'une sonde réelle, incarnant les personnels qui ont la chance de participer à des projets astronautiques actuels. Le rêve fait partie intégrante des loisirs, aussi, délirer gentiment comme si JEKERT allait révolutionner nos connaissances sur Mars reste à mon sens une thérapie idéale contre la mélancolie. Certains y verront probablement une naïveté risible. Peu importe, j'assume. Et surtout, si j'entraîne des lectrices et des lecteurs sur ce chemin de petite "folie douce" tant mieux : Qu'on le veuille ou non, rêver ... c'est vivre intensément.

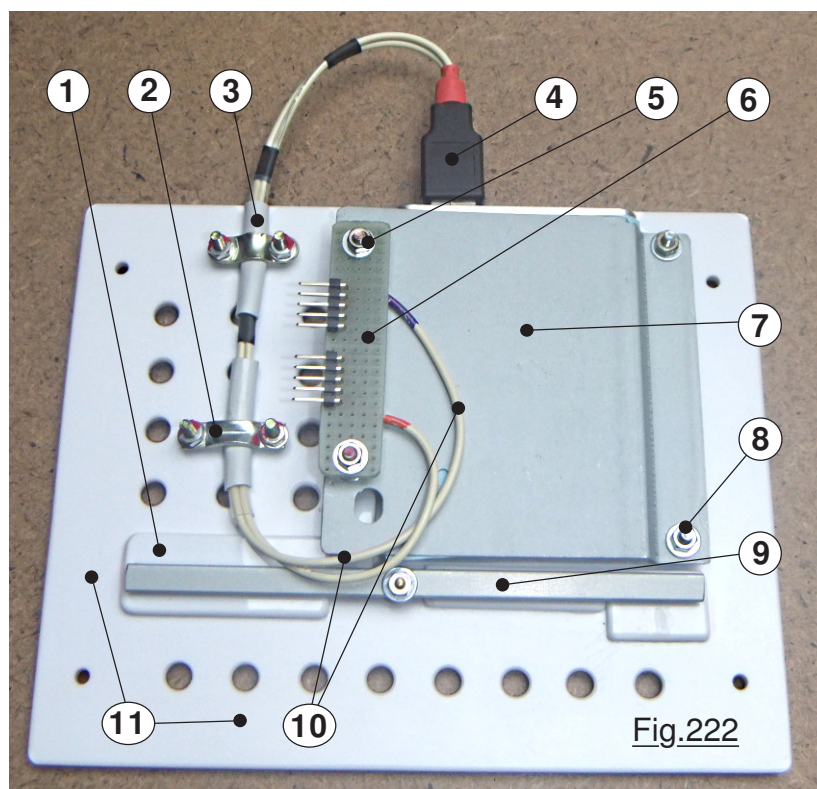
## 54) Préparer la semelle qui refermera le coffret du pupitre.

Cette phase finale consiste à brider sur la plaque qui sert de fond au coffret, le petit bloc alimentation de type "réserve d'énergie USB". Le principe d'agencement de ce module est présenté sur la Fig.221 dont le dessin n'est pas vraiment réalisé à l'échelle des dimensions, le but étant surtout de détailler la solution adoptée. Les quatre vis  $\phi$  M3 sont immobilisées de façon rigide sur le fond **H** par les écrous **C** et **K**. La plaque **E** représentée d'épaisseur exagérée (*Et représentée beaucoup plus cintrée que dans la réalité.*) bride



le bloc alimentation **F** sur le fond **H** quand on serre modérément les écrous **D** et **M**. Puis, on immobilise de manière rigide le petit circuit imprimé **Q** qui porte de connecteur HE14 avec les deux écrous rouges **P**. L'effort de bridage vers le haut par les vis en **B** et en **L**, contré par la réciproque **G** et **J** exercée par **F** engendre un couple antagoniste qui a pour effet de cintrer le fond **H** du coffret symbolisé en rouge par le tracé **A**. Il importe donc de ne serrer **D** et **M** que le juste nécessaire pour bloquer en position le module **F**. (*Effort suffisant pour que le branchement et le débranchement de la fiche USB n'engendre pas de glissement interne du petit module sur la semelle.*)

