

Machine de TURING

La RÉALISATION

Par Nulentout : Samedi 2 Juillet 2022.

I nspirée directement de la machine décrite en ligne par Monsieur Marc Raynaud sur <https://www.youtube.com/watch?v=L5O04P2ASRc>, je me suis astreint à n'utiliser que des composants faciles à trouver dans les magasins de bricolage de proximité, ou par l'entremise du télécommerce. Par ailleurs j'ai éliminé toute solution qui consisterait à bénéficier des aides d'un lycée technique voisin, cette possibilité n'étant pas envisageable par le commun des internautes. Je me suis donc imposé de n'utiliser que du petit outillage dont tout bricoleur du Dimanche dispose dans son atelier. Seule restriction avec "le modernisme", bon nombre de pièces sont moulées sur une petite imprimante 3D disponible dans "mon laboratoire". À l'heure actuelle ce type de production se banalise, et si vous n'avez pas dans votre entourage un copain qui dispose d'une telle machine, sur Internet on trouve des liens pour les faire réaliser par des professionnels à des tarifs relativement abordables. Naturellement je joins à ce tutoriel l'intégralité des fichiers *gco* nécessaires pour mouler.

L' expérience que j'ai accumulée en de très nombreuses années de loisir m'a convaincu que *la réalisation de guidages en translation rectiligne précis n'est vraiment pas facile. Il est bien plus aisé de réaliser des liaisons pivots.* Aussi, mis à part le cas de la Contre-MATRICE, l'intégralité des autres guidages mécaniques ne font appel qu'à des rotations. En résumé, la totalité du développement de ce projet avait pour objectif incontournable la faisabilité par tout un chacun, et uniquement avec du petit matériel. Du reste le perçage du barillet pour les ressorts va certainement vous convaincre que toute machine à commande numérique a été écartée, bien que je possède une petite fraiseuse de ce type. En résumé, c'est une **MACHINE DE TURING POUR TOUS.**

R este qu'avant de prendre la décision de "plonger", surtout ne commettez pas l'erreur magistrale qui a été la mienne. J'envisageais initialement de réaliser une machine ÉNIGMA. C'est en faisant des recherches sur l'Internet, que je suis "tombé" sur le site de marc Raynaud. Coup de foudre pour cette réalisation, j'ai foncé tête baissée et commencé à commander une foultitude de composants pour débiter le développement. *Je n'ai pas effectué au préalable une étude de faisabilité* compte tenu des mes "incompétences" en matière d'électromécanique. **GROSSIÈRE ERREUR.** Alors *avant de prendre la décision, parcourez ce document pour bien évaluer "le travail à effectuer" et vérifier s'il est intégralement à votre portée.* Aussi, face à certaines difficultés et mauvaises conception, j'ai côtoyé souvent "le renoncement". Mon projet était trop avancé quand je me suis cogné à un mur, et ce à plusieurs reprises, raison pour laquelle je n'ai pas jeté l'éponge. Tout fini bien puisqu'au final ma machine fonctionne correctement, mais la route a été longue et parfois avec le risque de m'égarer. Aussi, rien n'est plus frustrant que d'avoir à abandonner. Pesez le pour, pesez le contre, surtout le contre. *Quand vous avez la certitude que tout ça est possible, pesez encore une fois le contre ...*

P résenter mon prototype avec ce document, accompagné d'un nombre considérable de photographies, consiste à vous "prendre par la main" pour vous aider à franchir chaque étape "un peu délicate" de la réalisation matérielle. *Je vous engage fortement à le parcourir rapidement et intégralement, ainsi que les photographies commentées pour en évaluer avec "certitude" la faisabilité avec vos aptitudes à bricoler des pièces mécaniques et effectuer des soudures électroniques fiables.*

Il me semble important de souligner que je bénéficie de toute une vie de bricoleur et suis capable de façonner et du premier coup des petites pièces mécaniques "taillées" ici dans des profilés ou des plaques d'aluminium. Vous n'avez peut être pas ce savoir faire. En contre partie, dès le départ les solutions détaillées et cotées sur les dessins ont fait leurs preuves. Les schémas électriques ainsi que les circuits imprimés sont également validés à cent pour cent. Aussi, je reste persuadé qu'une telle réalisation reste à la portée "de toutes et de tous" pour une "aventure" enthousiasmante. Avant de vous engager, estimez également le coût total des approvisionnements à satisfaire. La somme sera notable, mais divisée par le nombre d'heures de loisirs qui en résultent, c'est nettement moins onéreux comme activité de loisir que le cinématographe par exemple ...

01) Spécificités des deux machines réalisées par Monsieur Marc Raynaud.

Déjà mentionné sur l'introduction du document [Présentation Mécanique.pdf](#), le prototype décrit dans mes lignes s'inspire directement de ses deux belles machines de démonstration. Plusieurs idées originales par rapport aux nombreux exemplaires réalisés par les étudiants en informatique, et ceux qui envisagent les mathématiques appliquées, que l'on peut observer sur la toile en font des unités remarquables, et il me semble utile d'en donner ici la liste des particularités les plus notables :

- Ruban de Turing replié en boucle sous la forme d'un disque,
- Remplacement du déplacement de la tête de lecture/écriture par la rotation de ce disque,
- Symboles (*Binaires.*) matérialisés sous la forme de petits cylindres qui peuvent se déplacer verticalement pour représenter des blancs "B" (*Séparateurs de données non formatées.*) des "0" ou des "1".
- Système de génération d'impulsions d'HORLOGE à partir d'une came tournant devant des contacteurs qui dans l'ordre organisent un cycle avec LECTURE, ÉCRITURE, ROTATION et Changement d'état,
- Le sélecteur rotatif des états qui renvoie les résultats de la LECTURE sur le lecteur des tables de transitions (*Feuilles perforées.*) est organisé avec quatre "couches" de contacteurs.

➤ Les fiches de réalisation.

Uniquement dans le but d'aider les éventuels internautes qui vont oser "relever le défi", ces fiches décrivent en détails quelques procédures employées pour concrétiser certains éléments vitaux de la machine qui imposent des techniques particulières. Bien que chacun disposera dans son environnement d'un outillage restreint, et de techniques qui lui sont spécifiques, elles sont proposées dans les "cartes" nommées [Protocole de réalisation](#), et ont été rédigées en même temps que je façonnai les éléments. Tout particulièrement, elles décrivent la façon dont j'ai procédé personnellement pour concrétiser des éléments délicats qui imposaient une rigueur maximale. À ce stade, c'est à dire aux débuts de ce projet, j'étais bien naïf, et je pensais pouvoir tout expliciter en quelques petits cartons au format A6. Par la suite je me suis bien rendu compte que c'était totalement illusoire, et je suis passé aux fiches A5 ... et enfin aux didacticiels en format A4. La réalisation s'achèvera donc par ce document [RÉALISER.pdf](#) dont le format est bien plus réaliste. Toutefois, je n'ai pas éliminé les petites fiches, qui ont le mérite d'exister.

➤ Les "bourdes" potentielles. (Mise en garde !)

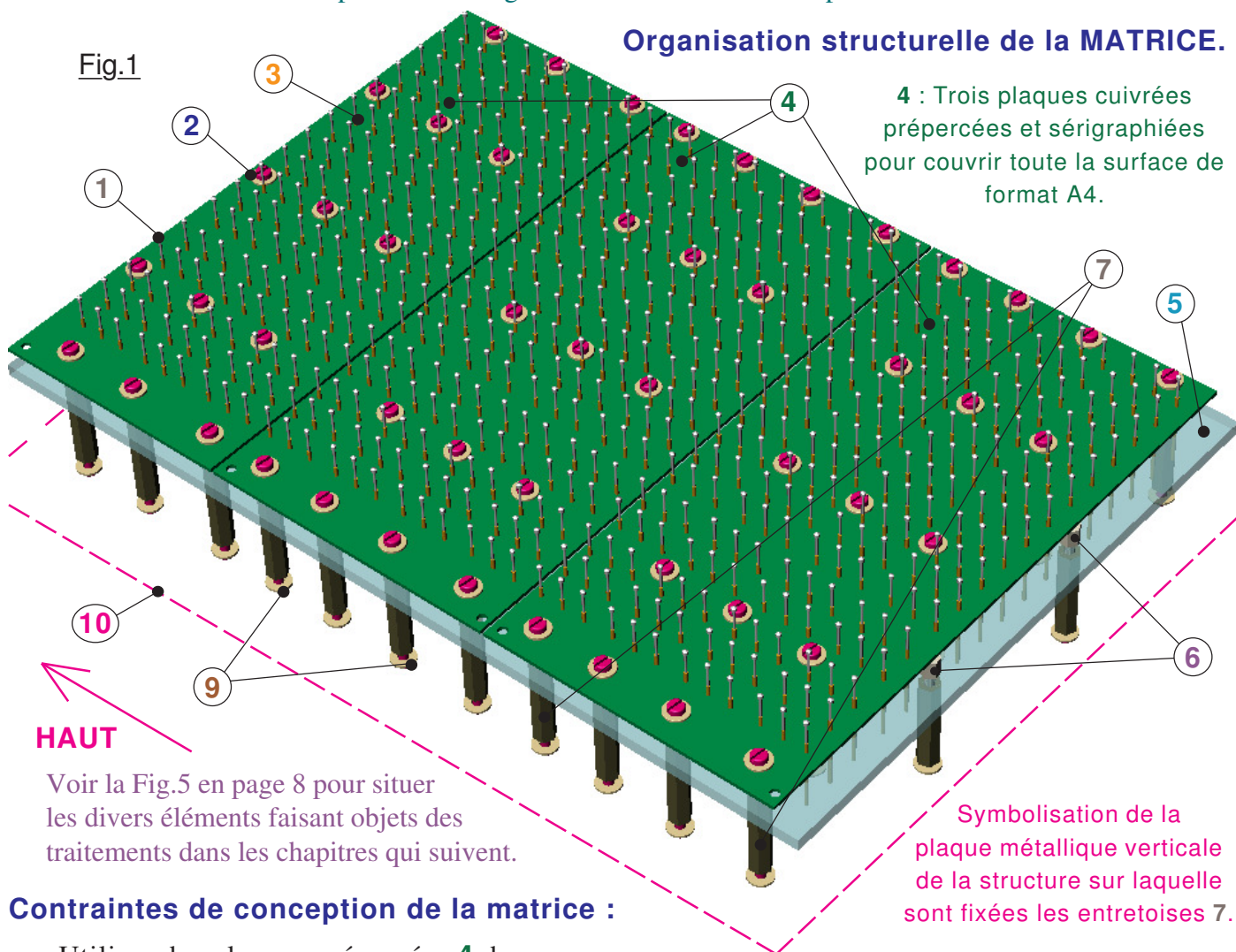
Compte tenu du grand nombre d'éléments à fabriquer, les erreurs potentielles sont particulièrement nombreuses. On peut inverser le haut et le bas d'un dessin, la gauche et la droite, oublier une symétrie etc. La combinatoire des permutations possibles est considérable, et la seule façon d'éviter ce type de déconvenues consiste à vérifier, comparer, examiner avec attention, puis recommencer encore ces observations de validation. Mais toutes ces redondances ... risquent fort de ne pas suffire. Expériences vécues, pour ma part je peux citer les bêtises suivantes :

- Pour la plaque matrice, sur un profilé de 30 x 19,5 les trous du haut et du bas ont été inversés,
- Sur l'équerre du haut à droite de la structure matrice, les trous ont été décalés vers l'intérieur au lieu de l'extérieur. La correction s'est faite avec encore une erreur sur l'erreur ... sur le dos de la structure !
- Ayant lu trop rapidement un dessin fait main, j'ai taillé les deux profilés 30x 19,5 dans de la cornière de 40 x 40 ... dommage ! (*Ici c'est du gaspillage, mais les éléments n'étaient pas à refaire.*)
- Les fils de liaison pour sortir les signaux de la matrice de diodes ont été préparés à l'avance. Puis soudés avec une attention soutenue ... sauf que je me suis trompé et j'ai inversé le haut et le bas. Pour des raisons économiques, ces nombreux fils ont été préalablement coupés à des longueurs différentes. Heureusement pour moi j'avais prévu des longueurs exagérées, et cette bourde n'a au final pas engendré de difficulté ... OUF !

Je ne cite ici que quelques erreurs typiques, il y en a eu bien d'autres, et le but n'est absolument pas de l'auto flagellation. *J'insiste sur ces mésaventures pour vous rendre très méfiants.* Il vaut mieux consommer dix minutes de plus pour vérifier un document, que d'avoir à refaire une pièce de la machine qui a exigé une à deux heures d'un travail méticuleux. Alors soyez vigilant, car l'enthousiasme à reprendre les limes et la perceuse après une semaine d'activités professionnelles ou familiales peut nous fourvoyer et conduire à une tragique déception. Vérifiez, vérifiez encore et encore ... la force est avec vous !

02) Protocole de réalisation de la matrice de palpeurs :

Pratiquement l'intégralité des étapes de la réalisation de notre Machine de Turing a été enregistrée sur une foule de photographies qui sont commentées et préservées dans le dossier <Galerie d'IMAGES> qui accompagne ce didacticiel. Tout au long des pages qui vont suivre il sera fait référence à ces très nombreuses photographies. La toute première unité que nous allons réaliser est le lecteur de feuilles perforées traduisant les algorithmes soumis à la machine. Cette unité de base est constituée d'une structure qui supporte la matrice de palpeurs, qui guide en translation la contre-matrice et qui soutient le système presseur. Un chapitre sera consacré à chacun de ces sous-ensembles. (Voir la Fig.5 en page 6 du document [Présentation Mécanique.pdf](#), et surtout la Fig.9 en page 9.) Dans ce chapitre nous allons réaliser le sous-ensemble représenté en Fig.10 du même document reproduite ci-dessous.



Contraintes de conception de la matrice :

- Utiliser des plaques préperçées 4 du commerce,
- Éloigner le plus possible chaque palpeur 3 de ses voisins et des vis de fixation 2 des C.I,
- Répartition pour utiliser au mieux une feuille A4, (*Qualité opérationnelle.*)
- Répartition pour favoriser la présentation de la grille, (*Le haut dépasse très peu !*)
- Répartition pour ménager des marges imprimante, (*Difficile pour le bas.*)
- Répartition pour disperser au mieux les colonnes de soutien. (*Et les contrefiches.*)

➤ Perçage des trous de liaison entre les C.I. 4 et la plaque 5.

Disposer d'une perceuse sensitive d'électronicien \$ montée sur colonne pour usiner bien verticalement est incontournable. Un montage d'usinage (C'est à dire un grand plateau en bois sur lequel est immobilisée la colonne de la perceuse.) est **INDISPENSABLE**. Le "poste de travail" doit être ergonomique et l'opérateur, C'est à dire vous, confortablement installé. Ce poste de travail se voit sur [IMAGE 8.JPG](#) de <01) La Matrice\B) Perçage des trous pour les palpeurs>.

01) Tailler le circuit imprimé du haut aux dimensions.

02) Tailler la plaque en "Altuglas" aux dimensions. (Voir [PLANS.pdf](#) en page 3)

- 03) Sur les circuits imprimés (*C.I. pour la suite.*) percer avec **§** à $\phi 0,8\text{mm}$ tous les trous des palpeurs, car les trous prépercés ne sont pas de diamètre suffisant pour les palpeurs.
 - 04) Sur les circuits imprimés agrandir à $\phi 3\text{mm}$ avec une chignole deux trous diagonalement opposés.
 - 05) Positionner avec précision les C.I. sur la plaque en "Altuglas" et y percer les trous diagonalement opposés avec **§** en soignant particulièrement leurs positions. (*Attention : Il faut impérativement augmenter progressivement le diamètre à environ 2mm puis passer au finisseur de 3mm.*)
 - 06) Immobiliser les trois C.I. sur la plaque en "Altuglas" avec des boulons $\phi M3\text{mm}$.
 - 07) Percer, et contre-percer les deux autres trous diagonaux avec **§**. Séparer les plaques pour évacuer les copeaux puis rassembler le tout et conforter toutes les liaisons avec des boulons $\phi M3\text{mm}$.
 - 08) Par de petites marques latérales repérer la position et l'orientation de chaque plaque.
 - 09) Agrandir les trous à $\phi 3\text{mm}$, remonter l'ensemble des C.I. contre la plaque en "Altuglas".
 - 10) Pour vérification ultime assembler le total avec les entretoises nylon **6** en place. Tout redémonter,
- || Voir dans <Galerie d'IMAGES> le dossier <01) La Matrice\A) Perçage du plexi pour les gros trous> les photographies **IMAGE 1.JPG** à **IMAGE 4.JPG**.

USINAGE DE L'ALTUGLAS.

A **TTENTION** : Les matériaux de type "Altuglas" ne s'usinent pas facilement. *Dès que l'outil frotte un peu rapidement, la chaleur fait fondre le matériau*, que ce soit en perçage, en fraisage ou quand on lime. Il faut impérativement "limiter au maximum la vitesse de coupe". Dans le cas du perçage, le foret génère des copeaux, ces derniers viennent se "bourrer" dans les rainures hélicoïdales et freinent ce dernier. Il faut impérativement dégrader les performances de la perceuse et la rendre "anémique". Si elle tourne à sa puissance nominale, l'Altuglas fond, finit par bloquer le foret qui casse inexorablement et le trou est mauvais. Ma machine est prévue pour 15V 3A en nominal. Avec une alimentation de laboratoire elle n'est soumise qu'à 3V environ. *Sur un moteur à courant continu, le couple en sortie est directement proportionnel au courant consommé.* Durant le perçage, on limite la pénétration en surveillant l'ampèremètre, et on ne dépasse pas 1A environ. *Dès que l'intensité augmente, on n'insiste pas et on dégage entièrement le foret pour évacuer les copeaux.* Au début la pénétration sur environ 1,5mm est facile, mais ensuite il faut "dégager" pratiquement tous les 0,5mm. Régulièrement la machine cale, et l'ampèremètre monte à environ 2A. C'est sans danger pour la perceuse, car sous 3V elle est vraiment anémique, et débloquer le foret en tournant manuellement le mandrin reste très facile. Il n'est même pas nécessaire de couper l'alimentation. C'est long et fastidieux. Toutefois l'opération se fait vraiment sans anicroche. Pour garantir la qualité du travail, j'ai approvisionné 20 forets de $\phi 1,4\text{mm}$ et réparti l'usinage du total sur ces derniers. Pour agrandir les trous sur les C.I. et percer la plaque d'Altuglas il m'a fallu environ 9H ... sur un poste d'usinage "confortable".

➤ Réalisation des trous dans **5** pour le passage des palpeurs **3**.

S eule façon d'assurer l'alignement parfait des 561 trous de passage des palpeurs télescopique par rapport à la plaque d'Altuglas : Réaliser tous ces alésages par contre-perçage, c'est à dire en immobilisant les C.I. **4** directement sur la plaque **5** et en se servant des trous déjà agrandis à $\phi 1,4\text{mm}$ comme guide de perçage. L'illustration photographique de cette phase assez délicate est préservée dans le dossier <Galerie d'IMAGES\01) La Matrice\B) Perçage des trous pour les palpeurs>.

- 11) Repérer tous les trous de liaison comme montré sur **IMAGE 5.JPG**.
- 12) Assembler les trois C.I. **4** sur la plaque **5** ce que l'on voit sur **IMAGE 6.JPG** et **IMAGE 7.JPG**.
- 13) Retourner l'ensemble et le surélever par des livres sur le poste de travail : **IMAGE 8.JPG**.
- 14) Contre percer à $\phi 1,4\text{mm}$ comme on le voit sur **IMAGE 9.JPG**.
- 15) **IMAGE 10.JPG** et **IMAGE 11.JPG** révèlent que des copeaux s'intercalent entre le circuit imprimé et la plaque d'Altuglas. Il faut régulièrement démonter les deux pièces et les évacuer, car ils déformeraient par accumulation ces deux éléments.

O utre les problèmes rencontrés et décrits dans l'encadré, quand on retaille la plaque d'ALTUGLAS aux dimensions désirées avec une scie ordinaire, il est pratiquement impossible de ne pas engendrer de microfissures à la périphérie. (*C'est du reste pour cette raison que réaliser des cames en Altuglas a été abandonné.*) Pour éviter que ces petites entailles ne

s'agrandissent, de petits usinages avec une lime en "demi-Lune" sont pratiqués.

Voir dans <Galerie d'IMAGES> le dossier <01) La Matrice\Le résultat du plexi> les photographies IMAGE 12.JPG à IMAGE 16.JPG.

NOTE : Le poste de travail est visible sur les deux photographies disponibles dans le dossier <Galerie d'IMAGES\01) La Matrice\D) Le Poste de travail>. Le STATIF en bois était initialement de plus grandes dimensions. Du coup, on observe sur IMAGE 17.JPG que la colonne de la perceuse bute contre l'étagère arrière du bureau, bien que cette dernière soit correctement orientée comme mis en évidence par la flèche courbe surchargée en vert clair. Donc le STATIF dépassait du bureau. Pour en améliorer la qualité opérationnelle, la perceuse a été déplacée, et cette grande plaque a été diminuée en profondeur ce que révèle IMAGE 18.JPG.

➤ Liaison interface entre la plaque d'Altuglas et la structure du lecteur.

Avant d'envisager le soudage des palpeurs sur les circuits imprimés ainsi que les 561 diodes, il faut impérativement anticiper l'immobilisation de la MATRICE sur le corps du LECTEUR. *C'est la phase qui consiste à "contre-percer" tous les trous de liaison entre la MATRICE et le dos du corps du lecteur de feuilles perforées*, par l'entremise des colonnes hexagonales repérées 7 sur la Fig.1 de la page 3. Quand on procèdera à l'assemblage complet, il faut que les trous percés sur la plaque d'aluminium soit positionnés avec précision pour que les colonnes 7 soient parfaitement perpendiculaires à 5 et à 10. À ce stade, le corps de l'ensemble qui s'immobilise sur le châssis de la machine était parfaitement défini sur ordinateur. Toutes les dimensions des nombreux éléments de cet assemblage étaient connues. En particulier la plaque métallique verticale qui constitue le dos du LECTEUR fait 237mm de largeur et 310mm de hauteur. (Voir PLANS.pdf en page 2)

16) Positionner avec précision la plaque en "Altuglas" sur la plaque en Aluminium, repérer deux trous diagonaux, les percer à ϕ 3mm. Immobiliser la plaque en "Altuglas" avec ces deux trous puis repérer tous les autres passages de vis. Percer tous les trous à ϕ 3mm.

Il est fort probable que l'ensemble des 51 trous de liaison sur la plaque aluminium ne seront pas parfaitement alignés avec ceux de la plaque en "Altuglas". Il faut aligner les traversées :

17) Immobiliser la plaque d'Altuglas par les quatre boulons d'angles directement sur la plaque en aluminium. Puis, *contre-percer* tous les trous de la plaque en "Altuglas" avec un outil manuel en se servant de celle d'Aluminium comme guide. Chaque fois qu'un trou est "alésé" y fixer un boulon.
18) Démontez l'ensemble et ébavurer les trous de la plaque 10 des deux cotés avec un foret $\approx \phi$ 5mm.

➤ Tester la mise en place de l'intégralité des palpeurs.

Opération incontournable, avant d'envisager de souder les palpeurs sur les plaques de circuits imprimés, il faut au préalable assembler la totalité des 561 capteurs et ainsi vérifier qu'ils sont faciles à mettre en place et que leurs positions et leurs orientations frisent le parfait.

19) Ébavurer à leur tour les 561 les trous des deux cotés de 5 avec un foret $\approx \phi$ 3mm. (Voir la Fig.7)

20) Pour chaque trous vérifier la traversée facile de la plaque 5 par le palpeur 3.

21) Assembler à nouveau le total, les C.I. étant cette fois du côté d'utilisation et les entretoises en nylon d'écartement étant en place. (*) Manuellement vérifier avec un foret de ϕ 1,4mm saisi dans l'outil manuel de la Fig.7 la traversée sans "coincement" des 561 trous. Puis, mettre en place tous les palpeurs pour s'assurer qu'il est facile de les insérer. *Pour passer au soudage il faut à ce stade les redéposer !*

(*) Pour assembler tous ces éléments, on place la plaque en "Altuglas" à plat avec les quatre entretoises hexagonales vissées. On y positionne approximativement toutes les entretoises en nylon d'un circuit imprimé, trou par trou, à l'aide d'un "pointeau de positionnement" on aligne les éléments et l'on place le boulon ϕ M3. On procède ainsi pour les trois circuits imprimés.

Voir dans <Galerie d'IMAGES> le dossier <01) La Matrice\E) L'assemblage de la matrice> les quatre photographies IMAGE 19.JPG à IMAGE 22.JPG et dans le dossier dédié <01) La Matrice\F) Test d'assemblage des palpeurs> les trois photographies IMAGE 23.JPG à IMAGE 25.JPG.

➤ Protocole de soudure de la matrice de palpeurs sur les circuits imprimés.

Quand dans la boîte aux lettres on ouvre le petit colis qui contient six sachets de 100 palpeurs comme celui de la Fig.2 ou six paquets de 100 diodes dont 561 sont étalées comme sur la Fig.3, on est un peu victime d'un découragement inquiétant. Pourtant, câbler tous ces éléments n'a rien de spécifiquement délicat si l'on s'y prend avec méthode. C'est précisément cette activité un peu fastidieuse et routinière,

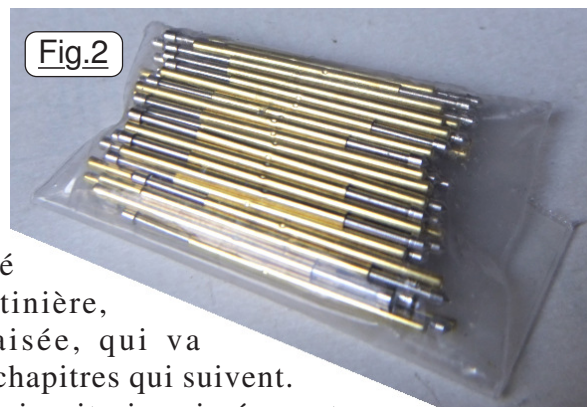
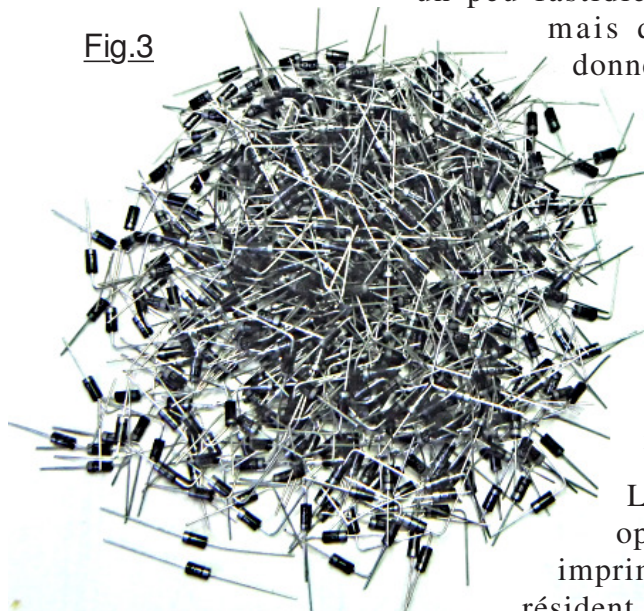


Fig.2

Fig.3



mais qui reste aisée, qui va donner lieu aux chapitres qui suivent.

Les trois circuits imprimés sont en place et immobilisés par les 51 petits boulons. Vis et rondelles sont celles prévues, les entretoises hexagonales de 30mm de longueur sont remplacées provisoirement par des écrous ϕ M3. On va préparer un "montage d'usinage" *pour aligner tous les palpeurs sur un même plan*. C'est impératif, car ainsi tous les palpeurs seront simultanément au contact de la feuille de papier et seront enfoncés de façon identique lorsque la contre-plaque sera pressée.

Les photographies qui servent à illustrer cette phase des opérations de soudage des palpeurs sur les trois circuits imprimés sont rangées dans la <Galerie d'IMAGES> et résident dans <01) La Matrice\G) Soudage des palpeurs>.

- 1) **IMAGE 26.JPG** retirer les 49 vis réparties sur toute la surface et les remplacer par des vis de 20mm.
- 2) Munir chaque vis d'une entretoise de 6mm, puis mettre en place la plaque en aluminium. C'est cette dernière qui servira de butée pour les palpeurs qui ainsi seront tous "coplanaires". Voir les deux photographies **IMAGE 27.JPG** et **IMAGE 28.JPG**.
- 3) En partant du haut vers le bas, de la gauche vers la droite, par exemple, souder les palpeurs d'une rangée "horizontale". Rangée terminée, vérifier leur alignement et leur dépassement. *Pour chaque palpeur vérifier qu'il est parfaitement isolé électriquement de tous ses voisins*, y compris ceux de la ligne qui se trouve "au dessus". Puis, passer à la ligne suivante. Comme montré sur **IMAGE 29.JPG** commencer par le centre et souder en avançant vers les extrémités.

➤ Protocole de soudure des diodes sur les palpeurs.

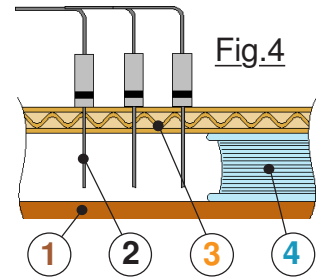
Globalement, la technique va consister à réaliser des "peignes" dont les tiges verticales à souder sont écartées avec précision à l'espacement existant entre deux palpeurs. Puis, quand tous les 33 peignes sont réalisés, travail à la chaîne, on passe au soudage de ces derniers sur les palpeurs. Les dix images qui vont illustrer ce chapitre sont dans la <Galerie d'IMAGES> rangées dans le sous-dossier <01) La Matrice\H) Soudage des diodes>.

- 1) Quand l'intégralité des palpeurs est soudée et vérifiée, déposer la plaque en aluminium.
- 2) Dans les quatre coins, utiliser une vis longue et une entretoises, qui ici est métallique sur **IMAGE 40.JPG**, qui sert de colonne de retournement. Ainsi on peut poser l'ensemble avec les palpeurs vers le bas sans qu'ils ne touchent le plateau de travail.



Ben Môa môa, je sais que le truc de l'**IMAGE 39** avec toutes ces aiguilles vers le haut, c'est soit un tapis confortable pour fakir, soit un hérissou rectangulaire venu de Mars pour nous espionner !

