

Machine de TURING

Partie n°2 : CONCEPTION ÉLECTROTECHNIQUE

Suite de la **Partie n°1**. En toute logique la présentation électrique ne devrait engendrer qu'un seul fichier. Il se trouve que le logiciel de P.A.O. utilisé pour rédiger ce didacticiel a plus de quarante années, et a été acheté lorsque la mémoire des ordinateurs était inférieure à 10Mo. Bien qu'il ne fonctionne plus sous Windows 10, utilisé sur un ancien P.C. il fait toujours merveille, à tel point qu'il est encore bien plus efficient que WORD par exemple. Toutefois, quand le fichier sauvegardé commence à dépasser les 600Mo, il commence à perdre pied. C'est la raison pour laquelle ce document est scindé en deux fichiers. C'est donc la suite sans restriction de la **Partie N°1**.

10) L'HORLOGE de synchronisation.

Aucun microcontrôleur, gros processeur quintuple cœur, ordinateur cellulaire ou machine de Turing ne saurait se passer de ce chef d'orchestre incontournable qui fédère l'intégralité des acteurs. Si chaque musicien déroule sa partition sans tenir compte des autres instruments, la magnifique symphonie tourne au désastre, à la cacophonie. Même punition si les différentes fonctions de notre mécanique ordinatrice se déclenchent à leur guise. L'écriture viendra écraser le levier oscillant en cours de lecture, et tout va se coincer car le carrousel pour son compte danse une frénétique Zumba. L'HORLOGE système va cadencer une séquence immuable avec en première action une **LECTURE inconditionnelle** du pion situé dans le plan de la tête d'écriture. Chaque module fonctionnel est déclenché par l'HORLOGE. Quand il a terminé sa séquence, il informe cette dernière que le module suivant peut être à son tour sollicité. En fonction de l'état du BIT testé par la LECTURE, les actions qui suivent seront éventuellement validées par le programme inscrit sur la feuille perforée. L'HORLOGE va alors activer l'unité d'**ÉCRITURE si le programme l'autorise**. Si c'est le cas, le maître de ce ballet immuable va **attendre l'accusé de réception** de la fonction en cours. (*Si plusieurs états sont perforés pour l'ÉCRITURE, immédiatement la sécurité va se déclencher et couper l'énergie de puissance.*) **Si la fonction "pointée" n'est pas sollicitée dans le programme, l'HORLOGE passe au module suivant sans s'immobiliser**. C'est alors la rotation du barillet qui sera prise en compte, à condition toutefois que ce soit prévu dans la feuille perforée. La ROTATION du carrousel sera alors engagée dans un sens ou dans l'autre en fonction de la position du trou perforé dans l'une des deux colonnes des MOUVEMENTS. (*Si deux trous sont présents, c'est qu'il y a une erreur de programme, dans ce cas le sens prioritaire vers la droite sera déclenché.*) Quand le déplacement est achevé, ou ignoré si non programmé, c'est alors le commutateur sélecteur des TRANSITIONS qui sera à son tour invoqué. (*Ou ignoré.*) Si en fin d'**un tel cycle ordonné** qui **réalise une instruction**, la fin de programme n'est pas détectée dans l'ÉTAT actuel de la machine, alors l'HORLOGE va recommencer cette cascade d'action, et ce jusqu'à l'infini si le programme boucle sans fin, incident redouté par tout programmeur expérimenté.

NOTE : Il serait tout à fait possible de simplifier l'architecture matérielle en optant pour un "**fonctionnement en aveugle**". Dans ce cas, l'HORLOGE tourne à vitesse constante et l'on accorde à chaque poste un laps de temps identique pour réaliser sa séquence spécifique. Pour que ce type d'approche soit acceptable, **il faut accorder à toutes les fonctions une durée identique égale à celle exigée par la plus lente**, plus une petite marge temporelle pour s'assurer qu'il n'y aura pas d'interférence. Pour notre machine de Turing cette **approche est tout à fait inacceptable car elle aboutit à des temps d'exécution vraiment trop prohibitifs**. Nous allons compliquer de façon significative le schéma électrique de l'HORLOGE, la "performance" étant à ce prix.



L'est vraiment bizarre autant qu'étrange cette machine truc, ça fait déjà trois semaines qu'elle mouline tous les pions et ne s'arrête pas ! Pourtant mon Alo go rythme est génial, j'en suis certaine !

➤ Principe de la "poignée de main".

Lorsque un système automatique ne fonctionne pas en aveugle, et que les différentes entités qui le constituent échangent des informations pour établir une synchronisation globale du fonctionnement, on parle de *"poignée de main"*. Nous devons dans ce cas organiser un *alternat* avec deux entités qui vont permuter régulièrement leur comportement entre *parleur* et *écouteur* :

- La fonction est à l'écoute et se tourne les pouces. (*Façon de formuler, car elle est inerte.*)
- L'HORLOGE parle : *"Commence ta séquence"*.
- L'HORLOGE passe à l'écoute et attend l'ACcusé de Réception ACR.
- La fonction déroule puis termine sa séquence. Ensuite elle parle à son tour : *"J'ai terminé et je suis en configuration dégagée"*.
- L'HORLOGE va alors aller dialoguer avec le module suivant ou l'ignorer en fonction du PGM.

Ce "bavardage" mécanique prend la forme matérielle suivante :

Initialement la *came* 5 est en orientation verticale en **1** sur la position **ARRET**. On déclenche alors le déroulement d'un programme, et la *came* 5 se met à tourner dans le sens **2**. Puis en **3** *"Commence ta séquence"* revient à fournir l'état **GND** au **Switch** n°N concerné qui active le **Début de Séquence** assez longtemps pour que le **Switch** n°N impliqué qui signale la **Fin de Séquence** passe au repos.

Comme l'HORLOGE est alimentée par le contact travail **T** de ce dernier, elle s'immobilise alors en **4**. Puis, la fonction en cours termine sa séquence en faisant repasser le **Switch** n°N qui signale la **Fin de séquence** au travail. C'est l'équivalent du *"J'ai terminé et je suis en configuration dégagée"*. Le moteur de l'HORLOGE est à nouveau alimenté et la *came* va poursuivre sa rotation dans le sens **2** jusqu'à la prochaine fonction dans le cycle de l'instruction qui sera alors traitée à son tour. Ce cycle immuable va se poursuivre jusqu'à ce que la consigne de fin de programme vienne configurer la machine pour la replacer en mode veille dans l'orientation **1**, ou si durant le déroulement des instructions une panne ou un incident se produit.

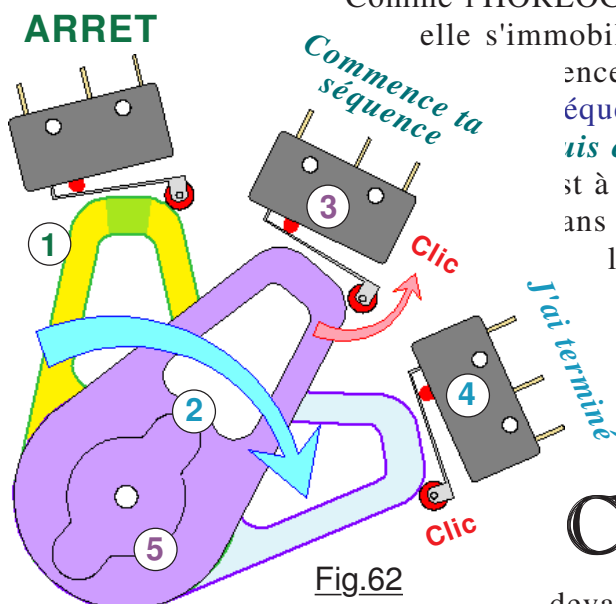


Fig.62

diverses unités puissent fonctionner correctement, nous avons vu que la durée de cette impulsion à l'état électrique **GND** doit être suffisante pour que le capteur de fin de traitement **Switch** n°N

impliqué puisse *passer au repos*. Dans ce but, le secteur colorée par du vert pastel en **1** de la Fig.62 et sur la Fig.63 présente un profil périphérique circulaire centré sur l'arbre de rotation de la *came* 5. Le capteur **3** passe à l'état travail durant le balayage de l'angle ϕ d'environ 17° étudié pour générer une durée suffisante pour toutes les fonctions d'une instruction. La poignée de main pour une fonction fait donc appel à une paire de **Switch** séparés d'un angle suffisant pour que celui de début de séquence soit passé au repos bien avant que celui d'attente de l'accusé de réception ne passe au travail. Comme l'unité HORLOGE intègre neuf capteurs au total, ils ont été répartis uniformément sur la périphérie du dispositif. L'angle balayé entre deux **Switch** fait 40° et convient parfaitement. Comme cette *came* tourne toujours dans le sens horaire, des capteurs simples sans le galet seraient tout à fait utilisables. J'ai toutefois préféré des modèles à roulette pour des raisons de fiabilité. La *came* est en PLA, un matériau qui reste légèrement sensible à l'abrasion. Par ailleurs, l'HORLOGE est l'unité la plus sollicitée de la machine. Aussi, pour des raisons de fiabilité le choix technique s'est orienté vers les

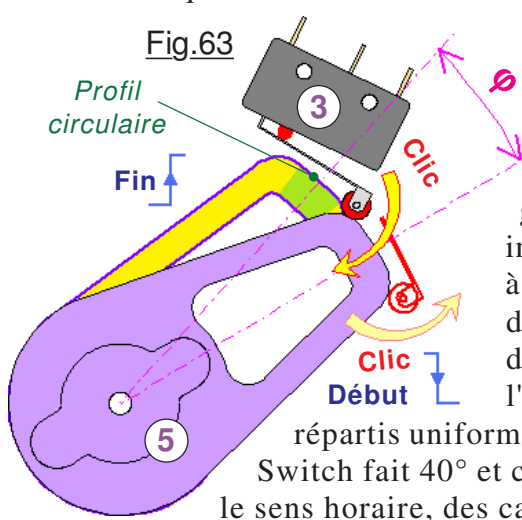


Fig.63

références avec galet, option n'ayant qu'une influence dérisoire sur le coût d'approvisionnement. Cette approche sera réitérée pour le commutateur des états dans la table des TRANSITIONS.

➤ Vitesse et précipitation !

Parfois un petit calcul peut éviter bien des tourments. Durant le développement, la came représentée sur la Fig.62 présente un contour extérieur qui active le Switch sur un angle de rotation d'environ 17°. Sur les dessins cette valeur semble importante. Lors des essais, j'ai utilisé le moteur / réducteur le plus lent disponible qui tourne à 30tr/min. **Déception !** Manifestement **le temps de l'impulsion de départ est nettement insuffisant et le système ne fonctionnait pas.**

Avec 30tr/min, la came fait un tour en 2S. Avec un angle ϕ de 17° la durée de l'impulsion de départ fait $2 / 360 * 17$ soit 0,09S ce qui est bien trop faible. Ce simple petit calcul aurait démontré cette insuffisance et aurait évité de mouler cette belle pièce pour rien. Qu'à cela ne tienne. On multiplie la durée par environ trois, on étudie une nouvelle came en élargissant son profil.



On passe de la came **A** sur la Fig.64 à celle de forme **B** avec un angle balayé pour ϕ de 55°. L'impulsion fait maintenant 0,3S et le déclenchement se produit correctement. **Ben ... poubelle cette belle nouvelle pièce violette.** En effet, avec cette nouvelle forme, même en plaçant les comes les plus proches possible les unes des autres, il devient impossible de placer les quatre paires de capteurs. Ici aussi une petite étude géométrique aurait facilement montré l'impossibilité. Bref, c'est l'impasse. Seule solution, commander un moteur/réducteur qui tourne à 10tr/min. Il existe dans la liste des propositions commerciales. Mais cette solution ne me séduisait pas du tout, autant pour des raisons de coût que de délais d'attente en approvisionnement. C'est alors que LA

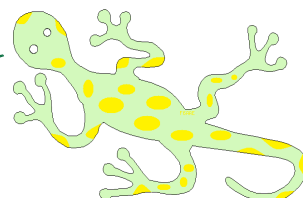
solution a émergé de cette "tourmente". Il suffit d'insérer une résistance entre le +12Vcc et le moteur. Avec trois résistances en série de 47Ω on transforme le dispositif en une poussive motorisation qui tourne lentement et n'a plus qu'un couple faible. Le moteur cale dès que l'on force sur l'arbre de sortie.

Cette approche présente toutefois bien des avantages. Comme les Switchs n'exigent que de faibles efforts pour les activer, le couple de sorti reste largement suffisant. La vitesse est optimisée pour garantir le bon fonctionnement pour tous les modules, sachant que celui qui exige l'impulsion la plus longue est la fonction rotation du carrousel. La surintensité de démarrage n'existe plus et la consommation devient dérisoire. Enfin, au plus petit incident mécanique le moteur cale et peut rester dans cette configuration sans risque car l'intensité permanente fait moins de 70mA. Enfin, j'utilise trois résistances de 47Ω pour des raisons de disponibilité. Le courant étant faible elles ne chauffent pas et des modèles 1/4W sont suffisants. OUF ... un autre problème de résolu !

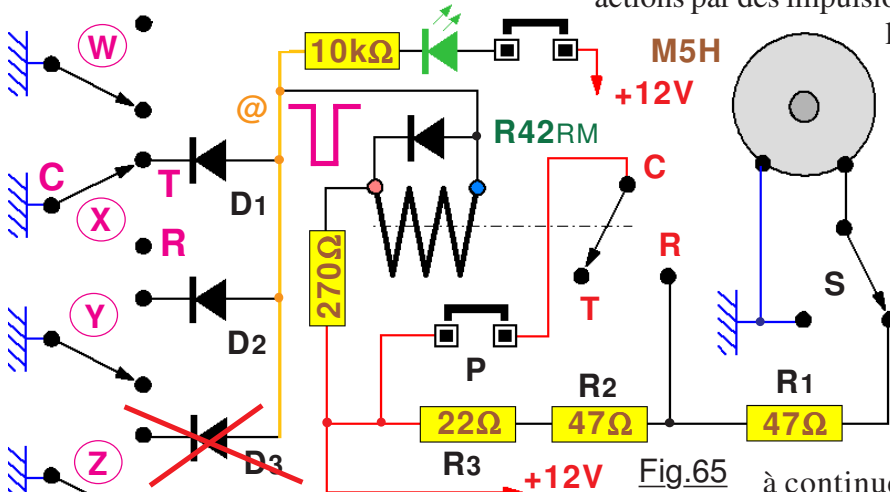
➤ Dépasser la vitesse autorisée.

Force est de constater que pour déclencher avec certitude une rotation du carrousel, la came pour faire un tour d'HORLOGE se traîne lamentablement. Hors l'angle balayé pour passer du capteur de déclenchement à celui d'attente de l'accusé de réception reste faible. Ralentir la came sur 360° n'est vraiment pas une bonne solution. C'est comme imposer du 30km/h à la fois en ville et en rase campagne. D'où l'idée d'un accélérateur automatique. L'activation des Switchs de déclenchement se fait sur environ 17°. Soit pour un cycle complet 84°, c'est à dire à peine un quart du temps. On conçoit aisément que faire "cavaler" le moteur le reste du temps constitue un avantage substantiel. Plus exactement, **on ne va ralentir le moteur de l'HORLOGE que durant l'impulsion de début de séquence envoyée**, c'est à dire tant que le contact du Switch de déclenchement de séquence est à l'état travail. Sur la Fig.65 on peut constater qu'au prix d'un Relais pour le Ralentissement Moteur, de quatre résistances et de cinq diodes, on va

Hé bé, j'y comprend rien à cette Horloge !
Comment il fait le Nulentout pour y lire l'heure ?



pouvoir "rouler" à toute vitesse. Sur ce schéma la section des contacts **S** est celle du relais qui fait tourner le Moteur n°5 de l'Horloge. Les sections **W**, **X**, **Y** et **Z** sont celles des divers Switchs qui déclenchent les actions par des impulsions "négatives". Supposons, comme c'est



le cas sur le schéma, que le Switch **X** tente de déclencher une séquence, qu'elle soit ou non validée par la feuille perforée de la MATRICE. Recevant **GND** sur son point froid le relais **R42RM** passe à l'état travail **T** durant toute l'impulsion. Les résistances **R2** et **R3** ne sont plus shuntées. Le moteur **M5H** est alors alimenté depuis le **+12V** à travers la chaîne **R1 + R2 + R3** soit **116Ω**. Avec un tel frein en courant il arrive

à continuer sur sa lancée, mais il "se traîne". La

vitesse de rotation de la came est lente et les démarrages de séquence se font correctement. Dès que l'impulsion de démarrage est terminée, le point froid de **R42RM** n'est plus au potentiel de **GND** et il repasse au repos **R**. Immédiatement **R2** et **R3** sont shuntées et la rotation redevient rapide. Noter qu'en permanence **R1** de **47Ω** reste en série. Le ralentissement qu'elle provoque n'est pas appréciable, en revanche elle limite la consommation et surtout les appels de courant. Si on retire le pont **P** de son connecteur HE14, le moteur **M5H** tourne en permanence au ralenti. Ce n'est qu'une option pour la maintenance qui facilite ainsi les observations sur la machine en action. Les diodes **D1** à **D2** autorisent chaque section **X** à **Z** propager **GND** vers le point froid de **R42RM** sans pour autant déclencher des actions intempestives sur les trois autres sections. **NOTE : Actuellement la TRANSITION est traitée de façon différente par la carte Arduino, pour gérer l'ER 2 et Z et D3 sont inutilisés.**

➤ Chaque module parle son patois local.

P alabrer, dialoguer, échanger une poignée de main suppose un langage commun. Aussi, la théorie de la Fig.62 occulte une complexité cachée. En effet, chaque module de la machine est différent et présente des spécificités. Il faut concilier ces "langues locales" dans un circuit d'HORLOGE global en adaptant les niveaux **GND** et les **+12V** issus de la MATRICE échangés entre parleur et écouteur, le schéma adopté étant un véritable interprète électrique. C'est particulièrement vrai pour le sélecteur des TRANSITIONS dont il sera question dans le prochain chapitre. Ce circuit va donc intégrer deux "sections" bien distinctes. Une partie pour Déclencher ou ignorer une séquence fonctionnelle, l'autre pour gérer l'ACcisé de Réception ACR assurant la "poignée de main". Nous allons passer en revue la poignée de main pour chaque module fonctionnel.

NOTE IMPORTANTE : Par agencement de la MATRICE de programme et du sens des diodes, cette dernière fournit du **+12v** sur la sortie concernée si l'action doit se produire. Comme le pilotage doit se faire sur le coté "négatif" du relais, il faudrait comme montré sur la Fig.3 inverser les signaux, ce qui imposerait la présence d'un relais **RIS** d'Inversion de Signal sur chacune des sorties concernées de la Matrice de programme. Pour éviter d'avoir à ajouter ainsi une kyrielle de relais, on se contentera quand c'est possible de ne pas relier le point chaud du relais piloté directement au **+12v** mais à la sortie de la Matrice de programme. Du coup, ce relais ne pourra passer au travail que s'il est validé sur son point chaud et réuni à **GND** par le système de déclenchement des actions. Seul le relais pilotant la fonction LECTURE sera relié directement au **+12v** car cette fonction est systématique pour chaque instruction.



Ben Môa môa je prétends que "un patois local" ... c'est un pléonasme !

➤ Synoptique de l'HORLOGE système.