Sur la Fig.222 le module énergétique n'est presque pas visible car entièrement caché par la plaque métallique **7** qui le bride sur le fond du coffret **11**. D'un côté la bride est immobilisée par les boulons  $\phi$  M3 repérés **8**. De l'autre les deux boulons **5** dont les vis sont plus longues servent aussi à immobiliser le petit circuit imprimé **6** sur **11**. La plaque **7** est légèrement cintrée comme déjà précisé ci-avant. Ainsi, quand on serre les écrous coté **5** le fond **11** a tendance à se courber à son tour. Pour minimiser ce phénomène qui nuit à la rectitude de la semelle, le rigidificateur **9** portant sur les bossages tels que **1** engendre un couple d'efforts contraire et augmente la rigidité de cette semelle. (*9 est une petite pièce métallique rigidifiée par un pliage en forme de "U".*) Les deux connecteurs



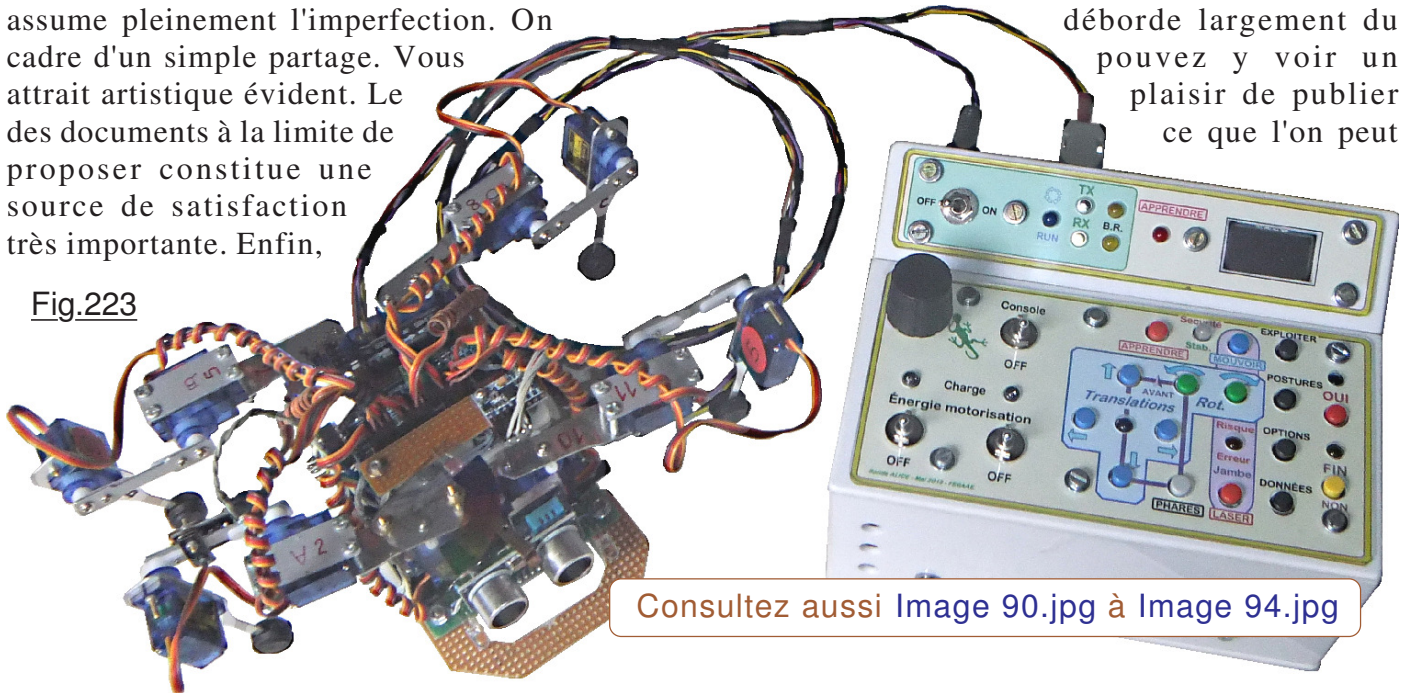
HE14 d'alimentation en 5Vcc des cartes Arduino sont reliés à la fiche USB **4** par des fils **10** de bonne section. Le but consiste à diminuer au maximum la résistance électrique de la ligne qui va jusqu'à la sonde. Cinq broches pour chaque polarité diminuent l'intensité par broche et surtout réduisent l'impédance des contacts électriques. La ligne **10** est immobilisée par les deux brides **2** qui sont serrées juste ce qu'il faut pour écraser à peine les manchons de protection **3**. Les écrous sont freinés sur les vis par du vernis à ongles parfaitement visible. Observez aussi [Image 89.jpg](#) qui présente l'ensemble de la semelle vu côté prise USB du module énergétique. On relie le connecteur HE14 de l'alimentation 5Vcc au toron concerné, et l'on peut effectuer la campagne de tests.