- 3) Commencer par couder à 90° comme montré sur [IMAGE 31.JPG](#) les 561 diodes coté ANODE. **ATTENTION : Sur tout ne pas se tromper de sens.** Vérifiez, puis vérifiez et enfin vérifiez ! (En effet, quand la MATRICE sera terminée, il deviendra très délicat de changer si nécessaire une diode.)
- 4) En s'inspirant d'[IMAGE 32.JPG](#) utiliser un carton épais avec une ou deux rangées de trous espacés à la distance séparant deux palpeurs. Ce petit montage de soudage sur la Fig.4 est constitué du carton épais **3** traversé par les diodes **2**. Pour qu'elles soient alignées sur les "peignes", un livre quelconque **4** surélève **3** du plan de travail **1**. Ainsi leurs tiges inférieures ne butent pas sur **1** et les corps des diodes sont alignés.
- 5) Pour que le "peigne" reste vertical durant l'opération de soudure, il est facile comme sur [IMAGE 33.JPG](#) de placer un obstacle en extrémité de la "rampe" des diodes **2**.
- 6) Présenté sur [IMAGE 34.JPG](#) il faut vérifier que toutes les diodes du groupe soient conductrices dans le sens passant, et bien isolées dans le sens opposé. Une sonnette ou un ohmmètre sont indispensables.
- 7) Lorsque les 33 groupes sont achevés et vérifiés, on réalise les soudures d'[IMAGE 35.JPG](#).
- 8) Bien visible sur [IMAGE 36.JPG](#) et sur [IMAGE 37.JPG](#) les rampes sont immobilisées sur les deux palpeurs d'extrémité par des pinces crocodiles. Ainsi tenue à la bonne hauteur on procède au soudage des cathodes sur les palpeurs. **Avant de passer au peigne suivant on vérifie encore chaque diode dans les deux sens.** Si c'est la bonne rangée, on visse les entretoises hexagonales.
- *Pour faciliter cette opération on part du milieu vers les bords du haut et du bas.*



Sur la photographie d'[IMAGE 38.JPG](#) la MATRICE est terminée. Il importe de remarquer que les trois circuits imprimés sont légèrement écartés les uns des autres, petit détail colorié en rouge. Ainsi **les deux rangées de palpeurs les plus proches des bords seront à la bonne distance l'une de l'autre conformément aux positions imprimées sur les feuilles de programme.** Notez également que pour repérer la position et l'orientation des trois circuits imprimés, mis en évidence par les ovales bleus, des entailles sont pratiquées sur les C.I. et sur la plaque d'Altuglas. L'[IMAGE 39.JPG](#) présente la MATRICE terminée coté palpeurs avec les six entretoises servant de colonnes sur lesquelles reposait l'ensemble durant le soudage avec une vue rapprochée sur [IMAGE 40.JPG](#). Quand l'intégralité des entretoises hexagonales de 30mm est assemblée, possibilité à ce stade de vérifier que toutes les vis de liaison de la plaque en aluminium peuvent facilement se monter.

03) Réaliser la structure principale du lecteur des feuilles perforées :

Cette étape doit forcément être réalisée avant ou en osmose avec la réalisation de la contre matrice, car l'ensemble doit être assemblé pour pouvoir réaliser le circuit imprimé de la contre-matrice. En effet, façonner le circuit imprimé de la Contre-Matrice **3** (Voir la Fig.5) impose de tracer sur ce dernier avec soin la position des colonnes de palpeurs. Cet ordre dans la réalisation des sous-systèmes est donc imposé. Bien que la structure principale **2** et la contre-plaque **3** qui se déplace en translation sur cette dernière ont été réalisées "simultanément, dans ce document elles seront décrites dans deux chapitres distincts. La Fig.5 précise par les repères l'ordre de description des sous-ensembles.

Les 7 images qui vont illustrer ce chapitre sont dans la <Galerie d'IMAGES> rangées dans le sous-dossier <02) LECTEUR de feuilles perforées\A) La structure principale>.

Étant donné que la structure du lecteur de feuilles perforées comporte un nombre assez important d'éléments assemblés les uns sur les autres, un dessin permettant de les situer s'avère indispensable. Aussi, renonçant à construire un "éparpillé", je me suis contenté sur la Fig.6 de représenter ce sous-ensemble en perspective. Ce dessin ne reproduit que les pièces principales, et encore, celles qui sont visibles. Les petits détails seront passés en revue sur les photographies commentées. Toutefois, il me semble important de vous faire remarquer que les deux équerres **3** et **5** sont plaquées sur le dos **9** de la structure. L'équerre supérieure **4** se visse sur **3** et **5**. De ce fait, il y a forcément un vide entre l'équerre **4** et la plaque verticale **9**. Si ce dernier n'était pas comblé, les boulons tels que ceux placés en **X**, **Y** et **Z** déformeraient le profilé en Duralumin **4**. C'est la raison pour laquelle il faut impérativement combler cet espace. Considérons la Fig.7 donnée en page 9. Elle reprend la zone supérieure gauche de la structure. L'angle d'observation est un peu différent, et surtout dans cette vue la cornière **4** et la plaque **9** ont été cachées. (Suite en page 9.)

Deux outils "manuels" vraiment très utiles.

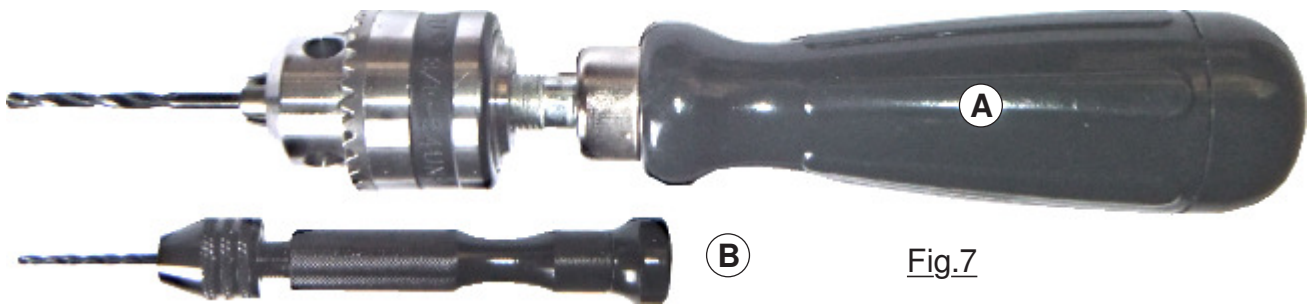


Fig.7

Présentés sur la Fig.7 il s'agit de deux mandrins solidaires d'un manche. Quand on désire chanfreiner ou réaléser des trous déjà percés, il est bien plus commode de le faire qu'avec un foret utilisé à la main. Autant pour les outils de diamètres égal ou supérieur à 3mm on peut se passer du modèle **A**, autant pour des petits diamètres le type **B** devient presque indispensable.

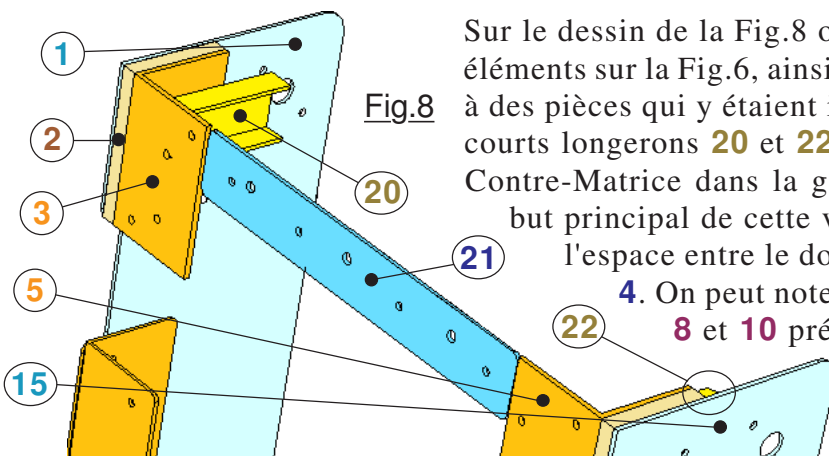


Fig.8

Sur le dessin de la Fig.8 on retrouve certains repères pointant des éléments sur la Fig.6, ainsi que **20**, **21** et **22** ajoutés qui sont relatifs à des pièces qui y étaient invisibles. En particulier on retrouve les courts longerons **20** et **22** qui guident en translation rectiligne la Contre-Matrice dans la glissière prismatique. Enfin, et c'était le but principal de cette vue Fig.8, la cale d'épaisseur **21** comble l'espace entre le dos **9** de la structure et le profilé supérieur **4**. On peut noter au passage que des raidisseurs tels que **8** et **10** présentent des échancrures sur leur aile en contact avec **9** pour laisser la place aux rondelles et aux vis de liaison avec les entretoises hexagonales de la MATRICE.

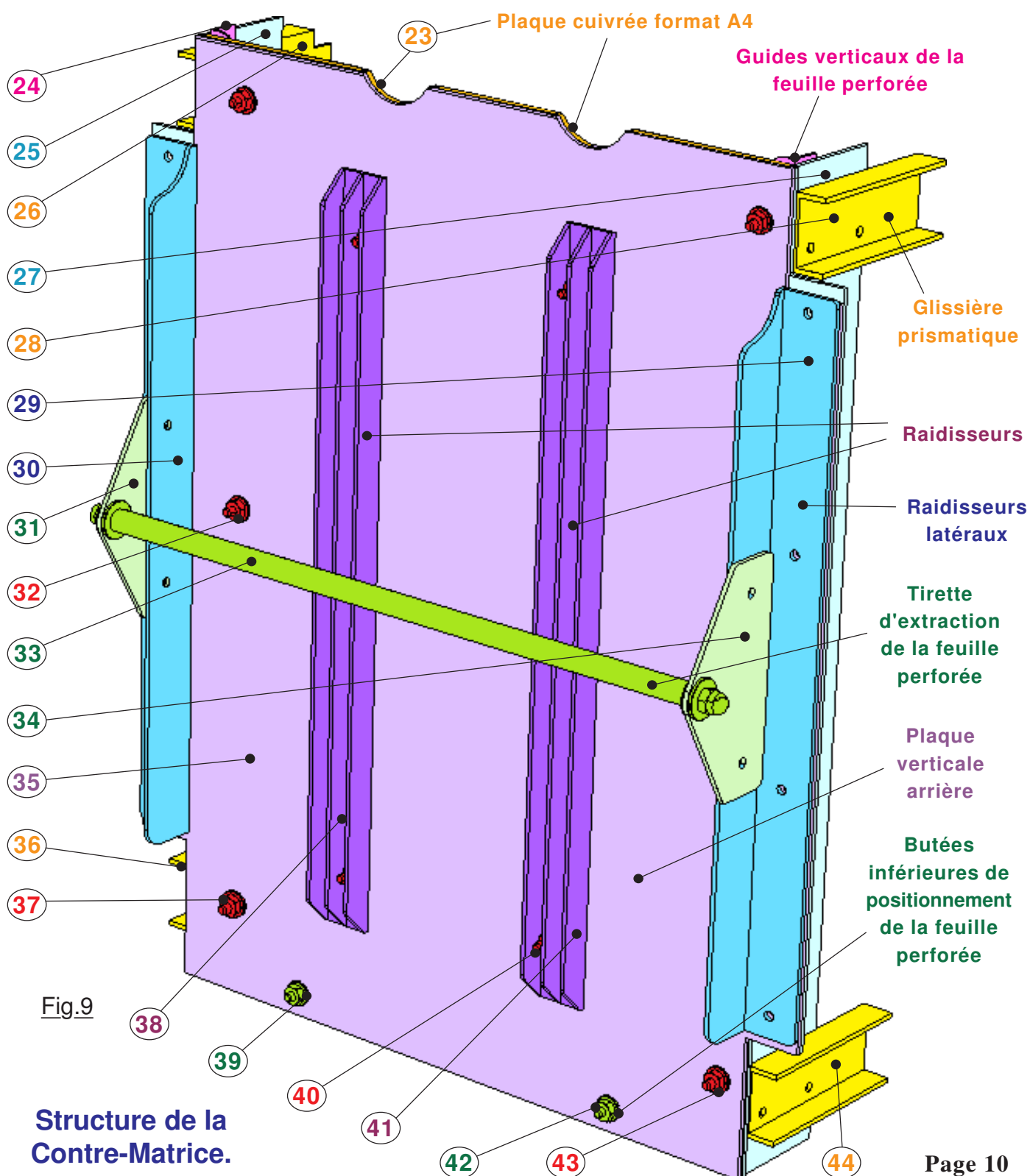
Les photographies étant nombreuses, il ne me semble pas utile d'en tartiner des pages et des pages, et ce d'autant plus que les dessins cotés des éléments principaux sont donnés dans **PLANS.PDF**. Les deux photographies d'**IMAGE 41.JPG** et d'**IMAGE 42.JPG** présentent la structure principale entièrement assemblée. L'ensemble est vu de dos sur **IMAGE 43.JPG**. La vue **IMAGE 44.JPG** montre les lignes qui viennent de la MATRICE. La lumière de traversée doit être assez grande pour pouvoir facilement faire passer les DB25 mâles. On notera que les torons sont protégés et surtout plaqués vers le dos de la structure par une équerre translucide taillée dans une chute de coffret en matériau thermoplastique. En fin sur **IMAGE 45.JPG** et d'**IMAGE 46.JPG** on bénéficie d'un gros plan sur les pièces d'assemblage entre le dos de la structure et les deux flancs latéraux. Les cales blanches font 6mm d'épaisseur et sont constituées de trois éléments en polystyrène choc de 2mm collés face contre face par du diluant cellulosique. La technique est décrite dans le chapitre sur la réalisation du barillet. Enfin sur **IMAGE 47.JPG** la vue en ZOOM détaille la glissière en haut à gauche de guidage en translation rectiligne de la Contre Matrice.

04) Protocole de réalisation de la Contre-matrice :

C' est globalement une plaque verticale qui guidée en translation rectiligne sur la structure principale vient plaquer un circuit imprimé grand comme les feuilles de programme sur les 561 palpeurs. Ce sous ensemble ferme la structure en un "caisson" dont l'épaisseur sera variable. Les photographie illustrant la réalisation de cette fonctionnalité sont dans la **<Galerie d'IMAGES>** et rangées dans le sous-dossier **<02) LECTEUR de feuilles perforées\B) La Contre Matrice>**. La première photographie **IMAGE 48.JPG** a été saisie avec un sous-ensemble entièrement achevé, la plaque imprimée étant immobilisée sur la plaque principale. On voit la ligne électrique avec sa DB25 Mâle qui relie les 17 bandes cuivrées verticale à la logique de la machine. On peut noter également que les renforts constitués de profilés en **E** ont leurs vis et leurs écrous de liaison freinés avec du vernis à ongles. (*Zones de couleur rouge Bordeaux.*) La deuxième photographie **IMAGE 49.JPG** montre l'autre coté de la Contre-Matrice achevée, avec bien visibles les 16 sillons "creusés" sur la plaque cuivrée pour matérialiser les 17 bandes verticales isolées électriquement les unes des autres. Il importe

de noter que les deux guides pour les feuilles perforées sont écartés d'environ 1,5mm pour pouvoir les faire glisser verticalement. De ce fait ces dernières ne touchent pas la face cuivrée. *Les deux bandes conductrices latérales ne sont donc absolument pas en liaison électrique avec l'ensemble métallique* qui est relié à GND, c'est à dire la masse générale de la Machine.

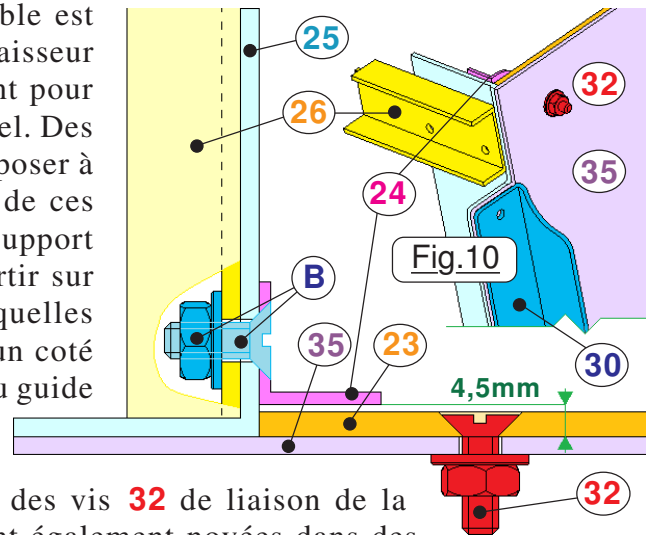
Gros plan sur la photographie d'IMAGE 50.JPG sont disponibles à gauche la glissière prismatique de guidage 26 et à droite le flanc latéral 25 de la Contre-Matrice. Les éléments des quatre glissières prismatiques tels que 28 sont débités dans du profilé aluminium en U de 22,5mm x 10mm x 1,5mm. Les raidisseurs 38 sont quand à eux constitués de profilés en E de 16mm x 10mm x 1,3mm. Les deux guides 24 pour les feuilles perforées sont taillés dans de la cornière de 10mm x 10mm x 1mm et les deux flancs latéraux 29 dans de la cornière en Duralumin de 35,5mm x 19,5mm x 1,5mm. Tous ces profilés en alliage léger sont approvisionnés dans un magasin de bricolage local et présentent une longueur d'un mètre.



Les photographies d'IMAGE 51.JPG à IMAGE 54.JPG concernent la même zone qui décrit la liaison entre un profilé en **E** de renfort **38** et la plaque métallique verticale **35**. La vue IMAGE 51.JPG montre la préparation des trous fraisurés dans lesquels les têtes des vis F90 **40** de liaison entre **38** et **35** sont noyées et ne doivent pas dépasser, comme on peut le vérifier sur IMAGE 52.JPG, car sur cette surface de **35** la plaque cuivrée **23** vient en contact. Quand on assemble les raidisseurs **38** sur la plaque **35**, les boulons **40** sont freinés avec du vernis à ongles, ici de couleur rouge, ce que montrent IMAGE 53.JPG et IMAGE 54.JPG. Les têtes des six vis **37** qui assurent la liaison entre la plaque cuivrée et la structure **35** ne doivent pas dépasser non plus pour que le libre passage des feuilles perforées soit assuré. Dans la préparation mécanique du circuit cuivré **23** les six trous sont "abondamment" chanfreinés, particulièrement observable sur IMAGE 55.JPG et sur IMAGE 56.JPG qui en outre présente bien visibles les guides **24**.

➤ Quelques précisions de plus.

Techniquement il importe de respecter simultanément plusieurs contraintes exigeant des usinages précis. Latéralement la feuille de programmation doit glisser "sans jeu" dans le guide vertical raison pour laquelle **24** sur la Fig.10 devra se trouver à environ 4,5mm de la contre plaque en aluminium **35**. La plaque cuivrée **23** de la *Contre matrice* matérialisant des bandes conductrices verticales doit se positionner parfaitement latéralement et en hauteur par rapport à la grille des 561 palpeurs. Le corps de ce sous-ensemble est constitué de la plaque d'aluminium **35** de 1,5mm d'épaisseur dont le comportement à la flexion est très insuffisant pour résister aux efforts de 341N mentionnés dans le tutoriel. Des raidisseurs verticaux sont donc nécessaires pour s'opposer à ce type de contrainte. On peut observer en **30** l'un de ces raidisseurs se trouvant vers l'extérieur et servant de support à la *Tirette*. Latéralement on se contentera de répartir sur "la surface active" six zones de pressages sur lesquelles viendront agir les leviers amplificateur d'efforts. D'un coté de la *Contre matrice* les têtes des vis des boulons **B** du guide **24** sur les cornières **25** sont noyées dans des fraisurages. Pour laisser le libre passage des feuilles perforées dans le lecteur des programmes, les têtes des vis **32** de liaison de la plaque cuivrée **23** sur la plaque d'aluminium **35** sont également noyées dans des fraisures à 90°. Noter au passage que les boulons de liaison **B** sont décalés en hauteur sur **26** et sur le guidage de la structure de la *Matrice* pour ne pas interférer lors des déplacements. (Voir la Fig.12)

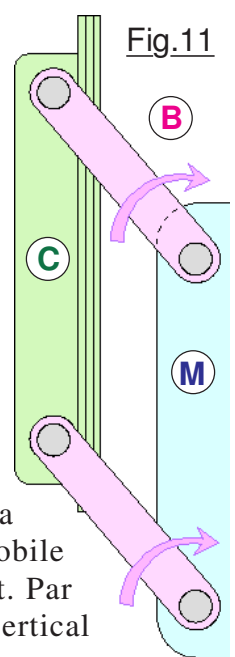


➤ Compensation du jeu latéral dans le guidage en translation rectiligne.

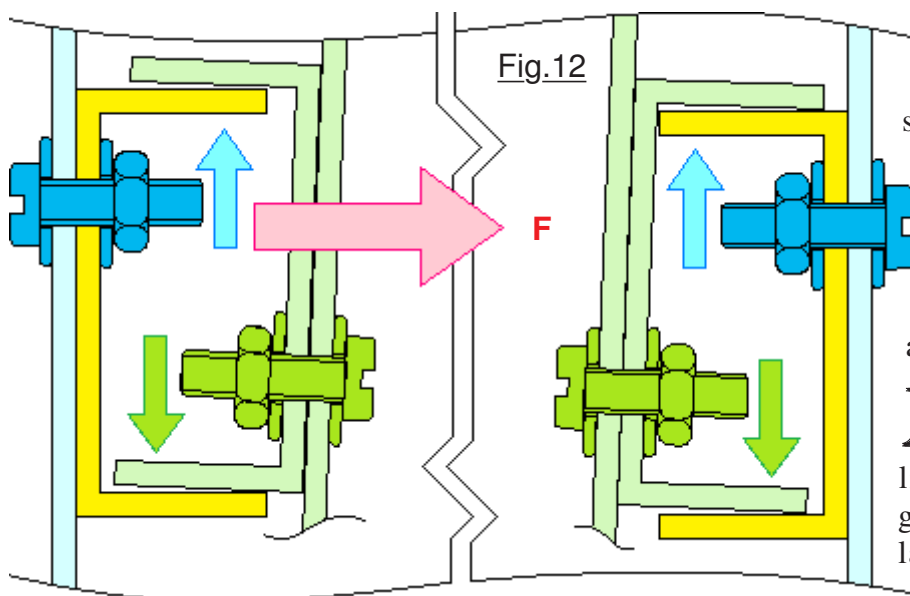
Comme déjà précisé dans le préambule à ce didacticiel, les guidages en translation ont été éliminés au profit des liaisons pivot bien plus facile à réaliser avec des outillages de bricoleur du Dimanche. Pour concevoir le mécanisme d'approche de la Contre-Matrice **C** vers la structure de la matrice **M** (Voir la Fig.11) une rotation par des biellettes **B** a été sérieusement envisagée. Cette approche a été définitivement abandonnée, car elle présentait bien trop d'inconvénients rédhibitoires :

- Le mouvement final présente un glissement vertical parasite. (*Usure de 23.*)
- Huit articulations auraient cumulé trop de jeux parasites. (*Mouvement "bancal".*)
- Même avec des biellettes **B** courtes, l'encombrement est prohibitif.
- Le système amplificateur d'effort était trop complexe et trop volumineux.

Par voie de conséquence, il a été envisagé de réaliser un guidage en translation rectiligne avec quatre glissières disposées diagonalement. Cette solution qui engendre des portées surabondante impose des orientations et des positionnements précis pour les éléments "critiques". La technique adoptée est schématisée sur la Fig.12 qui caricature un peu la géométrie réelle. Sur ce schéma, le sous-ensemble mobile de la Contre-Matrice est entièrement colorié en vert pour le distinguer facilement. Par ailleurs les petites flèches vertes et bleues servent à mettre en évidence le décalage vertical obligatoire entre les boulons sur la structure fixe et ceux de la Contre-Matrice.



Premier constat sur la Fig.12 : Si les glissières ne sont pas à la même hauteur des deux cotés de la structure fixe, la Contre-Matrice sera inclinée. L'exemple schématisé engendre un inclinaison à droite. Par ailleurs, il sera impératif d'avoir la même distance en hauteur pour toutes les glissières. Enfin, dans le sens transversal il importe de plus que tous les profilés soient bien horizontaux. Ces



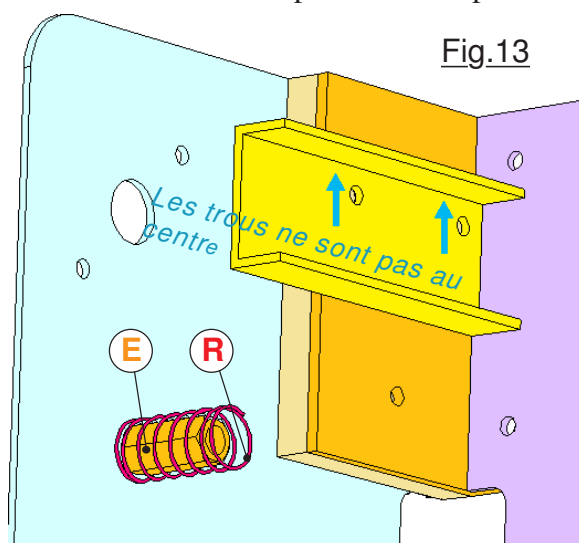
nombreuses contraintes sont pratiquement impossibles à obtenir simplement par usinage, il sera obligatoire de prévoir des ajustements fins de positions et d'orientations de ces courtes glissières. C'est la raison pour laquelle sur [IMAGE 50.JPG](#) les trous sont oblongs et autorisent les ajustements indispensables.

Mais ce n'est pas suffisant, car pour pouvoir se déplacer librement, il faut de plus que les glissières bénéficient d'un jeu latéral. Hors ce dernier engendre du "flou" dans les déplacements,

avec pour conséquence directe un positionnement imprécis de la feuille de programme. La solution envisagée pour résoudre cette contradiction consiste à prévoir un jeu suffisant pour le libre glissement de la Contre-Matrice, et de la pousser à droite en **F** constamment, pour qu'elle se translate avec précision. Ce n'est qu'une fois tout ce mécanisme achevé, que l'on peut repérer la position relative des colonnes de palpeurs, et d'en déduire la position des bandes verticales isolantes sur la plaque cuivrée. Enfin, quand l'ensemble du mécanisme est opérationnel, on peut alors définir avec précision la position des 561 trous sur le format A4 de la grille à imprimer.

➤ **Rattrapage du jeu latéral.**

Lidée de base est représentée sur le dessin de la Fig.13 pour exercer un effort tel que celui en **F** en haut et en bas de la Contre-Matrice. Elle consiste à utiliser deux ressorts **R**, positionnés en hauteur sur des entretoises **E** qui leur servent de guide. Ces deux éléments sont montrés respectivement sur [IMAGE 57.JPG](#) pour la poussée du haut et sur [IMAGE 58.JPG](#) pour celle du bas. Contrairement à la Fig.13 épurée qui ne représente exclusivement que la Contre-Matrice, sur les deux photographies l'unité de lecture est entièrement achevée avec le système amplificateur d'effort en place.



05) Préparation du grand circuit imprimé de la Contre-matrice :

Utilisant une plaque cuivrée double face de 209mm x 296mm (*Donc un format A4.*) avec une épaisseur de 2mm cette pièce est déjà très rigide par conception. Elle est immobilisée sur la contre plaque en duralumin par six vis situées à la périphérie, (*Voir [IMAGE 43.JPG](#)*) Les têtes de ces vis de type F90 sont noyées dans des chanfreins adaptés et ne dépassent pas de la plaque cuivrée.

➤ **Préparation Mécanique.**

Outre ses six trous de fixation et les deux orifices de butée inférieure pour les feuilles de programme, l'usinage le plus important consiste à "creuser" des sillons pour que la face cuivrée utilisée soit séparée en 17 bandes verticales isolées les unes des autres. Toutes viendront en contact avec les palpeurs, y compris les deux plus larges situées sur les deux bords latéraux. Pour ce chapitre ainsi que celui sur la préparation chimique, les photographies qui illustrent les

explications sont dans le dossier <02) LECTEUR de feuilles perforées\C) Préparation du C.I> rangé comme tous les autres dans la <Galerie d'IMAGES>. La première opération montrée sur [IMAGE 59.JPG](#) consiste à assembler entièrement l'unité de lecture, et à amener cette dernière en contact avec les palpeurs. Puis, on repère avec un crayon à fine mine l'emplacement des ces derniers en Bas et en haut. Puis, sur [IMAGE 60.JPG](#) et [IMAGE 61.JPG](#) on trace au feutre indélébile les lignes exactes où le cuivre doit être enlevé pour isoler électriquement les bandes verticales les unes des autres, le résultat à obtenir étant photographié sur [IMAGE 62.JPG](#). Pour creuser très proprement des lignes bien rectilignes, un montage d'usinage comme celui d'[IMAGE 63.JPG](#) est indispensable. Posé sur l'établi à droite on peut noter la présence de la longue pointe à tracer. Cette dernière a été affûtée très pointue à son extrémité rectiligne. Fermement tenue en main on va "rayer" la plaque cuivrée en appuyant avec vigueur. En trois ou quatre passages on creuse le sillon. Aussi, durant cette opération il faut absolument que la pointe trace bien droit. La cornière qui sert à brider la plaque sur l'établi fait aussi office de règle épaisse contre laquelle s'appui la pointe à tracer au cours de son déplacement. Du reste sur [IMAGE 64.JPG](#) on voit bien que le bridage est effectué pratiquement au dessus de la ligne à usiner. Quand toutes les lignes sont creusées, avec du papier abrasif ultra fin ou avec un simple chiffon "laineux", on frotte énergiquement toute la surface pour éliminer toute souillure et enlever les micro-bavures qui affectent les bords des sillons.

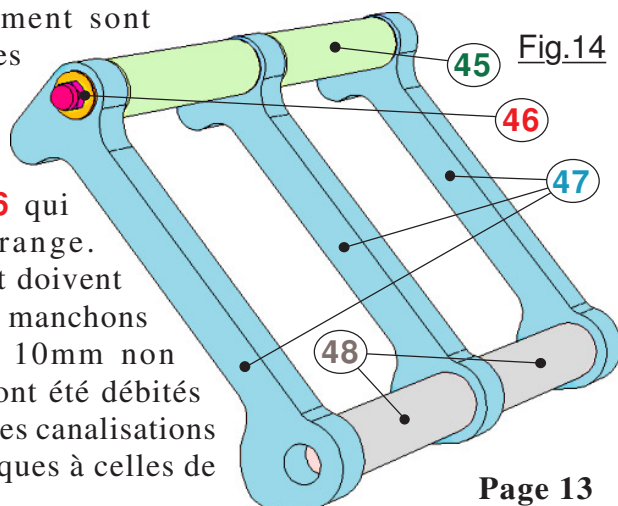
➤ Préparation chimique de la surface cuivrée.