A vant d'examiner point par point comment chaque fonction d'un cycle d'instruction réalise sa "poignée de main", prenons un peu de recul sur la Fig.66 qui met en évidence deux "colonnes" structurales. Celle relative aux **capteurs de déclenchement des actions** si elles sont programmées sur la feuille perforée, et celle des **Switchs d'attente des ACcusés de Réception ACR**. Sur ce dessins deux **came** violettes sont représentées, mais dans la pratique c'est la même qui agit sur l'ensemble de ces capteurs disposées tout le tour de la zone balayée en rotation. Globalement, la chronologie du fonctionnement de l'horloge est la suivante : Quand on active le début d'un programme, la section **C5-T5** du "RUN" passe au travail propageant **GND** à la base de la "ligne d'attente des ACR. Immédiatement le moteur de la **came** d'HORLOGE se met à tourner et active de façon inconditionnelle en **W** le module de LECTURE. En

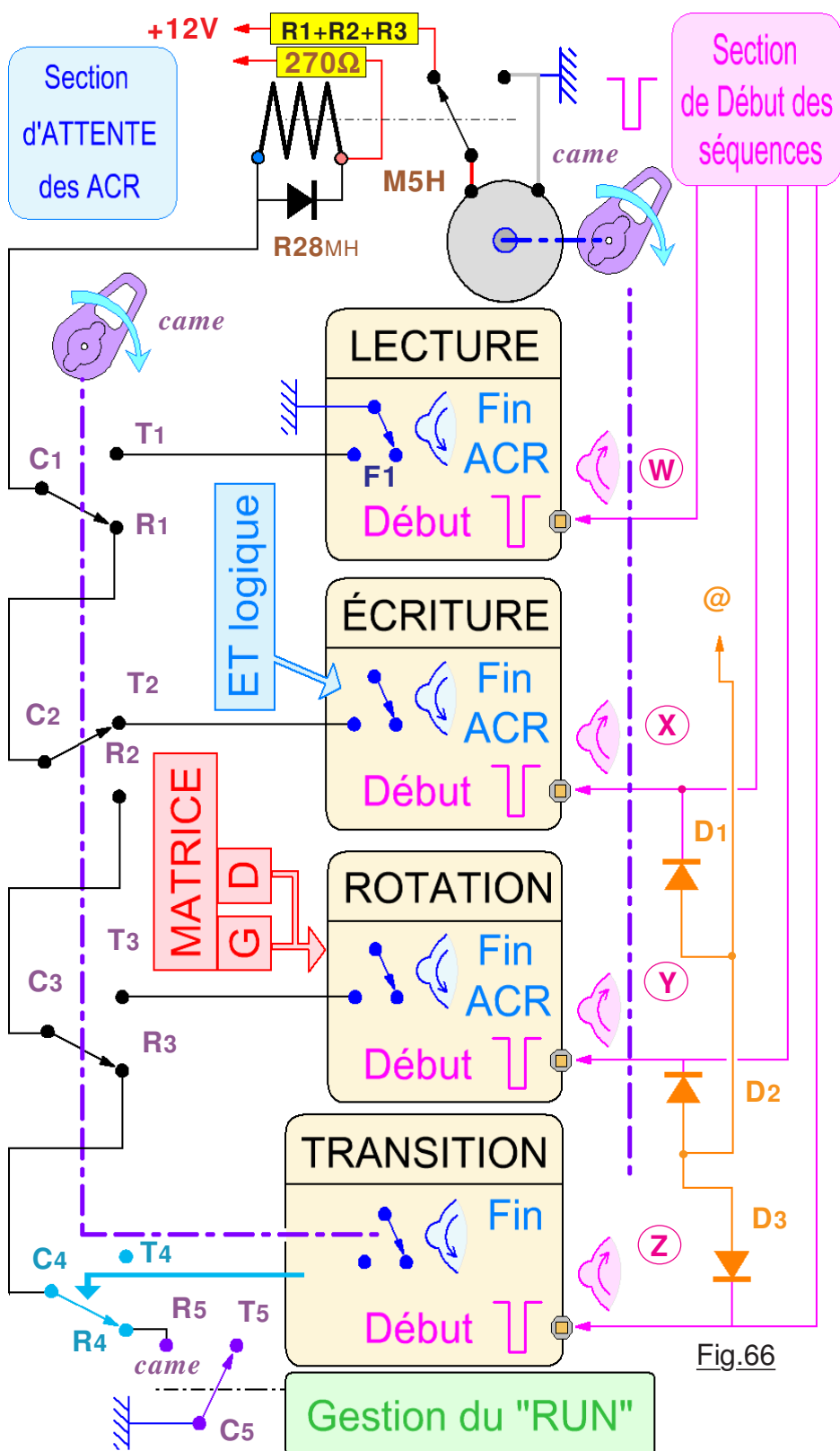
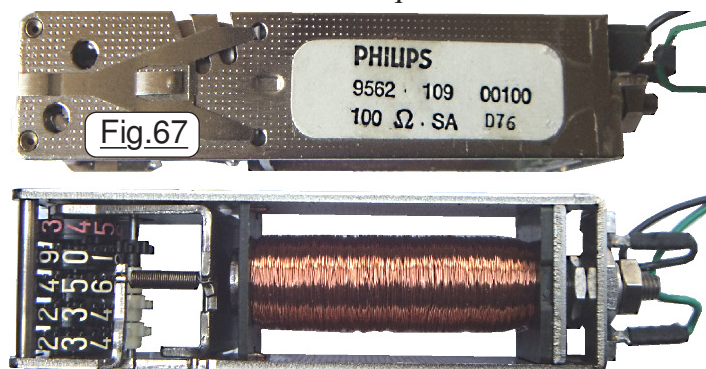


Fig.66

interne le Switch **F1** est passé au repos. Puis, la **came** continue de tourner et active la section **C1-T1**. Comme **F1** est au repos, **GND** n'est pas sur **T1** le moteur **M5H** stoppe pour attendre l'ACR. Quand la LECTURE est terminée, son mécanisme local réactive **F1** qui passant au travail propage **GND** sur **T1** et **M5H** se remet à tourner pour aller déclencher une écriture en **X**. Toutefois, pour les trois séquences qui suivent, leur schéma électrique interne est prévu pour ne démarrer le moteur local que si la fonction est programmée dans la feuille perforée. Sur le synoptique, on observe que pour la fonction ÉCRITURE on doit réaliser un **ET logique**. Cette particularité sera étudiée en détail dans le chapitre suivant. Comme la fonction ÉCRITURE utilise deux unités fonctionnelles qui ne termineront pas leur action rigoureusement simultanément, il faut attendre que celle du dessus **ET** celle du dessous aient terminé leur action pour retourner l'ACR. La fonction ROTATION **Y** du carrousel est analogue à celle de LECTURE, si elle est programmée, sauf que le sens de rotation est géré en interne. Pour la sélection d'une TRANSITION **Z**, la gestion du déclenchement et de l'ACR fait l'objet d'un chapitre dédié car la séquence est spéciale et se fait en trois phases distinctes.

➤ Particularité de la fonction ÉCRITURE.

Outre le fait qu'elle est déclenchée systématiquement à chaque traitement d'un cycle d'instruction, l'impulsion de déclenchement est également envoyée à un compteur électromécanique décimal. C'est un ancien modèle qui "traîne" dans les tiroirs depuis une éternité. Il sera utilisé pour visualiser le nombre d'instructions qui auront été déroulées par la machine depuis sa mise en service.

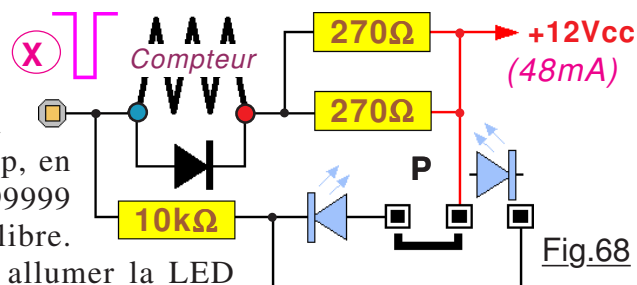


Naturellement on peut parfaitement se passer de ce luxe, j'avoue qu'ici je me fais un petit plaisir. Ceci étant précisé, mécaniquement il sera remis à 00000 le moment venu. On n'imagine pas le nombre significatif de "rotations" que peut effectuer l'HORLOGE système. Bien qu'il n'ait été branché que durant quelques essais de validation et de mise au point, il avait déjà enregistré plus de 550 comptages ! La Fig.67 le présente sortit de son boîtier, et montre ses

"références signalétiques". Il peut compter jusqu'à 99999 instructions sans recycler à zéro, ce qui nous laisse une marge confortable. Ne tenez pas compte de la valeur actuelle, j'ai tourné les molettes à la main, pour l'amener aux environs de 99990.

Comme le montre le schéma de la Fig.68 il est "sous-alimenté" par deux résistances de 270Ω mises en parallèle, soit 135Ω dans le but de diminuer sa consommation et surtout l'appel de courant. Du coup, en quelques instructions je vérifie qu'il peut repasser de 99999 à 00000 avec certitude. On retrouve la diode de roue libre.

Chaque impulsion de déclenchement de lecture va allumer la LED blanche locale. Si on le désire, en enlevant le pont de liaison P sur le connecteur HE14 on peut "déporter" cette LED sur le tableau de maitrise de la machine.



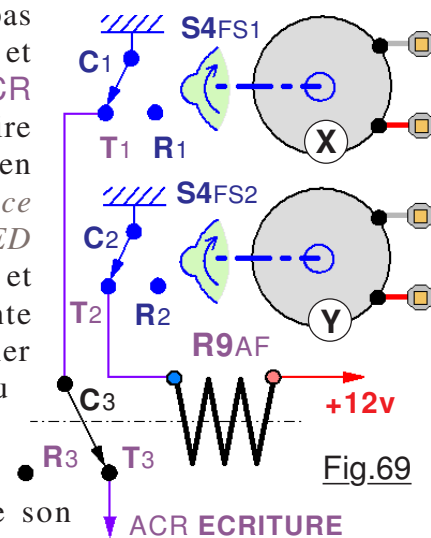
➤ Chassé-croisé mécanique.

Lorsque l'HORLOGE déclenche la séquence des deux unités d'écriture, elle se met en attente de l'**AC**usé de **Réception** issu de ce module fonctionnel. Si l'écriture d'un "0" est programmée, les deux unités vont balayer des angles de rotation analogues et terminer leurs missions presque simultanément. En revanche, l'écriture d'un "B" ou d'un "1" se traduit par des rotations d'amplitudes vraiment très différentes. Celle qui couvre l'angle le plus faible va commencer son retour vers la position dégagée alors que l'autre est encore loin d'atteindre sa rotation maximale. Si l'unité la plus rapide retourne immédiatement son **ACR**, L'HORLOGE peut alors déclencher une rotation du barillet sans plus tarder. Ce serait catastrophique, car l'unité en retard n'est pas du tout dégagée et un pion peut venir en collision avec la palette et endommager le mécanisme. Il faut impérativement ne déclencher l'**ACR** que lorsque les deux mécanismes ont terminé leur action, c'est à dire qu'ils se retrouvent tous les deux en configuration dégagée. Donnée en Fig.69 la solution (*Simplifiée car ne sont pas représentées la résistance d'adaptation en 12v, la diode de roue libre et la visualisation à LED de l'état du relais.*) pour résoudre cet impératif n'est pas compliquée et utilise un relais pour **réaliser un ET logique**. La Fig.69 présente l'ensemble en attente du signal de début de séquence. Quand ce dernier arrive, les deux **comes** ont libéré **S4FS1** et **S4FS2** qui sont alors au repos sur **R1** et **R2** et le relais **R9AF** est au repos sur **R3**.

(**R9AF** : Relais n°9 pour l'Attente de Fin d'écriture.)

Considérons le premier cas possible, le moteur **X** termine son débattement en premier. L'état **GND** est propagé par **T1** sur **C3**. Le

capteur **S4FS2** étant encore au repos, le relais **R9AF** est toujours sur **R3** et **GND** n'est pas transmis. Dès que le moteur **Y** active son capteur de fin de séquence **T2**, le relais s'active et **T3**

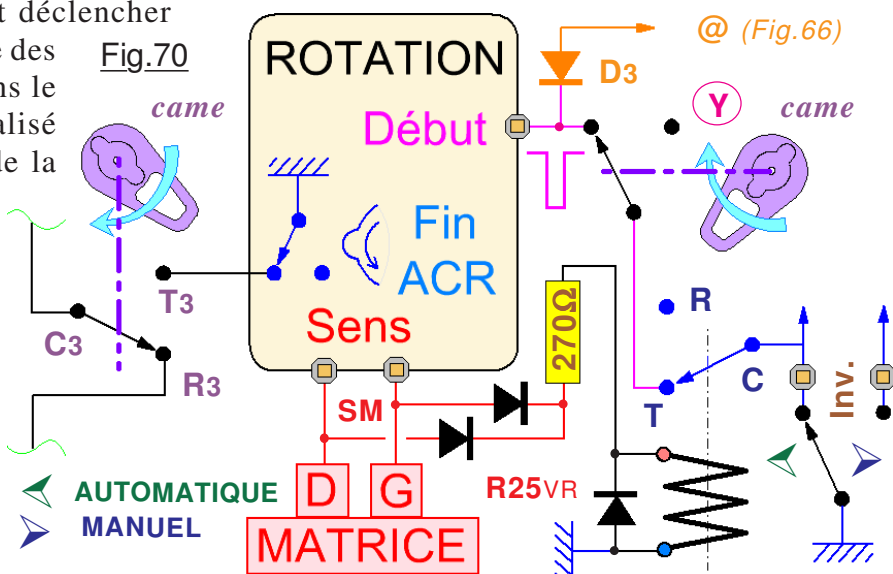


propage l'état **GND** vers le circuit de l'HORLOGE système qui reçoit l'**ACR**, et se remet en mouvement pour continuer le cycle d'instruction et va alors traiter la rotation du barillet.

Deuxième éventualité, c'est le moteur **Y** qui achève sa rotation en premier. Le Switch **S4FS2** commute **GND** sur **T2** et **R9AF** passe au travail. Comme **S4FS1** est toujours sur **R1**, l'état **GND** n'arrive pas encore sur **C3**. Ce n'est que lorsque **X** terminera sa séquence et qu'il activera **S4FS1** sur **T1**, que **GND** sera propagé jusqu'à **C3** et que l'**ACR** sera transmis à l'HORLOGE. On peut noter au passage que **X** et **Y** ne sont pas différenciés, et ce n'est que par le câblage extérieur reliant les deux unités d'écriture du haut et du bas que seront particularisés leurs rôles respectifs.

➤ La gestion de la ROTATION du carrousel.

C'est la fonction schématisée sur la Fig.18 qui chronologiquement suit celle d'ÉCRITURE si elle est validée par la MATRICE de programme. Ce sont les deux sorties **G** et **D** de la MATRICE qui valideront la séquence et qui imposeront au module de ROTATION le sens du mouvement du barillet. Comme c'était le cas pour la Fig.66 les deux symboles violets représentent la même *came* physique. Il ne faut déclencher la séquence ROTATION que si l'une des deux sorties **G** ou **D** est validée dans le programme. Le OU logique est réalisé par le Relais n°25 de Validation de la Rotation du carrousel **R25VR**. Par ailleurs il est exclu que la sortie de la matrice puisse déclencher un début de séquence de ROTATION si la machine n'est pas en mode AUTOMATIQUE, raison pour laquelle la ligne de déclenchement de la séquence reçoit l'état **GND** depuis **INV**, l'inverseur de mode. Les deux diodes en sortie de la MATRICE **SM** empêchent le +12V de se propager entre **G** et **D**. Sur ce schéma la diode de roue libre pour le relais **R25VR** est représentée, mais pas une éventuelle LED de visualisation de son état. Noter que la ligne @ va sur le module qui gère l'accélération de la rotation de l'HORLOGE système.



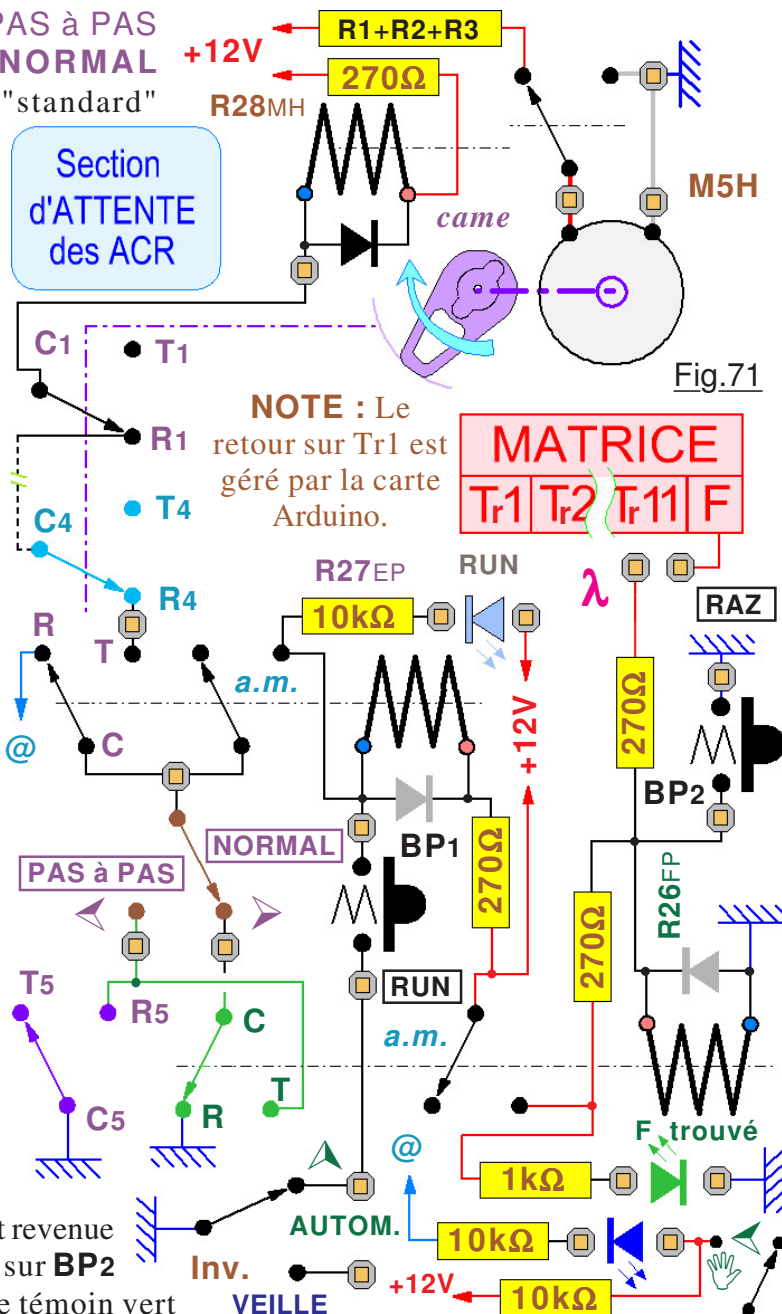
➤ La gestion du mode AUTOMATIQUE.

Logiquement on s'attendrait à la présence du chapitre qui détaille le déroulement du module des TRANSITIONS qui termine un cycle d'instruction. Il se trouve que son fonctionnement est moins simple que celui des autres unités et doit s'opérer en trois phases. Aussi, pour détailler progressivement son déroulement le chapitre n°10 lui est réservé. Passons directement à l'étude du circuit qui s'occupe de gérer le "RUN". Le principe global du fonctionnement de la machine quand on déclenche le déroulement d'un programme est basé sur l'hypothèse qu'au départ la came de l'HORLOGE système est en position VEILLE, et que le sélecteur des instructions est positionné sur la ligne n°1 des TRANSITIONS qui pointera par convention la première instruction du programme. Le traitement d'un algorithme supposé correct (I) se déroule dans l'ordre suivant :

- Passage du commutateur sur le mode AUTOMATIQUE.
- Positionnement de l'inverseur PAS À PAS sur l'option NORMAL.
- Déclenchement du programme en cliquant sur le bouton "RUN".
- La machine va alors dérouler les instructions jusqu'à ce que la MATRICE valide "F".
- Quand le dernier cycle traite les TRANSITIONS, il force la configuration position n°1. La came de l'HORLOGE système tourne jusqu'à la position VEILLE et le moteur s'arrête.
- Une LED verte "FIN" précise sur le tableau de maitrise que le programme a été entièrement traité, invitant l'opérateur à cliquer sur le bouton "RAZ". Cette action libère le relais de fin du programme et allume alors une LED bleue sur le tableau signalant le mode "VEILLE".

((I) : Programme supposé correct c'est à dire qu'il validera une FIN.)

Dans une première étude, l'inverseur **PAS à PAS** est supposé placé sur l'option **NORMAL** "standard". L'opérateur désirant un fonctionnement autonome. La machine est représentée en configuration **VEILLE** sur la Fig.7 et les deux relais sont au repos. De ce fait la section **C-R** empêche l'état **GND** de se propager jusqu'au point froid du relais **R28MH** le Relais **28** qui anime le Moteur d'Horloge. La machine reste au repos. L'opérateur passe l'Inverseur sur la position **AUTOMATIQUE**, puis clique sur le bouton poussoir **"RUN"**. Le relais **R27EP** d'Exécution du Programme passe au travail et y reste grâce à sa section d'**a.m.** quand **BP1** est libéré. La **came** va effectuer ses rotations au rythme des accusés de réception **ACR** retournés par les fonctions programmées. Arrive un moment où une instruction du programme valide un **"F"** en sortie de **MATRICE**. Pour qu'une éventuelle instruction d'ÉCRITURE ou de ROTATION soit prise en compte, le signal **"F"** issu de la **MATRICE** n'est envoyé à la logique en λ que durant l'activation du Switch qui déclenche le début d'une fonction ÉCRITURE. Le relais **R26FP** de **Fin** rencontrée dans le Programme passe alors au travail et y reste grâce à sa section d'**a.m.** Par **"protocole logiciel"**, la ligne contenant **"F"** dans la feuille de programme doit exclure **"T1"** à **"T11"** des colonnes perforées. Arrivée sur **ARRÊT** la **came** s'immobilise car **R26FP** est actif et **C-T** fermé alors que **C5-R5** s'ouvre. Il ne se passe plus rien, la machine étant revenue en **mode attente**. Il importe alors de cliquer sur **BP2** pour effacer la mémoire **R26FP** et éteindre le témoin vert signalant que le programme est terminé. C'est la carte Arduino NANO qui se charge de ramener la machine à l'**ÉTAT** actuel n°1 lorsque l'opérateur clique sur **BP2** de **"RAZ"**. Le voyant bleu s'illumine précisant que la machine est actuellement en **VEILLE** et l'on peut à convenance relancer une exécution automatique ou passer à la demande en mode **MANUEL**.



➤ L'option d'observation "PAS à PAS".

Utile aussi bien en opérations de maintenance qu'en observation du comportement d'un programme en cours d'exécution, cette option ne modifie pas beaucoup le comportement de la machine. Quand l'inverseur **NORMAL** est placé sur l'option **PAS à PAS**, chaque fois que la **came** active la section **C5-T5** le moteur **M5H** s'immobilise et la machine se fige dans l'état qui correspond au cycle de la dernière instruction déroulée. On peut alors en toute liberté analyser la situation et vérifier si elle est conforme à ce qui était prévu par le programmeur, ou effectuer une démonstration instruction par instruction. Pour déclencher le cycle suivant il faut cliquer sur **BP1** pour déclencher un autre **"RUN"**. On constate sur la Fig.71 que durant cette option de **PAS à PAS** le passage au travail du relais **R26FP** de **Fin** rencontrée dans le Programme est strictement sans effet sur la **Section d'ATTENTE des ACR**. Pour ne pas risquer un comportement imprévu, l'opérateur doit alors effectuer une **"RAZ"**, repasser éventuellement sur l'option **NORMAL** et surtout ne pas cliquer sur **"RUN"** à ce stade. Quand un programme a été démarré en mode **NORMAL** on peut à tout moment basculer en **PAS à PAS** pour en figer provisoirement l'exécution.

11) Table des TRANSITIONS et sélecteur d'ÉTAT.

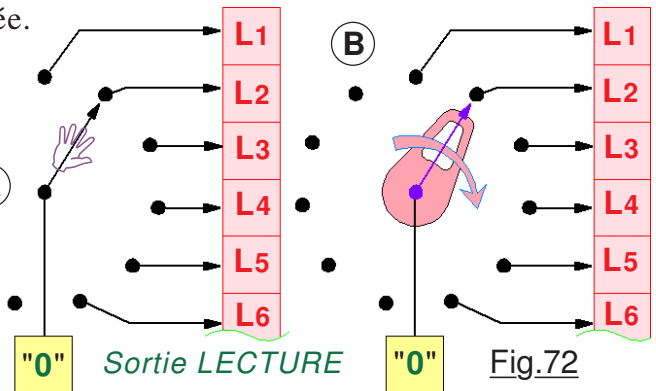
Dernière unité motorisée de notre machine, et pas des moindres, le sélecteur d'ÉTAT constitue l'équivalent du *compteur ordinal* de nos microcontrôleurs et autres processeurs en silicium. Fondamentalement, *c'est le pointeur d'instruction* dans le programme qui ici est matérialisé par la table des TRANSITIONS sous la forme d'une feuille perforée.

Ce module a été particulièrement délicat à faire fonctionner, car on va voir dans les explications progressives que c'est un serpent qui se mord la queue. On supposera dans un premier temps que le programme respecte le protocole logiciel, c'est à dire que sur la MATRICE, la ligne qui valide "F" n'a aucune des colonnes de "Tr1" à "Tr11" qui est perforée.

➤ Principe de la commutation des TRANSITIONS.