## 55) La récompense.

C oncevoir, puis créer de ses main constituera toujours l'activité passionnante qui aux dires des sages nous place au dessus des animaux. Plus d'une année s'est écoulée entre le déballage des pièces mécaniques du petit robot et l'achèvement de ce tutoriel. Nous pouvons naturellement penser que c'est un investissement colossal par rapport au bénéfice qui en résulte. Il faut toutefois relativiser. Si l'on compare à l'astronautique réelle pour laquelle certains chercheurs consacrent jusqu'à vingt ans de leur carrière à un projet, les critères d'appréciation changent d'échelle. Par ailleurs, plus des trois quarts du temps investi l'est pour la rédaction du tutoriel. Plus de 450 dessins réalisés ou images retravaillées, des mises en page peaufinées, une recherche permanente de textes aussi propres que possibles. Peu importe le résultat et je suis bien conscient des faiblesses de cette "production", j'en assume pleinement l'imperfection. On débord largement du cadre d'un simple partage. Vous pouvez y voir un attrait artistique évident. Le plaisir de publier des documents à la limite de proposer constitue une source de satisfaction ce que l'on peut très importante. Enfin,

Fig.223



chaque étape franchie, chaque difficulté technique évacuée apporte un plaisir intense, que seuls ceux qui "se cognent" à la conception ou au défit permanent du bricolage, fut-il ludique, pourront comprendre le réel bénéfice d'une telle entreprise. J'ai la faiblesse de croire au plaisir que certaines lectrice ou lecteur tireront de ce didacticiel, et là se situe le salaire intrinsèque d'oser s'aventurer sur un tel sentier. Heureusement qu'au début on n'est pas capable d'évaluer avec réalisme la difficulté réelle de l'entreprise, car nous n'aurions pas forcément le courage de sauter le pas. Combien de sondes JEKERT émergeront de ces élucubrations ?

### ➤ **Prospective, perspectives ... l'avenir est devant nous.**

M achine programmable par nature, que ce soit la sonde ou le pupitre, la fin de la saga ne relègue absolument pas le projet aux oubliettes. Tous ceux qui sont titillés par le démon logiciel pourront à convenance "effacer" des fonctions qu'ils considèrent comme dérisoires pour libérer de la place et s'engager dans l'étude de nouveaux comportements plus séduisants à leurs yeux. Il n'y a aucune limite, et c'est d'autant plus facile que l'on peut strictement sans pénalité reprogrammer les cartes Arduino. On pourrait citer par exemple :