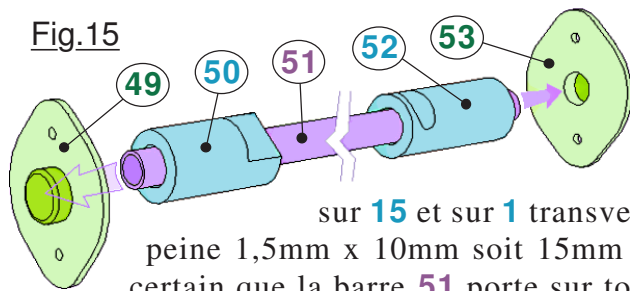
L'ennemi n°1 des circuits imprimés est l'oxydation. Sur le long terme les pistes rouges commencent à changer de teinte, puis, dans le pire des cas l'oxyde commence à faire son apparition. L'une des solutions envisageable consiste à transformer l'atelier en laboratoire chimique et à étamer notre plaque cuivrée. Dans le fichier [ACHATS.PDF](#) un lien est fourni où j'ai approvisionné un [Kit pour étamage chimique de circuits imprimés](#). Toutes les explications accompagnent ce produit pour procéder à l'opération. La première étape consiste, déjà signalé dans le chapitre précédent, à bien nettoyer la surface cuivrée pour éliminer toute trace de souillure et de graisse. Puis, il faut disposer d'un récipient parfaitement propre, relativement plat et assez grand pour contenir entièrement la plaque. Sur [IMAGE 65.JPG](#) on constate que j'ai utilisé un bac de rangement. Il faut que les dimensions soit proches de celles du format A4 pour minimiser la quantité d'eau, donc de produit, que l'on va consommer pour étamer. Si on respecte à la lettre les consignes de la notice, [IMAGE 66.JPG](#) prouve que le résultat peut être "parfait". Quand on a creusé les sillons, il ne faut pas hésiter, ce que montre [IMAGE 67.JPG](#), à entailler les extrémités des rayures avec un "cutter", pour avoir des "sortie" propres et bien séparées. *(Les butées ont été montées pour vérifier leur position et surtout que la vis de liaison est bien isolées électriquement du cuivre. Il faut les démonter pour assembler définitivement la plaque sur la structure métallique.)*

06) Réaliser le système amplificateur d'efforts :

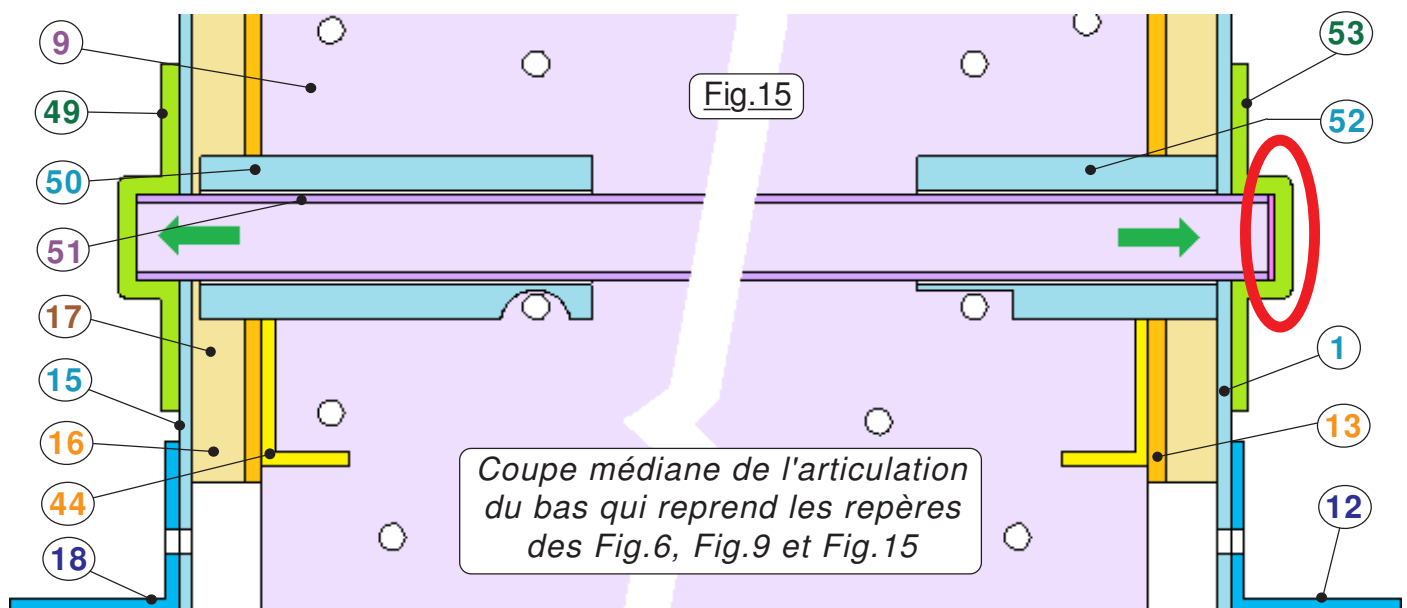
Constitué de deux mécanismes presseurs et de six leviers, ce dispositif décrit en détails dans le didacticiel répartit la pression de façon assez régulière sur tout le dos de la Contre Matrice. Je vous invite fortement à consulter la Fig.5 en page 6 de [Présentation Mécanique.PDF](#) ainsi que le chapitre 07) [Conception du système de pressage des 561 palpeurs](#) donné en page 12.

Les deux groupes de leviers, agissant symétriquement sont identiques. Les pièces [45](#) et [47](#) de la Fig.14 sont moulées sur une imprimante 3D, leurs fichiers **gco** sont fournis avec ce tutoriel. L'ensemble est serré coté poignées [45](#) à l'aide d'une tige filetée ϕ M4 qui traverse le total, serrée au deux extrémités par les écrous borgnes [46](#) qui s'appuient sur les rondelles colorées ici en orange. Contrairement aux poignées [45](#) qui sont manipulées et doivent avoir un gros diamètre et se centrer sur du ϕ 4mm, les manchons [48](#) se centrent sur la barre centrale de diamètre 10mm non représentée, leurs épaisseurs de ce fait est faible. Ils ont été débités dans du tube d'électricien servant à l'origine à installer des canalisations non encastrées. Ces pièces [48](#) sont de longueurs identiques à celles de [45](#) pour maintenir les leviers [47](#) bien parallèles.

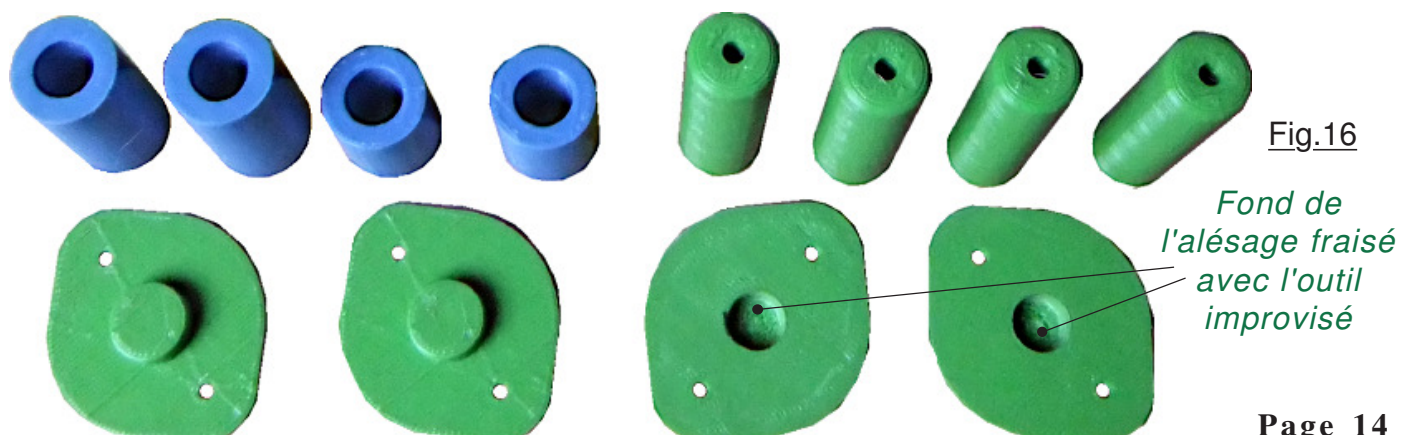




L' agencement des articulations des groupes de leviers presseurs est directement influencé par l'effort de 170N que doit supporter le tube en acier **51**. Cet effort est réparti de chaque côté, soit environ 8,7Kg force de chaque côté. Cette sollicitation s'exerce sur **15** et sur **1** transversalement (*Sur la tranche.*) sur une surface projetée d'à peine 1,5mm x 10mm soit 15mm carrés. Cette pression est assez élevée, et il faut être certain que la barre **51** porte sur toute l'épaisseur des flancs **15** et **1**. C'est la raison pour laquelle en conception, cette tige (*En acier pour des raisons de résistance.*) doit impérativement dépasser sur les cotés. Pour maintenir en place cette tige **51** qui débord de chaque flanc, on utilise les deux chapeaux **49** et **53** également moulés sur une imprimante 3D. L'ensemble de la structure est étudié de façon à ce que les chapeaux **49** et **53** immobilisés sur **15** et sur **1** laissent un petit jeu longitudinal cumulé ici à droite et colorié en rose dans le médaillon rouge. La première petite difficulté que l'on rencontre à la fabrication résulte du procédé de moulage des chapeaux qui imposent à l'imprimante de créer des supports dans l'alésage. Quand on retire ces "résidus", le trou n'est pas parfaitement plat au fond de l'alésage et la barre **51** ne peut pas se loger correctement. (*Elle n'arrive*



pas à toucher le fond comme symbolisé par les flèches vertes.) Il importe de réalésier le fond de l'alésage. Dans ce but, nous allons utiliser comme fraise une extrémité de la barre **51** en pratiquant des sillages comme montré sur [IMAGE 68.JPG](#) du dossier <D) Système presseur> de la <Galerie d'IMAGES>. La Fig.16 qui présente les poignées en vert, les manchons en bleu et les chapeaux en vert, situe la zone réalésée. Sur la photographie d'[IMAGE 69.JPG](#) le lecteur de feuille de programme est entièrement achevé. Lors des premiers essais il y avait quatre leviers par groupe, du coup les poignées étaient plus courtes. Je me suis contenté de les allonger au moyen des petits manchons bleus. Naturellement sur les fichiers **gco** fournies les dimensions sont rectifiées. Sur [IMAGE 70.JPG](#) on retrouve le système de compensation du jeu latéral dans le guidage de la Contre-Matrice, mais



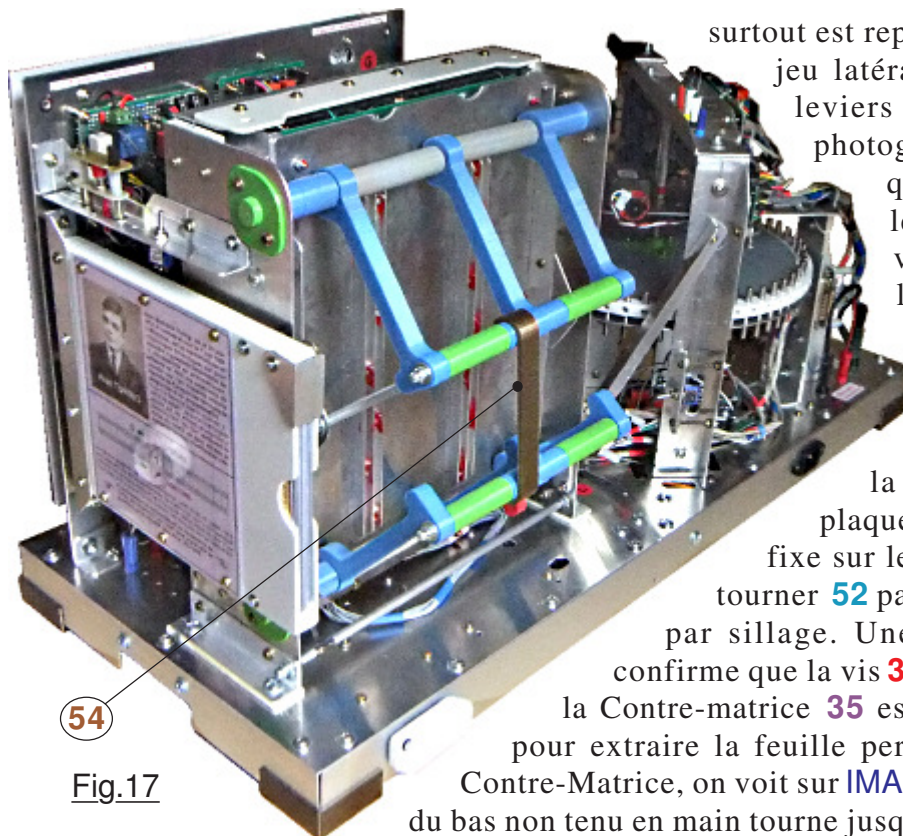


Fig.17

terminée il vient en contact du STATIF par l'intermédiaire d'un petit doigt en caoutchouc collé sur le levier central. Pour remettre la machine, configuration de la Fig.17, sur [IMAGE 75.JPG](#) on utilise un crochet double **54** moulé sur une imprimante 3D limitant ainsi l'encombrement vers l'arrière.

07) Réalisation des liaisons Contre-Matrice vers une DB25 :

Comme on peut le voir sur [IMAGE 76.JPG](#) les 17 lignes soudées sur les bandes verticales de la Contre-Matrice forment un toron qui transite vers la LOGIQUE de la machine par l'entremise d'une DB25 mâle. Étant donné que ces liaisons électriques se font sur un sous-ensemble mobile, il importe d'en solidariser le toron au moyen d'une petite bride en cuivre. Cette dernière est visible sur les [IMAGE 77.JPG](#) à [IMAGE 79.JPG](#). La prise Mâle se branche sur une DB25 femelle prévue pour une **limande de raccordement plate** que montre [IMAGE 80.JPG](#). Ce choix n'a rien d'innocent. Ce type de DB25 engendre une sortie des fils parallèle à sa fixation, minimisant ainsi l'encombrement. Ces diverses photographies sont logées dans le dossier <E) Liaisons Ctr-Matrice vers les DB25>.

Notons au passage en observant le cadre rouge sur [IMAGE 69.JPG](#) que le bridage du toron de liaison avec la DB25 est proche de la portée de la structure. Pour augmenter la distance entre cette petite bride en cuivre et la surface du STATIF, c'est la raison pour laquelle la structure du lecteur des feuilles perforée est surélevé par des cales de 2mm d'épaisseur en polystyrène choc.

08) Réalisation des liaisons de la Matrice vers deux DB25 :

Située au dos du lecteur de feuilles perforées, la connectique se limite à deux prises femelles de type DB25. Avec une MATRICE de 33 lignes et 17 colonnes à réunir aux circuits électriques, un rapide calcul donne $33 + 17 = 50$ soit deux fois 25 ! Du coup il suffit de deux prises DB25 pour relier électriquement cet ensemble au reste de la machine. Donc, la prise d'[IMAGE 80.JPG](#) sera reliée à 17 broches de l'une de ces deux prises qui sont de type mâle qui se branchent sur des DB25 femelles assemblées sur l'un des profilés raidisseurs comme on peut le voir sur [IMAGE 44.JPG](#) déjà commentée dans le dossier <A) La structure principale>.



33 + 17 = 50 : Mazette, c'est qu'il est drôlement fort en calcul mental le Nulentout !

➤ Soudage des fils pour les 33 lignes de la MATRICE.

Opération relativement simple dans le principe, mais qui impose un peu de rigueur, car on doit s'arranger pour que l'ensemble de cette toile d'araignée soit bien imbriquée dans l'entrelacs des diodes pour constituer un tout cohérent. C'est dans <F> **Liaisons Matrice vers les DB25**, autre dossier de la <Galerie d'IMAGES> que sont hébergées les photographies qui illustrent ce chapitre. Sur **IMAGE 83.JPG** la protection en matériau translucide forme une goulotte dans laquelle transitent les torons de fils, bien protégés au dos de la structure. Le câblage de ces longues lignes est réalisé à partir de limandes plates au pas de 2,54mm/2 dont la Fig.18 présente un rouleau, pour pouvoir être sertis sur des prises du type de celle d'**IMAGE 80.JPG**. Ces nappes existent jusqu'à 40 fils de largeur et se trouvent assez facilement sur Internet. Dans la liste d'**ACHATS.PDF** un lien est fourni pour un tel produit. Outre le fait qu'elles sont directement prévues pour s'insérer dans les prises à sertir, ces limandes sont très faciles à "dépiauter" pour séparer les fils les uns des autres. Autant dire que pour cette réalisation particulière j'en abuse sans vergogne. Contrairement à ce qui est précisé sur **IMAGE 36.JPG** et sur **IMAGE 37.JPG** les fils de liaison des lignes d'Anodes ne sont pas soudés aux extrémités des peignes, mais vers le milieu, ce que montre **IMAGE 84.JPG**, sur laquelle les lignes ne sont pas encore glissée "sous" les diodes. Tous ces fils ne demandent qu'à s'enrouler les uns autour des autres. Il faut les glisser séparément sous les diodes comme sur **IMAGE 84.JPG** et sur **IMAGE 86.JPG** sur laquelle les fils rigides qui dépassaient à gauche ont été raccourcis. Dans la mesure du possible, même sous ce treillis formant grillage, il faut torsader les fils pour en faire les torons d'**IMAGE 87.JPG** qui sortent sur le coté gauche comme en **IMAGE 88.JPG**. La Fig.19 montre le résultat final quand cette MATRICE est terminée, et qu'il ne reste plus qu'à l'immobiliser à l'intérieur de la structure. En **A** et en **B** sont les deux fiches DB25 repérées ainsi sur les schémas électriques et sur les fiches. On retrouve également en **L** la DB25 femelle à sertir qui s'immobilise en bas de la structure. (Voir **IMAGE 80.JPG**) Les deux photographies **IMAGE 89.JPG** et **IMAGE 90.JPG** présentent la MATRICE entièrement terminée.

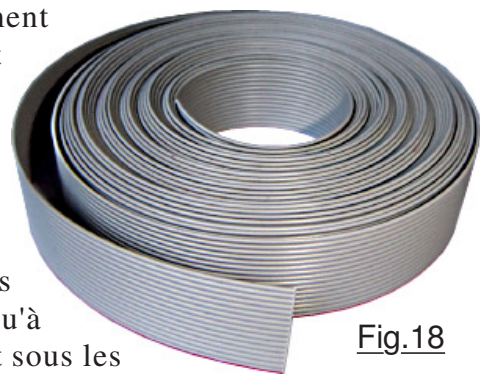


Fig.18

Maintenance oblige, **IMAGE 91.JPG** permet d'observer le bas de l'ensemble du coté droit. Le dos de la structure principale et le raidisseur du bas sont traversés par cinq vis longues de diamètre nominal ϕ M3. En **B**, **C**, **D** et **E** ces vis immobilisent sur la structure les quatre entretoises métalliques qui servent dans les angles à retourner la MATRICE pour intervenir sans que les palpeurs ne touchent le plan de travail. (Voir **IMAGE 90.JPG**) Ainsi, si l'on doit travailler sur la matrice, on n'aura pas à retrouver dans les nombreuses boîtes de rangement du laboratoire ces aides à la maintenance. Enfilé sur l'entretoise **B** est conservé un ressort de rechange, pour le cas assez improbable il faut le souligner, où l'un des deux qui servent à compenser le jeu latéral dans les glissières prismatiques serait à changer. Enfin, en manipulations un peu forcées, nous ne sommes pas à l'abri, lors d'un serrage trop fort sur l'une des colonnes hexagonales **7**, de cisailier le filetage par un couple trop élevé. Ces entretoises en nylon ont fait leurs preuves et sont très résistantes. Toutefois, nous ne sommes jamais assez prudents. C'est la raison pour laquelle du reste, je conserve dans une boîte dédiée, des individus de rechange pour tous les éléments critiques tels que les moteurs-réducteurs, les divers condensateurs spécifiques, les relais miniatures pour la logique, les boutons poussoir etc.

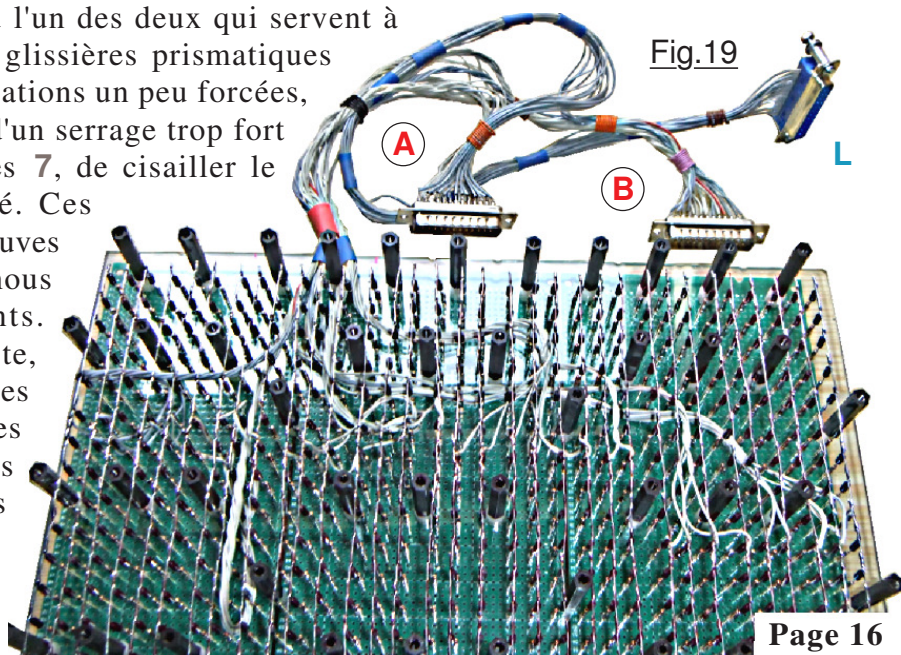


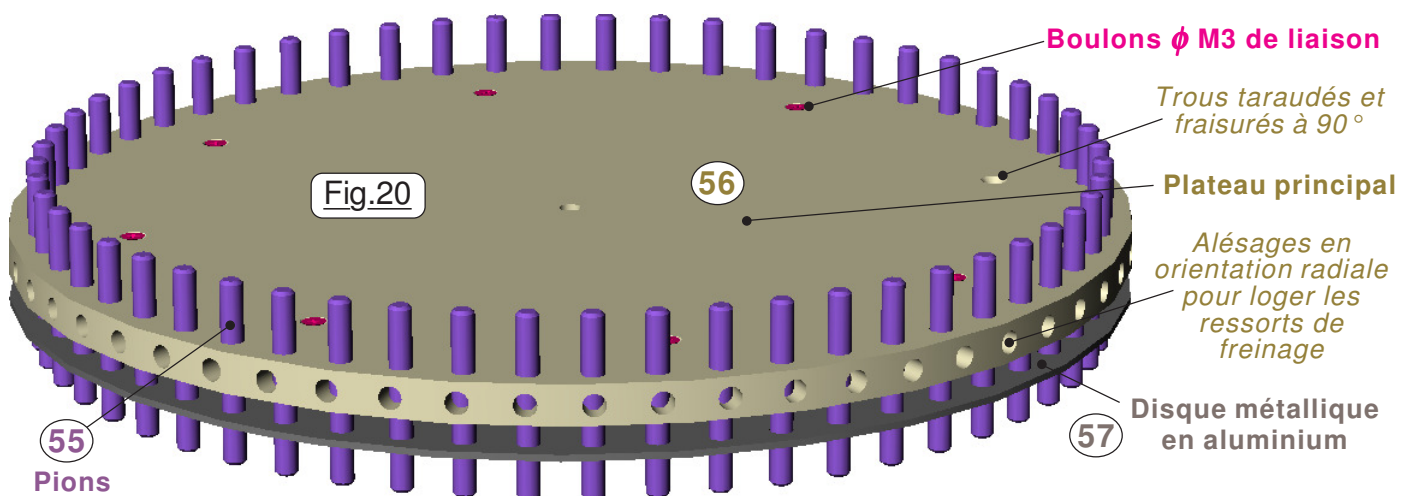
Fig.19

09) Réalisation de la mémoire vive de cette Machine de Turing :

Constituée de 56 pions glissant à frottement doux dans un barillet circulaire, après le bloc fonctionnel des TRANSITIONS c'est la deuxième pierre d'achoppement sur laquelle on pourrait buter. En effet, réaliser le disque du barillet sans le secours d'outillage spécial, avec les moyens d'un bricoleur du Dimanche constitue un réel défi. Ce chapitre est entièrement consacré à cette phase relativement critique de notre projet un peu fou je dois l'admettre.

➤ Description du carrousel et de ses éléments principaux.

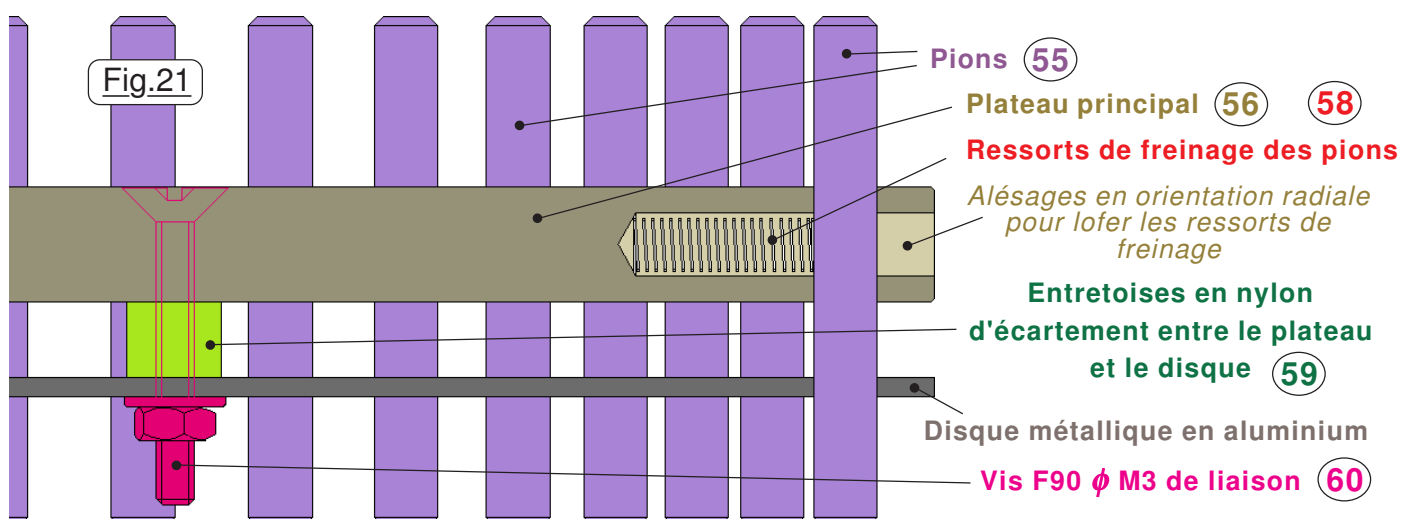
Pour mémoire, reprenons sur la Fig.20 et sur la Fig.21 l'organisation et l'architecture du barillet, qui est incontestablement l'une des unités fonctionnelles les plus délicates à réaliser. Les contraintes sont nombreuses, et certains usinages pointilleux imposent la réalisation d'un "montage d'usinage de type plateau diviseur" spécifique qui sera présenté en détail dans le dossier dédié <C) Réaliser le Plateau diviseur>. Du reste toutes les photographies relatives à cette étape sont regroupées dans <03) Le CARROUSEL> de l'habituel dossier de la <Galerie d'IMAGES>.



Quelques unes des contraintes géométriques à respecter :

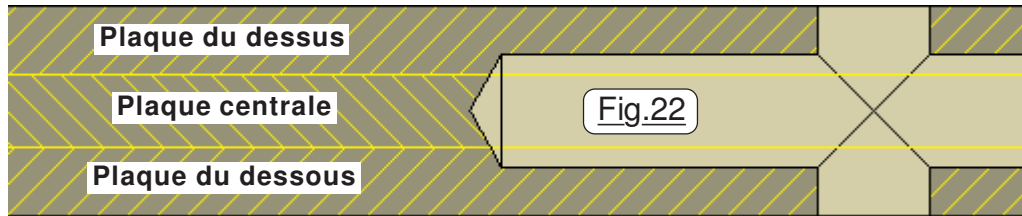
- Les trous de guidage des pions cylindriques matérialisant les BITS de cette RAM mécanique doivent se trouver sur un cercle "parfaitement" centré sur l'axe de rotation du *Carrousel*.
- Les orifices de guidage des pions cylindriques doivent être bien perpendiculaires au plateau 56.
- Les perçages de guidage des pions cylindriques doivent être à des écartements identiques.
- Les logements des ressorts de freinage 58 doivent correspondre le mieux possible avec la position des alésages de guidage et se trouver orientés radialement et centrés sur l'épaisseur du plateau 56.

La procédure de concrétisation de cet ensemble est également décrite dans les mini-fiches au format A6 n°9/12 à n°12/12 nommées *Protocoles de réalisation*.



➤ Réalisation du plateau principal 56 du barillet.

Initialement prévu pour être réalisé à partir d'une plaque d'Altuglas de 8mm d'épaisseur, cette solution a été abandonnée. En effet, diverses tentatives pour usiner ce matériau ont montré qu'il était particulièrement vulnérable à l'apparition de microfissures en périphérie dans les zones sciées et limées. Du reste, la plaque l'Altuglas de la grille des palpeurs présente ces défauts. C'est au final l'une des raisons pour laquelle une came du dispositif d'écriture a été mise au rebut car elle présentait de telles fentes qui à défaut de la fragiliser réellement n'étaient pas esthétiques.



Du coup, toutes les pièces et éléments mécaniques complexes à usiner sont remplacées par des homologues moulés sur une imprimante 3D.

Maitrisant assez bien l'utilisation de *polystyrène choc* depuis des années, je me suis orienté vers ce type de matériau infiniment plus facile à travailler que l'Altuglas. Approvisionné en plaques de 3mm d'épaisseur, il se coupe, se lime, se perce avec grande facilité. Trois plaques sont collées les unes sur les autres pour aboutir à une épaisseur totale de 9mm qui convient parfaitement. Pour *souder* ces plaques, on applique au pinceau du *diluant cellulosique* sur les deux faces à assembler, on presse fortement et l'ensemble se soude définitivement et forme une pièce unique que l'on peut sans problème, comme montré sur la Fig.22, aléser "sur la tranche" pour percer les alésages dans lesquels se logent les petits ressorts de freinage 58. (Le pressage pour souder les plaques se fait à l'aide d'un étau muni de cornières pour avoir des mors de largeur suffisante.) Il importe de savoir que le disque initial est volontairement dégrossi avec un diamètre de 5mm à 6mm plus grand que celui définitif pour pouvoir peaufiner la périphérie et poncer une surface cylindrique propre.