Structurellement, la MATRICE de programme a été limitée à 11 colonnes d'instructions, choix arbitraire adopté comme compromis pour séparer suffisamment les colonnes à perforer sur la feuille au format A4. Tenter douze instructions conduisait à un "tassement" incompatible avec la qualité opérationnelle envisagée. Pour sélectionner une instruction parmi onze, il suffit de faire tourner le sélecteur de la Fig.72A sur la position désirée.

On suppose ici que le commutateur utilisé comporte onze postes possibles et n'a pas de butée pour sa limitation en rotation. Dans cet exemple l'opérateur a validé la position n°2. Le commun du sélecteur rotatif à onze positions va à l'une des trois sorties de l'unité de LECTURE. Dans cet exemple c'est la sortie "0" qui va sur la ligne L2 de la MATRICE et qui y validera les colonnes perforées si la lecture de "0" vaut +12V. Comme les transitions sont sélectionnées



par programme, il faut les automatiser au moyen d'un moteur qui entraîne en rotation une came. Le sélecteur à onze positions de la Fig.72B est matérialisé par une "tranche" de onze Switchs répartis sur une circonférence autour de la came. C'est l'unité qui traite les transitions (*Objet de ce chapitre.*) qui se chargera d'amener la came sur la position programmée. Toutefois, la LECTURE peut aussi retourner un "1" ou un "B" qui chacun vont valider une ligne différente dans la MATRICE. Du coup, *pour chaque instruction en cours de traitement il faut trois entrées lignes dans la matrice*, et trois "galettes" distinctes telles que celle de la Fig.72B synchronisées sur une came unique. Enfin, l'automatisme doit pouvoir capter les différentes positions possibles pour s'immobiliser sur la transition programmée. Cet impératif impose l'existence qu'une quatrième "tranche" de onze Switchs voisinant avec celles des sorties LECTURE.

➤ Matérialisation du sélecteur rotatif.

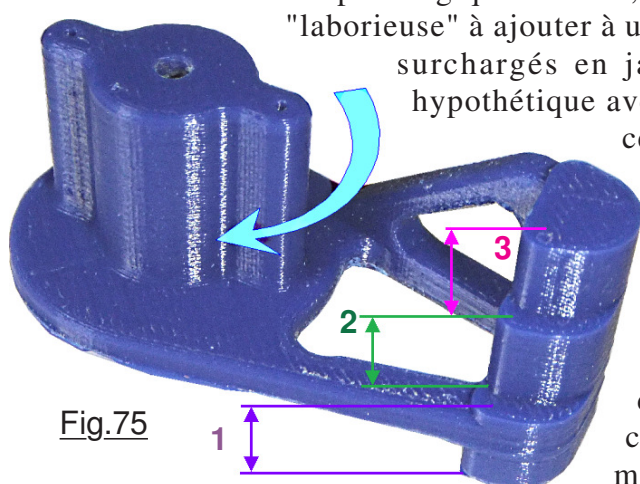
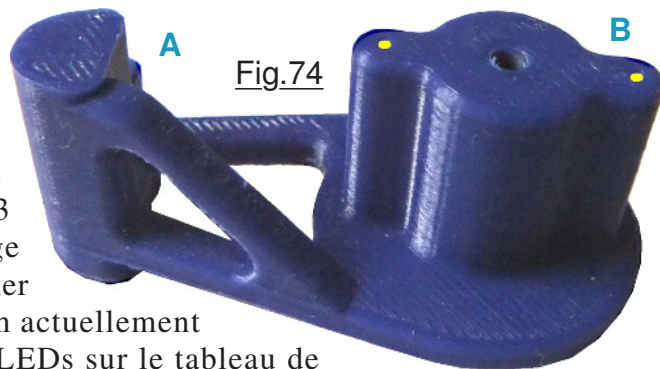
Fig.73



Empiler quatre Switch à roulettes comme montré sur la Fig.73 ne pose vraiment aucune difficulté à partir du moment où l'on dispose de vis ϕ M2 de longueur suffisantes. Par ailleurs, dans le commerce en ligne on trouve très facilement des références ayant une longueur sous tête de 40mm. Les capteurs sont "entassés directement les uns sur les autres, l'empilage est légèrement surélevé par des rondelles d'environ 1mm d'épaisseur pour ne pas que la palette mobile du Switch inférieur ne frotte sur le corps du module. On se doute qu'une came du type de celle de la Fig.64A doit présenter une "hauteur" quatre fois supérieure pour activer l'empilage dans son ensemble.

La Fig.74 présente l'heureuse élue très "aérée" pour optimiser le temps d'impression 3D. C'est un bossage qui sera chargé d'activer les quatre capteurs. Toutefois, pour minimiser l'effort nécessaire à fournir par le moteur et soulager du même coup les contraintes dans la came, les deux capteurs du bas sont activés simultanément pour faciliter la conception de la came, mais les deux du haut sont basculés en cascade avec un très léger retard entre chaque "clic". Naturellement, la forme du bossage est étudiée pour que les quatre Switchs soient à l'état travail quand la came s'immobilise sur le capteur de détection de la position programmée sur la feuille perforée.

On peut observer sur la Fig.74 que cette came présente deux bossages. Celui situé en **A** constitue la partie active qui va pousser sur les roulettes des capteurs. Celui situé en **B** est bien plus haut que nécessaire, obligeant pour immobiliser cette pièce sur l'arbre du moteur à utiliser une vis ϕ M3 présentant un corps de 25mm sous tête. Ce bossage proéminent est prévu assez haut, car j'envisage d'y fixer une aiguille qui sur un cadran indiquera la transition actuellement en cours de traitement évitant d'avoir à ajouter 11 LEDs sur le tableau de maitrise. Ce ne serait pas tragique en soi, toutefois, avec le schéma retenu cette option serait



"laborieuse" à ajouter à un circuit déjà suffisamment "copieux". Les deux trous surchargés en jaune sont prévus pour immobiliser cette aiguille hypothétique avec deux vis ϕ M2 qui s'ajouteraient s'il le faut à la vis centrale pour "verrouiller" l'orientation par rapport à la came. Sur la Fig.75 la flèche bleue précise le sens de rotation de la came par rapport aux quatre capteurs. On comprend que les deux situés en bas seront activés en premier par le bossage **1**. Puis ce sera la zone **2** qui cliquera sur le Switch situé juste au dessus des deux premiers. Enfin, le bossage **3** déclenchera le capteur le plus haut qui engendrera par conception des circuits électriques l'arrêt immédiat du moteur, figeant ainsi la came en position. Dans cette

configuration les quatre Switch sont simultanément en état travail et y resteront jusqu'à ce que le programme de la feuille perforée impose de sélectionner une autre transition.

Détaillé dans le chapitre 22) *Face à l'impossible il faut accepter le compromis*, actuellement les TRANSITIONS sont gérées par une carte à microcontrôleur équipée d'un ATmega 328 de type Arduino NANO. De ce fait seules quelques petites spécificités seront abordées en complément de la documentation conséquente indépendante qui accompagne cette solution électronique.

➤ Déclenchement d'une séquence de TRANSITION.

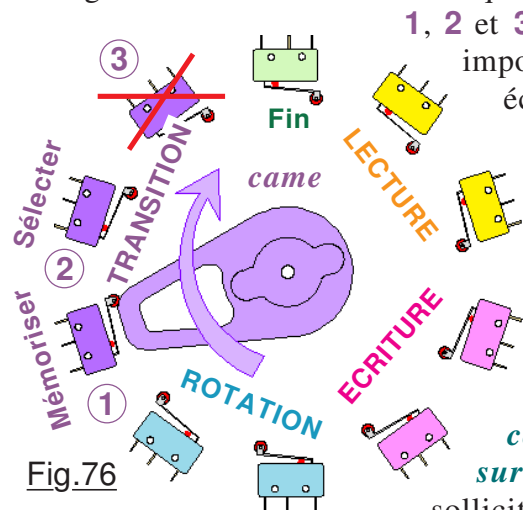
Contrairement à ce qui se fait pour les autres fonctions de la machine, le début de la séquence de traitement des transitions ne commence pas par démarrer le moteur qui fait tourner sa came. C'est en effet ici que le serpent se mord la queue. En effet, si dès que l'HORLOGE valide le traitement des TRANSITIONS on commençait à faire tourner la came, immédiatement les capteurs seraient libérés. Puis durant la rotation, les diverses positions seraient balayées, avec des changements permanents des états sur les sorties de la MATRICE et en particulier de celles correspondant aux colonnes des TRANSITIONS. Le système serait perdu, car dès qu'une colonne serait "captée", la came serait immobilisée en position, cette dernière étant supposée celle désirée.

CONCLUSION : *Avant de chercher à effectuer la rotation de la came pour indexer la transition programmée, il faut impérativement MÉMORISER la référence de position à valider durant cette séquence.*

Naturellement c'est le programme de l'ATmega328 qui gère intégralement la fonction des transitions. Il se charge de mémoriser l'état des sorties de la matrice, la gestion de l'erreur **ER 2**, et si la **Fin** est détectée d'effectuer le retour automatique de la came des TRANSITIONS en position initiale n°1. La carte électronique est alimentée par la sortie du bloc secteur π pour qu'elle reste sous tension lorsque le logiciel coupe l'énergie machine sur **ER 2**. Noter au passage que dans cette version, le **Switch 3** sur le rotor de l'HORLOGE système n'est plus utilisé et peut être enlevé. (Il y aura ainsi une sollicitation de moins à chaque tour de la came.) La facilité de programmation génère des possibilités nouvelles. Par exemple sur **ER 2**, on fait clignoter la LED rouge pour attirer l'attention de l'opérateur.

➤ Schéma complet de la fonction de gestion des TRANSITIONS.

Valse à deux temps pour le déroulement de la séquence de positionnement de la came sur la TRANSITION désirée, la nouvelle approche utilisant une carte électronique équipée d'un ATmega328 rebat les cartes. Notons qu'avec cette technologie, sur la Fig.76 les trois actions chronologiques



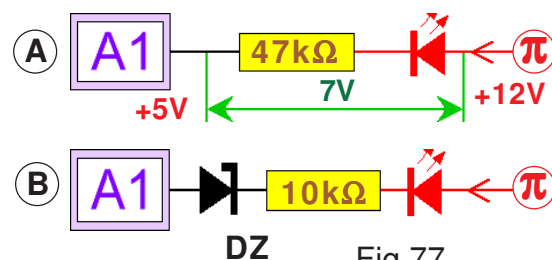
1, 2 et 3 d'une ancienne séquence de traitement des TRANSITIONS imposait dix capteurs pour un cycle d'HORLOGE se traduisant par un écartement angulaire de 36° entre chaque position. Mais l'adoption d'un microcontrôleur change la donne, et *le Switch ③ ne s'impose plus* car dans le logiciel il est devenu inutile d'effacer la mémorisation des sorties de la MATRICE. Il serait possible de ne plus prévoir ce capteur, l'ouverture angulaire entre les neuf micro-contacteurs augmenterait alors à 40° . Toutefois je ne le recommande pas, car cette solution aurait pour conséquence de ne plus pouvoir revenir à la solution "tout relais" si un jour le problème rencontré était résolu. *Aussi, une bonne décision consiste à prévoir son emplacement mais ne pas l'assembler sur la plaque verticale de l'Unité Centrale*. Ainsi, on élimine une sollicitation à chaque tour, ce qui ne peut qu'augmenter la longévité de

l'ensemble mécanique concerné. Ce changement de stratégie ne pénalise strictement pas la rapidité de la machine, car de toute façon la *came* de l'HORLOGE système doit faire un tour complet à chaque cycle. Cette durée de rotation n'est absolument pas influencée par le nombre des Switch.

Tant qu'à utiliser un micro-processeur pour gérer les TRANSITIONS, autant profiter de la souplesse apportée par la programmation pour prévoir des "petits plus collatéraux". Déjà mentionné dans le chapitre précédent, la LED rouge qui signale **ER 2**, clignote pour attirer l'attention de l'opérateur. Ce n'est pas vraiment un bouleversement, juste un petit plaisir, sans compter que *c'est l'une de mes rares applications à base d'Arduino pour laquelle la zone mémoire n'est pas saturée*. Dans notre cas l'ATmega328 va vraiment se tourner les pouces, car à peine 14% de la zone programme est occupée. C'est un vrai scandale, tous ces "0" et ces "1" inutilisés, sans compter que rien n'est logé dans la mémoire EEPROM. *Bref, le gaspillage formel que l'on retrouve dans tous les systèmes informatisés actuels ...*

Ceci dit, faire clignoter la LED rouge signalant **ER 2** n'a pas été immédiat, car le développement s'est "cogné" à une petite difficulté imprévue. Considérons la Fig.77 A qui présente un circuit ultra banal pour piloter une LED.

Pour allumer cette dernière, la sortie binaire **A1** doit fournir un état logique "0" soit un niveau électrique **GND**. La LED est alors soumise à une tension entre ces bornes de **+12Vcc** qui impose une résistance de limitation de **47kΩ**. Pour éteindre cette dernière, **A1** doit présenter un état logique "1" soit **+5Vcc**. Du coup la LED est encore sous 7Vcc de tension et reste notablement lumineuse. Pour tourner cette nouvelle difficulté, on a comme le présente la Fig.81 B intercalé une diode



Zener **DZ** qui engendre une différence de potentiel à ses bornes de 6,2V quant **A1** est à "1". La LED est alors soumise à $7 - 6,2 = 0,8V$ totalement insuffisant pour la rendre conductrice. Elle est alors parfaitement éteinte. Pour qu'elle s'illumine, **A1** revient à l'état logique "0" et au niveau électrique **GND**. Mais dans ce cas la LED n'est plus qu'à $12 - 6,2 = 5,8Vcc$. Pour retrouver une brillance correcte il faut alors diminuer la résistance de limitation de courant à **10kΩ** d'où le schéma définitif de la Fig.77 B.

Pour clore cette parenthèse, le logiciel fait clignoter la LED rouge **ER 2** durant cinq secondes à la mise sous tension. Cet artifice étoffe un peu le protocole de mise en œuvre de la machine *en confirmant à l'opérateur que la carte Arduino a bien effectué son RESET*. (Et puis c'est un moyen de consommer quelques octets de plus avec le programme !) Autre modification "pertinente" apportée à l'ensemble : Une utilisation plus rationnelle du galvanomètre. La position qui visualisait la tension sur les condensateurs de la fonction LECTURE n'était pas vraiment utile sur le plan "informationnel". Aussi, actuellement cette position est devenue **5V** sur la face avant, et l'on mesure maintenant la tension en sortie **+5Vcc** du régulateur de tension intégré sur la carte Arduino NANO. C'est une information patente de la bonne santé de la petite carte électronique alimentée par le **+12Vcc** de la machine.

12) Le tableau de maîtrise.

Ainsi formulé, le titre est autrement plus "vendeur" que si l'on s'était contenté de "La face avant" de la machine. La présentation de la zone de pilotage de la machine et la répartition des divers inverseurs et boutons poussoir n'a strictement rien d'anodin. En effet, *des choix judicieux qui sont fait au lors de la conception du "tableau de bord" dépend directement la qualité opérationnelle de la machine et l'agrément de sa mise en œuvre*. Aussi il importe de consacrer un

- La surface totale reste globalement celle d'un format A4 sachant que l'HORLOGE et l'indicateur de la TRANSITION indexée sur la MATRICE prennent déjà une place importante.
- Il faut étaler le plus possible les divers éléments pour pouvoir donner aux textes de la façade des dimensions suffisantes pour en faciliter la lecture.
- *Il importe d'octroyer une priorité au visuel en privilégiant une répartition par zone des fonctionnalités et en leur affectant des encadrements et des couleurs de fond spécifiques.*
- Dans la mesure du possible choisir des boutons poussoir de dimensions différentes en fonction de leur "l'importance fonctionnelle".
- Concilier l'ensemble des composants par des répartitions "en couches" pour tenir compte des profondeurs très différentes des différents éléments. (*LEDs, moteurs, comes etc.*)
- Enfin pour compliquer le tout, la façade qui sera étudiée doit impérativement se limiter aux limites imposées par l'imprimante qui sera chargée de réaliser la sérigraphie.
- Enfin, comme pour tout le reste du câblage on doit pouvoir désolidariser entièrement le tableau de maîtrise du reste de la machine tant pour sa réalisation que pour la maintenance.

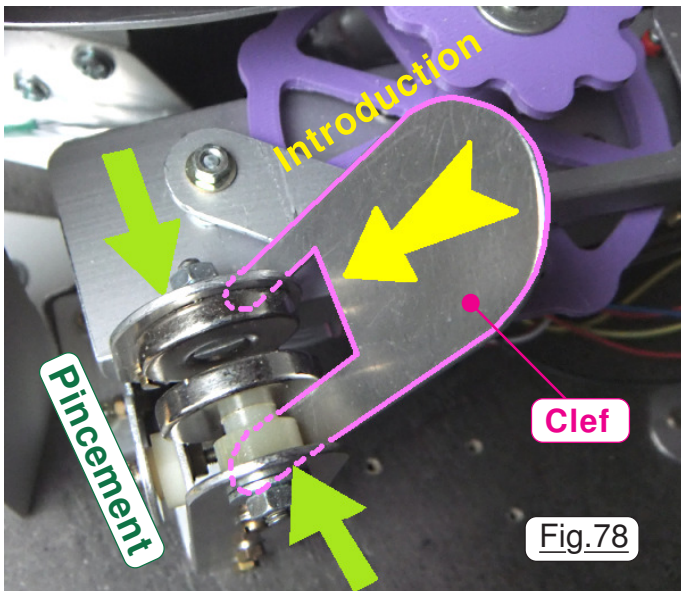
➤ **Le schéma des témoins de visualisation.**

Passage obligé, avant de pouvoir élaborer une répartition satisfaisante des éléments, il importe de faire l'inventaire complet de tout ce qui sera présent sur le tableau de maîtrise. Outre l'ensemble des témoins dont il a été question dans les chapitres précédents, il faudra ajouter aux trois LEDs qui rendent compte de l'état d'une LECTURE, une rangée de 17 témoins qui traduisent l'état des sorties de la MATRICE. À cette "évidence" s'ajoute deux thèmes non abordés qui imposent sur le tableau la présence d'éléments tels qu'inverseurs, témoin lumineux etc. On peut citer :

- *Clef de libération des efforts de pression "magnétiques" sur le carrousel.*
- **PUPITRE de Vérification du Programme.**

Soulager la mécanique durant les longues périodes de non utilisation.

Franchement on peut se passer de ce petit accessoire. Mais il est tellement facile à ajouter sur la machine que ce serait dommage de ne pas l'introduire. Il se résume à un Swich, un témoin logique et ajoute un item dans la liste des opérations d'activations de l'appareil. Nous avons vu que pour entrainer en rotation le carrousel, le pignon denté est pressé contre les pions par un dispositif de deux aimants. Cet effort n'est pas très intense. Toutefois il se retrouve entre le pignon, les deux



pions servant à l'entraînement et se propage sur le pivot central du barillet. Aussi, quand la machine est oubliée pendant des semaines, pourquoi ne pas supprimer cet effort.

L'idée consiste à **pincer** les deux aimants pour les rapprocher, puis **introduire** une petite **clef** qui sur la Fig.78 est surchargée en rose pour la mettre en évidence. Elle n'est pas symétrique, la languette la plus longue étant vers l'extérieur de la machine pour en assurer l'orientation correcte dans le sens longitudinal. Ayant rapproché la palette qui supporte le moteur du barillet de l'aimant presseur, le pignon moulé n'est plus en contact avec les pions du barillet et le carrousel peut tourner librement, n'étant plus soumis à l'effort radial d'engrènement.

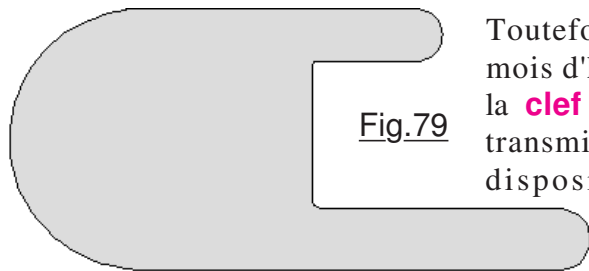


Fig.79

Toutefois, quand la machine reprend du service après plusieurs mois d'hibernation, il ne faut pas que l'opérateur oublie de retirer la **clef** (Représentée à l'échelle sur la Fig.79) pour rétablir la transmission mécanique. Aussi, il est prévu sur la face avant un dispositif "de rangement" dans lequel on introduit la clef qui, comme montré sur la Fig.80 active un capteur **C**. Si la **clef** est introduite correctement dans la fente du dispositif de rangement, le Switch est au travail et la diode électroluminescente **D** est éteinte. Au contraire, si la **clef** a été oubliée en position sur la machine, la LED rouge s'allume et prévient l'opérateur. D'une façon générale, toutes les LEDs d'avertissement de contextes incorrects sont rouges. Bien entendu, si vous ne prévoyez pas cette petite complication, il suffira de ne pas installer la LED rouge sur la façade, ce qui toutefois imposera de rectifier le contenu de la page de "sérigraph" à imprimer. (Voir le chapitre *La face avant du tableau de maitri*

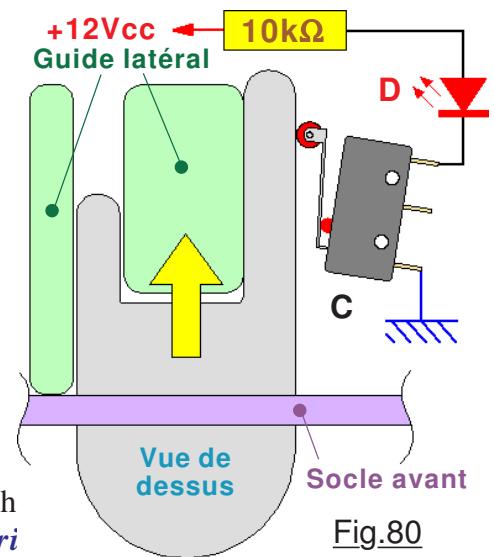


Fig.80

➤ PUPITRE de Vérification du Programme.