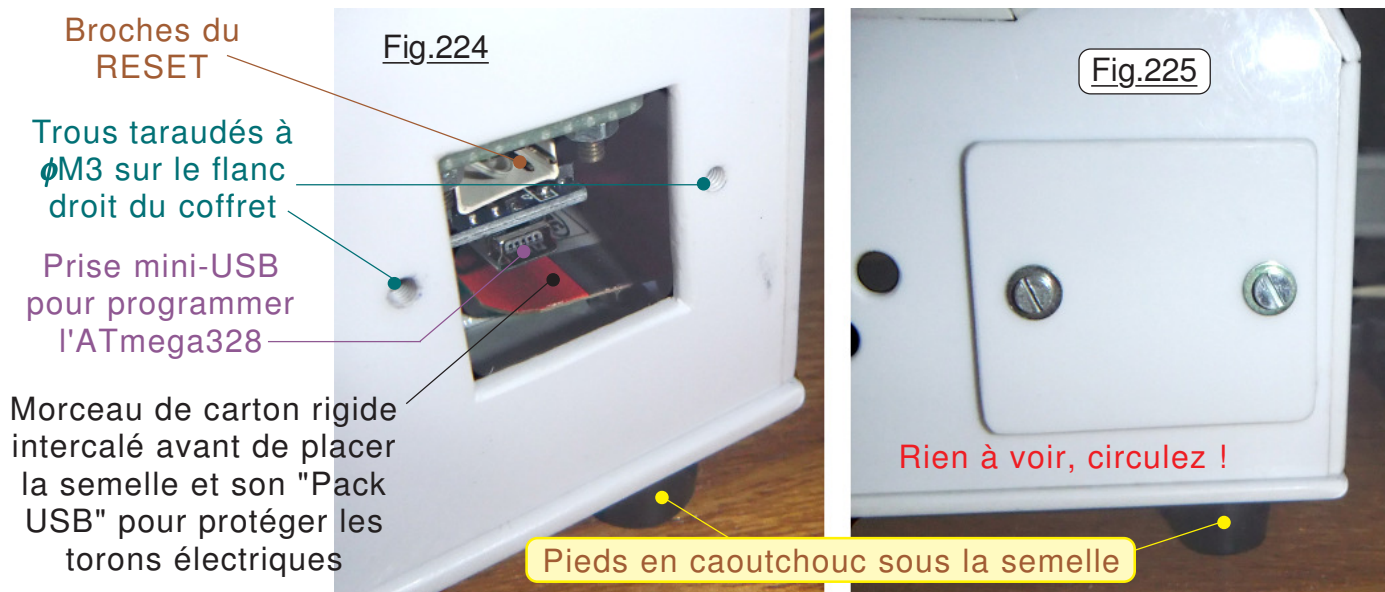
- *Un programme pour faire tourner d'un certain angle.*
  - *Une commande pour faire tourner d'un quart de tour, d'un demi-tour.*
  - *Une fonction pour incliner latéralement, ou longitudinalement.*
  - *Un item dans les menus qui permettrait de cabrer et de piquer en mode manuel.*
  - *Une aide au pilotage pour retrouver une direction gyroscopique enregistrée.*
  - *Un module logiciel pour s'orienter à un CAP magnétique consigné.*
  - *Et surtout, bien plus délicat, apprendre à JEKERT à monter ou descendre une petite marche.*
- Ce n'est qu'un pèle mêle couché en vrac, mais je sais que déjà dans votre fort intérieur fleurit tout un bouquet d'idées nouvelles qui vont occuper vos longues soirées d'hiver à titiller les cartes NANO par l'entremise de l'IDE et de son langage C++ si bien adapté à la robotique. L'aventure continue, et JEKERT n'a pas fini de nous séduire.

## 56) Dernière minute.

Bien que ce chapitre soit ordonné avant le n°57, dans la pratique ses trois pages ont été ajoutées avant l'actuelle [Page 37](#) alors que le didacticiel était entièrement achevé et "compacté" pour sa publication. Puis, rédigeant le petit livret de validation des systèmes, je me suis rendu compte que certains détails ont été oubliés. Ils ne sont pas vraiment fondamentaux, toutefois ils méritent d'ajouter ce complément au didacticiel.

### ➤ Protéger l'électronique.

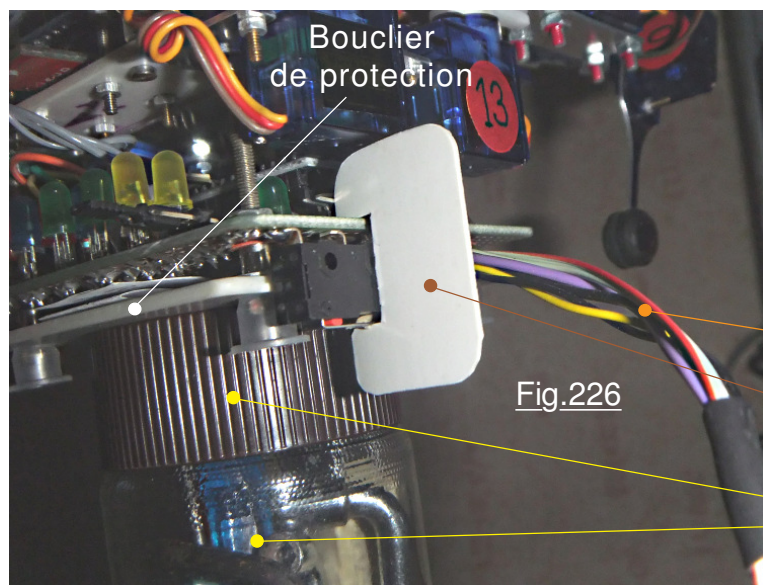
L'ouverture pour brancher la ligne de programmation ou pour accéder au connecteur du RESET est de grandes dimensions. Hors ces deux fonctions sont très occasionnelles. Aussi, il n'est pas prudent d'exposer ainsi l'électronique interne du pupitre. Le bloc énergétique sur la prise DIN est envisagé pour servir aux expérimentations de robotique. Un fil électrique mal intentionné pourrait fort bien venir "électriser" au mauvais endroit. Aussi, pouvoir refermer cette ouverture de servitude est fort recommandé. On taraude à  $\phi$  M3 comme indiqué sur la Fig.224, puis la petite plaque de la Fig.225 est immobilisée par deux vis. En une petite demi-heure de bricolage le problème est définitivement évacué, et l'on s'épargne ainsi bien des complications potentielles ...