Désolé, car les nombreuses photographies prises durant les étapes de découpage des plaques, ainsi que celle pour les souder ont été égarées. (Et oui, ça fait des mois et des mois que je galère sur ce projet, et il s'en est passé des incidents sur mon vieux P.C. qui tourne sous VISTA !)

Dans la pratique, on commence par découper des disques. On les enduit chacun de diluant cellulosique sur une face et on presse l'ensemble dans l'étau. Puis, avec une chignole électrique sur secteur, dont le mandrin est muni d'un plateau avec disque abrasif, on affine la circonférence du disque en cherchant à obtenir simultanément la circularité et la perpendicularité aux faces planes.

➤ Problèmes relatifs aux perçages.

Avant de passer à l'action, il me semble indispensable de lister les difficultés principales, car les techniques qui vont suivre en sont directement influencées. Par ailleurs, les risques potentiels étant énumérés, nous serons plus prudents le moment opportun.

✂ : Les problèmes généraux inhérents au perçage.

Quand le foret est de faible diamètre il part en biais et perce un trou oblique. Le listel ne coupe pas, mais vu la longueur de contact le frottement peut s'avérer notable et particulièrement si le perçage part en flexion.

Le centre du foret usine mal car peu coupant et vitesse relative faible. Donc on commence par un foret d'ébauche de faible diamètre, éventuellement on augmente progressivement, puis on termine par celui de diamètre définitif.

✂ : Problèmes particuliers des logements pour les ressorts.

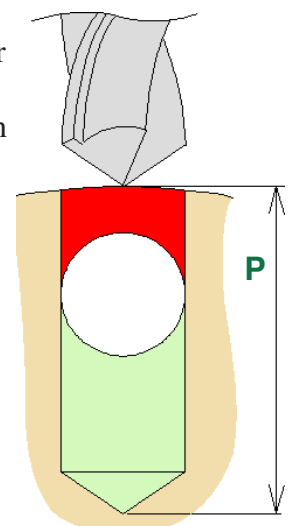
Il faut percer bien radialement. Le logement des ressorts doit être parfaitement centré entre les deux surfaces extérieures du plateau. Il faut que l'axe du logement coïncide le mieux possible avec celui du trou de guidage des pions.

IMPORTANT : La profondeur **P** du trou est critique.

- Pas assez importante l'effort de freinage sera trop grand,
- Trop faible il sera insuffisant pour retenir les pions.

Un bon compromis donne une profondeur **P** de 24mm.

Fig.23



➤ **A) Ébauche du disque en Aluminium.**

Commençons par lui, car il va servir de gabarit pour contre-percer les 56 trous à ϕ M2,5 répartis sur la circonférence pour positionner les alésages de guidage des pions sur le plateau circulaire. En première étape sur [IMAGE 92.JPG](#) on dispose sur la plaque métallique le gabarit de perçage que l'on a obtenu en imprimant en deux fois le dessin issu de l'ordinateur, sur des feuilles au format A4 et en assemblant ces deux feuilles, dont le cadrage prévoit un recouvrement de jonction. Ce gabarit est fourni dans le fichier [PLANS.PDF](#) dans les deux pages 13 et 14. Puis, avec un outil bien affûté, on va pointer la position de tous les trous sur la plaque métallique du côté du film protecteur comme sur montré [IMAGE 93.JPG](#). Ensuite, ce que présente [IMAGE 94.JPG](#) et [IMAGE 95.JPG](#) on reporte les éléments géométrique pour effectuer la découpe extérieure du disque. On perce à 2,5mm de diamètre tous les trous de cette pièce. Enfin, pour achever cette première étape, on scie les pourtours rectilignes, puis on "circularise" tout le tour à la scie et on affine avec une lime.

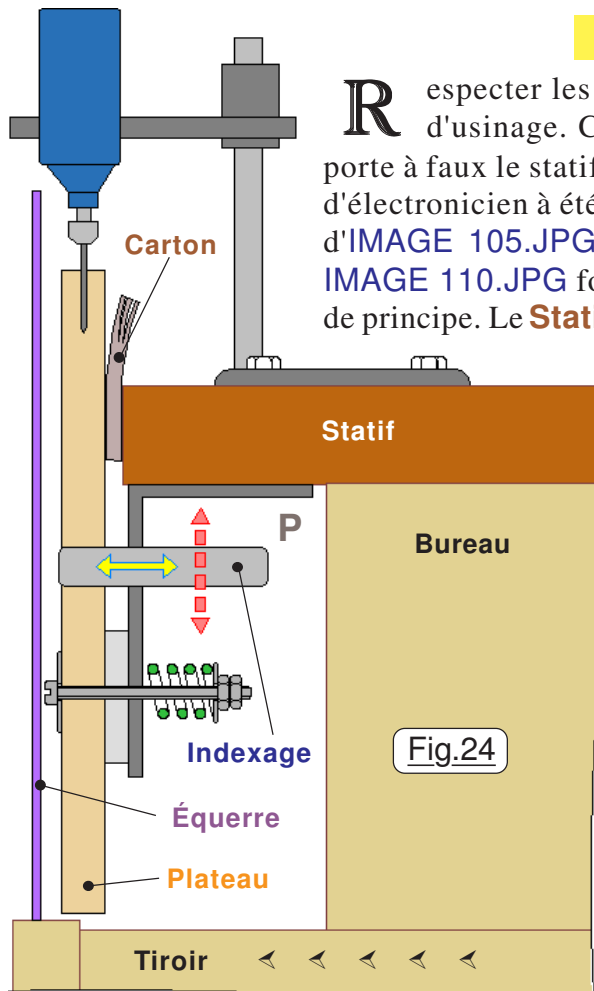
➤ **B) Percer le barillet pour les pions.**

Naturellement cette phase suppose que l'on a réalisé l'ébauche du plateau circulaire épais qui sur le prototype est constitué de trois couches de polystyrène soudées plat sur plat à l'aide d'un diluant cellulosique. Montré en [IMAGE 097.JPG](#) on commence par bien centrer le disque métallique sur le plateau épais et le brider. On contre perce alors tous les trous qui serviront à la liaison entre les deux pièces à un diamètre de 2,5mm. Les 16 vis d'[IMAGE 098.JPG](#) se serrent directement dans les taraudages du plateau. Les chanfreins sont assez profonds pour que les têtes ne dépassent pas de la surface. Sur [IMAGE 099.JPG](#) le disque est assemblé sans les entretoises directement sur le plateau et sert de guide pour percer à 2,5mm de diamètre les 56 trous d'ébauche des alésages pour les pions. Puis, sur [IMAGE 100.JPG](#), [IMAGE 101.JPG](#) et [IMAGE 102.JPG](#) on agrandi progressivement le diamètre avec les forets de ϕ 3mm, ϕ 4mm et on termine à ϕ 5mm. Enfin, sur [IMAGE 103.JPG](#) on a intercalé les 16 entretoises, et avec l'outil manuel de la Fig.7 on confirme aux deux orifices un alignement qui assurera le glissement "parfait" des pions dans ce guidage "composite". Quand on soulève le plateau d'[IMAGE 104.JPG](#) la totalité des pions doit coulisser librement sous l'influence de la pesanteur.

➤ **C) Réaliser le plateau diviseur.**

R especter les impératifs listés en page 17 impose l'usage d'un montage d'usinage. Ce dernier est improvisé et réutilise posé sur le bureau en porte à faux le statif en bois épais. Pour la circonstance, la base de la perceuse d'électronicien a été "retournée" pour se trouver à l'extérieur. La photographie d'IMAGE 105.JPG en propose une vue d'ensemble. Les IMAGE 106.JPG à IMAGE 110.JPG fourmillent de détails alors que la Fig.24 en donne un schéma de principe. Le **Statif** est posé sur le plan de travail du **Bureau**. Sur ce **Statif** est

immobilisée en déport la perceuse d'électronicien. Le **Statif** dépasse du **Bureau** pour dégager le mécanisme de pivotement ainsi que celui de l'**Indexage**. Le mécanisme d'indexage est conçu pour que le pion **P** vienne s'insérer dans l'un des 56 trous périphériques du **Plateau** quand il est sorti à gauche. *(Le mouvement Indexage et libération est symbolisé par la flèche bleue et jaune.)* Une grande **Équerre** est posée sur le bord supérieur du **Tiroir** qui pour la circonstance est en partie sortie du coffre vertical du **Bureau**. Par le dispositif à ressort des **IMAGE 107.JPG** à **IMAGE 110.JPG** le pion peut se déplacer à la demande en position verticale comme le précise la flèche "pointillée" rouge. Cet **Indexage** ajuste donc sa position quand on fait tourner le **Plateau** pour l'orienter exactement dans sa configuration de perçage radial. Le freinage à ressort maintient le pion en position. Le petit carton est indiqué sur **IMAGE 111.JPG** et sur **IMAGE 112.JPG**.



➤ D) Percer pour les ressorts.

Opération globalement manuelle, mis à part les trous d'ébauche à ϕ 2,5mm il va falloir faire preuve de doigté. Étant donné la délicatesse de cette étape, elle est réalisée dans le confort du laboratoire. Autant préciser que l'on va passer pas mal de temps à "balayer" et évacuer les myriades de copeaux en polystyrène comme en atteste le pinceau d'IMAGE 111.JPG !

Sur IMAGE 112.JPG on respecte la position médiane du trou initial alors que pour évaluer la profondeur de perçage on improvise sur IMAGE 113.JPG une jauge de profondeur dont l'utilisation est présentée sur IMAGE 114.JPG. Sur le foret de ϕ 2,5mm la gaine thermo rétractable rouge indique la profondeur à ne pas dépasser. *(La jauge de profondeur sera surtout utilisée lors de l'agrandissement des alésages.)* Sur IMAGE 115.JPG et sur IMAGE 116.JPG on utilise une règle pour assurer visuellement les perçages manuels avec l'outil de la Fig.7 en orientation "parfaitement" radiale dans l'épaisseur du disque. Dans la pratique le trou ébauché à ϕ 2,5mm guide physiquement l'outil hélicoïdal par son listel. Sur IMAGE 117.JPG on a pratiqué des petits chanfreins à la sortie des alésages pour faciliter l'introduction des menus ressorts. Avec les photographies d'IMAGE 118.JPG, IMAGE 119.JPG et IMAGE 120.JPG on grave des repères de position qui sont ensuite coloriés en rouge avec un feutre indélébile. En étape IMAGE 121.JPG on introduit tous les ressorts et tous les pions et on en vérifie intégralement leur coulissement libre et doux. Enfin, c'est IMAGE 122.JPG qui confirme une stabilité verticale par adhérence quand le plateau est soulevé et que les pions sont soumis naturellement à leurs poids.

➤ E) Guidage en rotation.

Principe de conception détaillé sur la Fig.19 et sur la Fig.20 données en page 15 du document [Présentation Mécanique.pdf](#) du tutoriel, le barillet est pressé sur la butée à aiguilles par le dispositif à ressort d'IMAGE 125.JPG. Le travail principal consiste à "souder" sur le plateau le bossage IMAGE 123.JPG, IMAGE 124.JPG et IMAGE 126.JPG qui ajoute une entretoise centrale de grand diamètre qui porte au centre du disque métallique. Pour éviter le phénomène de laminage dont il est question en page 15, *(Le disque de guidage des pions est trop complexe pour envisager d'avoir à le refaire.)* on intercale une pièce d'usure IMAGE 127.JPG servant de chemin de roulement. Pour simplifier sa réalisation elle n'est pas circulaire mais octogonale. Pour finir, IMAGE 128.JPG et IMAGE 131.JPG sont relatives à *l'étrier* entièrement constitué de profilés aluminium *qui supporte le plateau*. Ces photographies ont été prises alors que les trous de fixation sur le châssis de la machine et ceux pour l'immobilisation du circuit imprimé de l'unité d'écriture située en bas ne sont pas encore réalisés.

➤ F) Motorisation du carrousel.

Agencement représenté globalement sur la Fig.21 en page 16 du document [Présentation Mécanique.pdf](#) du tutoriel, la vue plongeante est complétée par [Conception 1.jpg](#) et [Conception 2.jpg](#), alors qu'IMAGE 132.JPG et IMAGE 133.JPG montrent le sous système dans l'orientation qu'il occupe avant d'être assemblé sur l'ossature fixe. La motorisation sur IMAGE 134.JPG est implantée sur la structure. On remarque qu'elle est "suspendue" sous l'équerre que l'on devine à droite. Étant en porte à faux, le plateau oscillant chargé par le moteur-réducteur est supporté par le galet d'IMAGE 135.JPG. Une vue de dessus sur IMAGE 136.JPG est complétée par IMAGE 137.JPG.

L'ensemble mécanique et électrique est vérifié sur la Fig.25 alors que le circuit imprimé des circuits électriques est présenté coté composants sans les relais sur IMAGE 138.JPG et en vue de dessous sur IMAGE 139.JPG.

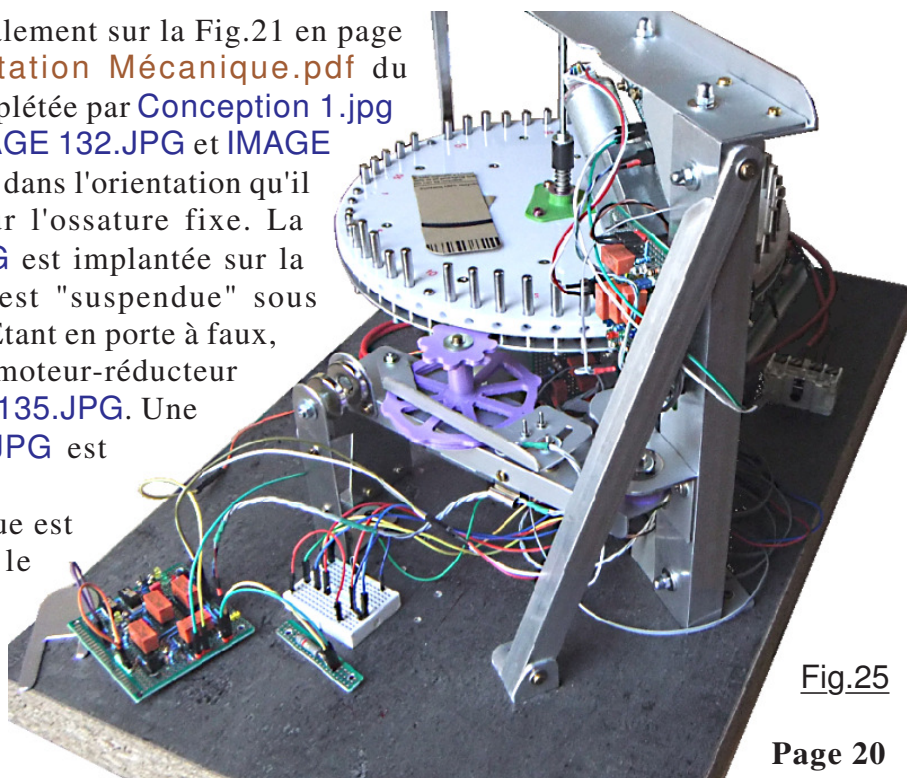


Fig.25

NOTE : Dans le document **PLANS.PDF** qui accompagne ce tutoriel vous trouverez *tous les dessins cotés des éléments les plus significatifs*. Les innombrables pièces bien plus simples et non critiques dont la description saturerait cette liste inutilement sont laissées à votre initiative.

10) Réalisation de l'unité de LECTURE :

Largement schématisé dans les pages P20 à P22 de la **Présentation Mécanique.pdf** il y a peu de commentaires à ajouter, mis à part un dessin pour repérer les pièces donné en Fig.26 et quelques photographies documentées dans **<04) Le module de LECTURE>** de l'habituel dossier de la **<Galerie d'IMAGES>**. En particulier **IMAGE 140.JPG** à **IMAGE 145.JPG** énumèrent

clairement les divers éléments principaux de cette fonction. Sur le dessin

de la Fig.26 le moteur n'est pas représenté. On retrouve facilement dans la zone α l'orifice de traversée de l'arbre de sortie ainsi que les quatre trous de fixation. Sur **IMAGE 146.JPG** la

motorisation est en place et l'unité de LECTURE est entièrement assemblée. En particulier on devine

les traces laissées par la colonne verticale qui rigidifie la structure et qui immobilise le

plateau **83**. Le trou de passage de la

vis de liaison ϕ M4 est repéré en rouge sur la Fig.26 alors que sur cette vue l'ensemble mobile n'est

pas représenté, et "déporté" sur la

Fig.28 sur laquelle on retrouve la petite

équerre **94** qui supporte le Switch de détection de la

position rétractée. C'est la bielle **98** qui est immobilisée sur l'arbre moteur de sortie du réducteur. Ses formes étant complexes, en particulier le manchon

avec l'alésage et le méplat imposent un moulage sur une imprimante 3D.

Bien que l'entretoise **95** soit de forme simple, son fichier *gco* est également

fourni, car ses dimensions sont particulières. On retrouve le sous-système et

IMAGE 147.JPG en montre le dessous. Comme ces zones sont peu dégagée, toute la visserie est

freinée par du vernis à ongles rouge. Sur **IMAGE 143.JPG** et sur **IMAGE 144.JPG** on devine les

pièces en carton rigide qui réduisent l'usure entre les pièces métalliques **92**, **93**

et **96**, alors que sur **IMAGE 146.JPG** la pièce inférieure **92** n'est pas encore

assemblée. Sur **IMAGE 148.JPG** on peut observer les petites entailles

pratiquées sur le bord qui servent à repérer l'orientation des différentes

pièces. Sur **IMAGE 147.JPG** les divers capteurs de la fonction LECTURE

sont parfaitement visibles. En particulier, sur **IMAGE 142.JPG** et sur la

Fig.27 on notera que le Switch pour la détection du "1" a sa palette un

peu pliée pour qu'elle dépasse nettement plus que celle du capteur pour

le "0". Sur **IMAGE 149.JPG** le module de lecture est entièrement

terminé. Tous les capteurs sont soudés

aux connecteurs HE14. On voit sur

IMAGE 150.JPG que les torons des

capteurs reliant les trois Switch du

levier oscillant sont immobilisés

mécaniquement aux deux extrémités,

c'est à dire sur la pièce mobile et sur la pièce

fixe. Pour limiter la déformation lors des

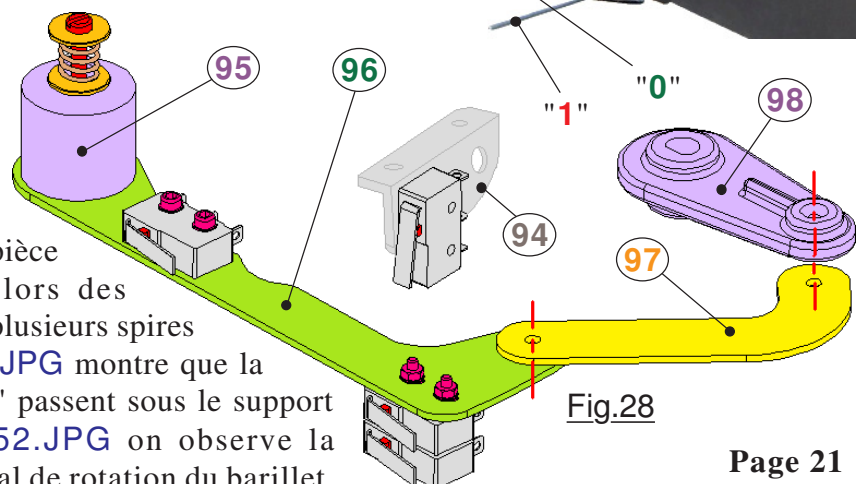
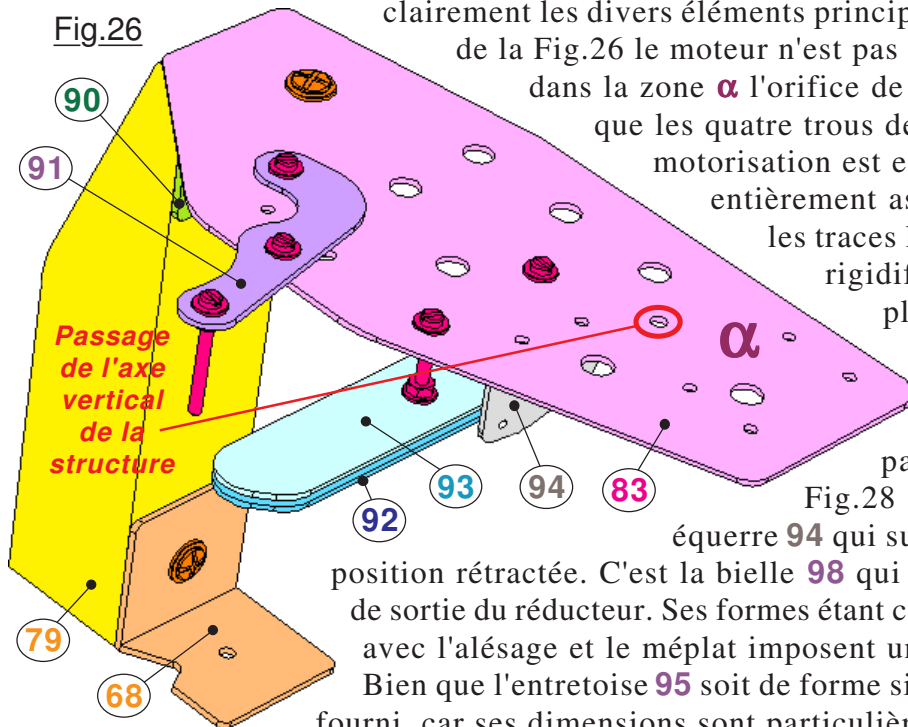
mouvements de lecture, cette ligne fait plusieurs spires

autour de l'entretoise **95**. **IMAGE 151.JPG** montre que la

liaison vers les Switch de "0" et de "1" passent sous le support

immobile **92**. Enfin sur **IMAGE 152.JPG** on observe la

colonne verticale rigidifiant l'axe central de rotation du barillet.



L'IMAGE 153.JPG a été saisie dès que les modules électrotechniques ont été élaborés. Ces derniers ont été validés avant d'envisager l'étude des circuits imprimés ainsi que leur immobilisation sur la structure de la machine. Lorsqu'ils ont fait leurs preuves, alors il devient raisonnable de les intégrer sur la machine, et de modifier la structure de l'ensemble dans ce but. Lors des études initiales du circuit imprimé de la fonction LECTURE, la réalisation était celle d'IMAGE 154.JPG et d'IMAGE 155.JPG. Lors des essais du circuit imprimé terminé, la polarisation des relais a été découverte, imposant de refaire entièrement le circuit, ou de réaliser un petit circuit de correction. C'est sur IMAGE 156.JPG, IMAGE 157.JPG et IMAGE 158.JPG que la solution d'une plaquette gigogne a été envisagée pour parer cette déconvenue. Enfin, sur IMAGE 159.JPG le circuit imprimé est achevé, et comme à cette époque l'idée de la sonde logique n'avait pas encore germé, la zone inutilisée a été employée pour créer un témoin logique dont le branchement s'effectue sur des prises situées sur la traverse supérieure, IMAGE 160.JPG montrant leurs branchements. Les nombreux fils partant des circuits imprimés immobilisés sur la traverse supérieure ne vont pas directement aux DB25 de l'Unité Centrale, mais transitent par une DB25 immobilisée sur le montant vertical 79, ce que montre IMAGE 161.JPG. Enfin, sur IMAGE 162.JPG les torons du module de LECTURE ainsi que celui du circuit imprimé pour les ROTATIONS sont terminés. Sur la droite en bas la ligne qui est reliée aux C.I. d'ÉCRITURE n'est pas encore mise en œuvre.

11) Réalisation des deux unités d'ÉCRITURE :

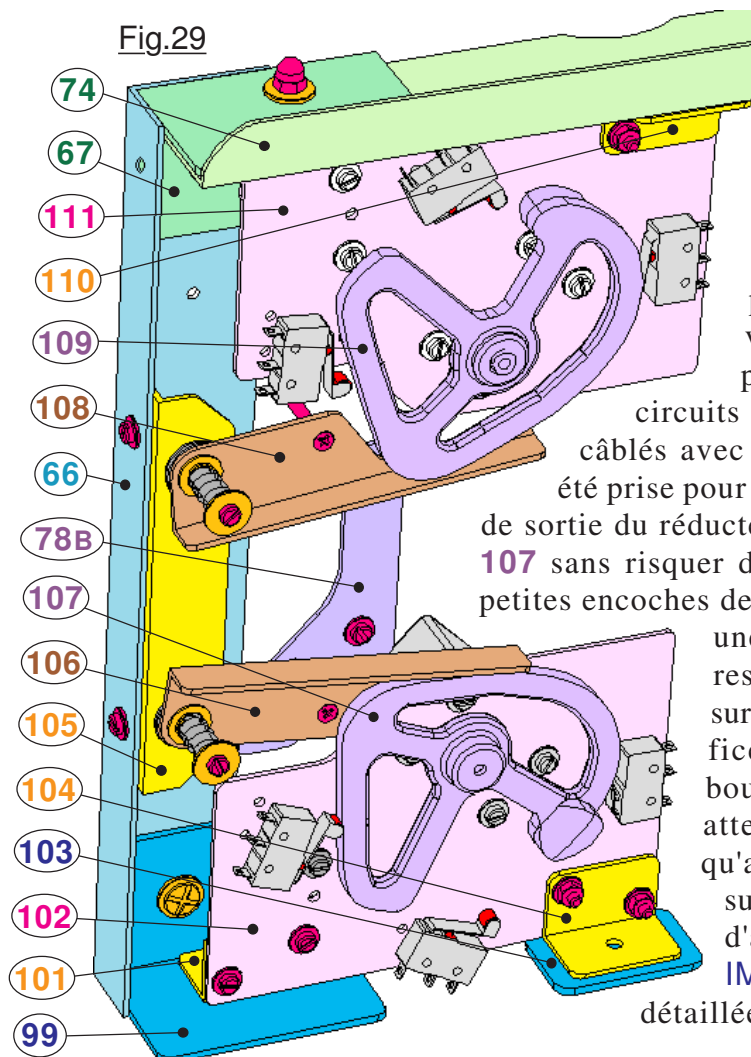
Présentées globalement en P12 de la [Présentation électrique 1.pdf](#) les photographies relatives à cette étape du développement se trouvent dans <05) La fonction ÉCRITURE> du dossier de la <Galerie d'IMAGES>. Les deux unités sont morphologiquement symétriques. Inutile de préciser que les deux comes 107 et 109 sont moulées sur une imprimante 3D et que les fichiers *gco* accompagnent ce tutoriel. Avec le recul je

constate un peu tardivement que peu de photographies ont été faites lors de la réalisation des circuits imprimés et des éléments principaux ... faisons avec !

Le fouillis sur IMAGE 163.JPG a été saisi lorsque le banc de test servait à élaborer le schéma pour l'HORLOGE dont le "bricolage précis" et provisoire tout à gauche servait à valider les éléments mécaniques. Sur cette photographie et sur IMAGE 164.JPG les

circuits imprimés pour l'ÉCRITURE sont en place et câblés avec le reste de la logique. L'IMAGE 165.JPG a été prise pour montrer l'orientation qu'il faut donner à l'arbre de sortie du réducteur pour faciliter l'emmanchement de la came 107 sans risquer de blesser les Switch. Noter sur la droite les petites encoches de repérage sur les pièces associées. Pour éviter

une galère sans nom au moment de tendre les ressorts, une solution élémentaire est présentée sur IMAGE 166.JPG qui consiste à tirer sur la ficelle préalablement attachée, pour enfiler la boucle du haut sur la vis d'ancrage. En observant attentivement la Fig.29 on imagine assez bien qu'aller tenir les écrous ϕ M3 pour assembler 105 sur 66 risque de poser un sérieux problème d'accessibilité. Il n'en est rien si l'on observe sur IMAGE 167.JPG dont la réalisation est finement détaillée dans le chapitre suivant. Enfin, les



Quand Nulentout indique en page 22 "Inutile de préciser que les deux comes bla bla bla bla bla", ben Môa môa, je prétends que c'est de l'hypocrisie manifeste, car non seulement il le précise, mais en plus ... par écrit !



deux photographies [IMAGE 168.JPG](#) et [IMAGE 169.JPG](#)

sont relatives à la prise DB15 et à la ligne d'échange des signaux électriques avec l'Unité Centrale. La DB 15 est installée sur la jambe de force **64**, mais comme mentionné en page 20 de [PLANS.pdf](#) ces trous ne sont pas représentés, n'étant pas créés sur la maquette informatique. Pour terminer ce chapitre sur la réalisation des unités d'ÉCRITURE, sur [IMAGE 170.JPG](#) on voit en grand la position de la came **109** quand l'unité du haut se trouve en configuration déglagée.

12) Le support des palettes des unités d'ÉCRITURE.

Consacrer un chapitre spécifique pour détailler l'agencement du support des palettes oscillantes actionnées par les comes des deux unités d'ÉCRITURE me semble opportun, car l'architecture générale de la structure de la machine rend les écrous de liaison inaccessibles. Pas très visibles et surchargés en rouge sur la Fig.30 les écrous se trouvent complètement cachés par l'ensemble de la structure, rendant vraiment très mal commode le passage d'une quelconque clef pour serrer ces écrous. C'est la raison pour laquelle on va les rendre solidaires du support **105** par collage. La première étape consiste à serrer les deux boulons ϕ M3 bien centrés sur les deux trous de passage des vis. Montré sur [IMAGE 167.JPG](#), avec du carton et du ruban adhésif, on réalise un coffrage destiné à contenir la colle qui ne demandera qu'à s'infiltrer partout. Quand le

moule est organisé, on mélange les deux composants d'une colle Araldite, et l'on dépose avec moltes précautions, à l'aide d'un "pic à olives", cette mixture relativement fluide. Surtout ne pas en faire couler

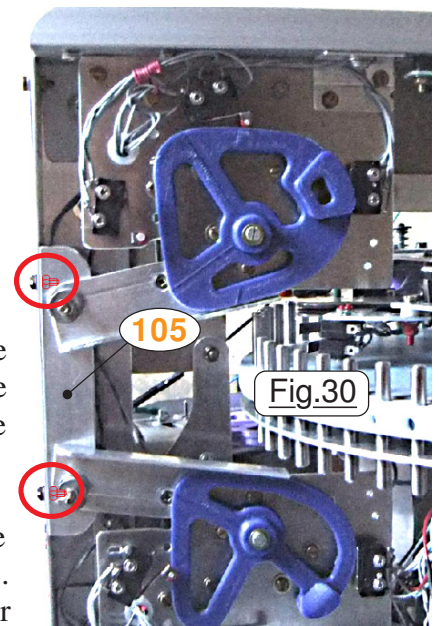


Fig.30

entre l'écrou et la vis qui dépasse. S'arranger à ce que la colle englobe bien tout le tour de l'écrou sans passer par dessus. La photographie de la Fig.31 présente le résultat final.