A l'instar de la petite clef de libération des efforts, le PUPITRE cité dans ce chapitre n'est absolument pas obligatoire. Du reste, sur la machine on peut se contenter dans un premier temps de prévoir l'emplacement de la prise DB37 quitte à réaliser plus tard le circuit imprimé et le PUPITRE si vous changez d'avis. Toutefois je vous conseille dans cette perspective d'installer l'inverseur, le témoin logique et la DB37. Représenté sur la Fig.81 le dispositif est constitué d'une petite console indépendante comportant 33 boutons poussoir qui permettent de forcer librement au +12Vcc chaque ligne de la matrice. La feuille de programme étant chargée dans le lecteur de pages perforées, on visualise ainsi sur la rangée de LEDs les sorties binaires de la MATRICE qui sont validées par un trou. *L'opérateur peut ainsi "lister"*

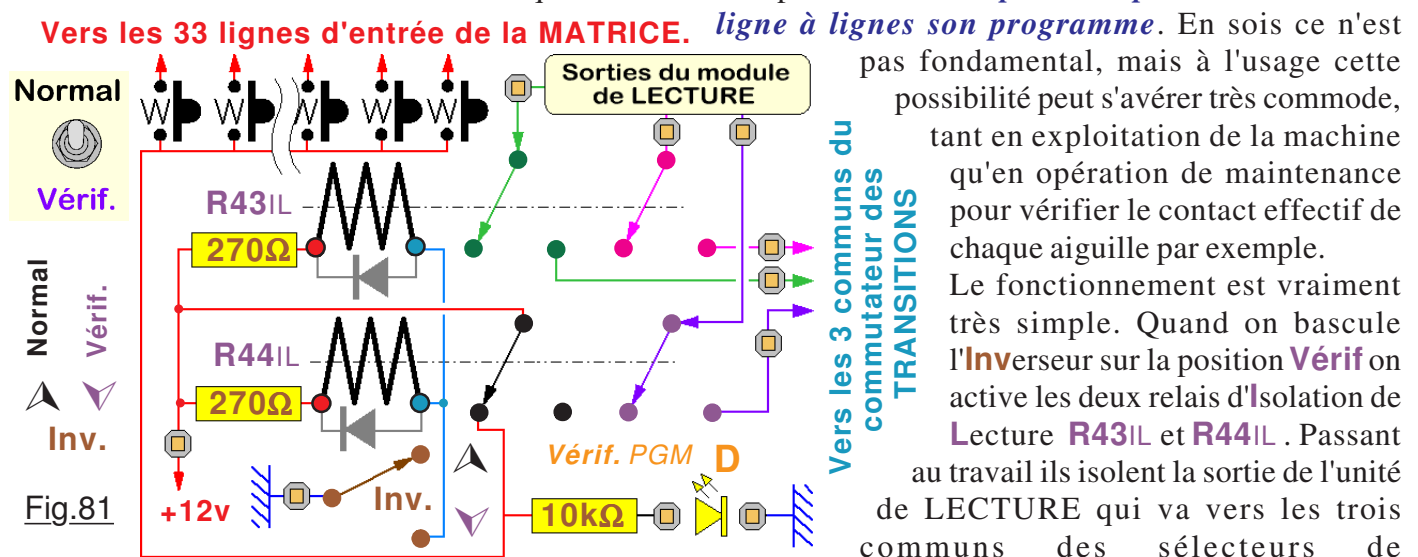


Fig.81

TRANSITION. La MATRICE n'a alors aucune de ses 33 lignes reliée au +12Vcc et toutes les sorties sont à l'état "0". Si l'on clique sur l'un des 33 boutons poussoir du PUPITRE et que ce dernier est branché sur la DB37 de raccordement, toutes les colonnes de la ligne indexée qui sont en contact avec les palpeurs seront à l'état "1" allumant les diodes concernées. Si une fiche de programme est engagée dans le lecteur on peut alors visualiser les codes perforés pour chaque ligne de l'algorithme. Si on déclenche en mode **PAS à PAS** un **RUN**, l'instruction sera réalisée et l'on pourra en observer les effets. Quand **Vérif** est active la LED jaune **D** s'allume informant l'opérateur. Noter que sur **Normal** de l'**Inverseur**, le +12Vcc n'est plus sur les 33 poussoirs et les activer quand un programme est en cours de déroulement n'aura aucun effet perturbateur sur ce dernier même si le PUPITRE est branché.

> La gestion de toutes les LEDs du tableau de maîtrise.

Élémentaire par nature, brancher les nombreux témoins lumineux revient à relier électriquement les diodes électroluminescentes aux diverses unités de la machine en respectant la polarité et en intercalant pour chacune sa résistance de limitation de courant.

Toutefois on va se trouver en présence de deux cas spécifiques : Soit la résistance est déjà sur le circuit imprimé de l'unité concernée, soit il faut l'ajouter sur la circuiterie de la façade. Par ailleurs, les couleurs de tous ces témoins ont été choisies avec soin pour respecter une "logique fonctionnelle". Par exemple gauche et droite pour les rotations sont respectivement rouge et bleue "comme en politique". Pour les états logiques en écriture et lecture le "0" est vert, le "1" est rouge et la séparation est "Bleue". Les boutons poussoir affectés au mode MANUEL sont évidemment de couleur analogue sauf pour "B" qui est blanc. Comme le témoin qui signale le mode VEILLE est bleu, le bouton poussoir pour le RUN sera

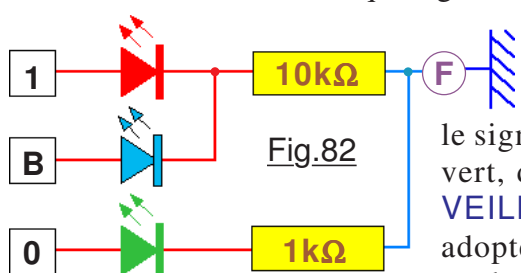


Fig.82

également choisi de cette couleur. Les TRANSITIONS sont des changements d'instructions, assez voisines des séparations des données, le Blanc est affecté pour les onze États possibles. Pour le signallement de la FIN détectée dans le programme, j'ai opté pour du vert, de façon à différencier cette information de celle indiquant la VEILLE. Enfin le B.P. noir et les boutons jaunes ont été choisis pour adopter une impression visuelle esthétique. On respecte également la couleur rouge pour les boutons qui servent à sortir d'un incident ER 1

ou ER 2, adoptant la couleur de son témoin d'avertissement. T lect est jaune car rouge était indisponible. Toutes ces LEDs sont différentes avec des rendements très variables en fonction de leur origine d'achat et de leur couleur, raison pour laquelle les résistances de limitation de courant vont de 1kΩ à 47kΩ.

A analysant les schémas de branchement des LEDs, nous allons voir que l'on peut économiser un nombre conséquent de résistances de limitation de courant. Considérons par exemple la Fig.82 qui montre le cas des trois témoins qui affichent l'état d'une LECTURE. Par nature de cette information, un seul témoin sera allumé à la fois. Il serait possible de n'utiliser qu'une seule résistance commune pour les trois cathodes réunies vers GND. Toutefois, on est obligé pour la LED verte d'augmenter son courant car le modèle adopté présente un "mauvais" rendement lumineux. Par contre, "B" et "1" utilisent une seule résistance de 10kΩ. Observable sur la Fig.83 pour la "rampe" des témoins de sortie de la MATRICE le gain est encore plus significatif puisque quatre résistances sont suffisantes pour alimenter les 17 diodes électroluminescentes. Si pour une quelconque raison plusieurs sorties d'un même groupe sont validées, pire des cas on ferme le lecteur de carte perforée sans y glisser de feuille de papier, toutes les LEDs de la sortie matrice s'illuminent plus ou moins. Le courant reste limité par la résistance unique. Donc la validation simultanée de plusieurs sorties ne présente strictement aucun risque pour le matériel. Noter au passage que les LEDs blanches ont un tel rendement, que des potentiels résiduels les illuminent faiblement quand Inv est sur Filtrage d'où la présence de R une 10kΩ au +12V pour les éteindre entièrement. Sur le prototype certaines LEDs élémentaires sont remplacées par des composants tricolores dont le rendement est vraiment très bon et autorise les faibles courants adoptés pour la visualisation. Ces diodes triples étant disponibles en grand nombre dans mes stocks, elles sont utilisées comme des types "monochrome".

Filtrer les informations surabondantes.

Lorsque l'opérateur met en service la machine, il faut positionner certains inverseurs, cliquer sur divers boutons poussoir dans un ordre précisé dans la fiche d'utilisation spécifique. Il est commode durant cette phase de préparation de la machine de forcer l'extinction de tous les témoins logiques qui sont inutiles durant cette opération d'activation de l'ordinateur mécanique. Aussi, l'Inverseur prévu à cet effet placé sur Filtrage ne laisse que les témoins lumineux pertinents dont aucun rouge ne doit rester allumé lors d'une mise en service correcte.

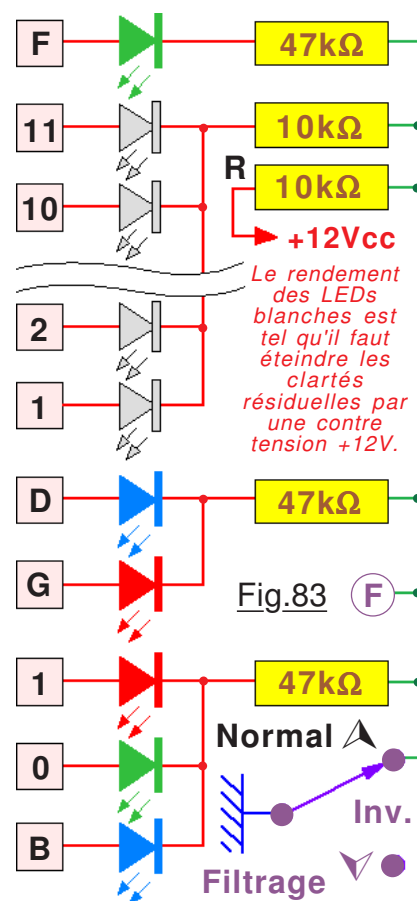


Fig.83

13) La face avant du tableau de maitrise.

Lorsque la totalité des éléments qui figurent sur la face avant de la machine est connue, il reste à les répartir par zones fonctionnelles de façon judicieuse. Les choix effectués sur le prototype sont résumés sur le dessin de la Fig.89 donnée en Page 18 et concerne l'unité personnelle avec tous ses accessoires. Toutefois, je suis bien conscient que peu d'internautes qui vont s'engager dans ce projet vont adopter le compteur d'instructions dont l'approvisionnement à l'heure actuelle risque fort de poser problème. Aussi, plusieurs alternatives sont possibles. Il est évident que si vous désirez imprimer les façades avec les dessins fournis, il faudra obligatoirement utiliser des boutons poussoir et les fourreaux de LEDs identiques à ceux installés sur le prototype. C'est la raison pour laquelle je précise les références et les liens sur Internet pour se les procurer. C'est volontairement que je propose les dessins des façades en format BMP dans les fichiers **Face avant num 1.bmp** et dans **Face avant num 2.bmp**. Il sera ainsi très facile de masquer les zones qui ne vous concernent pas comme celle du galvanomètre, ou celle du compteur d'instruction avec un quelconque logiciel de traitement d'image de base tel que **PAINT.exe**, quitte à remplacer par un quelconque symbole personnel si la surface "oubliée" est importante. Il suffit alors sur la structure et sur les plaques de la façade de ne pas réaliser les lumières propres à ces éléments non installés. De plus vous pouvez aussi employer un galvanomètre de dimensions un peu différentes. Dans ce cas vous adaptez la lumière de passage à travers la façade et son mode de fixation.

➤ **La recherche de convivialité.**

Examinons l'agencement proposé montré en Fig.85 sur lequel on découvre la répartition par zones fonctionnelles des nombreux éléments, régions délimitées par des encadrements et des couleurs de fond très différentes. Sur ce dessin la partie grisée correspond à la plaque métallique verticale qui sert de support aux deux moteurs-réducteurs et aux deux plaques de la façade. Le rectangle blanc correspond à la face avant réalisée sous la forme d'une plaque de polystyrène choc et qui supporte tous les témoins lumineux et globalement tous les boutons poussoir. Les dimensions de cette plaque dépendent d'une optimisation de la surface utilisée. Par ailleurs les étiquettes sont séparées en deux, pour pouvoir être imprimées sur une machine banale au format A4. Enfin, la prise DB37 et l'étiquette de maintenance sont disposées sous la face avant, en positions relativement discrètes de façon à ne pas pénaliser celles et ceux qui ne désirent pas installer ces éléments qui n'ont rien d'obligatoire et dont on peut aisément se passer. Pour faciliter l'utilisation de la machine, quand on utilise le **Filtrage**, aucun voyant rouge ne doit être allumé quand on a terminé la procédure de mise sous tension et que la machine est conditionnée pour fonctionner en mode **AUTOM**. Par ailleurs, noter que pour configurer ce type de fonctionnement qui devrait correspondre à l'usage le plus fréquent de la machine, tous les inverseurs doivent se trouver positionnés vers le haut, particularité facile à mémoriser.

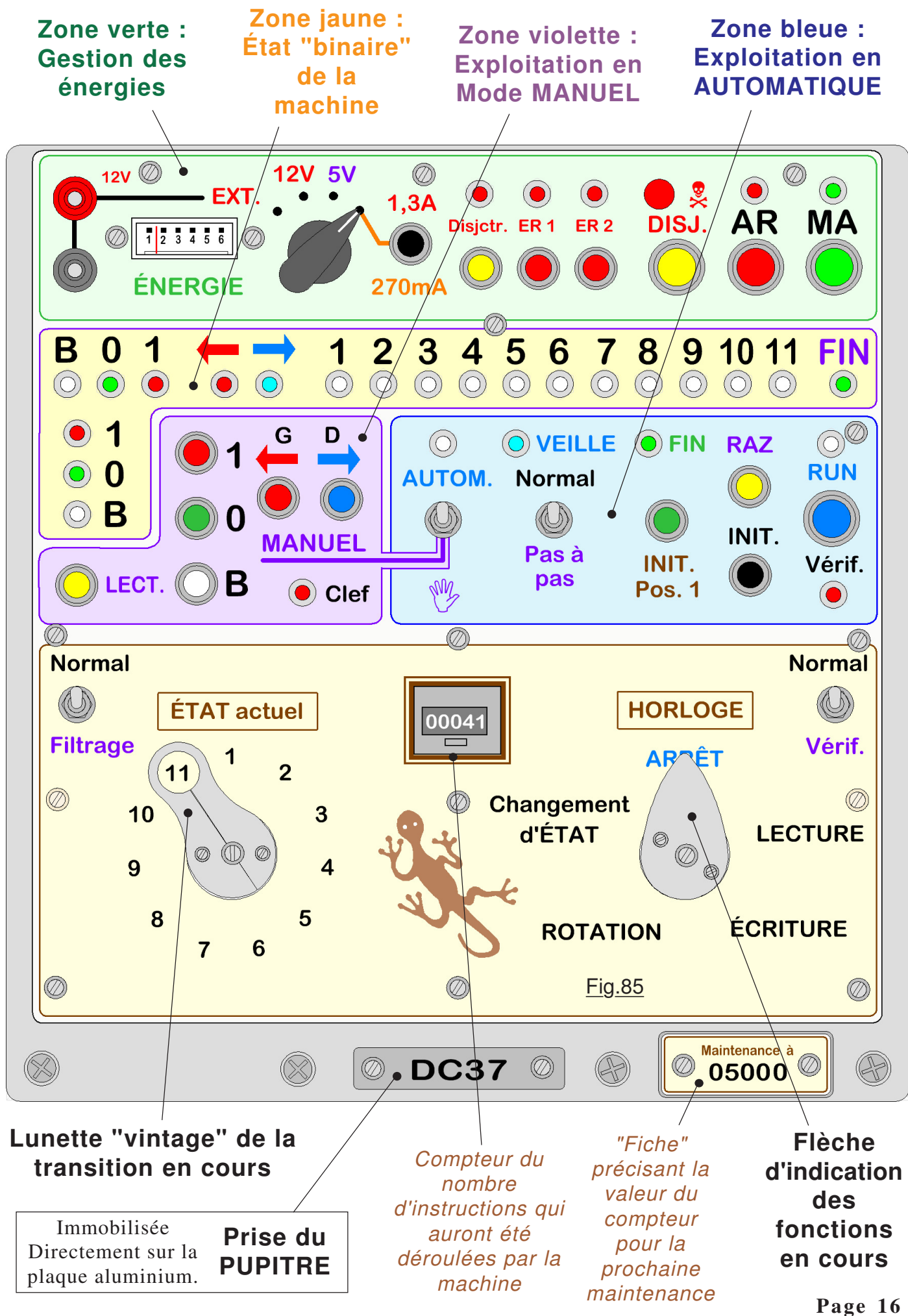
14) Le RÉPÉTITEUR.

Force est de constater dans la pratique, que le mode **MANUEL** piloté par le tableau de maitrise est très facile pour procéder à quelques vérifications sur la machine, ou effectuer une démonstration sur ses possibilités et sa structure globale. En revanche, quand on désire initialiser les variables avant d'activer un programme spécifique, la façade étant sur le coté manque de convivialité. C'est la raison pour laquelle un "mini clavier" est installé proche du barillet. Ce répéteur n'est pas autre chose qu'un doublon des trois

boutons d'écriture et des deux poussoirs pour faire tourner le carrousel. Ces cinq touches sont tout simplement câblées en parallèle sur ceux du tableau de maitrise. Disposé proche du barillet, ce petit élément facile à créer est montré sur la photographie de la Fig.84 et utilise un petit circuit imprimé de prototypage.



Fig.84



15) Le petit pupitre de Vérification du programme.

Montré sur la Fig.86 ce petit complément est totalement indépendant de la machine. Ce petit pupitre n'a strictement rien d'obligatoire et l'on peut parfaitement s'en passer. Il se trouve qu'au début du développement de ce projet, je n'avais strictement aucune idée précise de la façon dont serait réalisé le tableau de maîtrise, ni des composants qui en couvriraient la surface. Aussi, dans le but de pouvoir explorer



Fig.86

diverses pistes, j'ai commandé des boutons poussoir conçus pour se visser directement sur la façade, et d'autres pour se souder sur un circuit imprimé servant de support. Façade définie et solutions adoptées, 80 jolis boutons multicolores restaient inutilisés. C'est alors que m'est venue l'idée de ce dispositif pour en "récupérer 33" et réduire la frustration d'avoir à les oublier dans un tiroir

Le petit coffret de cet accessoire de complément est composé de plaques de polystyrène choc de 3mm d'épaisseur assemblées par collage en mouillant les zones à "souder" par du diluant cellulosique. Les techniques de façonnage sont très

particulières et sont consignés dans le document [RÉALISER.pdf](#) ainsi que le lien pour approvisionner les boutons en ligne. Le schéma électrique élémentaire est naturellement intégré dans les fiches dédiées.

➤ Utilité de ce pupitre ?

Nombreuses sont les causes qui peuvent engendrer une perforation erronée générant une erreur dans le programme soumis à la machine. L'opérateur peut commettre une erreur lorsqu'il traduit son algorithme sur la grille de la matrice, et ce d'autant plus facilement que les zones à perforer sont proches les unes des autres, une feuille perforée trop souvent manipulée peut se détériorer générant de fausses données etc. Aussi, quand un algorithme est engagé dans le lecteur, il peut s'avérer bien commode d'en lister les instructions pour en valider la feuille perforée. Le listage de vérification étant validé, on peut alors soumettre le programme à la machine et passer en mode **RUN**. Enfin, comme c'est précisé dans le document [RÉALISER.pdf](#) ce clavier peut devenir un "stéthoscope" très utile en opération de mise au point de la machine ou en opérations ordinaire de maintenance.

➤ Le schéma électrique.

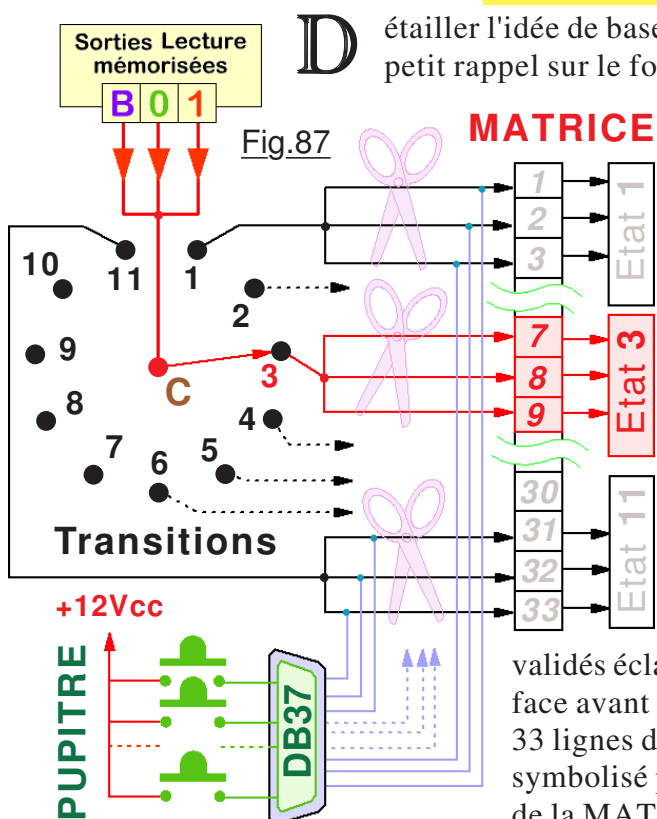


Fig.87

Détailler l'idée de base et sa concrétisation impose au préalable d'effectuer un petit rappel sur le fonctionnement du **Commutateur des TRANSITIONS**.

Sur le synoptique de la Fig.87 on retrouve les trois lignes de sortie du module de LECTURE qui vont aux communs **C** des trois tranches du **Commutateur des TRANSITIONS**. Lors d'une LECTURE, l'une des trois lignes **B**, **0** ou **1** sera forcément à l'état **+12V**. Les trois sorties du commutateur sont connectées à l'une des trois lignes d'entrée de la MATRICE correspondant à l'instruction pointée. Dans notre cas c'est l'ÉTAT n°3 qui est validé. Sur la Fig.91 ce sont donc les trois lignes d'entrée **7**, **8** et **9** qui sont connectées. Seule celle correspondant au **B**, au **0** ou au **1** validé par la LECTURE sera portée au **+12V**. La MATRICE propage alors sur ses 17 lignes verticales de sortie le **+12V** sur les colonnes ayant un trou pratiqué sur la feuille de programme. Les items

validés éclairent alors les diodes électroluminescentes disposées en face avant sur la ligne d'ÉTAT de la machine. Si l'on sectionne les 33 lignes de sortie du **Commutateur des TRANSITIONS** comme symbolisé par les paires de ciseaux violets, l'intégralité des entrées de la MATRICE est alors isolées des divers circuits

électriques de la machine et toutes les LEDs de la ligne d'ÉTAT sont alors éteintes. Pour visualiser les colonnes validées d'une ligne, il suffit de porter au **+12V** l'entrée de cette dernière.