### ➤ Simulateur de sol martien.

Glups ... on donne dans le luxe technique maintenant ! Non, rassurez-vous, nous n'allons pas emplir le laboratoire d'une plage de terre ocre avec des rochers un peu partout. En fait de simulateur, il s'agit d'un simple petit morceau de carton découpé judicieusement (*Voir la Fig.226*) pour pouvoir maintenir le microcontact qui sur JEKERT atteste que le robot est bien en contact avec le sol. De nombreux essais de validation se font en économisant la mécanique. JEKERT est

placée sur un berceau, et posée sur son bouclier. Si le support est de faible surface d'appui, la palette du petit contacteur est dans le vide. La maintenir active manuellement lors des essais est particulièrement indigeste car elle monopolise une main. Ce petit découpage de rien du tout fait ainsi gagner un temps précieux.



Cordon ombilical pour l'énergie et les dialogues série

Simulateur de sol martien !

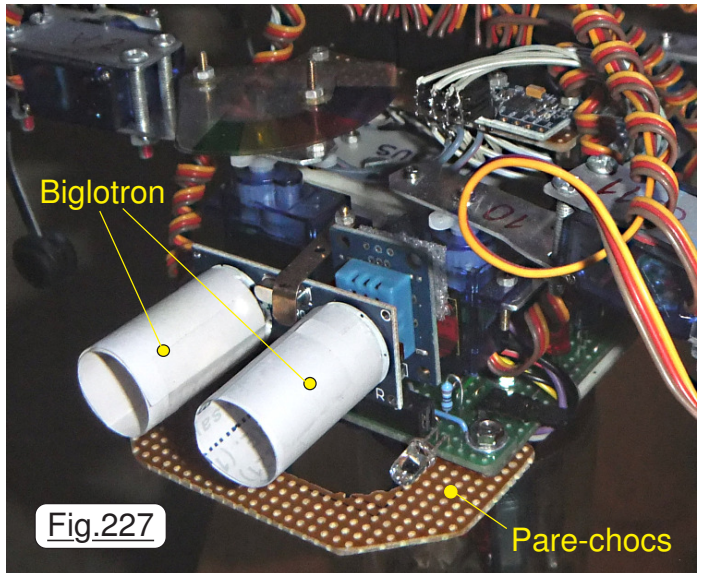
Berceau statif support de la sonde pour le développement du projet JEKERT



### ➤ Pare choc et biglotron.

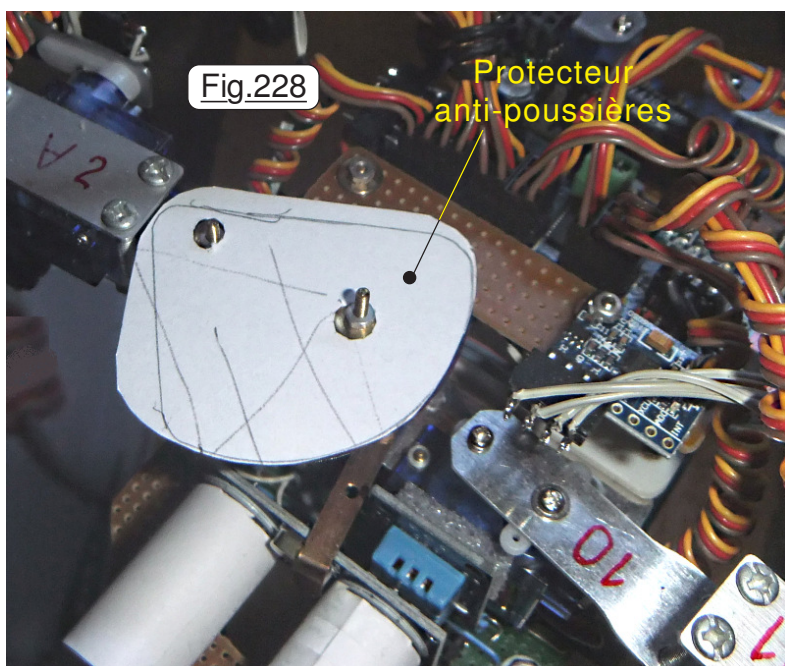
**R**évolutionnaires, ces deux inventions de haute lignée sont classés "TOP SECRET DEFENSE". Lorsque vous allez manipuler JEKERT et procéder à des essais, en particulier avec la motorisation active, un grand nombre d'incidents vont engendrer un basculement du robot sur le nez. À chaque fois les diodes électroluminescentes des phares se tordent ce qui ne présage rien de bon pour leur pérennité. Pour les protéger de tels incidents, on se contente comme montré sur la Fig.227 d'ajouter un pare-chocs immobilisé sur le petit circuit imprimé de complément par les deux boulons  $\phi$  M3 de liaison de ce dernier sur le circuit imprimé principal. Ajouré en son centre, cette petite pièce mécanique est taillée pour mon prototype dans un morceau de circuit imprimé.