Bien que relativement résistante et dure, la colle Araldite se laisse sans trop résister couper à l'aide d'un cutter par exemple. Il demeure aisé de recouper les bavures qui débordent à l'extérieur du profilé en aluminium. Par exemple sur la Fig.32 à droite une pellicule en zone **Z** qui était passé sous le carton central a été facilement éliminée.

Présenté en médaillon sur la Fig.31 on peut vérifier que la colle englobe bien toute la périphérie de l'écrou, et presque dessus sans pour autant atteindre la vis. Vous observerez que les écrous mis en place sont particuliers. Ils sont carrés et ont été choisi car ils présentent une surface, donc un périmètre, plus importants que celui des classiques écrous hexagonaux. Un dernier conseil : Une fois le mélange effectué, la colle Araldite est extrêmement fluide et ne demande qu'à s'évader par les plus petits orifices. Alors soignez bien le coffrage quitte à surcharger à outrance les angles avec le ruban adhésif.

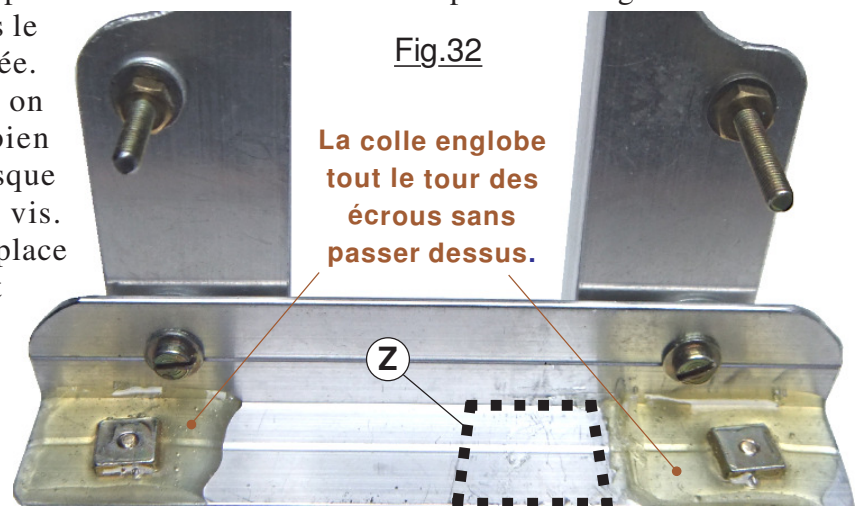


Fig.32

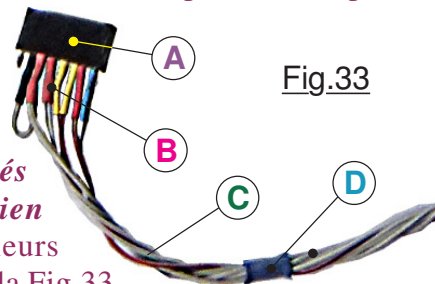
La colle englobe tout le tour des écrous sans passer dessus.

Z

NOTE : Bien que je suis persuadé que personne n'y a prêté attention, je me sens obligé de préciser que sur le dessin de la Fig.29 la came du haut **109** ne correspond pas à la réalité. Il faut savoir que ces éléments ont été moulées à trois reprises. La troisième version sur les photographies montre une came "fermée" qui correspond au type "fermé" et actuellement installé sur le prototype.

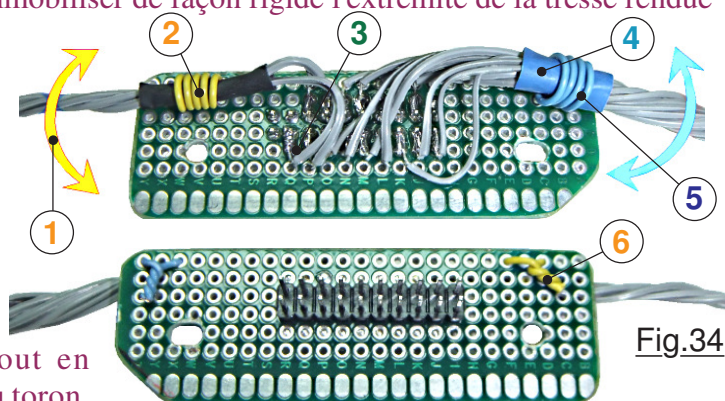
Réalisation des lignes filaires.

Nombreuses techniques sont possibles et dépendent de notre vécu, de nos expériences, des composants utilisés, et notamment l'origine des fils électriques que l'on va introduire dans nos réalisations. Lorsqu'il s'agit de lignes filaires intégrant plusieurs fils qui doivent conserver une souplesse notable, car destinées à être branchées et libérées à plusieurs reprises, pour ma part j'utilise des nappes de liaisons que l'on trouve dans les ordinateurs de bureau pour relier les différentes unités internes de ces derniers. Ces limandes sont relativement larges et présentent une rigidité incompatible avec nos exigences. Toutefois, *les fils de ces dernières peuvent être facilement séparés et constituent alors du fil de câblage parfaitement souple et bien adapté à notre application.* Quand une ligne doit comporter plusieurs fils, (Jusqu'à 37 sur notre machine.) il importe, comme montré sur la Fig.33

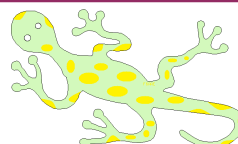


en **C** de les "vriller" pour former une torsade. Cette technique va conférer à cette ligne de raccordement une souplesse adéquate. Pour éviter qu'à l'usage les fils ne puissent s'écarter et perdre la cohérence du toron, il suffit à intervalles régulier de les serrer par une bague **D** constituée d'un morceau de gaine thermo rétractable. Phénomène bien connu, quand un fil souple est soudé sur la cosse d'un connecteur tel que le HE14 en **A**, que l'on manipule plusieurs fois, il finit par se rompre au raz de la soudure. Pour éviter ce phénomène, il suffit de manchonner comme montré en **B** par un morceau suffisamment long de gaine thermo rétractable. Outre l'avantage de renforcer considérablement la tenue mécanique du connecteur et de sa ligne souple, le choix des couleurs des manchons de consolidation devient un moyen particulièrement commode de repérer les très nombreux connecteurs de type HE14 issus de la face avant qui se branchent sur les divers circuits imprimés de l'unité centrale de la machine ou qui en relient les divers circuits logiques. Ces techniques ont depuis des lustres ont montré leur fiabilité et leur efficacité raison pour laquelle j'en abuse sans restriction.

Autre point particulièrement important : Sécuriser mécaniquement les nombreux fils souples de liaison qui sont soudés sur un circuit imprimé. Considérons par exemple la Fig.34 qui présente le petit circuit imprimé de raccordement de la limande HE14 à 20 broches situé en **C** sur la structure de la MATRICE. (Voir la Fig.1 sur la fiche Schémas nommée *Inventaire des prises de raccordement de l'U.C.*) Lorsque l'on dépose ou que l'on remonte le circuit sur la structure de la MATRICE, on exerce obligatoirement des efforts de torsion tels que celui symbolisé en **1** sur le toron souple. Les petits fils rendus très vulnérables proche de la soudure **3** ne manqueraient pas au bout que quelques manipulations à se briser au raz du circuit imprimé. Une solution très simple à ce problème consiste à immobiliser de façon rigide l'extrémité de la tresse rendue compacte par les anneaux de gaine thermo-rétractable **4** dans une zone un peu écartée des soudures. Dans ce but on peut par exemple utiliser des "queues de cochon", réalisées en petit fil rigide, telles que **2** et **5** qui sont rendues solidaires du circuit imprimé en traversant ce dernier par deux trous de câblage. Cette liaison mécanique est pérennisée par une "torsade" comme celle visible en **6**. Le manchon **4** immobilise la tresse de façon rigide tout en ménageant une certaine souplesse coté sortie du toron.



Ben Mòa mòa je dis et je répète que dans
cette machinetruc ya quelque chose qui ne colle pas !
En plus, sur la Fig.32 ya plein de vomissure.
BERK BERK BERK !

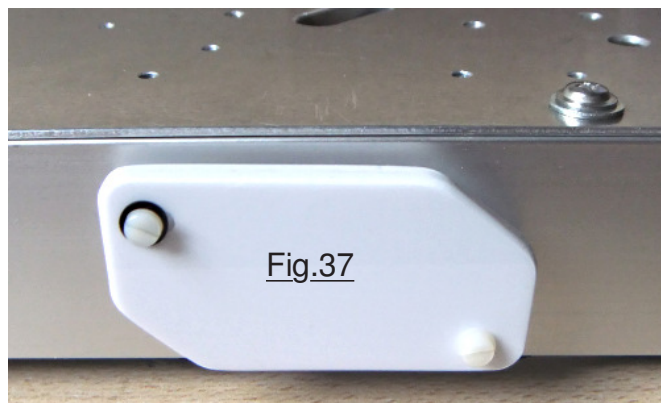


13) Les dessous secrets de la réalisation !

Cette phase consiste à passer au câblage de tout ce qui se trouve sous le statif. En effet, quand le carrousel et sa structure, la MATRICE et la face avant seront en place, il deviendra particulièrement délicat de travailler en sous œuvre. Hors sur le dessous, on ne trouve concrètement que l'alimentation basse tension. Ensuite il sera toujours possible et pas trop compliqué de faire transiter des torons de fils pour dégager le dessus du châssis mais rien de plus. (*Passer les lignes et les brider par des pontets par exemple.*) Pour des raisons purement pratiques, sur le prototype le cordon coudé 220V montré sur la Fig.35 est utilisé pour brancher la machine sur le secteur alternatif. Ainsi il déborde moins vers l'arrière ce qui dans certains cas peut se montrer bien commode. Pour des raisons pratiques, sur le flanc vertical arrière du châssis, comme on peut le constater sur la Fig.36, deux prises



branchées en parallèle sont prévues pour pouvoir dégager à la demande le cordon secteur soit vers la droite, soit vers la gauche. Cette disposition engendre immédiatement un risque de choc électrique très important. En effet, **un principe fondamental en électricité élémentaire consiste à ne jamais utiliser une prise mâle si sur cette dernière sont présentes des tensions élevées**. Hors, dans notre cas, il suffit de brancher le cordon sur le secteur pour qu'immédiatement les deux broches de l'autre prise soient à 220V. Aussi, une protection est absolument impérative pour parer ce risque réel. la solution est simple et consiste

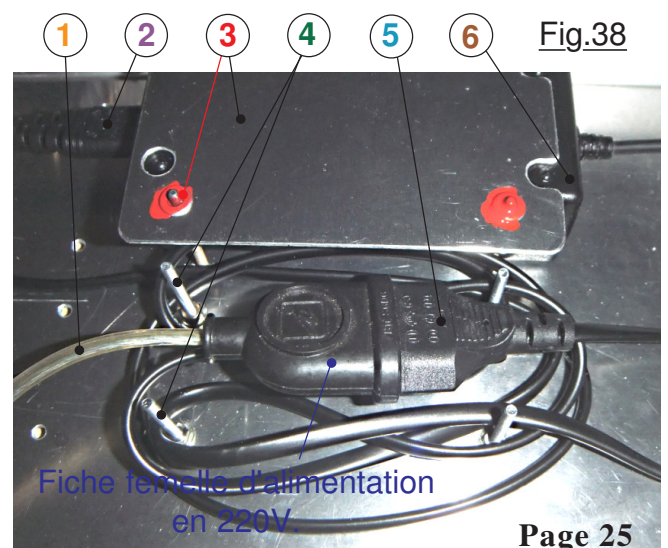


à immobiliser sur la prise non utilisée le petit cache de la Fig.37 au moyen de deux vis ϕ M3. ces dernières s'implantent dans deux trous visibles sur la Fig.36 taraudés directement sur le flanc arrière du statif. Comme l'épaisseur du profilé ne fait que 1,5mm d'épaisseur, il y a un faible nombre de filets en prise. Aussi, en forçant un peu trop avec une vis classique en bronze ou en acier on détruirait facilement le filetage par cisaillement. C'est la raison pour laquelle on utilise un "fusible mécanique" en choisissant des vis en nylon. Si on a la main un peu lourde, c'est cette

vis qui se rompra sous tête. Il sera ainsi bien plus facile de la remplacer que d'avoir à "mascagner" sur le châssis. Plusieurs photographies dans la galerie d'image précisent les détails de réalisation de ce protecteur.

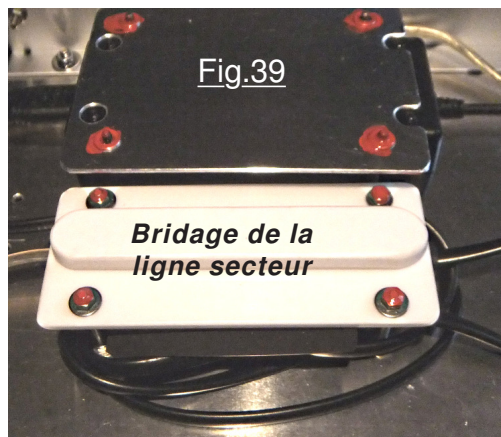
► Installation du bloc secteur basse tension.

Pour des raisons "évidentes" de sécurité et de simplifications, j'ai opté pour un parti-pris qui consiste à **ne strictement rien modifier sur le petit module secteur 12V à découpage**. Donc, pour le relier aux deux prises situées sur l'arrière, je loge sous le châssis une fiche 220V femelle visible sur la Fig.38 dont la ligne qui va vers les deux prises est en 1. La ligne secteur d'origine est branchée en 2 sur le bloc secteur 6 bridé par la plaque 3 sur le châssis. Cette ligne dont la fiche est visible en 5 se love autour des boulons ϕ M3 repérés 4. Ces boulons servent à plaquer une petite pièce qui bride le cordon secteur est les deux fiches de raccordement sous le statif de la machine. Noter que les boulons 3 qui brident le bloc secteur sont freinés par du vernis à ongles.



➤ Établissement des lignes électriques sur le dessous.

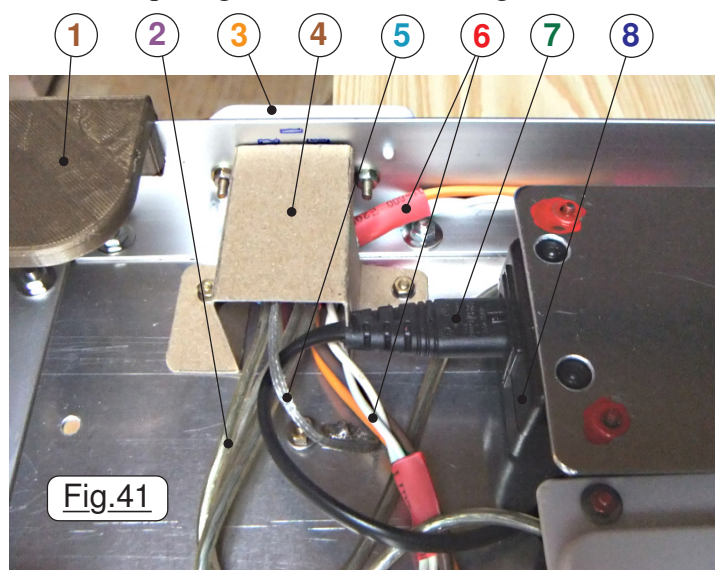
S'il est un domaine sur lequel il faut particulièrement soigner le travail, c'est bien celui des alimentations. D'une part il importe d'isoler totalement les organes portés à la tension du secteur, notamment les deux prises du châssis, d'autre part les diverses lignes de sortie 12V doivent être réalisées avec les fils de diamètre suffisant pour ne pas créer de chute de tension et surtout dégrader la "dynamique" lors des appels de courant au démarrage des moteurs ou à l'inversion de leur sens de rotation.



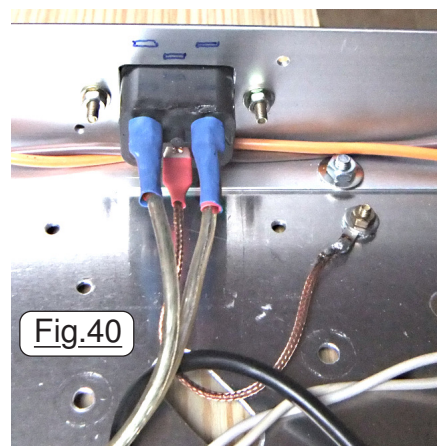
Sur la Fig.39 on retrouve le bridage du bloc alimentation, et bien visible, la plaque qui plaque le cordon secteur sous la machine. Bien que les blocs secteur du commerce ne comportent pas de prise de terre, étant isolés aux normes européennes, comme montré sur la Fig.40 la terre disponible sera reliée au statif. Ainsi l'intégralité des structures métalliques sera mise à la terre augmentant ainsi la sécurité. On constate sur cette photographie que les

broches des prises secteur sont bien isolées par de la gaine thermo-rétractable. Pour augmenter encore le facteur sécurité, on observera sur la Fig.41 que de plus les deux prises sont isolées globalement par du carton isolant **4** épais et rigide. Sur cette image on voit en **1** le pied d'angle du châssis et en **3** le masque de sécurité de cette prise qui n'est pas en service. En **2** la ligne 220V va vers la fiche femelle sur laquelle se branche le cordon secteur d'origine **7**. La prise de terre est visible en **5** alors que le bloc secteur se voit en **8**.

On remarque également en **6** les lignes basses tensions 12v en "gros fils" qui vont à l'entrée et à la



l'alimentation 12Vcc. Dans mes stocks de récupération se trouvait un bloc alimentation 12V disponible présentant les mêmes performances que celles de celui installé sur la machine. Ce bloc secteur a immédiatement été anobli en élément de rechange pour le cas où l'actuel deviendrait défaillant, ce qui statistiquement reste relativement improbable. Ce module de secours est un peu plus large, raison pour laquelle il faudra remplacer la plaque de bridage, mais en **C** le passage des boulons est déjà prévu. Enfin la lumière en **E** joue le même rôle que celle en **D** car la LED sur le boîtier du module de rechange n'est pas située du tout au même endroit.



sortie du circuit imprimé de gestion des énergies. (*Module Disjoncteur.*)

Vers l'arrière de la machine, visible sous le gros module de la MATRICE, est visible en **D** de la Fig.42 le témoin de la présence secteur sur le bloc alimentation basse tension. On retrouve en **A** les boulons de bridage de la ligne secteur sous le châssis et en **B** ceux qui immobilisent

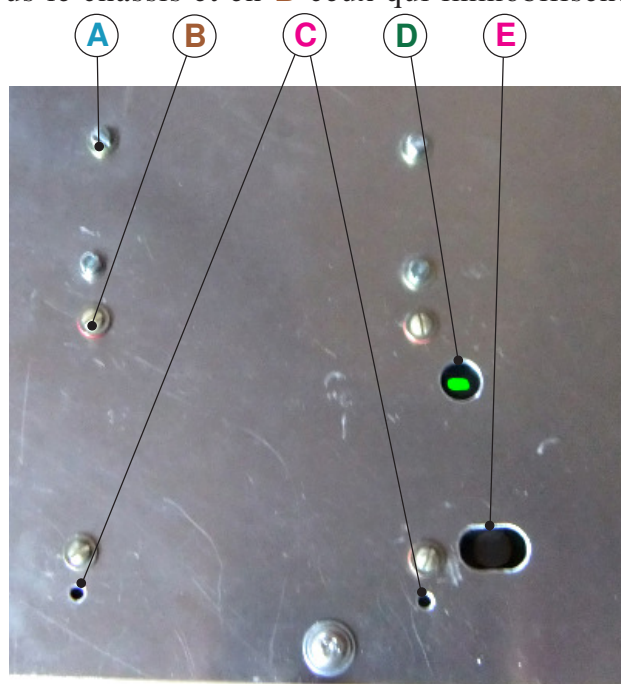


Fig.42

➤ La chaîne alimentaire.

Distribuer la basse tension n'est pas anodin, car il faut utiliser des lignes de sections idoines, de faciliter les branchements vers les divers modules, pouvoir également utiliser une alimentation extérieure. Cette dernière peut s'avérer utile pour substituer une alimentation de laboratoire lors de certaines maintenances, (*Avec affichage simultané de la tension et du courant.*) ou éventuellement brancher la machine sur une batterie au plomb pour une démonstration "en pleine nature". La machine s'y prête d'autant mieux qu'elle fonctionne en 12Vcc et consomme moins d'un ampère. De plus *on s'impose de ne strictement*

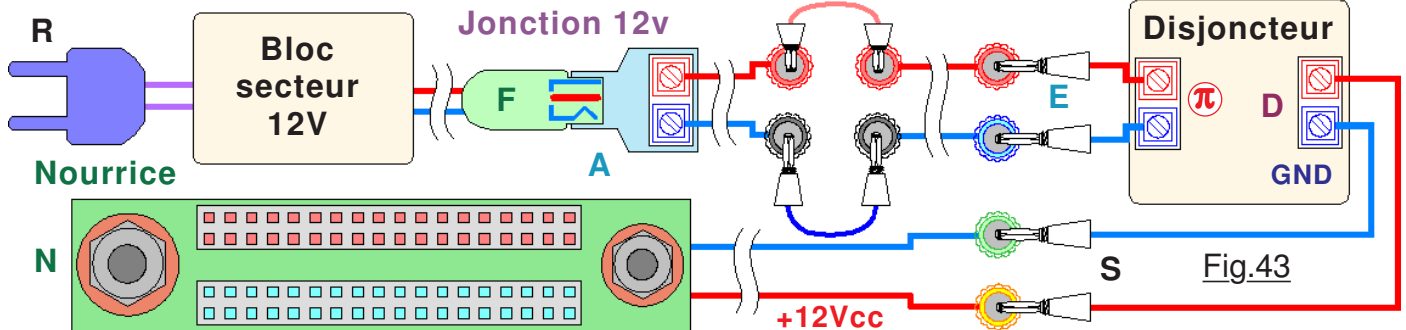


Fig.43

pas modifier le bloc secteur dédié à l'alimentation par le réseau 220V. La Fig.43 présente la chaîne qui du réseau 220V en R aboutit à la nourrice en N. De la fiche de sortie 12Vcc en F on établit la jonction avec les prises pour fiches banane de diamètre 4mm avec l'adaptateur A. Puis on monte cette sortie basse tension vers les fiches bananes qui vont vers l'entrée E du disjoncteur. (*C'est l'entrée non commutée π.*) Puis de la sortie disjonctée D on fournit l'énergie de sortie S vers la nourrice N qui facilite une distribution vers les nombreux circuits imprimés à alimenter pour la gestion du barillet et des têtes de lecture et d'écriture.

Sur la Fig.44 les deux ponts qui établissent la liaison électrique entre la sortie du bloc secteur et l'entrée du circuit imprimé du disjoncteur sont en place à l'arrière de la machine. Sur cette image la motorisation du carrousel n'est pas encore intégrée sur la structure de la machine.

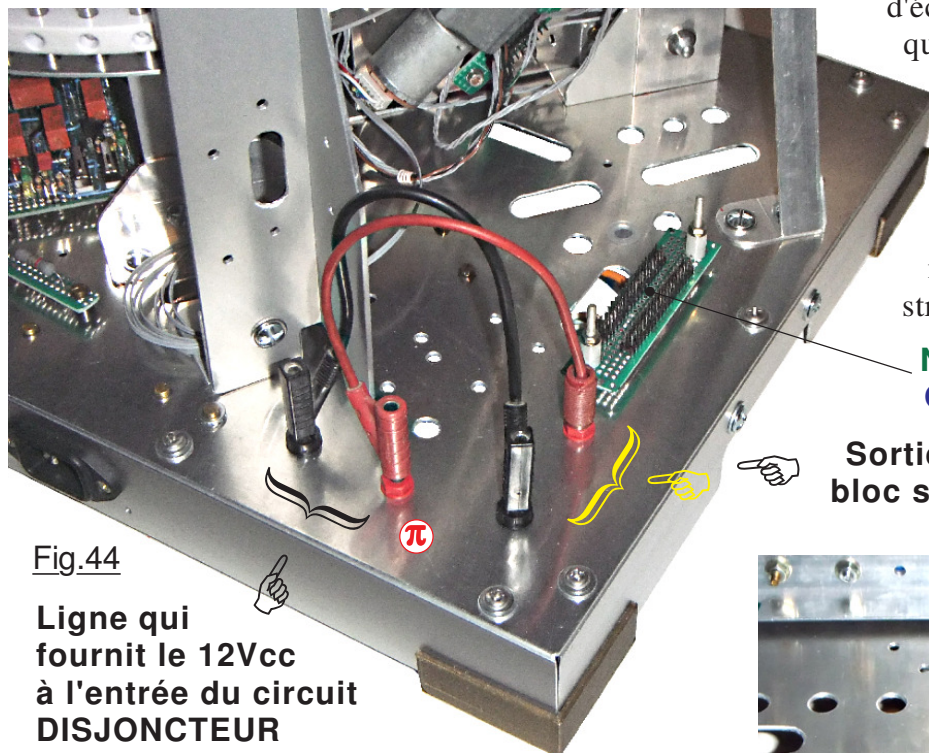


Fig.44

Ligne qui fournit le 12Vcc à l'entrée du circuit DISJONCTEUR

L'entrée non disjonctée π se retrouve en 2 sur la Fig.45 alors que le négatif du bloc alimentation va vers la résistance de 1Ω en 1 sur laquelle sont mesurées les intensités. La sortie +12V du disjoncteur se branche en 3, alors que GND retournera à la nourrice N par la prise 4. Les quatre prises pour fiches bananes sont situées entre la plaque verticale qui supporte la Face Avant et la MATRICE. Enfin, Plusieurs photographies commentées sur lesquelles sont précisés de nombreux détails sont disponibles dans la <Galerie d'IMAGES>.

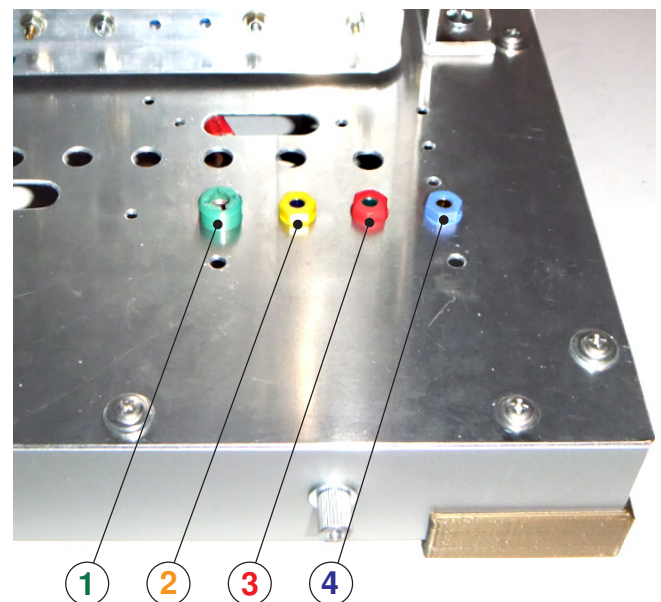


Fig.45

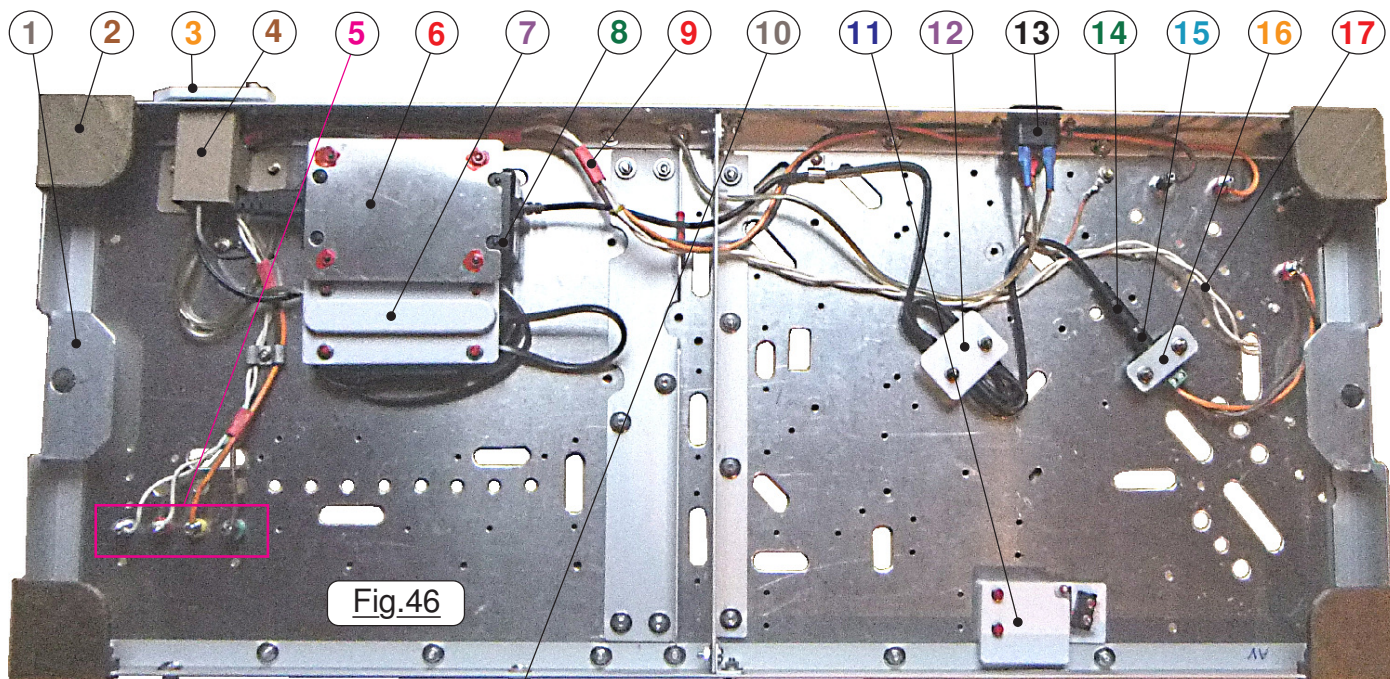


Fig.46

C hâssis retourné on peut observer sur la Fig.46 l'ensemble de câblage situé sur le dessous du statif. Sur cette photographie, le switch de la clef n'est pas encore branché, et les deux pieds situés vers le milieu ne sont pas encore en place. En 1 se trouve l'une des deux poignées qui permet de soulever la machine, alors qu'en 2 le pied d'angle rigidifie les profilés. En 3 le masque ferme la prise secteur, et le carton rigide 4 complète l'isolement. En 5 on retrouve les prises pour fiches bananes qui vont aux circuits imprimés de gestion des énergies. La plaque 6 bride le bloc secteur 8 alors que 7 bride le cordon secteur. En 9 on voit transiter les lignes à sections "notables" qui vont de 5 vers les prises pour fiches bananes à droite et en 17 vers la nourrice. En 10 on devine les écrous moletés de fixation du protecteur de la face avant et en 11 le lecteur de la clef. La plaquette 12 bride la ligne de sortie du bloc alimentation 8 et qui se termine par la fiche coaxiale 14. Introduite sur l'adaptateur 15 l'ensemble est bridé par la petite plaque 16. Sur cette image la prise secteur 13 n'est pas encore protégée par son carton rigide d'isolement.