Pour faciliter la manipulation qui consiste à forcer du **+12V** sur l'une des 33 entrées de notre choix il suffit de relier l'entrée de la MATRICE à un connecteur de type **DB37**. Les composants de type **DB** comme la DB15, la DB25, la DB37, la DC50 sont des connecteurs issus de l'informatique, qui se trouvent facilement à des tarifs très raisonnables et sont d'une fiabilité remarquable. Sur ce connecteur on branche un petit clavier de 33 boutons correctement repéré tels que celui de la Fig.86 et le tour est joué. Il reste à concrétiser électriquement la coupure des 33 lignes. La méthode bestiale consisterait à intercaler 33 inverseurs, solution qui manquerait singulièrement de convivialité sans compter la place consommée sur la façade du tableau de maitrise. Une bien meilleure approche représentée sur la Fig.88 consiste à ne couper que les trois sorties du module de LECTURE. Ainsi toutes les entrées de la MATRICE se trouvent isolées électriquement.

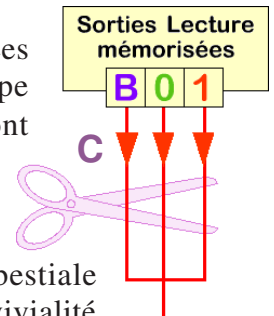
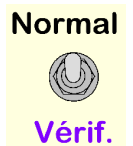


Fig.88

Naturellement, on va remplacer les trois interrupteurs de coupure par un seul **Inverseur** sur le tableau de maitrise, qui pilotera deux relais électromécaniques **R43IL** et **R44IL** pour assurer l'isolement des trois lignes. On aboutit au schéma électrique de la Fig.93 sur lequel la section disponible **C-R** sert à éteindre les trois LEDs qui visualisent l'état en sortie du module de LECTURE. Une LED d'indication de l'état **Vérif.** est ajoutée sur la face avant.



Chaque sortie de l'unité de LECTURE transite vers le commun du **Commutateur des TRANSITIONS** à travers l'une section **C-R** des deux relais électromagnétiques. Un petit circuit imprimé est ajouté sur la plaque verticale de la face avant pour supporter ces deux relais. Le fonctionnement de ce schéma est tellement élémentaire qu'une LED d'état sur le circuit imprimé n'a pas été prévues comme c'est le cas pour les platines plus complexes. Le dessin de ce petit circuit est précisé sur la fiche des schémas dédiée au PUPITRE. Comme le mode **RUN** est le plus utilisé, pour minimiser la consommation électrique les relais ne passent au travail que durant l'opération de vérification.

Vers les 33 lignes d'entrée de la MATRICE.

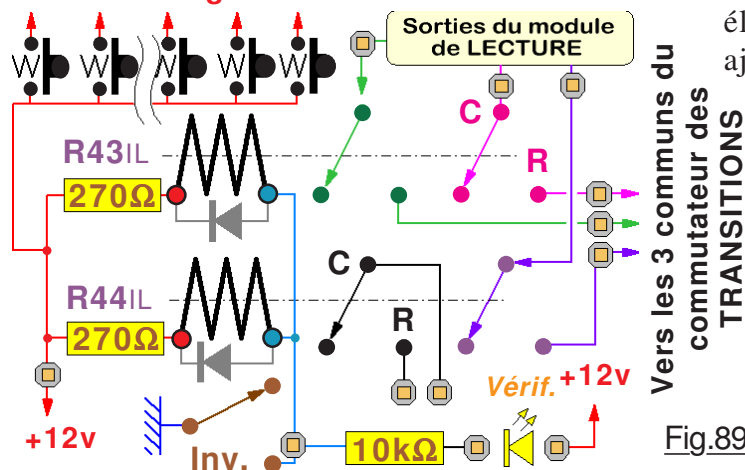


Fig.89

➤ **Un autre outil qui peut s'avérer bien utile en maintenance.**

Anticipant le chapitre sur l'intégration des systèmes qui a inspiré sa réalisation durant cette phase critique de l'assemblage électrique général, ce petit outil s'est imposé car sur le prototype un problème de conception a engendré une recherche de déverminage particulièrement délicate. Ne nécessitant que très peu de matériel, ce petit dispositif s'avérera indispensable si lors de l'intégration des systèmes le fonctionnement du rotor des TRANSITIONS n'est pas conforme

aux prévisions théoriques. Par la suite, en opérations de maintenance il peut également faciliter grandement certains diagnostics. Ce n'est qu'une dimensions d'un relais et qui est prévue par un support sur lequel on "déporte" le relais qui a été enlevé du circuit imprimé ... autrement dit on ne change strictement rien au schéma électrique. Toutefois, petite subtilité, le minuscule circuit sur lequel se trouve alors le relais est complété par une diode électroluminescente avec sa résistance de limitation de courant pour en préciser l'état. Vous allez forcément en déduire que ce minuscule module montré sur la Fig.90 n'est vraiment pas justifié. Il ne fait qu'ajouter une visualisation de l'état logique du relais ... ce qui manque précisément aux treize relais du circuit des TRANSITIONS. Comme l'intégration de cette unité sur la machine a engendré une cascade de difficultés, pour arriver à trouver une solution qui fonctionne, la création de cet outil s'est avérée indispensable pour visualiser l'état de certains "relais critiques". Je ne peux que vous encourager à en réaliser un exemplaire.



Fig.90

16) *Simulateur MATRICIEL.*

J' avoue que ce titre accrocheur a pour but de vous inciter à lire ce chapitre qui va décrire un autre outils de validation ou de maintenance dont on peut parfaitement se passer, accessoire qui toutefois s'avère bien commode lors de la phase de déverminage et de première mise en service de l'**Unité Centrale**. Cette phase du projet est particulièrement délicate, car les chances d'un fonctionnement parfait "du premier coup" sont voisines de zéro. Vu le nombre d'interconnexions, il est fortement probable qu'à un moment où à un autre des petites erreurs de câblage vont se glisser avec discrétion dans ces innombrables lignes qui s'entrecroisent. Hors le fonctionnement ne sera nominal que lorsque 100% des liaisons seront établies et strictement sans erreur, tant du point de vue des soudures, que de l'orientation correcte de tous les HE14 branchés sur l'**U.C.** Et encore, pour vous les fiches de câblage sont corrigées et en principe fiables. Mais sur le prototype divers détails empêchaient un bon fonctionnement, obligeant à compléter un peu l'ensemble de la circuiterie. Bref, une aide précieuse au déverminage est plus que bénéfique à ce stade du projet.

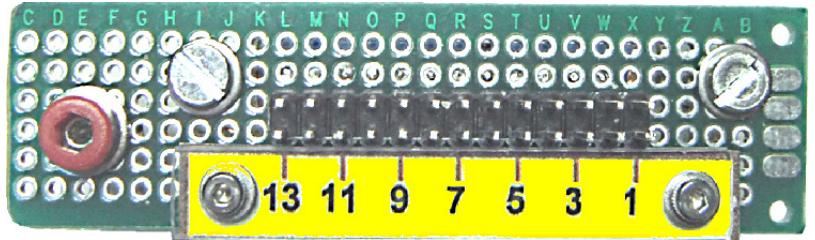


Fig.91

► Principe de substitution de la MATRICE.

Pendant la phase de câblage de l'**U.C.** et de la Face Avant, l'imposant bloc de la MATRICE est déposé et l'espace arrière de la plaque verticale bien dégagé. Pour valider les différents branchements de cet ensemble qui constitue le cœur de la machine, il est particulièrement utile de pouvoir insérer sur la DB25 femelle (B) un dispositif qui se substitue à la MATRICE pour envoyer des signaux +12V à l'**U.C.** Le schéma électrique ce petit dispositif de complément est vraiment élémentaire, et fourni sur la petite fiche au format A6 nommée **Simulateur de la MATRICE** (1/2) qui présente également sur sa face verso

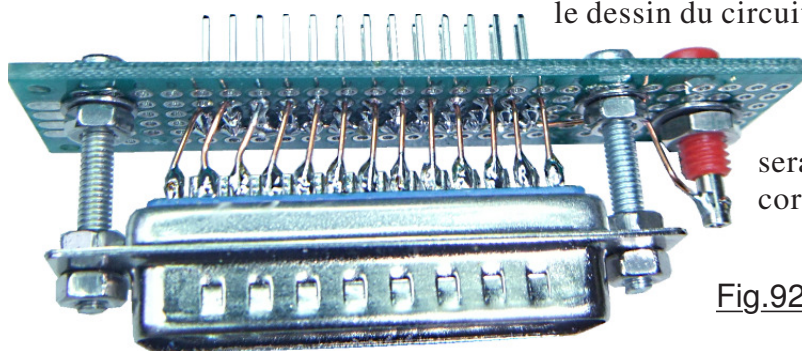


Fig.92

le dessin du circuit imprimé de validation. Cette fiche propose deux exemples d'utilisation, bien que dans la pratique on peut s'en servir pour bien d'autres manipulations. Par exemple elle sera très commode pour tester les branchements corrects de la prise DC37 du petit PUPITRE de vérification des programmes, ou encore tester la sécurité de type **ER 2** et testant diverses combinaisons de validations doubles devant toutes déclencher une

coupure de l'alimentation. Aussi, compte tenu de la versatilité de ce petit module et du faible investissement en matériel qu'il impose, je ne peux que vous engager à en réaliser un exemplaire. Présenté en vue de dessus sur la Fig.91 ce module est très petit puisqu'en largeur il fait bien moins que deux fois une DB25. (*Cette dernière n'est pas visible car située sur le dessous.*) Cette photographie est trompeuse, car dans la pratique la douille pour fiche banane sur laquelle sera branché du +12V ne fait que 2mm comme diamètre nominal. Sur la Fig.92 on distingue bien mieux la structure de ce petit module dont la petite plaquette transparente de l'étiquette immobilisée pas deux boulons ϕ M2 visible sur la Fig.91 n'est pas encore installée sur le circuit imprimé. À voir la photographie de ce module terminé on pourrait penser que sa réalisation est délicate. Pourtant, si l'on s'y prend avec méthode, réaliser toutes les soudures exige moins d'une heure. L'idée consiste à préparer entièrement le circuit imprimé. Puis, comme montré sur la Fig.93 on commence par souder tous les petits fils de cuivre sur les pastilles de la plaquette de prototypage. Ensuite on assemble la DB25 sur les boulons ϕ M3. On coupe alors les 13 petits fils à la bonne longueur, on les plie pour les insérer dans les cosse de la DB25 et on procède au soudage. C'est au final plus facile à faire qu'à décrire.

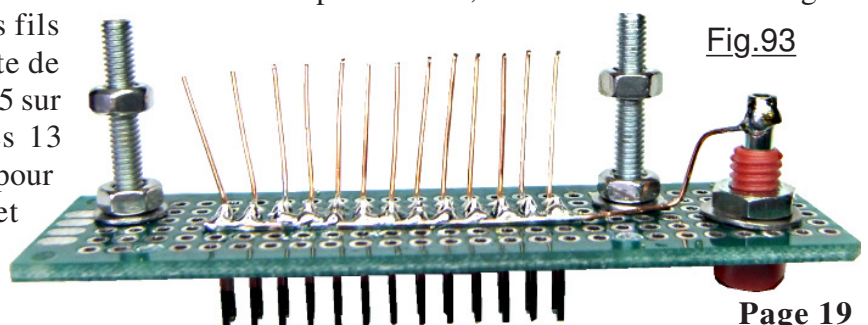


Fig.93

17-A) L'intégration finale des systèmes.

Que ce soit en aviation, pour un navire, une automobile ou un satellite, c'est de loin la phase qui inquiète le plus les ingénieurs pourtant très expérimentés et hautement spécialisés. Prenons l'exemple d'un satellite. Chaque module qui va le composer a été étudié, réalisé, vérifié, validé puis vérifié encore et encore. Dans l'entreprise de sous-traitance il fonctionne parfaitement et respecte le cahier des charges. Puis arrive le moment de l'intégrer sur site sur la structure du futur satellite. Aucun problème, les fixations sont exactement conformes aux plans et les divers connecteurs se branchent parfaitement sur la circuiterie déjà mise en place. Puis la mise sous énergie de ce module confirme sa fiabilité.

- Et alors ?

Dès que l'on alimente les autres fonctionnalités de l'ensemble commence la galère des ingénieurs, car inévitablement ces modules vont polluer électromagnétiquement, thermiquement ... leur environnement immédiat. Ces interférences créent alors des incompatibilités qu'il faut contourner et maîtriser sur site.

Notre projet un peu fou n'échappe pas à cette règle absolue. Arrive le moment de relier l'Unité Centrale et la Mémoire de programme aux unités périphériques de cette machine informatique d'une autre époque. Chaque module de LECTURE, d'ÉCRITURE, de ROTATION et de TRANSITION a minutieusement passé les tests individuels et été validé. Mais il ne s'agissait que d'essais isolés hors du contexte global. Puis, tout au long du développement des circuits additionnels pouvant générer des interférences se sont ajoutés. Prenons le cas d'une fonction très élémentaire sur le papier : La séquence LECTURE. Outre la poignée de main avec l'HORLOGE, on a ajouté le mode MANUEL qui a imposé une sécurité par chronométrage. Puis cette unité a été sollicitée pour mémoriser des états lorsque la fonction ÉCRITURE est à son tour manipulée en mode MANUEL. Autant dire que pour les interactions pouvant générer de l'interférence c'est royal ! S'ajoute à ces contraintes des sécurités pour parer les erreurs de programmation, les interdictions d'actions manuelles durant le mode RUN et l'on aboutit à un joyeux marasme. Bref, l'intégration progressive de chaque fonctionnalité s'est accompagnée d'une foultitude d'erreurs de câblage et surtout a révélé des faiblesses de conception. C'est dans cette phase critique que des corrections ont été apportées aux schémas avec parfois de bonnes nouvelles idées.

Naturellement tous les schémas ont été corrigés au fur et à mesure des découvertes "de points noirs", donc en principe les fiches de câblage, les chapitres d'explications sur les fonctionnements et les dessins des circuits imprimés sont à jour. Ce chapitre va se contenter de décrire les modifications apportées aux schémas et les nouvelles fonctionnalités. Reste que corriger les documents engendre un travail très long et fastidieux qui génère un risque patent d'oublier ici où là une verrue. Donc, *si dans la masse de documents qui accompagne ce didacticiel vous constatez une "incohérence locale", il ne faudra surtout pas vous prendre la tête*, un "paquet aussi volumineux trimballe forcément quelques misères".

➤ Initialisation de la MACHINE.

C'est une fonctionnalité incontournable annoncée dans le concept d'Alan Turing. *Pour qu'une Machine de Turing soit réelle il faut que sa mémoire de TRANSITION soit munie d'un algorithme, que l'HORLOGE système soit sur la position ATTENTE et que le pointeur d'état soit sur la TRANSITION n°1. Si ces trois conditions incontournables ne sont pas simultanément réunies, alors ce bel ensemble matériel n'est rien d'autre qu'un "tas de ferraille inutile".*

Autant pour les TRANSITIONS *le forçage sur la position n°1 avait été prévu et mis au point* lors du développement de l'unité concernée, autant pour l'HORLOGE j'ai gravement oublié ce détail. (*Ici j'utilise le mot détail pour minimiser la "boulette", mais concrètement c'est un oubli gravissime !*) Hors la came HORLOGE peut à tout moment rester sur une position aléatoire, que ce soit par une coupure énergie sur erreur de programmation détectée, ou sur une toute bête coupure secteur. Nous savons que les moteurs-réducteurs sont irréversibles et qu'il est impossible de les faire tourner à la main, sans compter que leur rotor est totalement inaccessible. Aussi, il devenait IMPÉRATIF de prévoir une commande manuelle pour satisfaire cette fonction totalement indispensable.

- T'es mal parti Totoche, car il faut ajouter un B.P. sur le tableau de maîtrise est c'est actuellement pratiquement infaisable. Je sens confusément que des nuits blanches vont broyer du noir !

Figurez-vous qu'au moment d'étudier la Face Avant dont j'étais si fier de vous présenter l'apparence, je me suis fourvoyé magistralement. En particulier, j'ai prévu le bouton jaune qui annule **T Lect.** Comme à ce moment là une certaine confusion est venue embrumer mon mental, et oubliant que le



Ben le Totoche il a plein plein plein de chance, car en Mathématiques moins par moins ça fait plus, et sur sa machine-truc "erreur plus erreur" évapore le problème. C'est pas souvent qu'une erreur peut vous sauver la mise.

problème était paré, en continuant à dessiner de beaux boutons sur l'ordinateur, je suis arrivé à la zone d'utilisation de la machine. Travaillant sous contrôle des schémas, et oubliant que le B.P. avait été traité, j'ai doublé par erreur **T Lect** en ajoutant à proximité de RUN le bouton **U Déblc**. Quand la face avant a été matériellement achevée et que je suis passé à son câblage, j'ai alors découvert avec stupeur cette erreur, avec la présence de ce bouton fort inutile.

- Trop tard ! (Il commence à me pomper l'air Dudule avec ses remarques déplacées !)

En désespoir de cause, j'ai branché les deux boutons en parallèle puisqu'ils ont le même effet. J'avais prévu dans les fiches d'exploitation, d'utiliser **U Déblc** à la mise en service de la machine et **T Lect** lors d'une erreur détectée. Ainsi ce bouton inutile "semblait" indispensable des les check-lists !

Sauvé par cette erreur idiote, ce deuxième B.P. (*Qui restera inscrit **U Déblc** car la façade est figée, alors qu'**Init Horloge** aurait été plus pertinent*) n'en devient pas moins indispensable. Maintenant, il sert à positionner librement le rotor de l'HORLOGE et ainsi permettre l'initialisation totale de la machine, mais s'avère également très utile en phase d'intégration des systèmes, ou en maintenance banale. Le schéma pour effectuer cette modification s'avère particulièrement compliqué :

- On dessoude les lignes qui pontaient les deux B.P. en parallèle libérant ainsi **U Déblc**.
- Conformément au schéma de la fiche **Câblage de la Face Avant**. (2/5) ponter l'une des broches à **GND** et l'autre par un simple fil à la cosse commune **C1** du Switch de l'ACR de la fonction **LECTURE**. Ce branchement est également détaillé sur la fiche **Câblage du rotor de l'HORLOGE**. (1/2).

FONCTIONNEMENT : Tant que l'on clique sur le bouton poussoir **U Déblc** la came de l'HORLOGE tourne, pour s'immobiliser immédiatement quand on le relâche. Il devient facile d'orienter cet index à convenance. L'inverseur **Normal / LENT** sera commode pour accélérer le mouvement loin de l'origine **ARRÊT** et le ralentir à la fin pour plus de précision. Noter que dans l'encadré jaune de la petite fiche **Utilisation de la machine** pour l'item **INITIALISATION** il est précisé qu'il ne faut **surtout pas s'arrêter sur la fonction LECTURE** ce qui bloquerait son mécanisme.

- Et oui Dudule, un simple fil a tout arrangé et il n'y a plus de doublon sur la Face Avant !

➤ Erreur grave de conception.

Actuellement cette erreur est corrigée autant matériellement sur la machine que dans les divers documents concernés. Un petit détail qui lors du développement est passé complètement inaperçu, mais qui lors de l'intégration a généré plusieurs comportements incompréhensibles et imposé trois jours de déverminage pour en trouver la cause. (*Petite cause ... grand effets !*)

Considérons la Fig.1 sur la fiche **Circuit de la motorisation du carrousel**. Pour ne pas qu'une consigne de type "**G**" ne "remonte vers "**D**", la diode **D3** a été ajoutée au schéma et sur le circuit imprimé. Il aurait été bien plus logique par raison d'homogénéité, de l'insérer en série, comme pour **D1**, au nœud de la résistance de **270Ω** du relais **R1MR**. Démasquée trop tardivement, ce n'était vraiment plus facile à modifier sur le circuit imprimé incriminé. Du coup, restant ajoutée en série dans la branche électrique impliquée, elle est placée en amont directement dans l'entrée de la consigne en **T**.

Au prix de ce petit manque d'élégance, les divers problèmes engendrés par cet oubli sont éliminés et la fonction **ROTATION** se comporte maintenant comme prévu initialement sur le papier.

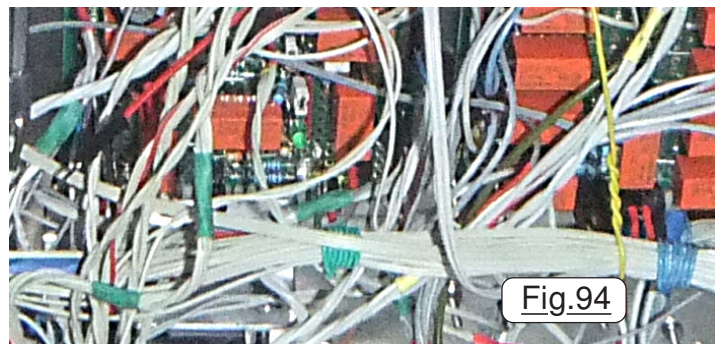
Reste qu'ajouter cette diode coté composant n'était pas facile, voir impossible, aussi ce composant **D3** est soudé sur le dessous ce qui n'est pas "rationnel" au point de vue de la présentation du circuit imprimé, avec toutefois pour avantage une modification très facile à pratiquer.

On rencontre ici un phénomène classique en phase d'intégration d'un ensemble complexe, à savoir la découverte de défauts de conception. Quelle que soit la qualité des ingénieurs qui développent un projet ambitieux, il est totalement impossible de penser à tout, raison pour laquelle 99,99% des études sont faites sur ordinateur ... et validées au final sur un (des) prototype(s).

➤ **Une TRÈS TRÈS TRÈS MAUVAISE idée !**

C'est forcément sur le circuit imprimé le moins accessible et de loin le plus difficile à rebrancher que l'on va rencontrer le plus d'erreur à corriger ! Comme vous allez le constater dans le chapitre suivant, à ce titre pour la mise au point j'ai été servi ? Galère sur galères et encore galère ...