**V**isualiser le spectre de balayage ultrasons proposé en EEPROM présente une belle courbe qui serait issue d'un obstacle placé face à la sonde. C'est de "l'arnaque". Les valeurs ont été saisies manuellement et ne correspondent pas à une mesure réelle. Les résultats que vous obtiendrez quand vous enregistrerez un spectre seront entachés de quelques parasites. Et surtout la forme que vous aurez placée face à la sonde sera fort peu distinguée. Les responsables sont les échos parasites et l'ouverture du cône d'émission des transducteurs ultrasons. Le **Biglotron** améliore significativement les résultats obtenus. Ce dispositif particulièrement compliqué à réaliser est constitué de deux manchons de papier fermés par du ruban adhésif et enfilés avec frottement doux sur les transducteurs acoustiques. L'effet sera d'autant meilleur que les dispositifs sont longs. Sur la Fig.227 nous avons un bon compromis Efficacité / Encombrement.



### ➤ Alte à la poussière.

**T**rès couteux également, le dispositif qui est décrit dans ce chapitre n'est pas non plus indispensable. Dans l'usage "normal" de JEKERT, soit cette dernière sera manipulée quelques heures, soit elle sera remise précieusement dans un placard bien à l'abri des intempéries martiennes. Par contre, dans le cadre de développement matériel ou logiciel, elle peut stagner pendant des jours, voir des semaines sur le bureau expérimental. Le filtre colorimétrique est alors vulnérable à la poussière qui en théorie altèrera sa transparence, donc les mesures effectuées. Soyons réalistes, c'est de la maniaquerie. Pour des raisons de rigueur, un autre petit bricolage complémentaire consiste



à découper un protecteur dans du carton un peu rigide. L'astronautique ne plaisante pas avec la pollution ... c'est du sérieux ! Il est manifeste sur la Fig.228 que le protecteur a été réalisée "à la va-vite", rapidos découpé et posé sur le filtre colorimétrique. Il n'en a pas moins préservé le capteur pendant pratiquement un an, vu que ce modeste complément figure dans l'arsenal du laboratoire depuis le tout début du projet. On peut remarquer au passage le **Biglotron** aussi ancien, et mis en place lors de la mise au point des capteurs pseudo scientifiques sur JEKERT. Surtout ne déduisez-pas que mon atelier est logé dans la vieille étable de grand père, il n'y a pas tant de poussière que ça dans mon labo ...

## ► La fiche DIN pour brancher la puissance 6Vcc.

Mentionné dans le didacticiel en page 28, mais insuffisamment pour que vous puissiez réellement saisir en détails le problème qui se pose, la fiche DIN à huit broches a posé un épineux problème technique. Quand on l'insère sur la prise châssis à huit "bornes", les contacts électriques engendrent une forte adhésion sur les broches. Le manchon de la fiche est immobilisé sur son corps **5** uniquement par le petit ergot repéré en **1** sur la Fig.229 par l'encerclé rouge. Pour retirer le cordon ombilical de puissance de la prise **6** immobilisée sur le coffret, on tire naturellement sur le manchon **3**. L'effort à exercer est notable car il faut faire glisser les broches sur les huit lires qui toutes exercent une action non dérisoire.