➤ **Le logement de la clef de libération des efforts sur le barillet.**

D ispositif montré sur la Fig.47 le réceptacle de la clef sert également à en détecter la présence et allumer une LED sur le tableau de maîtrise si elle n'est pas en place. Ce n'est qu'une information pour l'opérateur, car l'absence de la clef dans son logement n'agit pas sur le schéma électrique et n'interdit pas le fonctionnement de la machine. Il aurait été préférable de bloquer

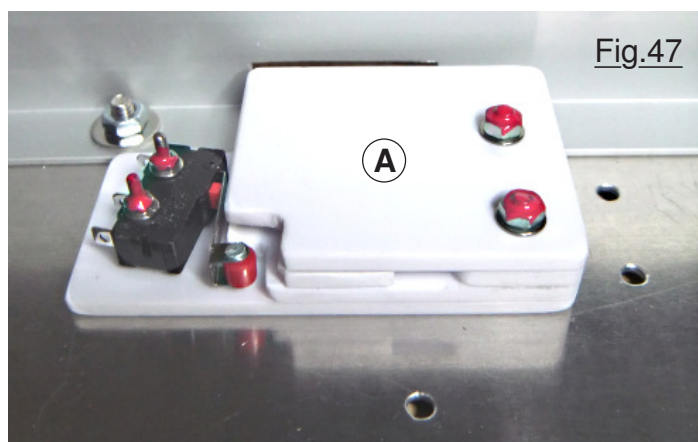
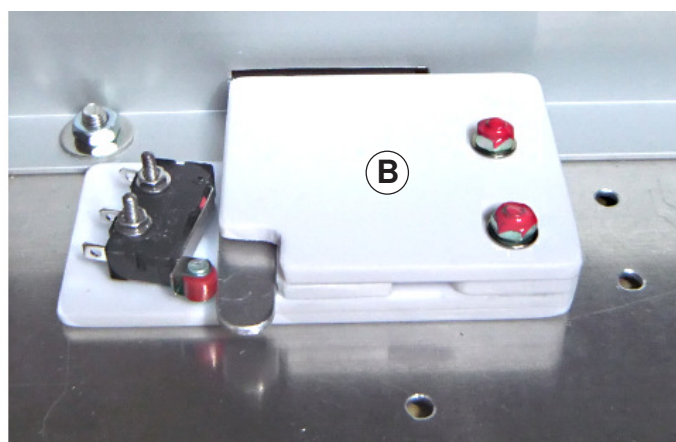


Fig.47

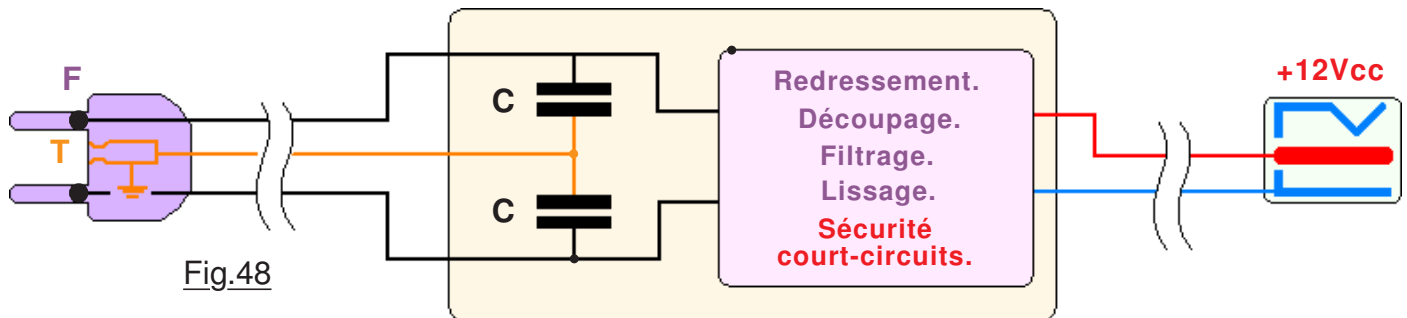


l'énergie tant que la clef n'est pas dans son logement, mais cette option obligerait à utiliser un relais de plus sur l'ensemble, complication estimée peu pertinente et ce d'autant plus que la fiche de mise en service précise dans son listage qu'il faut retirer cette clef du système presseur sur le barillet. Sur le montage de la Fig.47 en A la clef n'est pas en place et le capteur est au repos. En B la clef a été insérée dans son logement en traversant la petite fente centrée sur le lecteur et pratiquée sur le flanc avant du statif. Le switch passe alors à l'état travail.

14) Une chaise électrique !

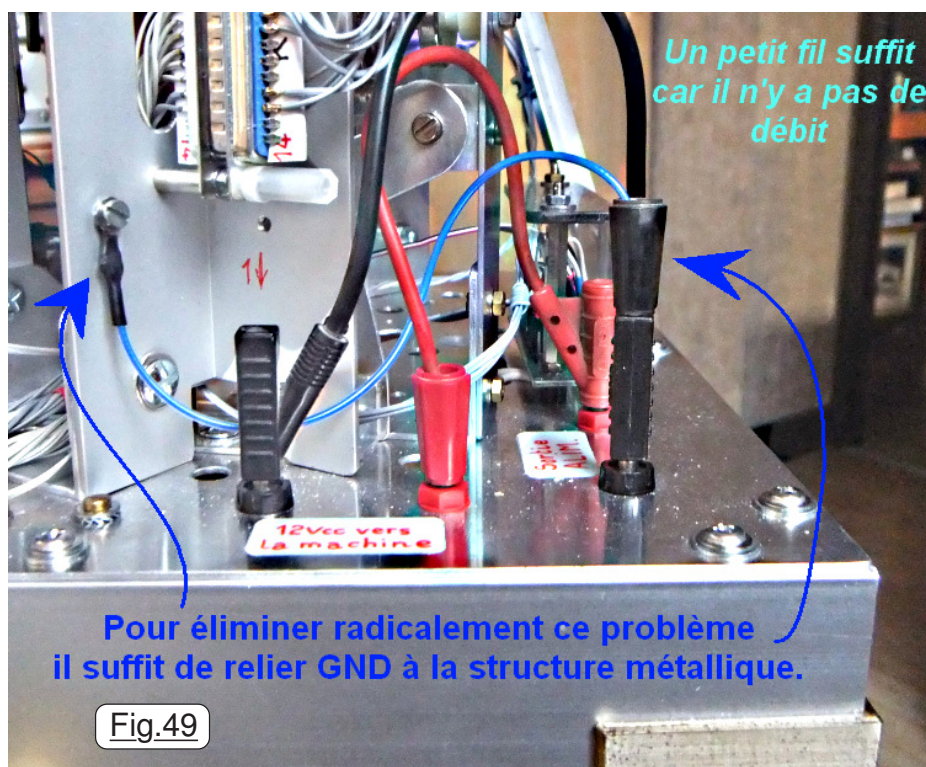
Phénomène inattendu, l'alimentation secteur présente un effet insoupçonné, tout au moins pendant plusieurs mois. Nous savons que l'ensemble de l'électrotechnique est totalement isolé du châssis. Pourtant, par moment j'avais la vague sensation que la structure métallique était à la phase. C'est toutefois inconcevable, vu que cette masse métallique est directement liée à la Terre par la fiche 220V \approx . Évidemment un teste phase a confirmé cette évidence matérielle. Il m'arrivait de temps en temps, lorsque l'une de mes mains était en liaison électrique avec **GND**, de "prendre le jus" lorsqu'avec une autre partie de mon corps je touchais la structure. Après analyse poussée, j'ai fini par mesurer la tension entre **GND** et le statif.

Glopssssss, mais l'appareil de mesure indique -25V. Du reste, on retrouve bien cette tension sur la Terre lorsque l'on mesure entre **GND** et cette dernière. L'interprétation de ce phénomène n'est toutefois pas très compliquée. Considérons la Fig.48 sur laquelle le bloc fonctionnel rose liste les opérations effectuées par l'électronique à découpage interne. De façon assez classique, l'entrée



secteur est pourvue d'un antiparasitage composé de deux condensateurs **C** associés parfois à une petite self en série avec la phase et le neutre. On retrouve alors une tension électrostatique parasite sur la prise de terre **T** de la fiche secteur repérée **F** sur ce dessin. Ce n'est qu'une tension parasite sans risque pour les humains car le courant qui traverse les condensateurs **C** reste faible. Tout au plus on ressent un "picotement" désagréable quand on touche deux endroits concernés. Ce n'est pas du tout pareil pour le matériel Arduino NANO. Il suffit que l'on touche malencontreusement entre la structure métallique et l'une des broches d'E/S binaire de l'ATméga328 pour le détruire. J'ai ainsi "ruiné" deux cartes Arduino. **Maintenant ... vous savez !**

Assurez-vous, une solution élémentaire existe et permet de résoudre définitivement cet inconvénient. Il suffit, comme le montre la photographie de la Fig.49 de réunir directement la ligne **GND** à l'ensemble métallique de la machine. C'est strictement sans inconvénient pour le bloc secteur. Et surtout, outre que l'on ne ressentira plus les décharges désagréables, la carte Arduino



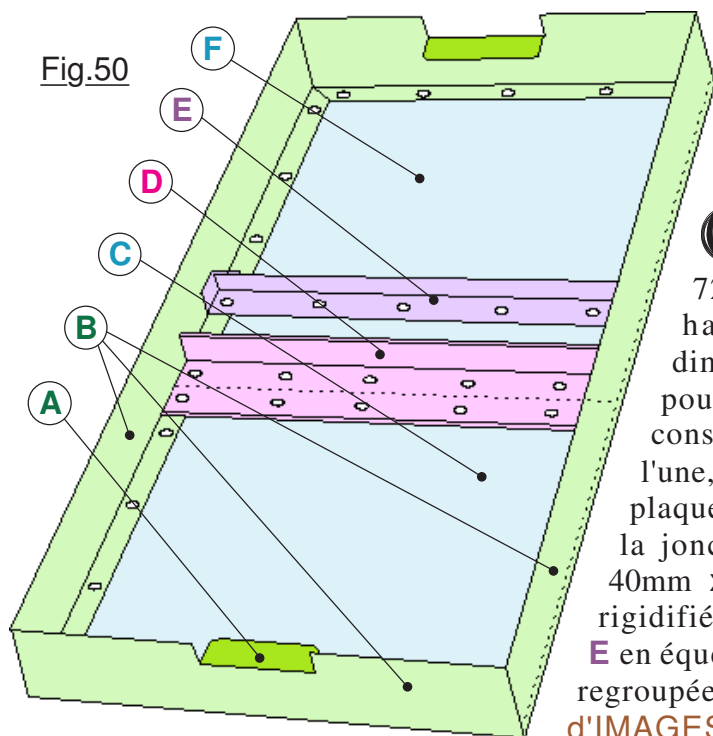
NANO est maintenant protégée et ne risque plus les destructions mentionnées. Il faut préciser que ces tensions mesurées de -25Vne sont qu'une moyenne "lissée" par l'inertie du galvanomètre. Dans la pratique, ce sont des valeurs de pointe instantanées bien plus élevées qui sont présentes sur ces tensions parasites. Les microcontrôleurs ne sont pas protégés contre de telles agressions.

Bon, encore un problème épineux de réglé, et surtout une découverte à ne pas oublier pour la suite de nos activités de loisir, car chaque déconvenue renforce notre expérience ...

15) Les multiples petits détails cachés "sous le capot".

Comme déjà précisé dans le didacticiel, j'ai réalisé directement le châssis avec des dessins griffonnés rapidement sur du brouillon. L'agencement a été progressif en commençant par la structure de base, sur laquelle j'ai assemblé le bloc de lecture des feuilles perforées, et le carrousel avec sa structure. Ensuite le bloc secteur 12Vcc et les circuits imprimés ont été intégrés, ainsi d'une foultitude d'emplacements pour des DB15 et DB 25. On se doute que la Face Avant a été également positionnée. Enfin, lorsque tous les éléments principaux ont trouvé leur place, le dessus du statif a été criblé de trous et de lumières pour le passage éventuel des fils électrique, sans compter un peu partout quelques trous de diamètre 3mm pour fixer des pontets etc. Désolé, mais je n'ai pas trouvé le courage pour ajouter cet ensemble sur la maquette

informatique, mais les nombreuses photographies vont largement compenser le déficit en dessins cotés. Pour mémoire, reprenons en Fig.50 le dessin qui était proposé dans le document **Présentation Mécanique.pdf** et ainsi situer certaines images.



Constitué de profilés et de deux plaques en Duralumin **C** et **F**, le STATIF mesure 720mm de longueur et 300mm de largeur, dont la hauteur de 40 mm est conditionnée par les dimensions des profilés **B** en **L** de 40 x 15 utilisés pour faire l'encadrement. Le dessus du châssis est constitué de deux plaques de 400mm x 400mm dont l'une, **C** est réduite à 320mm de longueur. Ces deux plaques disposées sur le dessus sont l'une contre l'autre, la jonction étant renforcée par un profil **D** en **L** de 40mm x 15mm. Le centre du STATIF est quand à lui rigidifié dans le sens de la largeur par un dernier profilé **E** en équerre de 30 x 15mm. Toutes les photographies sont regroupées dans <06) Le STATIF> rangé dans <Galerie d'IMAGES>. En particulier dans le dossier <A) Chassis>

les photographies **IMAGE 171.JPG** à **IMAGE 175.JPG** présentent le STATIF dans son ensemble alors que **IMAGE 176.JPG** à **IMAGE 178.JPG** détaillent les orifices de passage des fils et des fixations des DB15, DB25, ainsi que la position prévue pour des petits C.I. complémentaires éventuels. Les quatre coins ainsi que le milieu sont renforcés par des pieds moulés en 3D et montrés sur **IMAGE 179.JPG** à **IMAGE 181.JPG**. Tous les pieds sont identiques, ceux du centre ont été adaptés à la scie et à la lime.

L'intégralité des détails du câblage de l'alimentation secteur et de sa distribution est présentée sur les photographies **IMAGE 182.JPG** à **IMAGE 189.JPG** préservées dans <B) Alimentation secteur>.

Il importe de noter que les deux prises secteur ont leurs cosse isolées électriquement par de la gaine thermo-rétractable ce que montre **IMAGE 189.JPG**. Toutefois, **cette sécurité est complétée par un capot réalisé en carton rigide qui isole les deux prises**, visible sur **IMAGE 182.JPG**.

Dans <C) Logement CLEF> **IMAGE 192.JPG** à **IMAGE 194.JPG** décrivent l'agencement de la "serrure" pour la clef qui sert à décharger mécaniquement le pivot du BARILLET quand on remise la machine.

16) Ne perdons pas la face !

Titre très accrocheur qui ne dévoile pas que nous allons dans ce chapitre aborder la réalisation du tableau de maîtrise, et en particulier de sa face avant. Cette phase s'avère très délicate car l'ensemble des usinages doivent être particulièrement méticuleux. L'esthétique de la machine dépend directement de la réussite de cette opération. Le titre fait allusion au fait qu'après des heures de travail on peut sur incident ou maladresse dégrader les belles plaques façonnées avec une minutie extrême. Alors l'ensemble de cette étape sera réalisé avec une attention soutenue et permanente.

➤ Architecture de la Façade.

Représentée sur le dessin de la Fig.51 la face avant qui supporte les divers éléments tel que le bouton poussoir **5**, les témoins lumineux, les inverseurs etc est constituée de deux plaques **2** et **4** serrées entre elles par les boulons ϕ M3 repérés **3**. C'est la plaque relativement

rigide **4** taillée dans du polystyrène choc de choc de 3mm d'épaisseur qui constitue le support proprement dit. La fine plaque d'Altuglas translucide **2** sert à protéger les feuilles de papier imprimées **1** qui sur cette face avant servent à désigner les différents éléments qui en encombrant la surface. Dans la pratique, c'est la plaque métallique verticale **6** qui assure à la face avant sa rigidité, raison pour laquelle un grand nombre d'entretoises **3** réparties sur toute la surface assurent la liaison entre les deux éléments verticaux. Les entretoises **3** sont dans la pratique réalisées avec les boulons ϕ M3 dont la longueur sous tête des vis fait 40mm. Cette longueur est suffisante pour ajuster entre les deux plaques une séparation de 30mm suffisante pour loger les composants les plus volumineux. Le support vertical **6** taillé dans de la plaque d'aluminium de 1,5mm d'épaisseur est d'une rigidité suffisante. Il

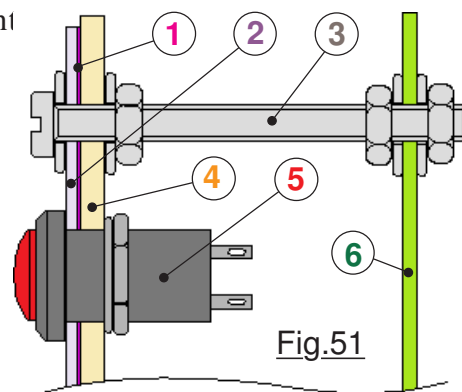


Fig.51

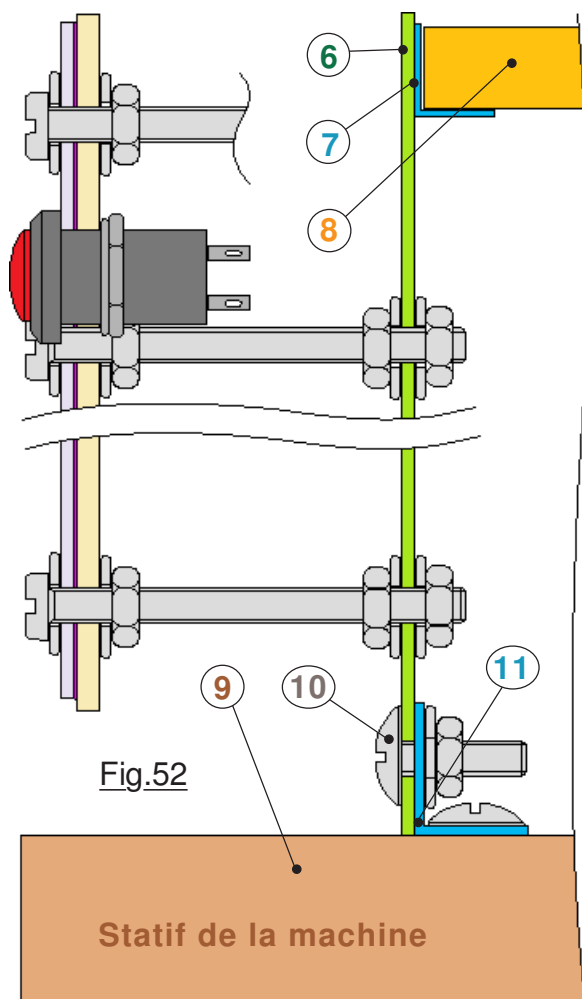


Fig.52

Statif de la machine

est assemblé sur le socle de la machine **9** au moyen du profilé en équerre **11** et des boulons ϕ M4 repérés **10**.

Comme on peut le constater sur le dessin de la Fig.52 la face avant se trouve en "porte à faux" et engendre une tendance au basculement vers la gauche de la plaque **6**. Aussi, pour conférer à l'ensemble une robustesse à toutes épreuves, le haut de la plaque support est relié à la matrice située en arrière par deux profilés **8** assemblés sur **6** par les petites équerres **7**. Un très grand nombre de liaisons électriques transitent de la face avant vers l'arrière de la plaque verticale **6** et vers les deux connecteurs DB25 de la MATRICE. Aussi, cette plaque **6** qui sert également de support à un bon nombre de circuits imprimés est munie d'une kyrielle de trous circulaires et de lumières allongées pour faciliter le passage des liaisons électriques. Ces dernières sont très nombreuses puisque le tableau de maîtrise constitue également l'Unité Centrale de notre ordinateur mécanique.

➤ Réalisation de la façade.

C'est une phase particulièrement indigeste, un réel défi, car dépend de son esthétique la qualité visuelle du tableau de bord. La structure de base, simple plaque en duralumin qui supporte les deux moteurs de l'HORLOGE et des TRANSITIONS avec leurs cinquante quatre Switchs exige un travail précis pour

le positionnement des tous ces éléments, mais qui confine à une simple routine, car en façonnant les nombreuses autres pièces métalliques de la machine, l'expérience acquise est à ce stade bien ancrée. Pour la façade, c'est une autre manche. Par exemple, il y a 31 douilles pour les témoins logiques. Les trous doivent avoir un diamètre extrêmement précis si l'on veut que ce soit beau. Je commence à percer à 3 mm tous les trous. Sur les deux plaques, celle en polystyrène choc et la plaque transparente de façade. Puis je perce à 5mm les trous uniquement sur la plaque en polystyrène. Je remonte la façade translucide et contre perce tous les trous à 5mm en retenant mon souffle car il ne faut surtout pas peser sur la chignole. Enfin, avec l'alésoir j'agrandis progressivement chaque trou jusqu'à 6,3mm. Par curiosité j'ai noté combien de mouvements de torsion je dois faire pour aléser avec précision. Pour chaque trou je torture ma main 78 fois environ. Pour toutes les douilles c'est environ 2420 mouvements d'une extrême sensibilité à effectuer. Et encore, les trous sont de faibles diamètres. Pour les boutons poussoir c'est infiniment pire. Les deux plaques sont tenues à la main, et si jamais on échappe l'alésoir, il est relativement lourd, il bascule et c'est avec certitude que l'on entend le petit "tic" qui annonce que la plaque translucide vient de se fendre provoquant la

ruine de la façade transparente. Bref, c'est une solution très belle pour une face avant, mais une galère totale pour la concrétiser.

Noter que la plaque translucide est constituée d'une mince feuille transparente réalisée dans des matériaux destinés à agencer des tableaux ou des photographies. Ce type de matériau est très courant dans les commerces de bricolage. Pour cette unité j'ai opté pour une plaque de 1,3mm d'épaisseur. La réelle difficulté, c'est d'arriver à tailler le rectangle et à percer tous les trous et les lumières avec une précision "absolue" sans faire la moindre écaille ou fente. *C'est une galère sans nom, car il suffit du plus petit geste malheureux pour faire une rayure pile au mauvais endroit. Pire, quand on agrandi un trou avec l'alésoir conique, si peu que l'on force un chouilla en torsion et "clic", une fente se crée et se propage jusqu'au prochain trou.* POUBELLE la pièce qui a déjà englouti 4H de travail minutieux. En plus, j'ai choisi des gros boutons. Ils sont beaux, ils sont colorés, ils sont ... gros, donc il faut aléser jusqu'à 16mm de diamètre. Un calvaire, car le travail à l'alésoir est particulièrement délicat ... et face au risque permanent de tout perdre en une seconde, j'usine en apnée ! En résumé, tailler les deux plaques de structure avec tous les trous n'a demandé que cinq heures au total. Créer la feuille transparente en a exigé six à elle seule, et *d'un travail vraiment très très très attentif.*

➤ La concrétisation de la face Avant.

Toujours préservé dans <Galerie d'IMAGES> les photographies de <D) Face AV aluminium> décrivent les premières étapes de la réalisation du tableau de maîtrise. La plaque principale verticale soutient la Face Avant, mais également les deux rotors de la machine et divers circuits imprimés d'alimentation et de l'Unité Centrale. IMAGE 195.JPG et IMAGE 196.JPG présentent les deux poutres qui rigidifient le haut de la plaque verticale avec le bloc du lecteur de feuilles perforées, alors que IMAGE 197.JPG et IMAGE 198.JPG montrent les deux cotés de la plaque d'ossature verticale. Sur les IMAGE 199.JPG à IMAGE 201.JPG les deux rotors sont en attente de câblage. Noter au passage que les trous qui avaient été prévus pour une éventuelle DB25 visible sur IMAGE 195.JPG servent en réalité au poussoir de RESET de la carte ARDUINO.

➤ Les godets de rangement des fiches qui accompagnent la machine.

Déjà signalé dans le didacticiel, le petit godet latéral gauche ne sert qu'à ranger les mini-fiches au format A6 d'utilisation de la machine, ainsi que celles qui détaillent les programmes actuellement disponibles sous forme de feuilles perforées et plastifiées. Disponibles dans le dossier <E) Les godets de rangement> les IMAGE 202.JPG à IMAGE 204.JPG présentent la concrétisation de cette commodité. Bien que les fiches photographiées soient relatives à la maintenance de la machine, ce qui est contradictoire avec ce qui précède, ces images ont été saisies au tous début, alors que naïvement je pensais tout schématiser sur de si petites cartes. Actuellement, toutes les fiches de maintenance et de réalisation sont rangées dans un bureau. Seules les mini-fiches d'usage de la machine sont placées dans le petit godet. De l'autre côté, avec IMAGE 209.JPG on peut observer le grand godet de droite avant qu'il ne soit intégré sur la structure, ce que montre IMAGE 206.JPG sur laquelle le "clapet bloqueur" n'est pas encore ajouté. Ce "range fiche" contient les 40 fiches au format A6, imprimées Recto/Verso qui contiennent les schémas électriques expliqués, ainsi de les plans de câblage et les dessins des circuits imprimés. Ainsi la documentation technique principale accompagne la machine où qu'elle soit. Sur IMAGE 205.JPG et IMAGE 206.JPG on notera le profilé qui immobilise ce godet sur la plaque métallique verticale de la face avant. Sur le corps du lecteur de feuilles perforées, ce petit "coffre de rangement" est immobilisé par des entretoises montrées sur IMAGE 207.JPG et IMAGE 208.JPG. Enfin, les IMAGE 210.JPG à IMAGE 212.JPG détaillent l'agencement du petit clapet qui empêche les nombreuses fiches de tomber, en particulier lorsque durant des opérations de maintenance si le godet est déposé et "trimballé à tout va".

➤ Quelques petits détails "livrés en vrac".

Sorte de "fourre-tout", le dossier <F) DIVERS> visualise quelques petits détails particuliers associés au STATIF qui sont pertinent dans ce chapitre. Par exemple sur IMAGE 213.JPG alors que les deux rotors de la machine ne sont pas encore câblés la prise DC37 de branchement du PUPITRE ainsi que l'étiquette du compteur de maintenance sont saisies en gros plan. C'était l'époque où je pensais à une période de "grande visite" tous les 2000 cycles. Actuellement il semble

plus raisonnable d'étendre la périodicité à 5000 rotations HORLOGE. Sur [IMAGE 214.JPG](#) le protecteur des aiguilles de la face avant est en place. Une légende sur l'Internet présume que la marque d'ordinateurs Apple aurait choisi son symbole en l'honneur d'Alan Turing. Cette légende n'a jamais été confirmée ou infirmée par la célèbre marque. Le mystère reste complet ... c'est bien là la caractéristique de toutes les légendes qui se respectent. Bien que montré sur la Fig.53 et la Fig.54, et déjà présent sur la Fig.84 de [Présentation électrique 2.pdf](#), sur [IMAGE 215.JPG](#) le répéteur est à nouveau montré. Toutefois, sur cette version, des trous de fixation ont été prévus pour d'éventuels circuits imprimés complémentaires. La nourrice qui alimente en 12Vcc les diverses unités de la machine est montrées sur [IMAGE 216.JPG](#) avec un protecteur réalisé avec une boîte en matériau thermo-plastique dont on a utilisé deux faces. Ce protecteur translucide évite des courts-circuits éventuels quand dans l'environnement de la machine on manipule des objets métalliques ou des fils électriques branchés "en volant" pour effectuer des essais techniques. On voit qu'un grand nombre de branchements étaient prévus et ne sont pas utilisés. En effet, actuellement on peut "déporter" une nourrice provisoire de type "outillage de maintenance"

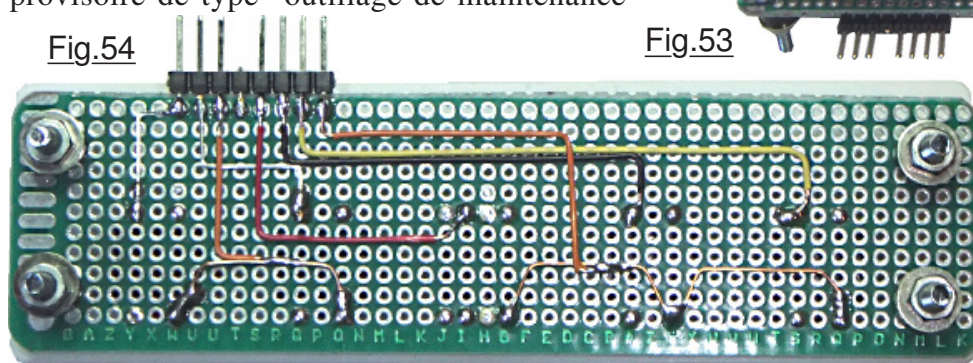
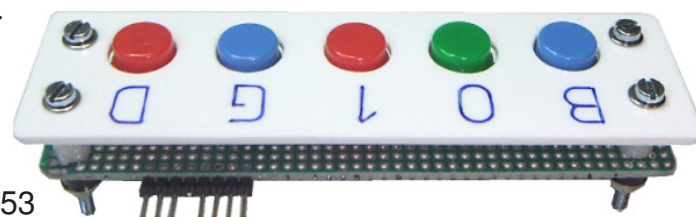


Fig.54

Fig.53



sur la traverse supérieure dont l'accessibilité est bien meilleure. Sur [IMAGE 216.JPG](#) la face avant est en train d'être assemblée sur la plaque verticale. Comme précisé sur la fiche au format A5 des schémas électriques intitulée

Assemblage de la Face Avant sur l'U.C. (1/2) il faut incliner l'ensemble de la machine. Noter que la dépose ou le remontage de la face avant peut se faire sans problème alors que les divers circuits imprimés sont déjà en place.

17) Le petit pupitre de Vérification du programme.