Sur cette machine, comme c'est le cas pour pratiquement toutes mes réalisations, les circuits imprimés sont organisés en plaçant sur leur périphérie des connecteurs HE14 mâle qui permettent d'assurer les liaisons avec les divers autres circuits. C'est une solution qui a toujours fait ses preuves et démontré sa



validité. C'est du reste le cas pour tous les circuits de notre machine ... sauf pour l'HORLOGE et le module des TRANSITIONS. *Il s'agit ici d'un cas très spécifique, voir singulier.* En effet, sur ces deux modules les branchements sont particulièrement nombreux imposant la présence d'un nombre considérable de lignes filaires. *Lorsque ces dernières sont connectées, elles forment une toile d'araignée inextricable qui masque totalement les deux unités.* Chaque fois

que l'on désire procéder à une mesure, débrancher ou rebrancher un connecteur constitue une difficulté sans nom qui s'oppose à la manipulation. Impossible d'éclairer la zone, les fils "de cette canopée" forment un treillis inextricable qui masque pratiquement tout ce qui est dessous. La Fig.94 n'est même pas représentative de l'enchevêtrement final, car à peine la moitié des connecteurs y sont branchés. Les lignes sont tellement imbriquées, que lorsque l'on débranche un connecteur pour effectuer une mesure, sans s'en rendre compte on en libère involontairement un autre ... et lorsque l'on connecte à nouveau celui diagnostiqué, l'ensemble de la machine devient incohérent et l'on perd un temps fou à en trouver la raison. Enfin, sachez qu'au début de l'intégration des systèmes, pour déposer et rebrancher le circuit des TRANSITIONS il me fallait une heure. Avec l'expérience, j'y arrive maintenant en vingt minutes !

CONCLUSION : maintenant que l'ensemble des schémas est déverminé et que les plans de câblage sont validés, je vous invite avec insistance à changer de technique pour les deux circuits incriminés. **VOUS PRÉVOYEZ UNE DB25 FEMELLE POUR CHACUN.** À la place des prises HE14 sur les circuits imprimés incriminés vous soudez des fils souples qui vont à la DB25. Ces fils seront répartis sur la périphérie laissant entièrement libre la zone centrale du module. Pour le circuit des TRANSITIONS la DB25 n'est pas suffisante pour tout connecter. Aussi ne relier à cette dernière que les lignes situées du côté de l'HORLOGE, *c'est à dire les moins accessibles.* Pour les autres, les connecteurs HE14 conviendront bien car situés vers l'extérieur de la machine ils sont faciles à manipuler.

➤ **Galère plus galère plus galère égal ... une marine de guerre !**

Autant le circuit électrique du module des TRANSITIONS a fonctionné du premier coup lors des essais primaires initiaux, autant il a fait une résistance acharnée lors de l'intégration des systèmes. Une guerre sans merci imposant plusieurs jours de diagnostic, de recherches, d'hypothèses et de manipulations délicates menées sous le couvert de la canopée. Plusieurs épisodes pour lesquels il a fallu déposer le circuit le plus difficile à séparer de l'U.C. et surtout de remise à sa place. Bref ... une guerre technique. L'effet imprévu n'était pourtant pas spectaculaire. Un simple déclenchement de l'erreur **ER 2** alors qu'il n'y avait tout au plus qu'une seule transition validée sur *le simulateur de MATRICE décrit dans le chapitre n°15.* Pour mémoire, cette sécurité se déclenche en théorie dès que sur une ligne d'instruction de la MATRICE plus d'une transition est programmée sur la feuille perforée.

L'analyse du problème a consisté en premier à ne pas brancher la ligne qui fait disjoncter l'alimentation pour pouvoir conduire les manipulations sans que la disjonction d'énergie ne se produise en permanence. Un témoin qui s'illumine sans raison sur un circuit qui avait fait ses preuves en validation individuelle doit probablement résulter d'une erreur de branchement au soudage. *(Cette hypothèse est d'autant plus probable que plusieurs fautes de ce type ont été trouvées et corrigées lors de cette phase d'intégration des systèmes.)* Après moltes vérifications et vérifications encore et encore, force est de constater que le câblage était parfaitement conforme aux fiches dédiées. Le problème ne pouvait avoir sa source que dans une erreur de conception du schéma de l'unité de traitement concernée. **Page 22**

➤ L'historique d'une défaite !

Initialement, les pages 23, 24 et 25 de ce document étaient encombrées par des chapitres rédigés au fur et à mesure de l'avancement du projet. Une première erreur de conception du circuit électrique des transitions avait amené un chapitre correctif avec modifications diverses sur la carte imprimée la plus chargée de la machine, celle avec 12 relais les uns contre les autres. Puis, une deuxième erreur de conception a pour son compte amené à constater la "présence fantôme de tensions parasites" sur les sorties de la matrice générant des erreurs de type **ER 2** non réelles. La recherche de ce phénomène s'achevait par :

CONCLUSION : Après deux jours de prise de tête je me retrouve dans l'incapacité de comprendre ce phénomène. J'abdique, car je ne vais pas y passer des lustres, et il faut prendre une décision pour faire avancer le projet et surtout éviter de craquer et de balancer la machine à la poubelle !

- **Ben cette fois Totoche, je crois que c'est la fin du bout de la défaite !**

(Là je commence à titiller une pression explosive, va passer par la fenêtre le Dudule !)

- **C'est toi qui a tout conçu et tu piges pas pourquoi ce +10V ? Ben t'es vraiment pas fort !**

(PLOUFFFFFFFFF, la fenêtre était ouverte et Dudule est en train de patauger dans la piscine !)

Cet aveu d'impuissance était suivi d'un chapitre spécifique pour parer le problème :

➤ Parade pour supprimer définitivement l'incident d'ER 2.

Puisque je suis incapable de trouver l'origine de cet incident particulièrement agassif, on va se contenter pour l'ignorer définitivement, de ne valider le test de détection d'une **ER 2** uniquement durant l'impulsion de déclenchement d'une séquence de TRANSITION.

S'en suivait un schéma électrique de correction, des photographies d'un petit circuit imprimé additionnel le tout devant reléguer enfin ce problème aux oubliettes.

Une fois que les problèmes rencontrés ont été résolus, je justifiais un peu ces difficultés par :

Concevoir à 100% n'exclue pas l'incompréhension.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, dans les projets d'envergure, sur certains points précis, les concepteurs peuvent se "cogner" à des phénomènes qu'ils n'arrivent pas à expliquer. Par exemple, il est bien connu que sur les "bus" de transfert de données dans les gros processeurs, il se produit des "ondes stationnaires", des générations d'harmoniques qui dégradent le fonctionnement. Dans ce cas, les ingénieurs se contentent d'ajouter des capacités "parasites" que quelques picofarads et le processeur donne alors parfaite satisfaction. Autre phénomène inexpliqué, le transitoire qui se produisait lors de l'allumage des moteurs des Navettes actuellement ferraillées. Sur tous les films on observe qu'à la mise à feu les tuyères directionnelles sont victime d'un tremblement parfaitement visible sur les vidéos de décollage. Ces mouvements brusques sont toujours incompris. Aussi, pour parer ce phénomène très dangereux si la tuyère vient cogner sur les cotés, les ingénieurs se sont contenté à l'allumage de transformer les vérins de vectorisation en "bloqueurs centraux à forte pression". Affaire classée, dès que les moteurs donnent leur puissance nominale, les vérins redeviennent alors des orienteurs pour guider l'ensemble sur sa trajectoire. Bref, ce type de mystère, compensé par des "bidouillages" se retrouve dans tous les projets dès que ces derniers présentent une certaine complexité. **À mon échelle, c'est bien ce qui s'est produit ...**

Incident oublié, le développement s'est poursuivi durant plusieurs semaines jusqu'au chapitre 22 en page 32 du didacticiel mis au propre au fur et à mesure de l'avancement du prototype. C'est à ce moment que la décision a été prise de gérer les TRANSITIONS avec un microcontrôleur sous la forme d'une petite carte Arduino NANO car avec une logique 100% à relais je n'y suis pas arrivé. En retirant de cet exposé tous ces chapitres devenus inutiles, il en résulte deux conséquences sur l'organisation de ce document :

- 1) Comme précisé dans le chapitre qui suit, je profite d'un "trou" de deux pages pour intercaler un chapitre supplémentaire qui détaille un changement de circuiterie survenu vraiment très tardivement.
- 2) Un grand nombre de figures ont été enlevées. Du coup, on passe plus avant directement de la Fig.96 à la Fig.103 car il n'était plus envisageable de tout renuméroter. Ne cherchez donc pas ces dessins fantômes et ces images "subliminales" !

17-B) Erreur ER1 de programmation.

Profitant du "trou" qu'engendre la suppression des chapitres inutiles, j'intercale ici un exposé relatif à un problème tardif survenu lorsque la machine était pratiquement achevée. Comme il n'est pas question de corriger la numérotation des chapitres qui suivent avec à la clef un effet boule de neige qui ajouterait encore plus "d'entropie", le chapitre n°17 est "doublé" avec la facette **A** et la narration **B**.

De quel problème nouveau s'agit-il ?

Supposons que le programmeur se soit trompé en perforant la grille de l'algorithme. Il fait un trou pour "B" et un trou pour "1". Les deux sorties étant validées simultanément, les unités d'ÉCRITURE vont se déclencher en opposition. Celle du haut va tenter d'enfoncer entièrement le pion, alors que celle du dessous va le pousser vers le haut. Résultat : Les deux unités vont aller au blocage mécanique, les moteurs vont rester sous tension forçant au maximum en chauffant anormalement.

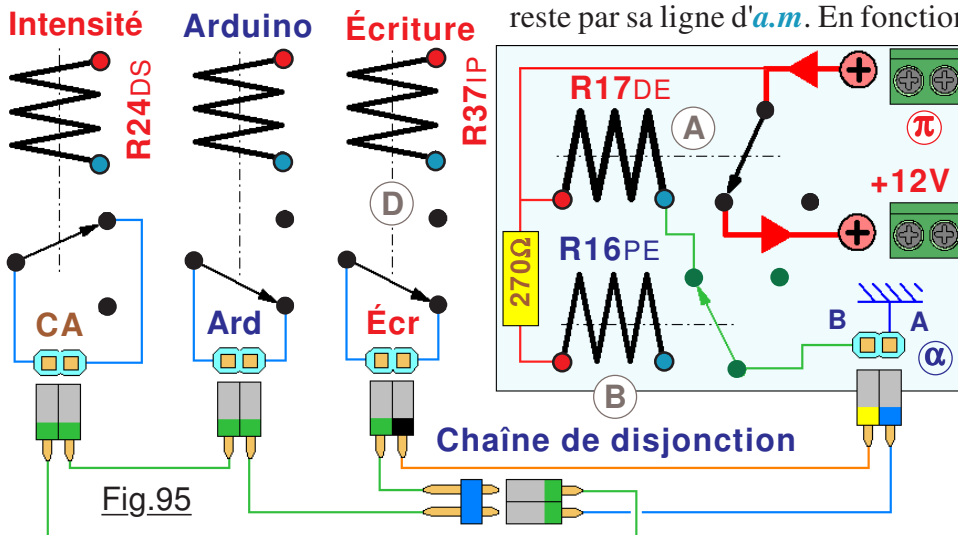
J' avais prévu une parade qui consistait à faire disjoncteur l'alimentation dès que la LECTURE révélait une telle contradiction. La solution trouvée fonctionnait correctement dès que la fonction LECTURE avait été réalisée. Et puis les mois ont passé, et travaillant sur des algorithmes divers pour fiabiliser le prototype, je n'ai jamais provoqué d'erreur **ER1** puisque la parade était validée. Hors, entre temps j'ai développé le mode ÉCRITURE en **MANUEL** qui se sert de l'unité de LECTURE comme mémoire. Ce changement a engendré un effet pervers qui s'est révélé tout à la fin lors de l'introduction d'une feuille perforée "brouillon" sur laquelle je passe mon temps à boucher des trous et à en pratiquer d'autres pour procéder à des essais sur la machine. PAFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFFF ... nouveau problème de taille. Suite à toutes les évolutions survenues dans les divers circuits électriques, l'erreur **ER1** coupait l'énergie dès la LECTURE effectuée. Hors la tête de lecture n'était alors pas rétractée et lors de la remise sous tension, tout déclenchement d'une LECTURE que ce soit en automatique ou en manuel forçait une sortie alors que le mécanisme se trouvait déjà contre le pion. Résultat : Coincement mécanique et **GRRRRRRRRRRRRRRR !**

➤ **Traitement de l'erreur de programme ER1.**

Éviter un problème de blocage de la tête de LECTURE consiste à attendre qu'elle soit rétractée normalement avant de couper l'énergie sur la machine. Au prix de deux relais supplémentaires, lorsqu'une erreur d'écriture est détectée, on attend que la *came* arrive sur le Switch qui devrait déclencher l'écriture pour couper le +12V en sortie du relais de puissance. Du coup, pour sortir d'une telle situation le protocole est particulier et fait l'objet d'une mini-fiche intitulée **Utilisation de la machine**. (5/9) avec pour chapitre ➤ *Sortie d'une ER1*. Examinons le fonctionnement du circuit dédié :


Retour sur la Fig.94 du ET logique de détection d'une erreur de type **ER1** qui reste d'actualité. L'explication est donnée en Fig.42 du document **Présentation électrique 1.pdf** à la page 24. On retrouve le relais **R18SE** qui sert à détecter l'erreur d'écriture.

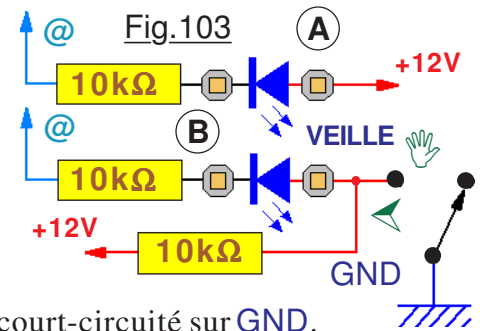
Toutefois, avant d'aborder les explications relatives au fonctionnement de la sécurité en ÉCRITURE **AUTOM**, Fig.94 consultons la Fig.95 qui résume la "cascade" des trois fonctions de sécurité qui sur la machine peuvent provoquer une disjonction. Dans le rectangle bleu pastel est résumée la zone qui commute l'énergie. Quand l'opérateur a cliqué sur **MA** le relais **R16PE** passe au travail et y reste par sa ligne d'*a.m.* En fonctionnement nominal les trois sections



nement nominal les trois sections **CA**, **Ard** et **Écr** de la **Chaîne de disjonction** sont fermées et pontent le connecteur HE14 en **(α)** assurant l'énergie du relais de puissance **R17DE**. Il suffit que l'une quelconque de ces trois sections s'ouvre, privant le point froid du relais **R17DE** de **GND**. L'énergie de puissance arrivant en **(α)** se coupe Immédiatement, privant la machine de la tension générale en sortie **+12V**.

➤ **Une petite bonne idée de dernière minute.**

C'est forcément quand on commence à utiliser réellement un ensemble technique quel qu'il soit, que l'on confirme ses qualités opérationnelles, mais que l'on découvre également ce qui est moins bien. Lorsque la phase d'intégration a été engagée, les manipulations ont été nombreuses et parfois indigestes. C'est durant cette période que le témoin **VEILLE** d'un bleu vif s'est au final montré un peu trop présent. Il est ressorti de façon "évidente" que lorsque le mode MANUEL est sélectionné, son éclairage est pour le moins impertinent. Aussi, au prix d'une modification mineure du câblage, ce témoin ne s'allume que lorsque la machine est en attente et en mode AUTOMATIQUE. Dès que l'on passe en mode MANUEL il s'éteint, ce qui est de loin bien plus logique. La modification élémentaire à apporter aux circuits de la Face Avant est représentée sur la Fig.103 sur laquelle en **A** est montré l'ancien schéma. Pour allumer le témoin **VEILLE**, la logique initiale fournit un état **GND** sur la ligne @. Actuellement, en solution **B** on constate que lorsque l'inverseur passe en mode MANUEL symbolisé par , le **+12V** est court-circuité sur **GND**. Le témoin est alors éteint. Dans ces conditions le courant est limité à la valeur dérisoire de 1,2mA. Quand on est en mode AUTOMATIQUE la LED bleue s'illumine. Cette fois on a doublé la **10kΩ**, c'est à dire que l'intensité qui la traverse est pratiquement deux fois moindre. Cette baisse de courant est strictement sans effet visuel, car le composant utilisé présente un rendement tellement bon que visuellement l'on ne fait pas la différence. Naturellement tous les documents relatifs à cette modification tardive ont été mis à jour.

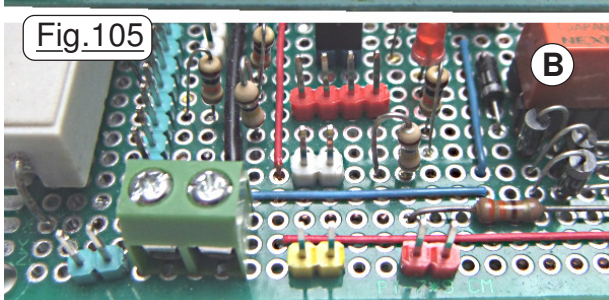
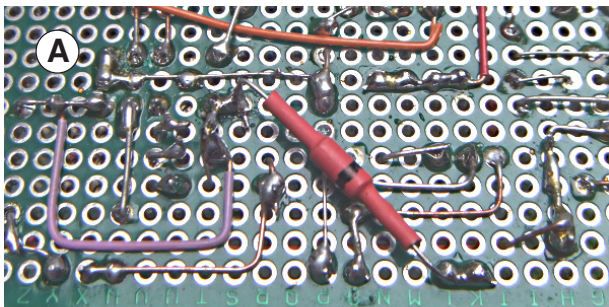
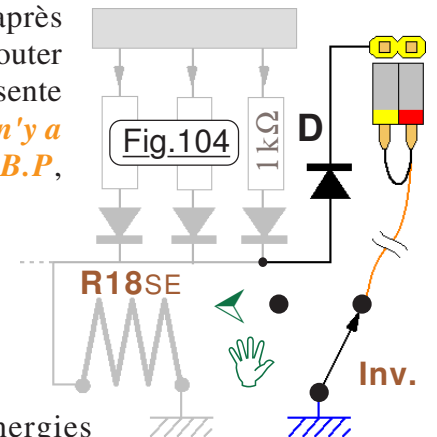


➤ **Encore une "vermine" imprévue.**

Pratiquement chaque fonction aura fait de la résistance lors de l'intégration des systèmes. Ceci dit, que le module d'ÉCRITURE révèle une difficulté de plus n'est pas vraiment une surprise, car c'est celui qui a un maximum d'interférence avec les autres unités périphériques, et en particulier avec le module de LECTURE qui sert de mémoire pour le mode MANUEL. Dès que ce sous-système a été réuni au reste des circuits électriques, le mode AUTOMATIQUE a fonctionné pratiquement sans problème. Par contre, lorsque le mode MANUEL a été testé, une vraie catastrophe. Le pilotage du "0" provoquait une disjonction sur détection d'**ER1**. Le "B" et le "1" acceptaient l'écriture, mais une seule fois. Une deuxième tentative, y compris en changeant d'état provoquait à son tour **ER1**. Finalement, après analyse pointue du phénomène, une solution très simple qui a consisté à ajouter une liaison avec une diode a éliminé ce problème épineux. La Fig.106 présente la solution retenue qui consiste à interdire **ER1** en mode MANUEL. *Il n'y a plus de protection si l'opérateur clique simultanément sur deux B.P*, ce qui logiquement ne devrait pas se produire. Il faudra faire avec !

Le principe de ce correctif est simple : Quand l'Inverseur est basculé en MANUEL, il force la sortie du ET logique à **GND** et le relais **R18SE**

ne peut passer à l'état travail. Cette correction tardive du circuit imprimé qui gère les énergies n'a pas facilité l'implantation de la diode coté composants. De plus, la zone encore dégagée qui permettait de souder le HE14 jaune se trouvait proche du bornier de sortie. Aussi, la diode a été ajoutée sur le dessous. Comme ce composant peut être "poussé" par les "gros" fils de liaison d'alimentation qui sont sur le dessous, il faut impérativement souder **D** le plus proche possible vers la plaque imprimée. Comme le montre la Fig.105 **A** la diode est isolée par de la gaine thermo-rétrécissable. (Dont le coté cathode a été repérée au stylo feutre noir.) La photographie Fig.105 **B** présente le coté composants et en particulier le HE14 jaune de liaison.



➤ Encore un phénomène imprévu.

C'est encore le module d'ÉCRITURE qui génère un souci imprévu, qui résulte cette fois de l'agencement du schéma pour intervenir en mode MANUEL. Sur la circuiterie de l'ensemble, seul le Switch de déclenchement d'une LECTURE inconditionnelle active un comptage de cycle. Pour ne pas modifier la valeur de ce mécanisme électromagnétique, il était mis hors service jusqu'au moment d'effectuer les premières "rotation" en mode AUTOM. qui active la rotation de la *came* de l'HORLOGE.

Glups, corne de gidouille, mais il y a encore une carabistouille !

Figurez-vous que les trois B.P. d'ÉCRITURE en mode MANUEL déclenchent des comptages intempestifs.

Berk, berk de Berk, encore un problème à analyser.

- Et bé Totoche, t'en auras oublié des détails électriques sur ta machine !

- Fais gaffe Dudule, on est en hiver, et l'eau de la piscine n'est pas bien chaude !

(La fenêtre est fermée, mais pour appuyer ma menace je l'ouvre en grand ...)

ANALYSE du phénomène : La technique consiste à déclencher une ÉCRITURE en simulant la *came* de l'HORLOGE. Le circuit électrique ne fait pas la différence et engendre des comptages de cycle comme en mode AUTOM. Comme montré sur le schéma Fig.1 de la fiche nommée *Petit circuit imprimé de correction* la technique consiste à ouvrir la ligne de validation du compteur électromagnétique par R46IC le Relais n°46 d'Isolation du Compteur quand l'Inverseur de mode d'utilisation est en option MANUEL. Cette fiche présente en Fig.2 le dessin du circuit imprimé équipé de ses deux relais, corrigeant ainsi deux dysfonctionnements découverts lors de l'intégration des systèmes. Le câblage de cet ajout consiste à réunir le HE14 à cinq broches avec quatre lignes vers l'Unité Centrale et tout rentre dans l'ordre. *(Pendant que Dudule va grognonner dans son coin ... pourtant j'ai refermé la fenêtre !)*

➤ Un petite idée lumineuse !

Dérisoire de par sa simplicité, cette lampe constituée d'une LED blanche à haut rendement lumineux se branche sur la nourrice ou éventuellement entre GND et π pour éclairer même quand l'alimentation est coupée avec le B.P. AR. D'une grande simplicité, cette lampe n'est constituée que d'une LED avec mise en série d'une résistance de 10k Ω . Sa consommation est tellement faible que l'on peut la laisser branchée en permanence sans pour autant aggraver le réchauffement climatique. Sa justification réside dans deux particularités qui en font un outil "indispensable" :

- *Une très longue ligne de liaison*. Ainsi branchée sur la nourrice on peut éclairer l'intégralité des zones de la machine.
- *D'un diamètre minimisé*, elle peut s'insérer sans aucun problème dans la "tignace" des fils de l'Unité Centrale pour éclairer directement la zone dans laquelle on désire débrancher ou rebrancher un connecteur HE14.