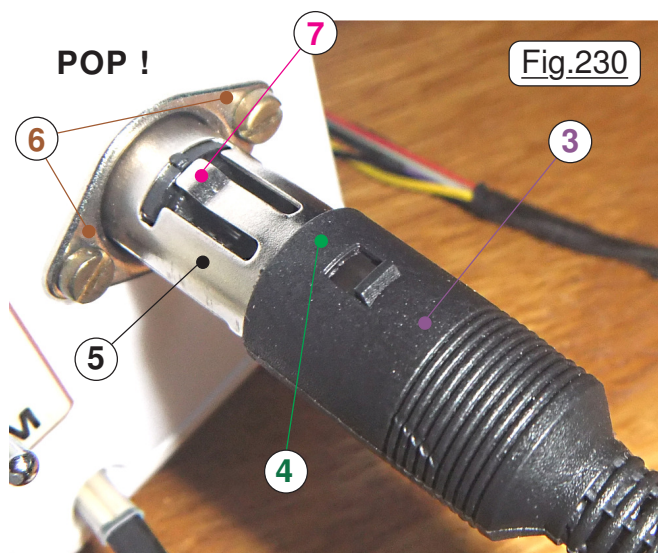
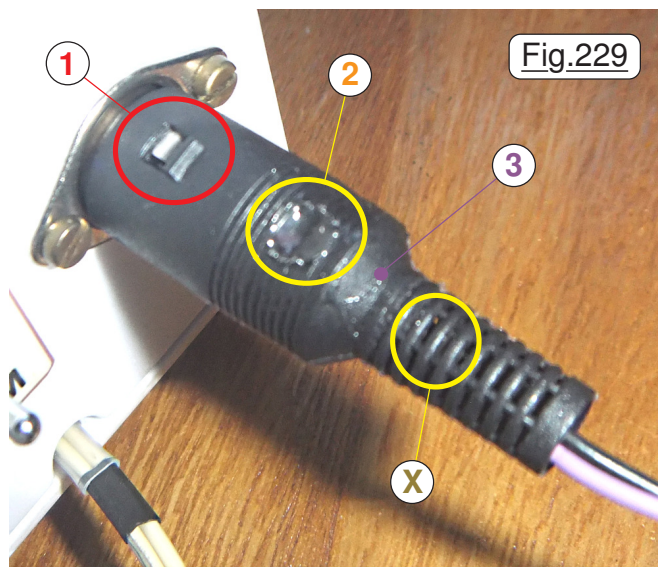
**Premier cas :** L'ergot **7** ne s'efface pas et résiste correctement contre le manchon. Ce dernier se déchire en **4** car le matériau thermoplastique utilisé n'a pas la résistance mécanique suffisante. Dommage !

**Deuxième cas :** C'est celui qui statistiquement se produit le plus souvent. Les formes rondes de **7** et du corps **5** obligent l'ergot à s'effacer, et seul le manchon **3** recule, le corps de la fiche reste en prise dans la fiche. On se retrouve dans la situation de la Fig.230 avec un fort sentiment de frustration. Dommage !

**Conclusion :** Ce produit commercialisé est absolument inutilisable en l'état. Nous pourrions crier à "l'arnaque", ce qui nous laisserait autant dans la panade. Et puis inutile d'alarmer les tribunaux, car la publicité du produit ne précise pas qu'il est conçu pour débrancher la ligne ! Mouaisssss, c'est bien beau tout ça, mais comment tourner cette difficulté ?

Il suffit de trouver sur Internet une référence qui soit de meilleure conception. Outre qu'il faut encore éparpiller des Euros, je n'ai pas trouvé. Les fiches approvisionnées ne sont pas géniales, mais elles étaient d'un prix de vente très modeste, on va faire avec. Voici comment procéder :