Titre restrictif, car ce dispositif est aussi bien utile pour lister un programme engagé dans le lecteur de feuilles perforées qu'un outil de maintenance. En effet, en opération de vérification de la MATRICE, on peut ligne à ligne vérifier que les 17 palpeurs sont bien en contact avec la contre-MATRICE. Il suffit de verrouiller le lecteur sans y glisser de feuille. Puis bouton par bouton on alimente chaque ligne qui doit allumer tous les témoins en sortie de la table des transitions.

➤ **Le capot de la fiche DB37 mâle.**

Lorsque j'ai envisagé de munir notre machine du petit PUPITRE de Vérification de programme, je disposais dans les tiroirs d'une DB37 mâle et d'une DB37 femelle. À contrario, et c'est indispensable pour pouvoir brancher et débrancher commodément, il importe "d'enfermer" la DB37 dans un capot de protection indisponible, et de la transformer ainsi en une fiche conviviale. Qu'à

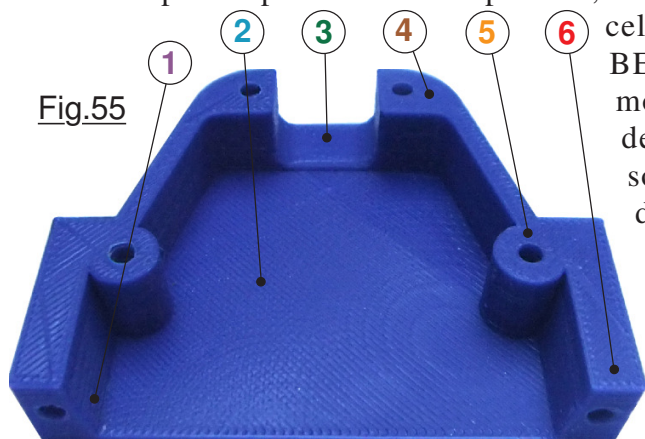


Fig.55

cela ne tienne, Le commerce en ligne est fait pour ça ! BERNIQUE ! Quand on propose les références à un moteur de recherche, soit les sites visités sont en rupture de stock, soit on interroge des sites américains ou autre, soit certains sites Français en disposent mais à des tarifs du genre 13•99 ... et la somme fait plus que doubler quand on ajoute le port. Du coup, à partir du moment où l'on dispose d'une imprimante 3D pourquoi ne pas se fabriquer une telle fiche, qui tout compris va nous coûter environ 2• en arrondissant pour les quatre boulons et pour la petite plaque de fermeture. Naturellement le modèle 3D montré sur **Page 33**

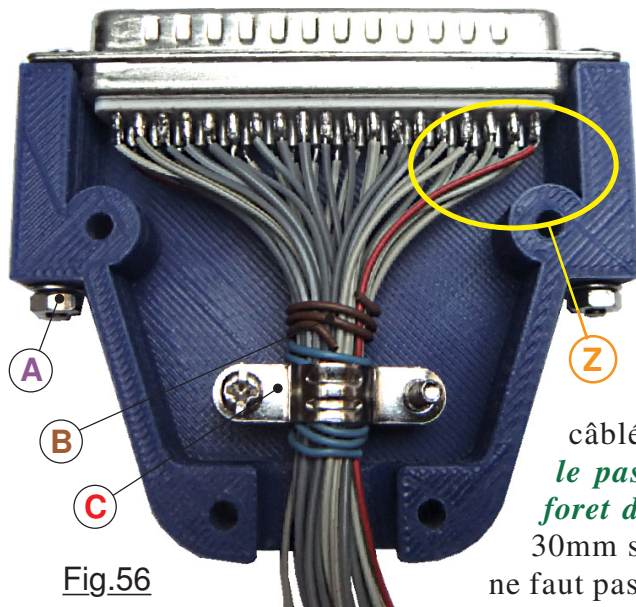


Fig.56

la Fig.55 pour pouvoir mouler cette pièce si vous le désirez accompagne ce didacticiel. La paroi latérale épouse parfaitement en **1** l'angle du flanc de la DB25. Pour gagner du temps d'impression le dessous en **2** est de faible épaisseur. En **3** l'échancrure est de grande dimension pour pouvoir enserrer le toron de fils avec une pièce en caoutchouc. En **4** et **5** la périphérie est d'une rigidité à toute épreuve. Enfin en **6** le tenon est de longueur suffisante pour que les fils puissent passer facilement dans la zone **Z** de la Fig.56 dans laquelle est assemblée une prise DB25 déjà câblée. Noter que **tous les trous de liaison sont prévus pour le passage des vis ϕ M3 et doivent être réalisés avec un foret de ϕ 3,4mm ou ϕ 3,5mm.** En **A** on utilise une vis de 30mm sous tête, elle dépasse très peu de l'écrou. Attention, il ne faut pas intercaler de rondelle sous la tête de vis. En **B** et **C** les protections étaient rudimentaires, dans le prototype ces éléments vont être remplacés par un manchon en gaine thermo rétractables et le passage dans l'échancrure va se faire à travers un "passe fil" en caoutchouc. Sur la Fig.57 sont étalés les divers éléments qui constituent la fiche DB37. On retrouve en **1** la prise mâle, en **2** le boîtier principal moulé en 3D, et en **3** les boulons ϕ M3 d'assemblage. Comme il faut refermer ce dispositif, dans une petite chute des plaques l'aluminium qui constituent la structure de la machine, le couvercle **5** confère à l'ensemble une rigidité à toutes épreuves. Pour minimiser le dépassement des vis de liaison **4** on utilise des types F90 dites "têtes fraisées" bien que les trous de passage ne soient pas chanfreinés. Comme pour **3** il n'y a pas de rondelle sous ces têtes de vis de longueur 20mm hors tout mais uniquement sous les écrous.

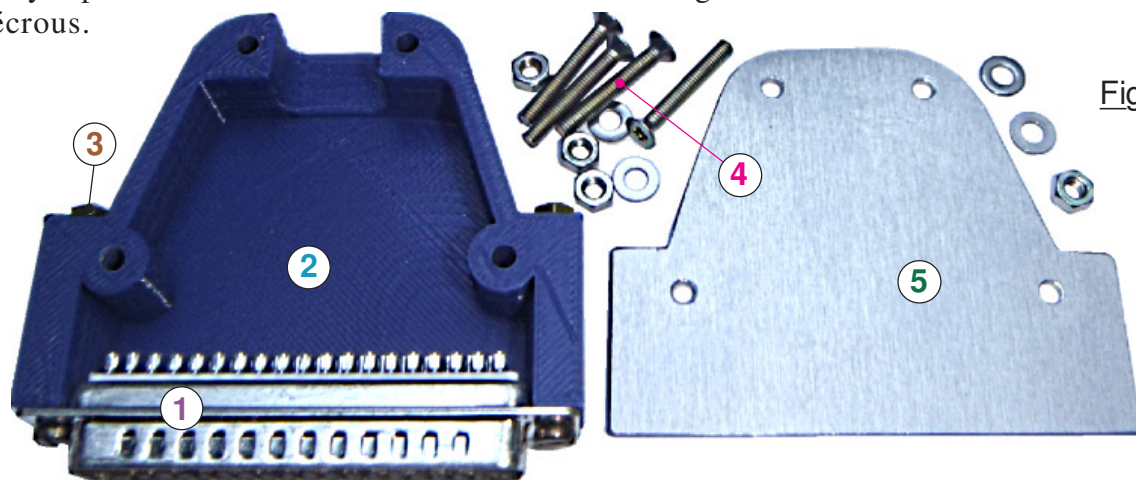


Fig.57

Pour refermer ce petit chapitre, en Fig.58 **X** la fiche est montrée en vue de face. Par précaution je n'ai pas chanfreiné à 45° les trous de passage sur le couvercle, du coup les vis dépassent un peu. En effet, on voit sur **Z** que les petits boulons dépassent ainsi au minimum du boîtier. Le branchement sur la machine sera situé en bas de la façade, aussi la hauteur disponible sera limitée. S'il est possible d'accepter un dépassement légèrement supérieur il sera facile de "fraisier" ces chanfreins par la suite. Enfin, la photographie **Y** montre "le revers de la médaille". Pour environ 2• nous possédons la fiche rêvée avec un délai de livraison de 1H53min, le temps d'impression 3D. Que demander de plus ?

➤ La réalisation du coffret.

U nité totalement indépendante de ma machine de Turing, le petit PUPITRE doit être protégé dans son propre boîtier. Pour faciliter la réalisation de son coffret, j'ai utilisé comme matériau du polystyrène choc et mis à contribution mes techniques habituelles pour mettre en œuvre ce type de matériau. Il est totalement hors de propos de décrire ici mes méthodes d'élaboration, aussi, pour celles et ceux qui voudraient en savoir plus sur le sujet, je vous invite à aller faire un petit tour sur : <https://www.robot-maker.com/ouvrages/interface-puissance-arduino/mettre-oeuvre-polystyrene-choc/> et surtout sur :

Présenté dans son ensemble sur la Fig.59 on retrouve la ligne électrique de raccordement avec à son extrémité la fiche de type DB37. Pour faciliter la réalisation des inscriptions, comme c'était

le cas pour la numérotation des BITS sur le barillet, les lettres et les chiffres sont gravés directement sur le dessus du coffret. Le gravage avec une pointe à tracer conjointement avec un normographe est surchargé en bleu à l'aide d'un stylo feutre indélébile. Dans le médaillon on peut vérifier que l'esthétique d'un tel coffret dépend directement du faible jeu réalisé entre le boîtier et les touches du clavier. Contrairement à la face avant où tous les boutons présentent des corps à visser, ici les touches sont issues d'un lot de 80 et sont prévues pour être soudées sur un circuit imprimé au pas standard "au dixième de pouce". Initialement, je ne savais pas du tout comment serait réalisé le tableau de maîtrise. Aussi, à toutes fins utiles, j'avais commandé ce groupe de touches multicolores qui remplissent parfaitement leur fonction. Pour que vous puissiez approvisionner les mêmes, si d'aventure vous décidez de réaliser ce PUPITRE, voici le lien sur lequel j'ai commandé ces composants spécifiques qui font merveille :

https://www.amazon.fr/gp/product/B08VNB6BX5/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o02_s01?ie=UTF8&psc=1

C'est encore un morceau de circuit imprimé préperçé de prototypage qui sert de support à tous ces boutons poussoir. La photographie de la Fig.60 montre la semelle du coffret sur laquelle est immobilisé le circuit imprimé. Le boîtier est long et très résistant. En revanche, la semelle manque un peu de rigidité. Aussi, pour la renforcer elle est reliée sur le flanc du boîtier par la petite équerre métallique en aluminium. La partie verticale est pourvue

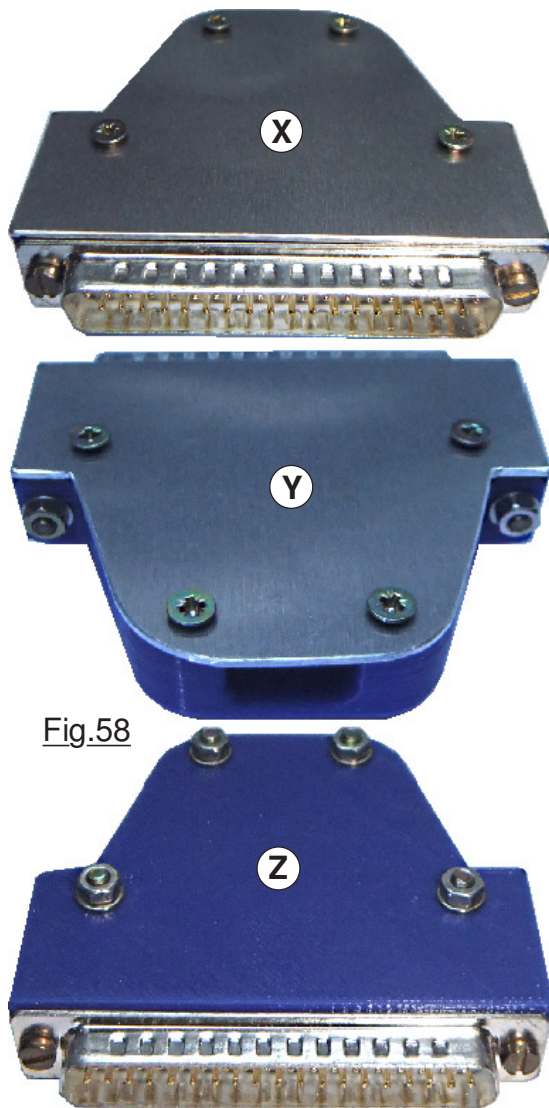


Fig.58

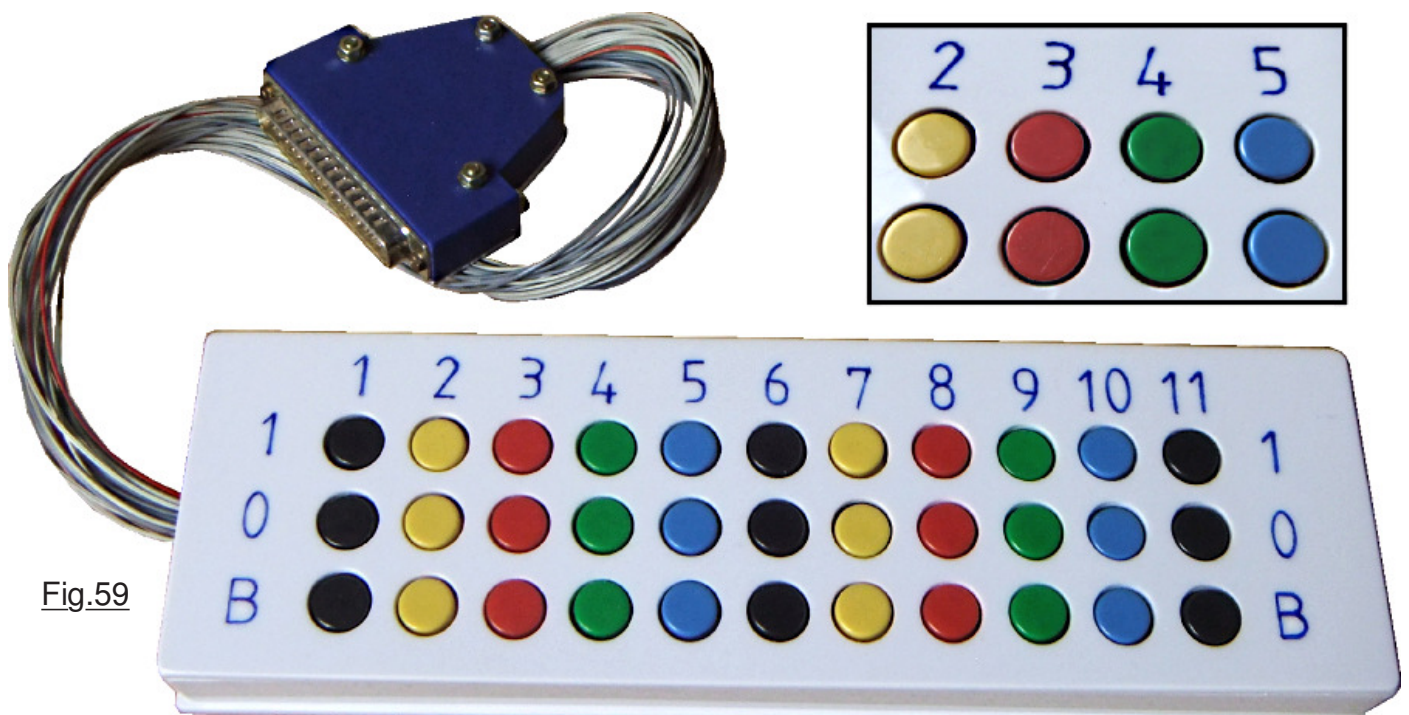
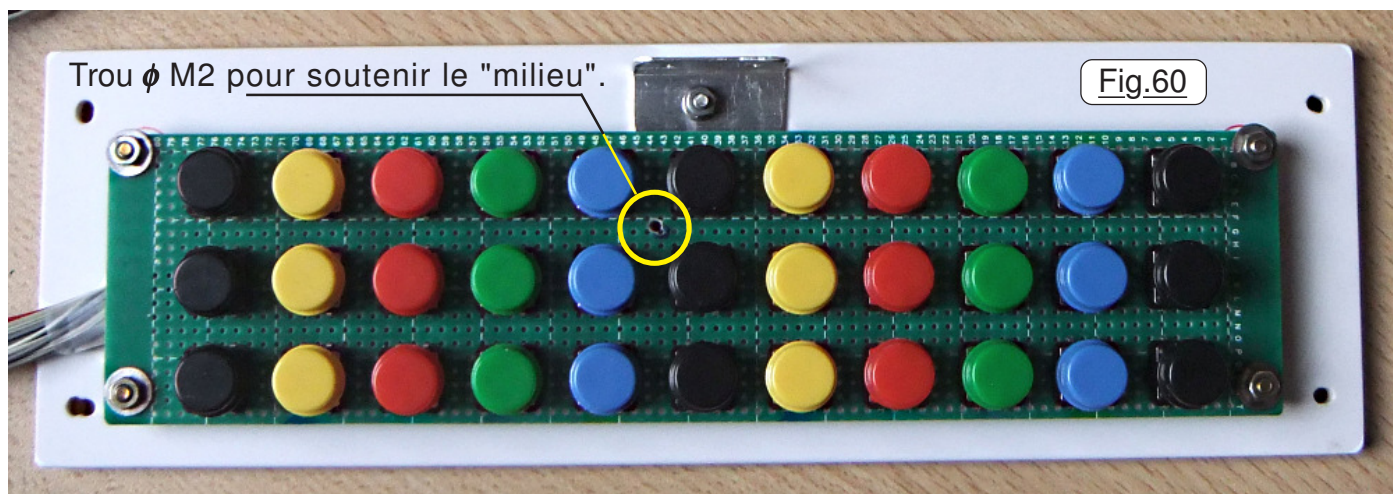
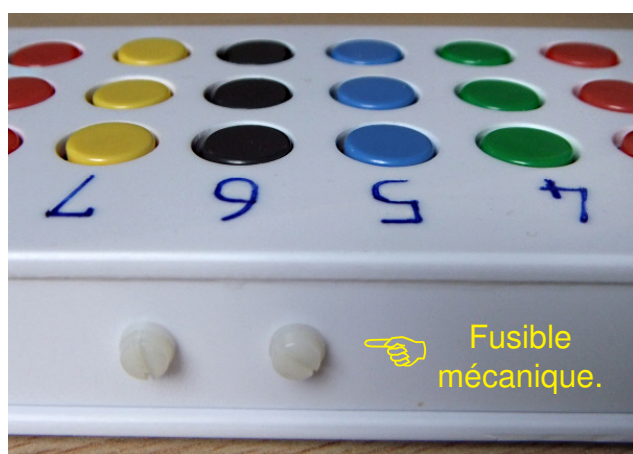


Fig.59



de deux trous taraudés pour effectuer la liaison avec le couvercle, alors que l'intérieur n'est plus accessible pour tenir les écrous. De faible épaisseur, le taraudage est très fragile, et forcer un tant soit peu sur la tête de vis peut arracher facilement les filets par cisaillement. Aussi, pour éviter cet



incident, on a prévu un "fusible mécanique", c'est à dire, comme visible sur la Fig.61 il est fait usage de vis en nylon. Si vous serrez exagérément une telle vis, elle se cisillera, protégeant l'équerre. Il ne restera plus qu'à la remplacer, action nettement plus facile que de réaliser une autre équerre avec les trous parfaitement alignés sur ceux des autres pièces.

Noter que le circuit imprimé est supporté aux quatre coins par des entretoises de 6mm de hauteur, ménageant un espace avec la semelle largement suffisant pour laisser le passage au toron de 36 fils. Bien que la plaque trouée soit de bonne épaisseur, comme elle est longue, elle

fléchissait très légèrement lorsqu'une touche du centre était cliquée. Aussi, un petit boulon ϕ M2 pas très éloigné du milieu sert d'entretoise, la rigidité du total est alors parfaite.

18) Le câblage de la face avant.

Décrite mécaniquement dans le chapitre n°17, il aurait été plus pertinent de passer au câblage immédiatement à la suite. La mise en page qui a "intercalé" la réalisation du PUPITRE en n°18 n'est pas idéale. Dommage, on va faire avec, car je n'ai pas le courage de "tout rebousculer" ... Bien que relevant d'une certaine "routine" pour qui possède une certaine expérience en soudure de modules électroniques, cette opération qui ne présente aucune difficulté particulière n'en exige pas moins beaucoup de rigueur et de méthode pour la conduire avec certitude et facilité. Chaque fois qu'un composant est soudé, immédiatement avec la sonnette il est vérifié pour s'assurer qu'il n'a absolument pas été détérioré lors du soudage. Cette éventualité est assez peu vraisemblable, mais un contrôle permanent au fur et à mesure du déroulement des opérations doit rester un principe incontournable.

Typique d'une unité particulièrement encombrée de très nombreuses lignes de raccordement, la Fig.62 démontre qu'une confusion potentielle entre toutes ces jonctions devient évidente. Le chapitre suivant propose une technique pour parer ce risque. La première étape consiste à repérer comme en **1** tous les composants, évitant de passer son temps à "retourner la chaussette". Des lignes filaires de même nature **12** sont torsadées pour former des torons souples et bien différenciés, comme par exemple en **6** celui qui relie la rampe de LEDs **7** aux sorties de la MATRICE. Comme les trois derniers fils de la nappe sortie sur une fiche HE14 ne sont pas utilisés, au lieu de les couper ils sont réunis dans un toron **2** conservé "pour le cas où" ... Pour ensuite souder ces nombreux fils sur une DB25 telle que celle en **11**, ils sont au préalable repérés par de petites étiquettes **14**. Comme explicité dans le chapitre qui suit, les connecteurs HE14 tel que celui visible en **13** sont repérés par des manchons isolants de couleur. De nombreuses ligne indépendantes ne comportent que deux ou trois fils qui ne sont alors pas séparés mais uniquement soudés à leur extrémité sur un HE14 femelle à deux ou trois picots.

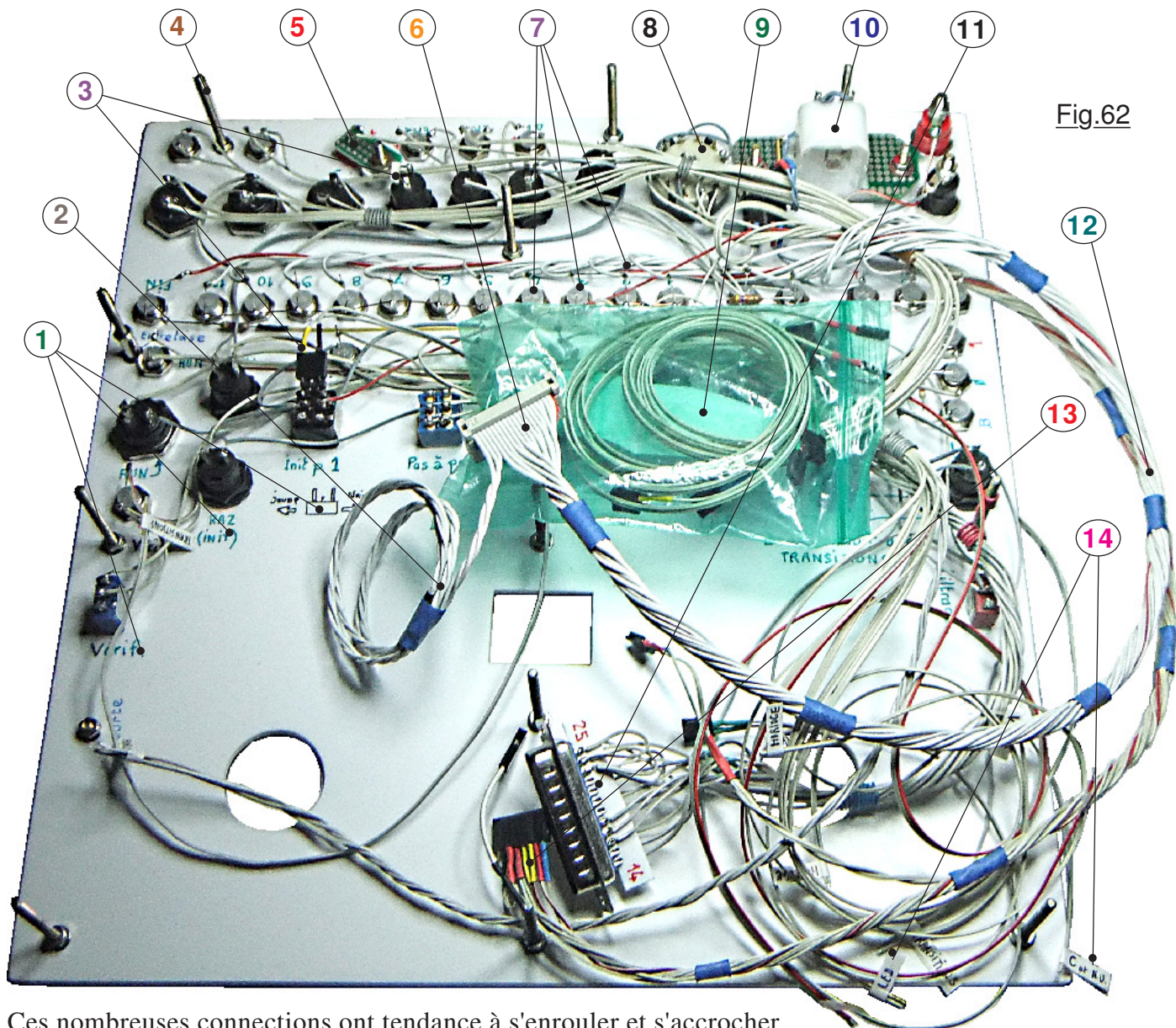


Fig.62

Ces nombreuses connections ont tendance à s'enrouler et s'accrocher partout, et génère en outre une gêne notable pour souder les autres composants. Aussi, elles sont enroulées et logées provisoirement dans une pochette 9 de récupération dans des colis de livraison de composants. Sur cette photographie on retrouve en 8 le commutateur de sélection des calibres de mesurage à l'aide du galvanomètre 10. En 5 on reconnaît la LED rouge clignotante de 10mm de diamètre du disjoncteur de surintensité. Noter que deux connecteurs HE14 sont soudés en 3 directement sur l'inverseur et sur le bouton poussoir car ils doivent rester totalement indépendants pour pouvoir séparer la face avant de la plaque métallique verticale qui la supporte. Enfin en 4 on retrouve les vis de longueur 40mm sous tête qui vont assurer la liaison entre la face avant et la plaque verticale. La distance utile entre la face avant et cette plaque support ne fait qu'environ 28mm. L'ensemble des composants et des lignes filaires ne doit pas dépasser cette épaisseur, raison pour laquelle les torsades sont soigneusement "plaquées" sur la face en polystyrène choc.

19) Chirurgie plastique !

Force est de constater que la non convivialité d'une machine ne peut émerger qu'en usage courant de cette dernière. Hors, quand on réalise un prototype, on a trop tendance à focaliser sur les problèmes techniques et "oublier" l'utilisateur. Quand j'en suis arrivé à l'intégration des systèmes et que pratiquement tous les circuits ont été connectés entre eux, la campagne de déverminage a imposé un nombre considérable de manipulations. C'est durant ces dernières, qu'étant alors un opérateur, j'ai constaté que le concept d'un inverseur pour réinitialiser la **Position n°1** de la lunette était une très mauvaise idée. En effet, à chaque utilisation il faut penser à replacer l'inverseur sur **Normal**. Cet impératif devient rapidement rébarbatif et souvent on oublie de le faire.



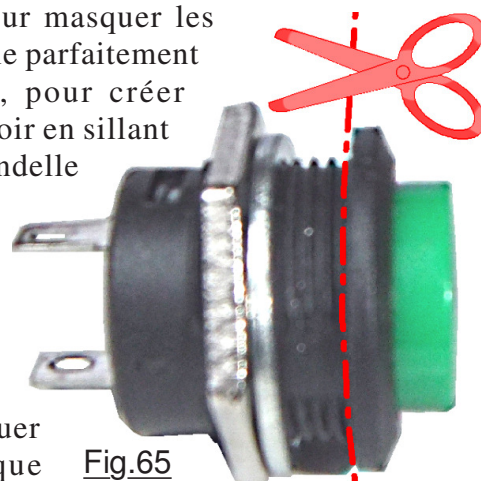
Aussi, remplacer cet inverseur par un bouton poussoir d'usage plus agréable a fini par s'imposer, c'est l'objet du chapitre qui suit, et qui en détaille l'opération..

Naturellement tous les documents ont été repris et cette verrue n'existe plus dans le dossier. Toutefois, si j'ai ajouté Toutefois, si j'ai ajouté ce chapitre dans le didacticiel, *c'est pour vous proposer mes méthodes de correction de la face avant, alors que cette dernière est terminée et que tout usinage "est à proscrire"*. Ce changement de stratégie engendre un problème esthétique "majeur". En effet, le diamètre du trou pour un inverseur est deux fois plus petit que celui d'un bouton poussoir. Pour pouvoir

insérer un tel composant, il faut réaléser la face avant ... BERK ! Ce n'est pas impossible, vu que cette dernière entièrement achevée ne comporte que trois couches matérielles : Le support principal en polystyrène choc de 3mm d'épaisseur, la feuille papier des inscriptions et la plaque transparente très très très fragile. Avec un alésoir de conicité très progressive, le trou a été réusiné jusqu'à obtenir le diamètre suffisant et les bavures éliminées.