Je n'ai qu'un regret, celui de ne l'avoir réalisée que vers la fin quand la machine était pratiquement terminée. Toutefois, elle restera disponible et très appréciée en opérations de maintenance.



Fig.107

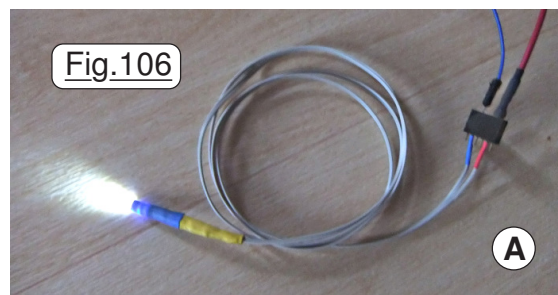
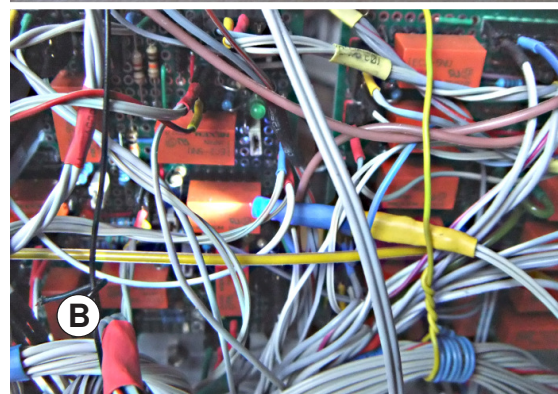


Fig.106



B

La Fig. 106 A montre que l'éclairage est intense et très localisé, alors qu'en B cette petite lampe directionnelle est insérée directement dans le câblage pour éclairer à convenance la zone d'intervention. Enfin, pour la ranger on peut la glisser dans un sachet tel que celui de la Fig. 107, ou la laisser en permanence branchée sur la machine, lovée discrètement sous le pivot central au dessus du module de ROTATION par exemple.

► **Quand il n'y en a plus, il y en a encore !**

Impitoyable se montre l'intégration des systèmes et une campagne d'essais "sévère" pour tenter de faire émerger toutes les faiblesses de conception. En effet, lorsque la machine a été déclenchée en mode **RUN** un grand nombre de fois, à plusieurs reprises l'alimentation a été coupée juste après la lecture d'un "1". Quand on observe les témoins logiques, on constate que la LED rouge s'allume conformément aux prévisions, mais la LED verte flashe durant un très court instant.

Conclusion : Bien que le Switch du "0" ne soit pas activé matériellement, par un phénomène non étudié actuellement, les deux sorties sont simultanément présentes. La durée permet à la sécurité pour **ER 1** de se déclencher, sans pour autant allumer la LED concernée. La solution à cet aléa consiste à ne faire prendre en compte **ER 1** que si la présence de deux sorties soit suffisamment longue. Dans ce but, on réutilise l'idée d'une "intégration"

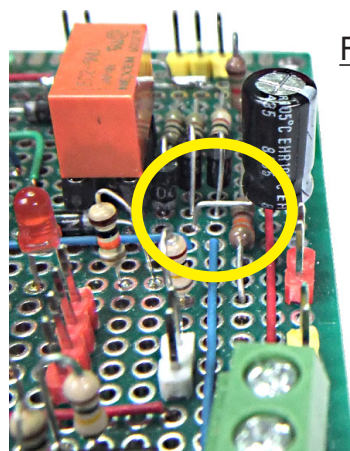
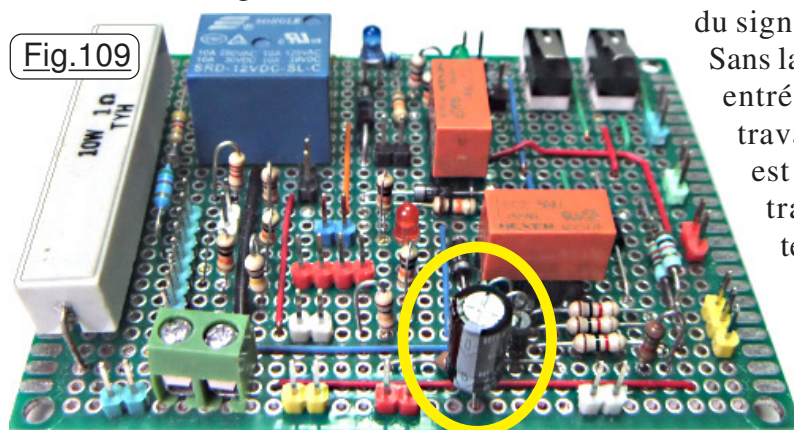
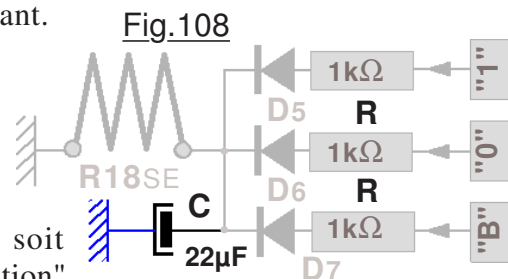


Fig.110

durée est largement suffisante pour éliminer le problème, mais n'altère absolument pas la détection si c'est le programme perforé qui est en cause. Naturellement tous les schémas ont été corrigés, y compris celui de la Fig.42 en page 24 ainsi que les dessins des circuits imprimés concernés. Cette transformation de dernière minute n'était pas prévue, et il a fallu trouver une place sur le circuit imprimé. Sur le dessous du C.I. la hauteur n'était pas suffisante, du coup, comme le montre la Fig.109 c'est par dessus les composants qui étaient présents que le condensateur **C** a été ajouté. De ce fait sa broche négative, ce que montre la Fig.110, passe juste au-dessus de la résistance de **330Ω**. Il faudra veiller à ce qu'il n'y ait aucun contact électrique avec les éléments voisins. La présence de ce nouveau venu un peu encombrant ne gêne absolument pas la mise en place des connecteurs HE14 voisins.

► **Une sonde LOGIQUE : Petit outil absolument indispensable.**

L'intégration des systèmes a rapidement démontré que les nombreux témoins logiques disséminés sur la machine ne sont au final pas du tout commodes à utiliser. Les raisons en sont détaillées dans la mini-fiche nommée **Sonde LOGIQUE**. Hors la recherche d'un aléa technique sur le module des TRANSITIONS a rapidement fait émerger le manque d'une vraie sonde LOGIQUE.

Les divers détails techniques sont développés sur la mini fiche dédiée. La Fig.111 présente la concrétisation de cette sonde dont la ligne d'alimentation est assez longue pour tester n'importe quel point sur la machine. *C'est à mon sens le tout premier outil à réaliser avant de commencer la campagne de validation des systèmes.*

Une LED verte à la place de la bleue aurait été plus "homogène" avec les couleurs du "0" sur la machine. Toutefois, le composant bleu s'est imposé pour des raisons de rendement lumineux identique à celui de la LED rouge.



Fig.111

18) Un point très important ... oublié dans le didacticiel :

Impossible de penser à tout ; de tout préciser ; lorsque un tutoriel est rédigé en plusieurs mois au fur et à mesure du développement d'un projet. C'est pratiquement à la fin des essais de validation du prototype que je me suis rendu compte, que dans les explications sur les schémas électriques j'ai oublié de mentionner un point pourtant capital au bon fonctionnement de la machine. C'est lors de la description du schéma pour le module d'ÉCRITURE qu'un détail pourtant majeur est passé à la trappe. Comme rectifier le didacticiel au bon endroit aurait complètement chamboulé la mise en page, j'ai opté pour la facilité d'intégrer dans ce document un correctif indispensable, sachant que si vous décidez de "plonger", vous allez forcément parcourir les

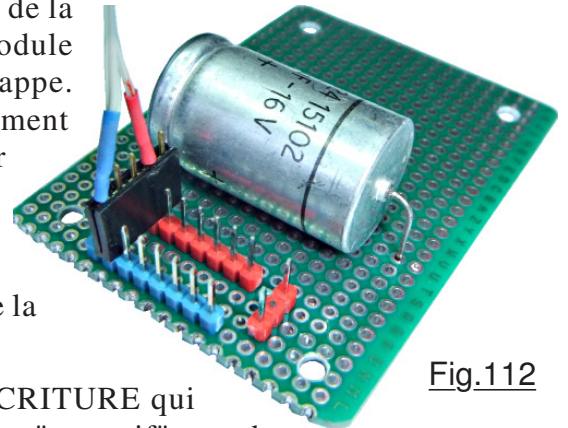


Fig.112

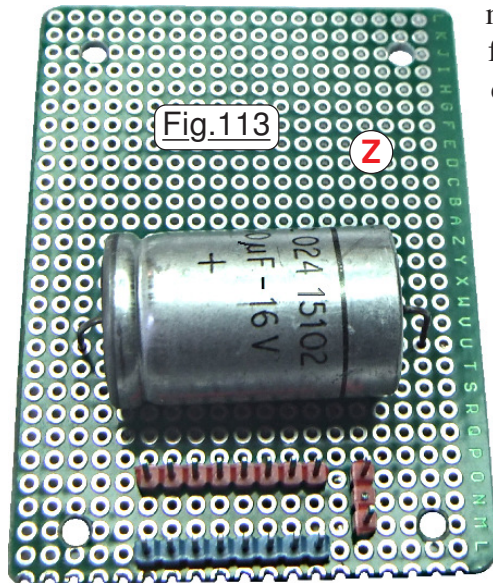


Fig.113

méandres de ce fichier faisant partie intégrante de la description de la machine.

C'est le module d'ÉCRITURE qui génère un transitoire "agressif" quand il est sollicité pour écrire un "0". En effet, ce sont deux moteurs qui sont déclenchés simultanément engendrant une surintensité de démarrage importante. Toutefois, c'est l'inversion de sens qui engendre la surintensité ponctuelle la plus "violente". Comme l'écriture d'un "0" est celle qui génère les rotations les plus courtes, les deux moteurs inversent leur sens de rotation pratiquement simultanément et l'ampèremètre accuse un appel de courant maximal. Cette surintensité n'est que de très courte durée, mais suffisante pour déclencher

le DISJONCTEUR de surintensité. Aussi, la façon la plus simple d'éliminer ce problème de transitoire consiste à *ajouter sur la sortie du module alimentation un condensateur réservoir* qui sera capable de fournir l'énergie transitoire, et limitant pour tous les appels de courant la chute de tension d'alimentation en +12V. Du coup ce débit ponctuel n'est pas mesuré par le disjoncteur et l'ensemble fonctionne correctement. Les essais ont montré qu'une capacité de 100µF serait suffisante. Pour des raisons de "sécurité", un condensateur de 1000µF 16V a été adopté. S'il était directement branché sur la sortie du bloc secteur, le courant de charge serait trop brutal. Aussi, en le plaçant en sortie du module de gestion des énergies, le courant est un peu limité par la résistance de 1Ω servant à mesurer l'intensité consommée par la machine. Les détails de conception du circuit imprimé sont réunis sur la mini-fiche de réalisation nommée **Condensateur réservoir**.

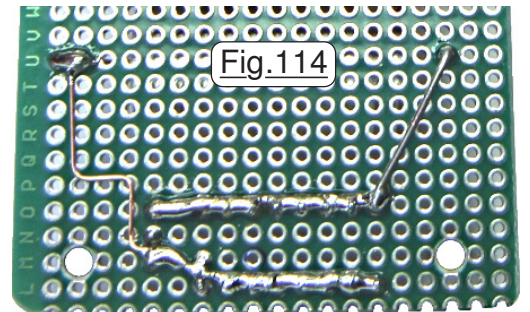


Fig.114

Sur la Fig.113 on observe qu'une grande zone reste disponible pour loger les condensateurs de la sécurité en LECTURE du mode RUN. On observe surtout vers le bas que les connecteurs HE14 sont relativement dégagés. L'écartement de la "nourrice" correspond à celui de la petite lampe à LED qui sur la Fig.112 est en place. Le câblage coté "pastilles soudées" montré sur la photographie de la Fig.CC se résume à peu de choses.

Bon, la nature à horreur du vide, alors sachez que sous peu la zone libre Z de ce petit module sera à son tour encombrée. (Elle est prévue pour loger les deux condensateurs, la résistance et les connecteurs HE14 du module de sécurité pour la lecture en mode RUN, comme précisé ci-avant.)



Hé bé, il est drôlement gros le condensateur bidon truc de papy. C'est encore un débris qu'il a gardé depuis la dernière guerre. En plus il n'est même pas en couleur ce bidon plein plein d'énergie.

19) Sécurité LECTURE en mode RUN :

Annoncé dans le chapitre précédent, on peut ouvrir une parenthèse relative à la concrétisation de la sécurité sur la fonction LECTURE en déroulement d'un programme logé sur la feuille perforée. La solution adoptée est totalement analogue à celle pour la LECTURE en mode manuel, c'est à dire que l'on calibre avec précision la durée de l'impulsion qui déclenche la séquence de LECTURE. Dans ce cas, pour aboutir à la durée optimisée il faut pour la valeur de **C** soit de $690\mu\text{F}$. Naturellement cette valeur n'est pas "sortie du chapeau" par magie. Elle a été ajustée expérimentalement, en association avec la valeur de **R** qui fait ici $1\text{k}\Omega$. Une valeur de $690\mu\text{F}$ n'est absolument pas standard, elle résulte de la mise en parallèle de deux condensateurs. Un élément de $470\mu\text{F}$ et un modèle de $220\mu\text{F}$. Pour cette modification de la machine, j'ai attendu avec patience la réception de composants "actuels" commandés sur la toile, avec des tensions de service d'au moins 25V. Cette longue attente n'étant pas pénalisante pour la campagne d'essais, les deux "gros bidons" restant en service par le biais de "pinces crocodilles. Avec les valeurs annoncées, la LECTURE est fiable, et c'est vital vu que cette fonction est activée à chaque cycle d'horloge.

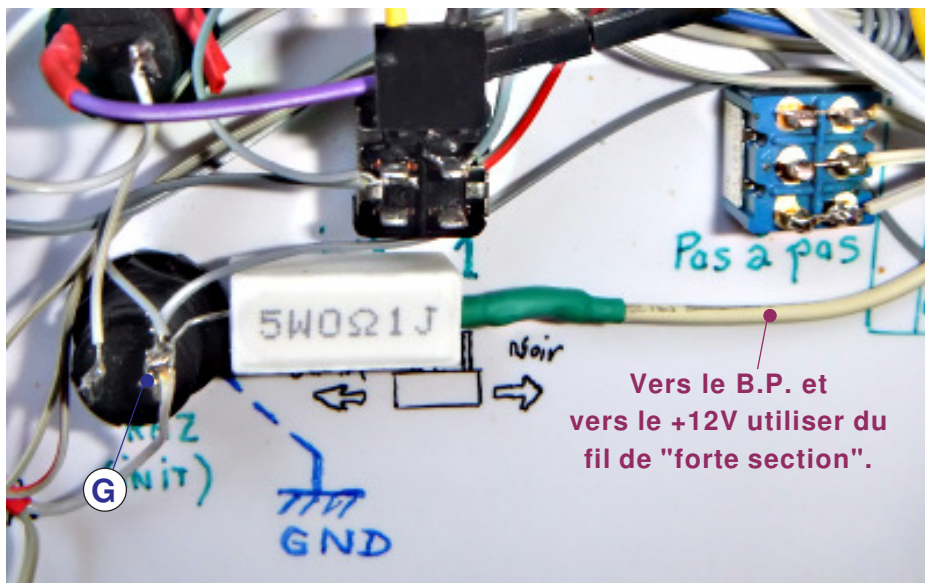
20) Vérification du DISJONCTEUR en Face Avant :

Vérifier régulièrement le déclenchement fiable du DISJONCTEUR de SURINTENSITÉ est un impératif de sécurité. Pratiquement, il suffit de provoquer un court-circuit franc en sortie du module d'alimentation, et l'énergie doit alors se couper immédiatement sur la prise pour fiche banane du statif de la machine. Le bloc secteur pour son compte ne s'aperçoit pas de cet incident et continue à fournir la basse tension. Toutefois, ce n'est pas la technique qui a été adoptée et ce pour deux raisons :

- **Un court-circuit direct sur les picots de la nourrice n'est pas très sérieux**, car l'étincelle avec plusieurs ampères, fût-elle de courte durée, n'est pas conseillée du tout.
- Suite à des aléas découverts en intégration des systèmes on s'est retrouvé avec un bouton poussoir et un témoin logique inutilisé sur le tableau de maîtrise. *(Pour vous il serait facile de ne pas l'intégrer, mais sur le prototype c'est trop tard. Le matériel et les inscriptions de façade sont figés...)*
- Enfin, chercher à chaque fois une résistance de bonne valeur pour faire le test n'est pas idéal.

➤ Test du DISJONCTEUR en Face Avant.

Précisé sur la microfiche nommée **Test du DISJONCTEUR d'intensité**, la valeur de la résistance qui limite un peu le fort courant qui traversera le bouton poussoir ne fait que 0.1Ω dont les dimensions sont un peu exagérées, car prévue pour une puissance de dissipation de 5W. Un modèle standard de 0,5W serait parfait, mais non disponible dans les stocks. Il serait presque possible de s'en passer, car il y a en permanence la résistance de 1Ω en protection, composant servant à mesurer le courant consommé par la machine. Donc, quand on clique sur le **B.P.** l'intensité instantanée fait environ 12A et immédiatement le disjoncteur coupe l'énergie. Bien que pour tester la fiabilité de ce petit montage, j'ai actionné un grand nombre de fois le dispositif, il sera sage de ne le provoquer qu'une fois ou deux à chaque maintenance périodique. Pas plus, car n'oublions pas que si le relais **R17DE** peut allègrement commuter 10A, le point faible c'est le **B.P.** jaune qui n'est prévu que pour 3A. Il faut le ménager et limiter ces tests "de routine".



Sur la Fig.115 on note que l'on "récupère" **GND** sur le bouton poussoir **INIT.** et surtout que les lignes qui vont vers **B.P.** et vers le **+12Vcc** sont de sections importantes. Des photographies montrent la solution matérielle avec les deux fiches bananes superposées en "gigogne" sur la prise jaune de sortie du circuit de gestion des énergies.

Fig.115

21) Intégration des systèmes, mise au point, maintenance :

Bien que pour vous il ne s'agit plus d'un prototype dont on développe lentement la structure, et que les schémas sont (*En principe !*) bien au point, vous allez forcément être confrontés à de nombreux problèmes lors de la validation globale. Vu le nombre d'interconnexions, il me semble impossible de tout réaliser correctement du premier coup. *Quand un module ne se comportera pas normalement, c'est à ce moment précis que les schémas et les explications seront indispensables.* Hors il faut pouvoir intervenir sur l'ensemble des modules et des connecteurs de la machine, ce qui n'est pas possible quand elle se trouve dans sa configuration définitive. Aussi, il sera indispensable de pouvoir "éparpiller" :

- La Face Avant pour accéder aux deux rotors de l'Unité centrale,
- Le bloc lecteur de la MATRICE pour accéder aux divers circuits imprimés de l'Unité centrale.