- 1) Avant d'enfiler le manchon **3** sur la ligne de puissance, on le perce d'un trou de bon diamètre repéré sur la Fig.229 dans le cercle jaune **2**. (*On observe également la colle Araldite.*)
- 2) On enfile ensuite un petit manchon en caoutchouc qui pourra assurer une étanchéité relative dans la zone de rétrécissement en **X** du manchon.
- 3) Quand les broches sont soudées et que le noyau central qui les supporte est inséré dans le corps **5** on bloque mécaniquement la ligne de puissance avec les "pinces" prévues à cet effet sur la moitié la plus longue de **5**. (*Accrochage mécanique des fils sur le corps de masse de la fiche.*)
- 4) On vérifie manuellement qu'il sera facile d'enfiler **3** sur **5** en respectant l'orientation pour que l'ergot **7** puisse se "clipser" dans la lumière idoine.
- 5) On tartine correctement le corps **5** avec de la colle rapide et sans perdre de temps on place le manchon **3** en bonne position sur **5**. En quelques secondes la colle fait sa prise. À ce stade, des essais mécaniques prouvent que l'on pourrait se contenter de cette solution.
- 6) Toutefois, pour sécuriser de façon absolue, on pousse sur le cordon ombilical d'énergie de puissance le petit manchon en caoutchouc dans la zone **X**. Puis, à l'aide d'une seringue, on remplit entièrement la fiche de colle Araldite par le trou **2**. Quand l'introduction est à refus, on laisse durcir pour aboutir à une "fiche moulée" d'une solidité à toute épreuve.





Disposant de plusieurs codeurs rotatif de sources différentes, je me suis rendu compte que sur certains, tournez le bouton dans le sens horaire engendre un "décomptage". L'évolution dans les menus est donc inversée par rapport à toute la documentation du didacticiel. Si votre composant génère un "sens inversé", permutuez les broches CLK et DT, et tout entrera dans l'ordre.

### 57) Les "loupés".

Aucun projet, qu'il soit industriel ou de loisir ne saurait aboutir à la perfection absolue. Entre les désirs initiaux, ce qui était envisagé et ce qui résulte de compromis inévitables, s'insinuera forcément des divergences. JEKERT n'échappe pas à ce principe non démontré mais qui frise l'absolu. Il a fallu composer avec les réalités matérielles, et l'on peut noter un certain nombre de "regrets" :

- Initialement il était prévu de munir chaque Griffe d'un micro contact pour vérifier l'appui. Cette possibilité séduisante sur le plan opérationnel a été abandonnée car elle posait trop de problèmes mécaniques. En particulier l'impossibilité de se procurer facilement des capteurs suffisamment sensibles pour déclencher sous le faible appui de l'insecte mécanique.
- Il était prévu pour la météorologie de mesurer la pression barométrique. Après de bien de essais, il a été impossible de faire cohabiter sur le réseau I2C le module approvisionné avec les autres périphériques, comme quoi, même dans le domaine ludique l'intégration peut créer des impossibilités imposant de changer de stratégie et d'éliminer une expérience scientifique estimée importante au profit d'une autre lauréate plus chanceuse ...
- À la place de la boussole il était prévu un magnétomètre trois axes. Mais les deux approvisionnés n'ont pas du tout fonctionné. Toutefois, le support de la boussole est conçu pour pouvoir éventuellement changer plus tard si le problème était résolu.
- Placer un "antiparasite" sur le télémètre a échoué.
- Enfin, sachez que malgré mes faiblesses notoires en orthographe et en syntaxe, je suis un fervent amoureux de notre langue. Rien ne m'agace plus dans les médias que cette maladie du "franglais" qui pollue en permanence les émissions de radio ou de télévision. Et bien je finis par être intoxiqué par ce fléau. Vous n'avez pas remarqué ? Mais si, regardez-bien ... j'ai sur la belle façade inscrit **ON** et **OFF** au lieu de **MA** et **AR**. Dommage ! Comme je suis paresseux, cette verrue ne sera pas corrigée, car franchement je n'ai vraiment pas envie de tout redémonter pour remplacer les étiquettes imprimées qui seraient faciles à corriger.

Peu importe ces petites tracasseries. Ne boudons pas pour autant notre plaisir. JEKERT est bien vivante et la voir se trémousser reste vraiment étonnant. Quand je la présente à des amis, ils sont chaque fois dubitatifs. Pourtant, avec ce que montrent nos écrans en imagerie "Guerre des étoiles" nous pourrions être blasés. Et bien force est de constater que face à un petit robot bien réel aussi rudimentaire que notre petite sonde, les invités sont toujours séduits et ravis.

Tout compte fait, les humains ne sont que de grands enfants qui ne demandent qu'à s'émerveiller, et parfois il suffit de si peu de chose ...

*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 difficulté, les amis du forum pourront probablement vous aider. 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 ... ne vous égarez pas sur Mars.*

*Chaleureusement : Nulentout.*