Problème inévitable : Comme visible sur la Fig.63 durant l'usinage des copeaux vont s'insérer entre la feuille de papier des inscriptions et la plaque translucide. Cet inconvénient est impossible à éviter et enlever ces copeaux est totalement irréalisable car les deux plaques verticales sont pressées l'une contre l'autre par tous les boutons et les supports des LEDs. Comble de malchance, la collerette du bouton poussoir est de diamètre insuffisant pour masquer les "scories". Aussi, ce que montre la Fig.64 il faut trouver une rondelle parfaitement adaptée comme celle en **R** ... ce qui n'existe pas ! Aussi, pour créer "l'impossible", j'ai décidé de sacrifier l'un des gros boutons poussoir en sillant son corps au raz de la collerette ce que précise la Fig.65, puis la rondelle obtenue a été poncée avec du papier abrasif pour aplanir parfaitement son dessous. Cette opération impose un peu de minutie, mais n'a rien de vraiment difficile. Quand on intercale cette rondelle sous la collerette du petit bouton poussoir, il présente un aspect voisin de celui de ses voisins plus encombrant. Esthétiquement cet artifice est tout à fait acceptable et surtout la grandeur de cette rondelle improvisée est suffisante pour masquer entièrement les débris définitivement coincés sous la plaque

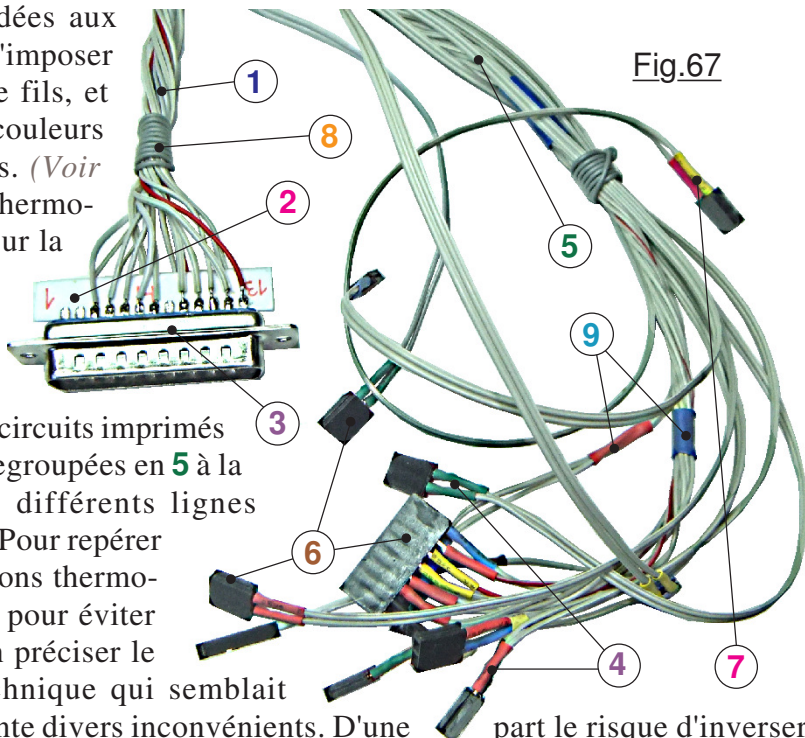


transparente. Comme le montre la Fig.66 ces modifications "scabreuses" se soldent par une réussite technique indéniable. La face dessinée pour que vous puissiez imprimer votre façade a été corrigée en conséquence. Le texte **Normal** est effacé et **Init. pos. 1** a été légèrement descendu pour tenir compte du plus grand diamètre couvert par ce nouveau bouton.

Fig.66

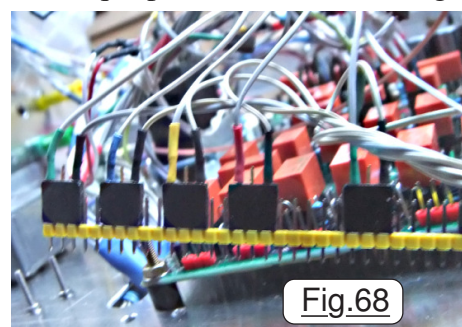
20) Les lignes qui vont de la Face Avant vers l'Unité Centrale.

Pour des raisons de facilité d'assemblage et de dépose de la Face Avant, toutes les lignes de raccordement ont été regroupées et "sortent" latéralement vers l'intérieur de la machine. Le nombre de raccordement à effectuer est considérable vu la quantité d'éléments qui "peuplent" le tableau de maîtrise. Aussi, il importe de se montrer méthodique et discipliné lors du câblage. Quand la façade a été assemblée et que les nombreuses lignes ont été soudées aux composants, la première idée qui semblait s'imposer consistait à "sortir" les lignes par paires de fils, et d'en repérer les connecteurs par l'usage de couleurs pour les gaines qui consolident les soudures. (Voir la Fig.67) Les couleurs de ces manchons thermo-rétractables sont précisées comme montré sur la Fig.1 de la fiche **Câblage du rotor de l'HORLOGE** par exemple. Considérons la Fig.67 sur laquelle on retrouve en 6 les différents connecteurs HE14 individuels qui relient les éléments de la Face Avant aux circuits imprimés de l'Unité Centrale. Toutes ces lignes sont regroupées en 5 à la sortie latérale de la façade. Ensuite les différents lignes "s'éparpillent" avec leur HE14 individuel 6. Pour repérer ces fiches les paires de couleurs des manchons thermo-rétractables 4 sont judicieusement choisies pour éviter de les confondre, et parfois comme en 7 en préciser le sens de branchement. Cette première technique qui semblait efficace lors du début de la réalisation présente divers inconvénients. D'une part le risque d'inverser le sens d'un connecteur ou d'intervertir deux d'entre eux n'est pas totalement exclus. D'autres parts ces nombreuses lignes ne demandent qu'à s'entremêler et accrochent partout lors des manipulations.



➤ Une fausse bonne idée.

Finalement, l'expérience acquise démontre que l'on peut royalement éviter tous ces inconvénients par l'usage d'un connecteur intermédiaire de type DB25 peu onéreux et très fiable. C'est ce que l'on peut observer sur la Fig.67 sur laquelle, un changement de stratégie a consisté à relier toutes les lignes qui restaient à câbler sur la Face Avant à un connecteur intermédiaire (H) dont le branchement est détaillé sur la fiche **Câblage des lignes de liaison de l'U.C.** (4/N). Bien que cette torsade 1 rassemble au moins autant de liaisons individuelles que la tresse 5 elle n'est pas plus encombrante. Noter que pour faciliter le soudage des fils sur la fiche 3 un petit carton épais de repérage des broches 2 est inséré entre ces dernières. Ce petit détail facilite considérablement l'opération de soudage. Ajouter une DB25 sur le statif s'est avéré d'autant plus facile que de nombreux emplacements étaient prévus sur la surface disséminés un peu sur toute l'étendue de la machine. Du coup on reste maître de l'emplacement le plus judicieux. Reste que si l'on doit déposer le circuit imprimé des TRANSITIONS par exemple, une bonne technique consiste à débrancher tous les HE14, et à les insérer provisoirement sur une barrette mâle comme montré sur la Fig.68 pour les "confiner et surtout en conserver l'ordre facilitant leur réimplantation.

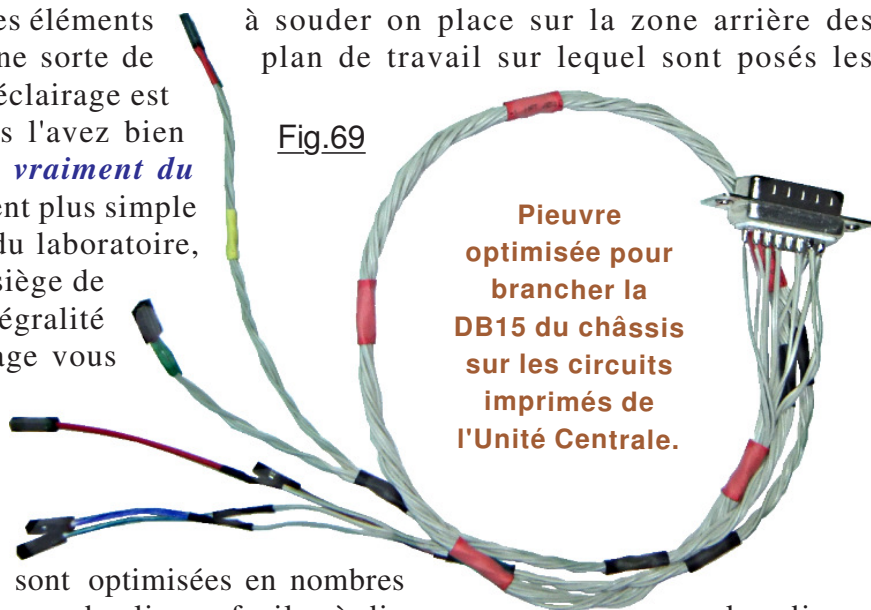


NOTE : Certaines ou certains lecteurs risquent de se demander pourquoi dans quelques cas comme en 8 une torsade est solidarisée par une "queue de cochon", alors d'autres tresses comme en 9 sont compactées par de la gaine thermo-rétractable. La raison est élémentaire. Pour pouvoir utiliser des manchons il importe de ne souder les fils que d'un côté, puis de les torsader, et enfin glisser les bagues thermo-rétractables. Quand la ligne est globalement compactée, alors on termine les soudures de l'autre côté. Par contre, si l'étude n'a pas anticipé l'opération et que l'on se retrouve avec des éléments aux deux extrémités de la ligne, alors il n'est plus possible d'introduire les manchons. Dans ce cas il ne reste plus que la technique des "tortilles en queues de cochon".

➤ **Une vraie bonne idée.**

Quand on passe à la phase de câblage de l'Unité Centrale vers le châssis, on se rend rapidement compte que souder "sur site" confine à une galère bien indigeste. Il faut pouvoir immobiliser les petits connecteurs, puis après soudure rétracteur les manchons de gainage en les chauffant alors qu'ils sont proches de la "chevelure hirsute" des lignes déjà en place sans toucher ces dernières avec la panne du fer à souder. Pour caler les éléments "boîtes de chaussures" pour créer une sorte de éléments à souder. C'est bancal, et l'éclairage est loin de se montrer idéal. Bref, vous l'avez bien compris, *travailler sur site impose vraiment du doigté et de la méthode*. Il est tellement plus simple de manipuler sur le plan de travail du laboratoire, confortablement vautré sur un bon "siège de dactylo". Aussi, maintenant que l'intégralité des schémas et des dessins de câblage vous sont fournis, *orientez votre démarche le plus possible vers des "grappes" de fils indépendantes* comme celle de la Fig.69 faciles ensuite à implanter sur la machine.

Fig.69



Noter au passage que les torsades sont optimisées en nombres de fils de façon, sur la machine, à former des lignes faciles à disperser sur les divers connecteurs HE14. Les longueurs de ces lignes sont également optimisées à la demande pour octroyer assez de souplesse en évitant des longueurs exagérées.

21) Les photographies pour le PUPITRE et la Face Avant :

Cette étape de la réalisation, comme toutes les autres, a donné lieu à diverses saisies préservées dans le dossier bien rempli <07) PUPITRE et Face Avant> de la <Galerie d'IMAGES> qui est organisé en quatre sous-répertoires que l'on va rapidement passer en revue :

➤ **A) PUPITRE.**

Confectionné par mes techniques habituelles de matérialisation de coffrets électroniques en polystyrène choc, IMAGE 226.JPG en montre une vue de dessus. L'esthétique est directement fonction du bon centrage des trous de passage avec les boutons poussoir. Ce n'est pas si facile à satisfaire qu'il n'y paraît, car le circuit imprimé d'IMAGE 219.JPG est immobilisé sur la semelle bien visible sur IMAGE 225.JPG qui elle même s'emboîte sur le coffret d'IMAGE 124.JPG. L'assemblage étant effectif, il faut en outre que tous les boutons poussoir soient parfaitement soudés bien verticaux. L'expérience montre que plus le jeu entre orifice de passage et cabochon est faible, plus belle est la finition. Le coffret étant un peu long, il est préférable de renforcer l'ensemble par la présence de la petite équerre d'IMAGE 218.JPG dont les trous pour les deux vis d'IMAGE 223.JPG sont taraudés car inaccessibles de l'extérieur. L'équerre étant en aluminium, en serrant trop fortement une vis métallique on pourrait en arracher le filetage. C'est la raison pour laquelle les vis sont en Nylon et servent de "fusible" mécanique. Il sera en effet bien plus facile de remplacer une vis cisailée qu'avoir à refaire entièrement cette petite équerre. La LED de la photographie IMAGE 220.JPG atteste du branchement correct du PUPITRE sur la DC37, et IMAGE 221.JPG présente l'ensemble achevé.

➤ **B) La façade.**

Assurément une étape assez laborieuse du projet dont la difficulté réside dans l'usage de la plaque translucide d'IMAGE 227.JPG et d'IMAGE 228.JPG qui recouvre les sérigraphies imprimées d'IMAGE 229.JPG et d'IMAGE 230.JPG. Longuement explicitée dans le chapitre n°16 donné en page 30, on alèse les trous à la fois dans la plaque transparente et dans la plaque support en polystyrène choc de l'IMAGE 234.JPG. C'est sur cette plaque que l'on soude avec du diluant cellulosique le bossage l'IMAGE 231.JPG sur lequel s'immobilise le circuit imprimé de la diode électroluminescente rouge de diamètre 10mm montrée sur IMAGE 232.JPG. La vis de

liaison qui fixe le petit circuit imprimé est de type F90 et sa tête ne doit surtout pas dépasser car elle est du côté étiquette. Comme elle ne doit surtout pas se desserrer quand on place l'écrou, le trou de passage dans le bossage est taraudé, et la vis est collée lors de sa mise en place par du vernis à ongle ce que montre [IMAGE 233.JPG](#). Les photographies [IMAGE 235.JPG](#) à [IMAGE 238.JPG](#) présentent les étapes d'alésage des trous de traversée. Dès qu'un orifice de passage est terminé, on y introduit l'élément qui le concerne. Ainsi en contre-perçant chaque trou on assure la coïncidence entre les deux plaques, et surtout, par leur introduction on s'assure du montage simultané de tous les composants. Quand on parvient au résultat des [IMAGE 239.JPG](#) à [IMAGE 242.JPG](#) on peut vraiment "crier victoire". Enfin, [IMAGE 243.JPG](#) à [IMAGE 245.JPG](#) sont relative au bridage du galvanomètre qui en assure son rétro-éclairage, alors qu'[IMAGE 246.JPG](#) prouve que le virtuel de l'ordinateur peut aboutir à une concrétisation très proche de ce que désire le concepteur. La lunette et l'aiguille sont façonnées dans une plaque d'aluminium de faible épaisseur ... et de récupération !

➤ C) Le support vertical métallique.

Pièce maîtresse de la structure de la machine, il supporte la façade, les deux rotors et les divers circuits imprimés de l'unité centrale. La difficulté de conception réside dans le fait qu'il y a des composants des deux côtés, et qu'il faut pouvoir les assembler et les déposer à convenance, ce qui pose un problème sérieux de répartition. De plus, la motorisation des deux rotors impose des emplacements dictés par des raisons esthétiques de présentation du tableau de maîtrise. La première étape consiste à implanter la motorisation des deux rotors, ainsi que celle des Switchs associés. Conduire cette opération avec précision est facilitée par l'usage du petit outil en carton de la photographie [IMAGE 247.JPG](#), alors qu'[IMAGE 248.JPG](#) à [IMAGE 250.JPG](#) montrent l'évolution des travaux. Le moment est venu de commencer l'assemblage des nombreux composants :

➤ D) Intervenir sur la Face Avant.

Assembler les divers éléments et relier des connecteurs HE14 entre eux est bien plus commode quand la plaque est posée à l'horizontale sur le plan de travail. Encore faut-il pouvoir la retourner sans risquer d'abîmer les composants. Une simple équerre comme celle d'[IMAGE 251.JPG](#) assemblée provisoirement avec deux entretoises de l'autre côté assurent cette protection. Tant que la plaque verticale n'est pas reliée rigidement à l'unité de lecture des feuilles perforées, il faut la maintenir rigidement avec la jambe de force temporaire d'[IMAGE 252.JPG](#). Saisie aux débuts de l'intégration des systèmes, la photographie d'[IMAGE 253.JPG](#) montre que la Face Avant était maintenue en haut sur la plaque métallique par une petite équerre, mais simplement posée sur une boîte en carton à sa partie inférieure. Cette pratique scabreuse a rapidement été remplacée par l'usage de l'outil d'[IMAGE 255.JPG](#) qui s'immobilise sur le STATIF. On aboutit à l'[IMAGE 254.JPG](#) nettement plus raisonnable. Bien calée par deux entretoises comme celles d'[IMAGE 256.JPG](#) et d'[IMAGE 258.JPG](#) l'ensemble est cohérent. On peut même à la demande déplacer la machine sans problème. L'outil utilise un profilé en équerre bien rigide, que montre clairement [IMAGE 259.JPG](#). La mise au point et les essais de validation sont grandement facilités par le poste de travail d'[IMAGE 260.JPG](#).

22) Le câblage de l'Unité Centrale :

Opération cruciale car le nombre de liaisons à concrétiser avec le reste de la machine est considérable. C'est dans <08) Unité Centrale> que l'on trouve les quatre dossiers relatant cette étape. Bien que ne faisant pas partie de l'Unité Centrale à proprement parler, les photographies concernant les alimentations (*Conjoncteur et Disjoncteur d'intensité.*) sont incluses dans ce dossier, car leurs circuits imprimés sont assemblés sur la grande plaque verticale métallique.

➤ A) L'HORLOGE.

Entité indispensable à tout ordinateur, [IMAGE 262.JPG](#) en montre l'aspect terminé, et souligne au passage en jaune l'importance de dégager tous les trous de passage des vis longues d'assemblage de la façade. Les vues [IMAGE 263.JPG](#) à [IMAGE 266.JPG](#) présentent le circuit imprimé de gestion de l'horloge. Sur [IMAGE 261.JPG](#) on peut observer le rotor des TRANSITIONS. Compte tenu du nombre de liaisons à réaliser, il est fortement recommandé de câbler couche par couche en commençant par la plus proche du support métallique et en terminant par celle de

pilotage du moteur de sélection des états. La densité des fils est très importante, il faut impérativement soigner les torsades et veiller au moyen de "queues de cochon" à bien solidariser certains fils et surtout vérifier que tous les trous de liaison avec la face avant sont bien dégagés.

➤ B) Le dernier C.I. de complément.

Ajouté tardivement à la machine lors de la découverte du **Premier problème** abordé en page 34 du document **Présentation électrique 2.pdf** ce circuit devait trouver sa place dans un endroit libre sur le châssis. C'est au final sous les circuits de l'**Unité Centrale** qu'une zone suffisante restait disponible. Les vues **IMAGE 267.JPG** à **IMAGE 269.JPG** sont largement suffisantes pour détailler cette phase ultime de mise en service et de mise au point de la machine.

➤ C) Conjoncteur Disjoncteur.

Disposé verticalement en haut à gauche de la plaque métallique verticale, ce circuit imprimé visible sur **IMAGE 284.JPG** gère l'alimentation, et en particulier des deux boutons **MA** et **AR**. Détaillé sur les trois photographies d'**IMAGE 270.JPG** à **IMAGE 272.JPG** c'est l'un des tout premiers à avoir été réalisé pour protéger l'ensemble de la circuiterie contre les court-circuits intempestifs. Ce n'est pas lui qui gère les dépassements de courant électrique, mais il est chargé d'assurer la coupure d'énergie par l'entremise du petit relais bleu conçu pour des énergies élevées. Enfin, c'est ce relais de puissance qui sera également sollicité pour suspendre le fonctionnement de la machine en cas d'erreur de programme de type **ER1** ou **ER2**.

➤ D) Disjoncteur d'intensité.

Fonction vitale, ce module protège la machine contre les surintensités. Dans la pratique, ce sont surtout des courts-circuits intempestifs qui ont perturbé le cours du développement. En effet, les nombreux fils "volants" sur des plaques d'essai pouvaient se débrancher ou échapper des mains. Dans un tel cas vous pouvez être certain que la partie dénudée touchera forcément un composant de polarité contraire. Par ailleurs, que ce soit sur erreur de conception ou de branchement des nombreux fils sur les platines d'essai, il n'est pas rare du tout d'avoir provoqué involontairement (*On s'en doute !*) des courts-circuits dans les contacts des relais. Ce circuit imprimé a sauvé de nombreuses fois les composants critiques. Les **IMAGE 273.JPG** à **IMAGE 280.JPG** présentent pas à pas la réalisation de ce circuit indispensable avec de nombreuses vues en gros plan.

Provoquer volontairement une surintensité reste un passage obligé si l'on veut garantir le bon fonctionnement du disjoncteur. Cette vérification soumet le relais de puissance à un fort courant durant un court instant, c'est à dire le temps de réaction du système. Quand on déclenche le processus, la tension de 12V est shuntée par la résistance de 1Ω de mesure d'intensité. L'impulsion de courant est très courte mais avoisine 12A et le bouton poussoir n'est prévu que pour 3A. Il importe donc de limiter ce type de vérification uniquement lors des "grandes visites" de maintenance. L'efficacité du circuit de vérification du disjoncteur ne sera effective que si les lignes électriques servant à créer le courant de pointe soient réalisées avec des fils de forte section ce que montrent les trois photographies **IMAGE 280.JPG** à **IMAGE 282.JPG** rangées à part dans le dossier **<Test du DISJONCTEUR>**.

➤ E) Éclairage dans la Matrice.

Ouvrir un chapitre juste pour ce petit détail n'est pas très "rentable". Aussi, bien que l'éclairage interne de la MATRICE ne soit en rien lié à l'**Unité Centrale**, ce chapitre est ajouté en "parasite" aux autres qui sont ici plus pertinents. Normalement, lorsqu'une feuille de programme glisse jusque sur les deux butées inférieures, elle doit se trouver correctement positionnée en hauteur. Il est toutefois sage de le vérifier, avant de verrouiller les leviers de pressage et d'activer un processus de déroulement automatique. Hors le haut du dispositif ne présente qu'une ouverture de faible largeur, et pour peu qu'il fasse un peu sombre dans le local, on ne voit pas grand chose. Aussi, les quatre LEDs de diamètre 3mm montrées sur **IMAGE 284.JPG** à **IMAGE 287.JPG** éliminent radicalement cet inconvénient. Cette petite amélioration qualitative n'est arrivée que tardivement. Aussi, la seule place qui restait disponible se trouvait sur le circuit imprimé des palpeurs du haut. Ces quatre diodes électroluminescentes sont mises en série et présentent une consommation "ridicule". Aussi, l'interrupteur qui permet de les éteindre n'est pas vraiment utile, on peut s'en passer.

➤ 09) Machine terminée.

Avec les images logées dans <09) Machine terminée> du dossier <Galerie d'IMAGES> on va faire un petit tour de "découverte du propriétaire". Sur les photographies d'IMAGE 288.JPG, IMAGE 289.JPG, IMAGE 291.JPG et IMAGE 293.JPG la machine est dans sa configuration de transport ou de rangement, alors que sur IMAGE 290.JPG le protecteur est enlevé pour sa mise en service. Elle n'est pas entièrement opérationnelle, car la clef qui permet de libérer les efforts sur le pivot du BARILLET n'est pas dans son logement. Sur IMAGE 292.JPG le crochet double maintien en hauteur le levier de verrouillage du bas. Ainsi il ne dépasse pas du châssis et la machine occupe moins de place en profondeur pour la remiser. Sur la photographie d'IMAGE 291.JPG on distingue nettement le bouton poussoir protégé du RESET de la carte Arduino NANO, ainsi que l'inverseur qui active ou coupe l'éclairage dans le lecteur de feuilles perforées. Ces deux commandes sont situées sur le profilé qui lie rigidement le haut de la face avant au corps de la matrice.

23) Techniques de câblage :

L'expérience acquise au cours de plusieurs décennies de réalisations électronique a dégagé une foule de petites idées qui facilitent le travail de soudage. Bien que certaines photographies préservées dans le sous-répertoire <10) Techniques de câblage> ajouté dans la <Galerie d'IMAGES> sont spécifiques à ce projet, globalement les méthodes employées restent assez générales et seront applicables pour n'importe quel autre réalisation. Notons au passage, que deux picots sur la Fig.70 sont coupés sur les barrettes support des relais. Ainsi, ils ne dépassent pas du circuit imprimé, facilitant comme sur IMAGE 296.JPG le passage de fils entre les broches voisines. En général, le problème le plus rencontré consiste à immobiliser les éléments à souder.

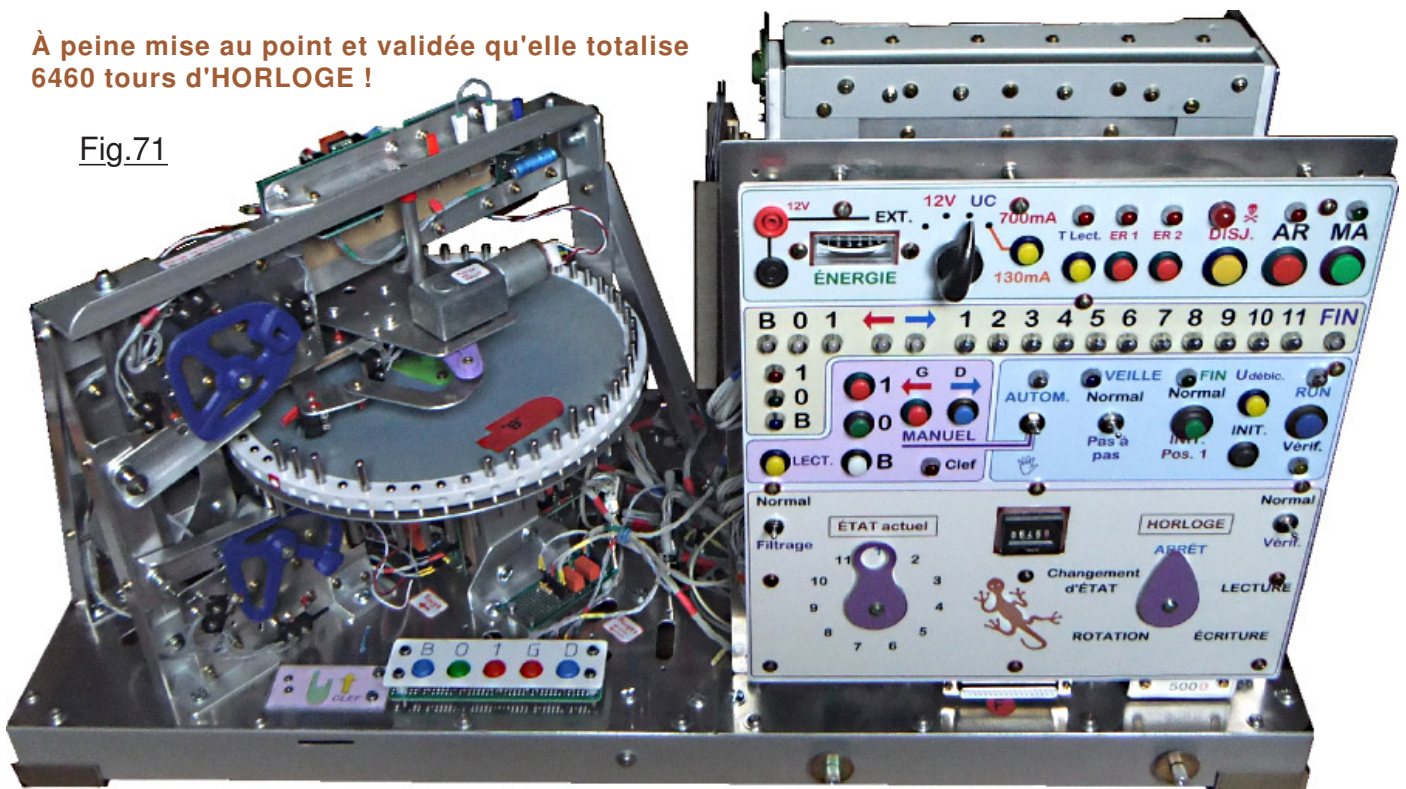
Fig.70



Pour refermer la parenthèse de cet imposant document sur la concrétisation de la Machine de Turing, dans le dossier <11) Grille de tests> on trouve de nombreuses vues relatives à la feuille perforée qui est pourvue des 561 orifices possibles. Quand cette feuille de programme est engagée dans la MATRICE, elle ne contient pas un algorithme. Sont utilisation en AUTOM provoquerait immédiatement une ER1. C'est avec le PUPITRE qu'elle doit servir. On peut alors vérifier que l'intégralité des 561 palpeurs est en contact avec la Contre-Matrice quand le lecteur est verrouillé. Il s'agit donc d'un outil de maintenance.

À peine mise au point et validée qu'elle totalise 6460 tours d'HORLOGE !

Fig.71



24) 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. Cette machine qui confine plus à une œuvre d'art qu'à un ordinateur mécanique 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 d'erreurs de conception et de "regrets" :

- Initialement j'ai commandé des moteurs à 30RPM et à 40RPM ne sachant pas lesquels seraient utilisables. L'expérience a montré que le 40RPM est préférable pour tous les modules car il augmente la rapidité d'un cycle machine. Donc si c'était à refaire je n'utiliserais que des 40RPM bien que dans ce descriptif je les mentionne tous car ils ont été validés. Ma machine sera un peu plus lente que la votre !
- Il existe des moteurs réducteurs qui dans la série de ceux utilisés sur le prototype sont plus rapides. Si c'était à refaire, pour les deux unités d'écriture j'adopterais de tels exemplaires pour augmenter la vitesse de fonctionnement de la machine. *(La pertinence reste naturellement à être démontrée.)*
- **Le relais du ET logique pour la gestion de l'ACR des moteurs d'écriture n'est pas vraiment utile.** Il suffit de modifier les deux circuits d'écriture pour mettre en série les deux sections propageant GND.
- Le développement a été très long, et forcément avec les semaines qui passent, j'ai oublié certains points importants. Par exemple le bouton poussoir jaune situé sous la LED de **ER1** n'est absolument pas indispensable, en fait dans les protocoles j'avais prévu d'effacer l'erreur avec le bouton poussoir **AR**. On peut donc se passer de ce dernier. Ceci dit, ce n'est pas dramatique, car il y a alors homogénéité de traitement pour les trois types d'erreurs où l'on se contentera de cliquer sur le bouton situé sous la LED.
- Le bouton nommé **Udblc** à proximité de **RUN** ainsi que celui situé sous la LED nommée **Tlect** ont radicalement changé de fonction. Du coup, les inscriptions sur le tableau de maîtrise ne sont plus évocatrices de leurs usages réels. Trop tard, il n'était plus possible de tout redémonter. Vous avez de la chance, car sur les étiquettes à imprimer fournies ces verrues sont corrigées. Il en est de même pour les calibres d'intensité du sélecteur pour le galvanomètre qui correspondent à la dernière version.
- 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 étalé partout des **Switchs**, et sur la belle façade inscrit **RUN** au lieu d'**Exécution**. Dommage ! *je plaide toutefois non coupable*, car cette verrue se justifie toutefois par le manque de place disponible sur la Face Avant dans cette zone.
- Avec l'expérience actuelle, je choisirais la couleur des connecteurs HE14 de façon plus "homogène" en fonction de leur type de raccordement alors que sur les circuits imprimés ... c'est "artistique".

Peu importe ces petites tracasseries. Ne boudons pas pour autant notre plaisir. Notre ordinateur mécanique est bien vivant et le voir fonctionner en agitant tous ces mécanismes reste vraiment étonnant. Quand je le 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 système aussi ringard dans sa technologie, aussi rudimentaire, les invités sont toujours séduits et ravis. La magie apportée par cet ensemble "historique" à la mémoire d'un mathématicien de génie, d'une personne qui a révolutionné définitivement le monde du traitement des informations, et que l'humanité a traité comme un paria méritait bien un tel hommage. Merci infiniment cher Alan ... 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 pour embellir la monotonie de la routine journalière.