Sur la Fig.116 la machine est

en phase d'intégration des systèmes et ses diverses unités sont convenablement "éparpillées" pour pouvoir

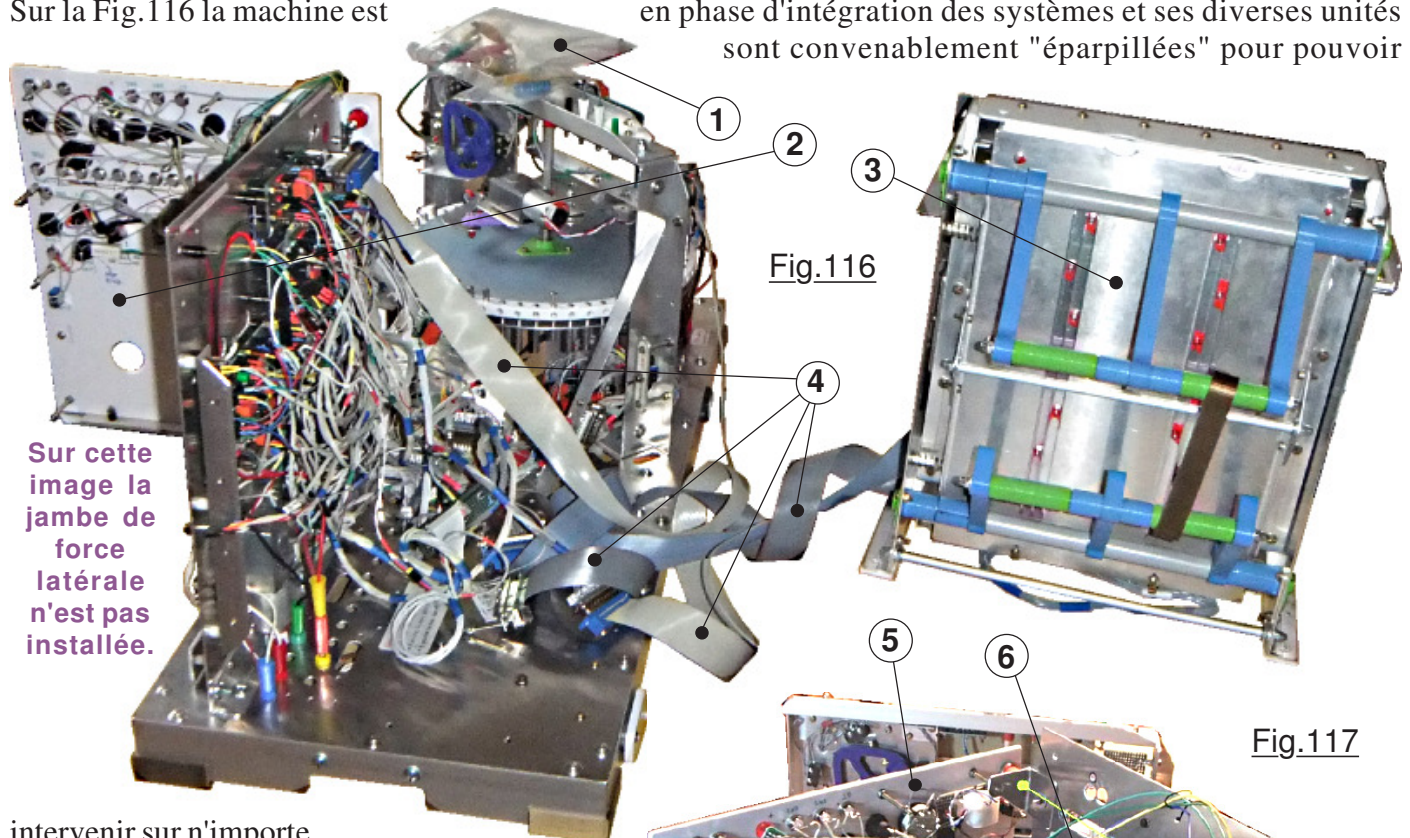


Fig.116

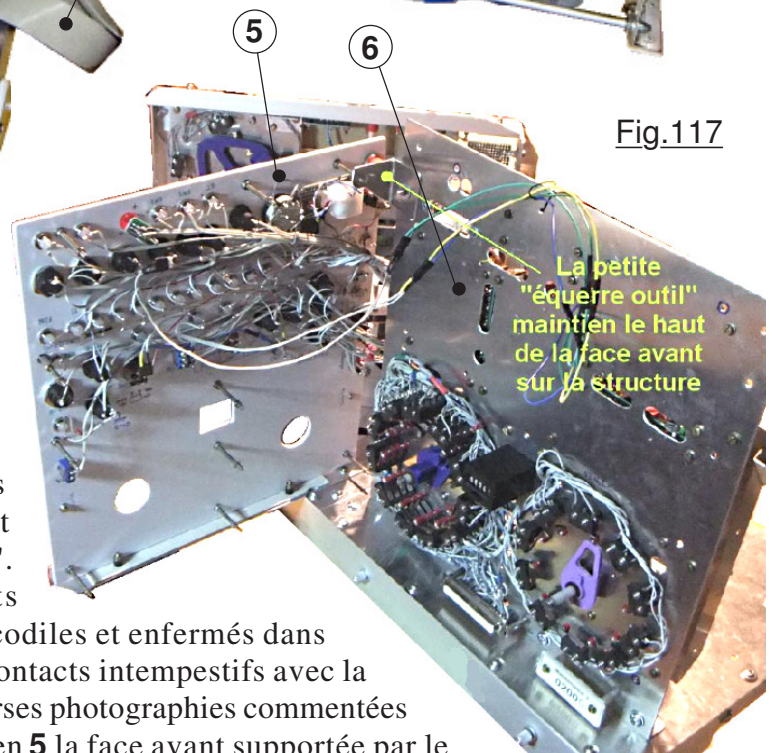


Fig.117

intervenir sur n'importe quelle unité encours d'analyse. On retrouve en **2** la Face Avant immobilisée à angle droit par rapport au supporte vertical de l'Unité centrale. En **3** le lecteur de feuilles perforées est écarté et relié à l'Unité centrale par trois limandes plates **4** qui s'intercalent entre les divers connecteurs DB25. Sur cet exemple ces lignes sont exagérément longues car elles étaient disponibles dans l'accastillage du "laboratoire". On peut remarquer en **1** des composants branchés provisoirement avec des pinces crocodiles et enfermés dans un sachet en thermoplastique pour éviter des contacts intempestifs avec la structure. Enfin, sur la Fig. 117 extraite des diverses photographies commentées qui accompagnent ce didacticiel, on retrouve en **5** la face avant supportée par le statif et reliée mécaniquement en haut à **6** la structure verticale de l'Unité centrale.

NOTE : Indispensables pour l'étude d'un prototype, les nombreuses LEDs avec leurs résistances et leur connecteurs HE14 ne s'imposent pas forcément sur votre réalisation car toutes les unités ont démontré leur pertinence. Aussi, vous pouvez en faire l'économie, quitte à n'installer que ponctuellement certains témoins si des difficultés particulières l'exigent.

22) Face à l'impossible il faut accepter le compromis :

Méa culpa, méa maxima culpa. Lorsque la machine a été entièrement achevée et que des algorithmes lui ont été soumis, *un incident rédhibitoire de fonctionnement a démontré que l'ensemble n'était pas fiable*. Le problème se produit lors des TRANSITIONS qui pourtant fonctionnaient parfaitement lors des essais "statiques". Si le programme demande de changer d'un pas, la transition s'effectue normalement. *Si la feuille perforée programme un saut de plusieurs pas, la transition ne se fait pas comme prévu et l'HORLOGE système se met à tourner sans fin*. Ce problème rend la machine inutilisable, rabaissée alors au statu de "tas de ferraille". Après trois jours d'analyses, de mesures, d'enregistrements de configuration, je me suis trouvé dans l'impossibilité de trouver pourquoi cette vermine vient troubler la logique du circuit imprimé. Problème de transitoires ... *franchement je suis dans l'incompétence totale pour résoudre ce mystère*. Vous avez les schémas de la logique à relais, donc si vous trouviez la raison de ce problème, je suis preneur pour divulguer à tout va.

Reste que l'abandon du projet n'est pas une option. *Aussi, quitte à transiger avec l'esthétique, au lieu d'abandonner ma belle machine au rebus, j'ai décidé de traiter les TRANSITIONS à l'aide d'un microcontrôleur*. C'est totalement opposé à l'idée de n'utiliser que les technologies des années quarante, mais *au final je préfère une machine "moins belle" mais qui fonctionne*. C'est un pis-aller, j'en conviens, mais à ce stade il fallait prendre une décision. Rien n'interdira de revenir à des relais si un jour un(e) internaute trouvait la raison de ce comportement singulier. *Et si elle est moins "historique", en l'état cette merveille de mécanique reste à 100% une machine de Turing ...*

Comme chaque fois que je développe un projet à base de microcontrôleur, au lieu de décrire le dispositif par des fiches, je regroupe l'intégralité des informations dans un petit livret au format A5. J'ai donc réalisé un tel document dont je joins un exemplaire nommé **ARDUINO.PDF** qui précise en page 4 comment avec seulement 13 broches du microcontrôleur ATmega328 on gère 22 entrées différentes. En page 2 et Fig.3 avec une seule entrée analogique on teste les deux boutons poussoir.

Tous ces agencements sont subtils, aussi il était incontournable de valider ces choix avec une flopée de petits programmes pour valider un à un chaque choix effectué pour cette carte Arduino NANO. Un dossier à part nommé <carte ARDUINO> contient le fichier PDF du livret et le programme qui anime la très petite carte électronique. Le fichier **ARDUINO.PDF** contient l'intégralité des informations relatives à ce module : Les organigrammes relatifs au logiciel, les schémas de branchement ainsi que les "explications électriques", le dessin du circuit imprimé etc. Enfin, ce dossier contient neuf images commentées.

➤ Quelques petits détails sur la réalisation de la carte électronique.

Manifestement cette carte électronique est celle qui concentre le maximum d'éléments dans un minimum d'espace. En effet, non seulement le nombre de composants à répartir est considérable, mais le connecteur à verrouillage se taille la part du lion et monopolise à lui seul un tiers de la surface disponible.

Aussi, ce circuit est assez délicat à réaliser, et il faut s'y prendre avec méthode et rigueur. Par exemple sur **Image 01.JPG** on commence par souder les composants de faible hauteur. Puis comme sur **Image 02.JPG** on soude la zone la plus dense en commençant sur chaque "ligne" par les deux résistances de 10kΩ. On soude ensuite la 22kΩ en veillant à ce qu'elle ne touche pas la 10kΩ qui est dessous. Quand on retourne la carte pour souder, les composants refusent

de rester en place contre la plaque imprimée. Il suffit comme montré sur la Fig.118 d'écarter les fils pour qu'ils fassent ressort. Ainsi le composant étant glissé des trous reste à sa place quand on retourne l'ensemble. (Voir la Fig.16 en page 12 du manuel A5.) Sur **Image 03.JPG** on observe la densité des composants et la même difficulté se retrouve sur le dessous en **Image 04.JPG**. *Souder le petit fil* sous la diode comme sur **Image 05.JPG** n'est pas facile, aussi il faut le souder *avant la diode*,

"tranche par tranche". Sur **Image 06.JPG** la carte est terminée alors que sur **Image 07.JPG** on observe que le connecteur à verrouillage a été meulé dans l'angle pour laisser de la place au condensateur de découplage de 220µF. Sur **Image 08.JPG** les hauteurs sont étudiées pour que la mini-USB passe sans problème. *Il est interdit de brancher simultanément la mini USB et du +12V sur VIN ou le régulateur 5V de la NANO sera détruit*. C'est la raison pour laquelle le strap à languette qui alimente en +12V empêche sur **Image 09.JPG** de pouvoir insérer la prise USB. *Quand on programme, pour pouvoir téléverser le logiciel on enlève le strap ce qui coupe le +12Vcc*, et on le range à coté sur **Image 10.JPG**.

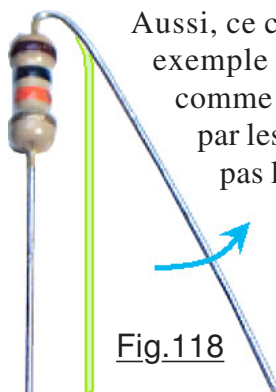


Fig.118

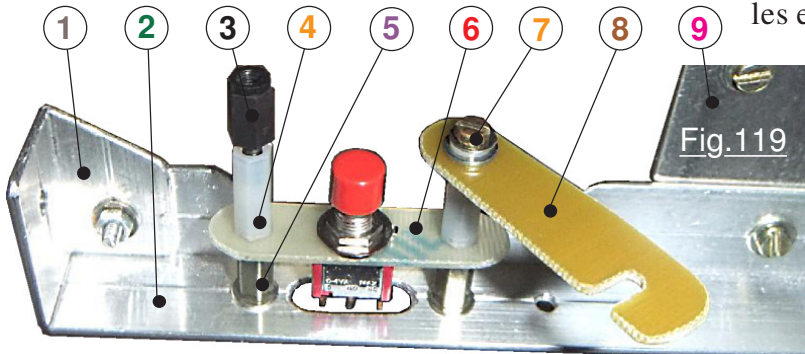
➤ **RESET facilement accessible.**

L'usage de la machine et les heures passées à faire émerger les problèmes potentiels ou avérés génère forcément des impératifs qui n'étaient pas forcément prévus lors du développement. Le RESET de la petite carte Arduino incontournable dans certaines circonstances appartient à cette catégorie de compléments fonctionnels "de dernière minute". Deux cas peuvent conduire à imposer un RESET sur l'ATmega 328. Le premier résulte d'une coupure secteur imprévue lors du fonctionnement de la machine. Quand l'énergie 220V \approx revient la machine se retrouve dans une configuration quelconque.

Puinition analogue, lorsque l'opérateur s'aperçoit que l'algorithme proposé à la machine est erroné. L'HORLOGE tourne alors sans fin et ne déclenche aucune fonction. Elle tourne à vide. Ce cas se présente, par exemple, lorsqu'une ligne de programme indexée, probablement par erreur, ne comporte aucune instruction. Dans ce cas la parade la plus radicale consiste à cliquer sur le bouton **AR** qui coupe l'énergie. Comme la carte NANO est sur le +12Vcc issu de π elle ne peut détecter ce type d'incident. Dans ces conditions elle continue son cycle de surveillance des Switchs de déclenchement des TRANSITIONS et ignore somptueusement le B.P. **Init. Pos. 1**. La seule façon de réinitialiser le logiciel consiste à couper l'alimentation secteur pour annuler la tension en π ce qui n'est pas très rationnel.

L'autre possibilité bien plus pertinente consiste à **imposer un RESET à la petite carte électronique ... ce qui suppose avoir facilement disponible un bouton poussoir dans ce but**. La solution élémentaire consiste à brancher une ligne sur la fonction RESET du petit module, ce qui ne présente aucune difficulté car deux picots du petit HE14 supérieur sont prévus dans cette optique. Mais la face avant étant définitivement figée, au final, comme le montre la Fig.119, ce capteur sera placé juste au dessus du godet des Fiches A5 sur la traverse qui relie la MATRICE au support vertical de la Face Avant. Facile d'accès, ce bouton poussoir est très sensible et la course pour le déclencher est d'à peine 1mm. Aussi, le laisser ainsi bien en vue engendre un risque patent de l'activer inopinément, alors que la machine est en train de dérouler un algorithme depuis plus de deux heures. **GRRRRRRRRRRRRRRRRRR !**

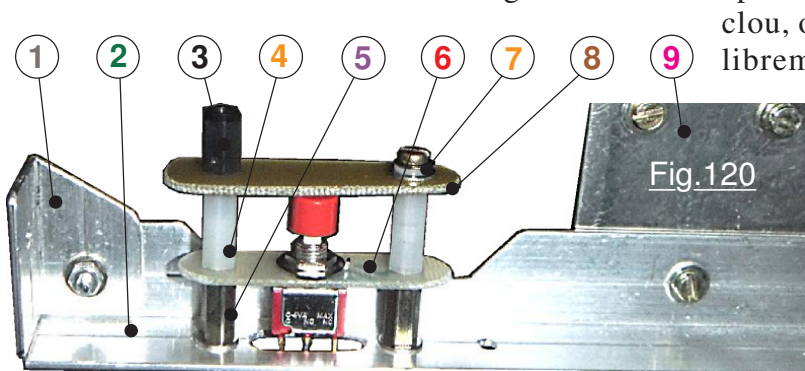
Sur cette photographie, on retrouve en 1 la fixation avec la face avant et en 2 le profilé qui assure la liaison de cette dernière avec la MATRICE 9. Le support 6 du bouton poussoir est immobilisé sur 2 par



les entretoises métalliques 5. De chaque coté les entretoises 4 à tenon fileté ϕ M3 en nylon sont serrées "énergiquement" sur 5. La vis 7 de longueur calibrée est serrée à refus sur 4 et maintient un léger jeu avec la bride 8 qui peut ainsi tourner librement. Quand on la tourne pour interdire toute action sur le bouton poussoir, configuration présentée sur la Fig.120, l'entretoise noire 3 en nylon remplace une vis moletée et bloque la bride

8 sur 4. Ce bouton poussoir est alors totalement sécurisé, avec toutefois la facilité de l'utiliser facilement en libérant 3 et en faisant pivoter 8. Dans le dossier <Carte ARDUINO> se trouve **Image 18.JPG** qui complète ce propos. On remarque sur ces photographies que les deux fils de liaison avec le HE14 à six picots du module NANO ne sont pas encore soudés sur le bouton poussoir.

REMARQUE : On peut se demander avec pertinence pourquoi une telle variété d'entretoises équipe ce petit dispositif. La raison est matérielle. Elles ont été triées à convenance dans les stocks disponibles, et sélectionnées en fonction de leur longueur et de leur aptitude à assurer leur fonction. Pour "enfoncer le




clou, observez que l'entretoise noire 3 peut serrer librement 8 sur 4. Au contraire, la longueur sous tête de la vis 7 ainsi que l'épaisseur des rondelles sont choisies de façon à ce que vissée "à refus" dans le taraudage de 4, il persiste un léger jeu axial avec la bride 8 pour qu'elle puisse pivoter strictement sans effort à fournir par l'opérateur.

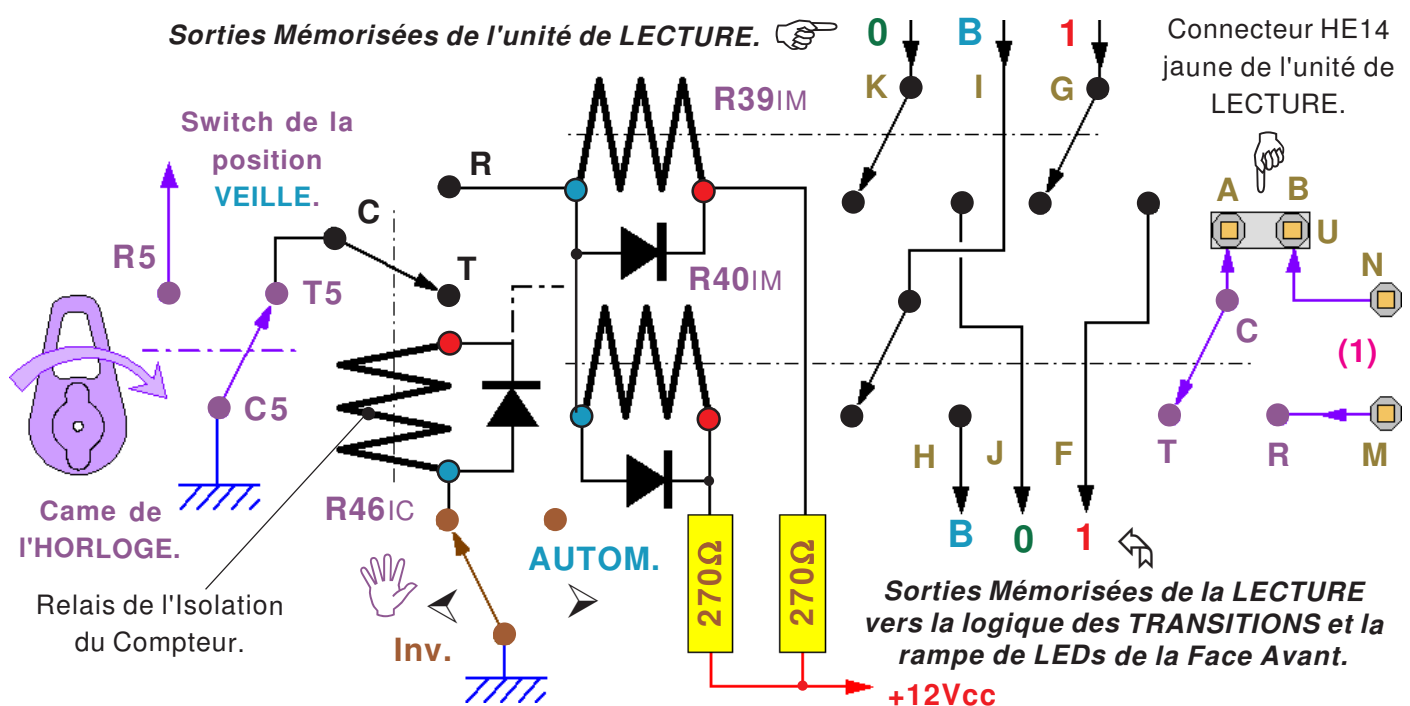
Voir la mini fiche nommée **Maintenance matérielle**. (35/36) **Page 33**

23) Jamais deux sans trois !


Diction populaire qui durant la fiabilisation du prototype n'a pas fait défaut. C'est souvent, dans un projet d'envergure, qu'une campagne d'essais et de validation fait émerger des problèmes qui n'ont pas été détectés lors des tests "primaires". Pour fiabiliser cette machine, et tenter d'en découvrir toutes les failles cachées, bon nombre d'algorithmes plus ou moins complexes ont été engagés dans le lecteur de feuilles perforées. Trois nouvelles surprises ont imposé l'étude et la réalisation d'un petit circuit imprimé supplémentaire supportant deux nouveaux relais, et la modification du petit module indiqué sur la fiche nommée **Petit circuit imprimé de correction** 1/2 pour utiliser la section **C-R** qui restait disponible.

Premier problème : Lorsqu'une sortie à l'état "1" par exemple reste mémorisée et que l'instruction qui suit impose d'écrire un état identique, la logique imagine que le capteur de l'état désiré est activé. Elle provoque alors la rétraction du bras qui est déjà en position dégaagée, engendrant le forçage mécanique.

Solution : Isoler les trois sorties des mémoires de l'unité de LECTURE durant la position **ARRÊT** de la came de l'HORLOGE. En option MANUEL imposé par  de l'**Inverseur**, il faut rétablir ces liaisons sous peine de voir les comes tourner uniquement lorsque le poussoir concerné est cliqué.



(1) : Ligne initiale de coupure pour l'ÉCRITURE en mode MANUEL.

Le schéma donné ci-dessus résume les circuits d'isolation des signaux issus de l'unité de LECTURE. Les deux relais **R39IM** et **R40IM** sont chargés d'isoler les trois sorties lorsque la **came** est en position **VEILLE**. La section disponible **C-R** de **R40IM** ouvre la ligne de coupure en mode ÉCRITURE MANUELLE. En mode ÉCRITURE MANUELLE l'**Inverseur** active le relais **R46IC** qui isole le compteur électromagnétique car l'HORLOGE n'est plus active. La section disponible **C-R** valide inconditionnellement les trois sorties mémorisées du module de LECTURE pour que l'ÉCRITURE en mode  soit correcte.

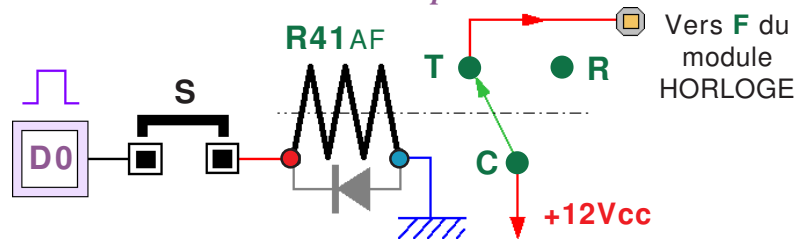
Deuxième problème : Quand le moteur des TRANSITIONS franchit plusieurs positions, il passe parfois sur l'une de celles qui programme la **Fin** de l'algorithme. Le relais **R26FP** passe alors au travail et engendre la fin prématurée du fonctionnement de la machine.

Solution : Ne plus brancher le HE14 rouge à quatre broches situé en haut à gauche du circuit imprimé de l'HORLOGE. (La logique n'est plus informée de **F** mais la solution est donnée dans ce qui suit.)

Troisième problème : Lorsque la TRANSITIONS qui contient la consigne de **Fin** est indexée, le programme d'Arduino fait clignoter rapidement la LED **ER 2** durant deux secondes pour informer l'opérateur de l'achèvement des mouvements, puis il recale la **came** des TRANSITIONS dans la position initiale n°1. Du coup, la logique à relais n'est pas informée de l'état **F** rencontré.

Solution : Utiliser une sortie supplémentaire sur la carte Arduino NANO pour envoyer à la logique à relais la consigne **F** durant ce clignotement. Comme la logique fonctionne en 12Vcc incompatible avec les sorties de l'ATmega328, un relais **R41AF** sera chargé de l'interfaçage. Ayant consommé toutes les sorties binaires disponibles sur le microcontrôleur, c'est **D0** qui assure également le dialogue USB avec le Moniteur de l'**IDE** qui *sera programmée en sortie en version opérationnelle*.

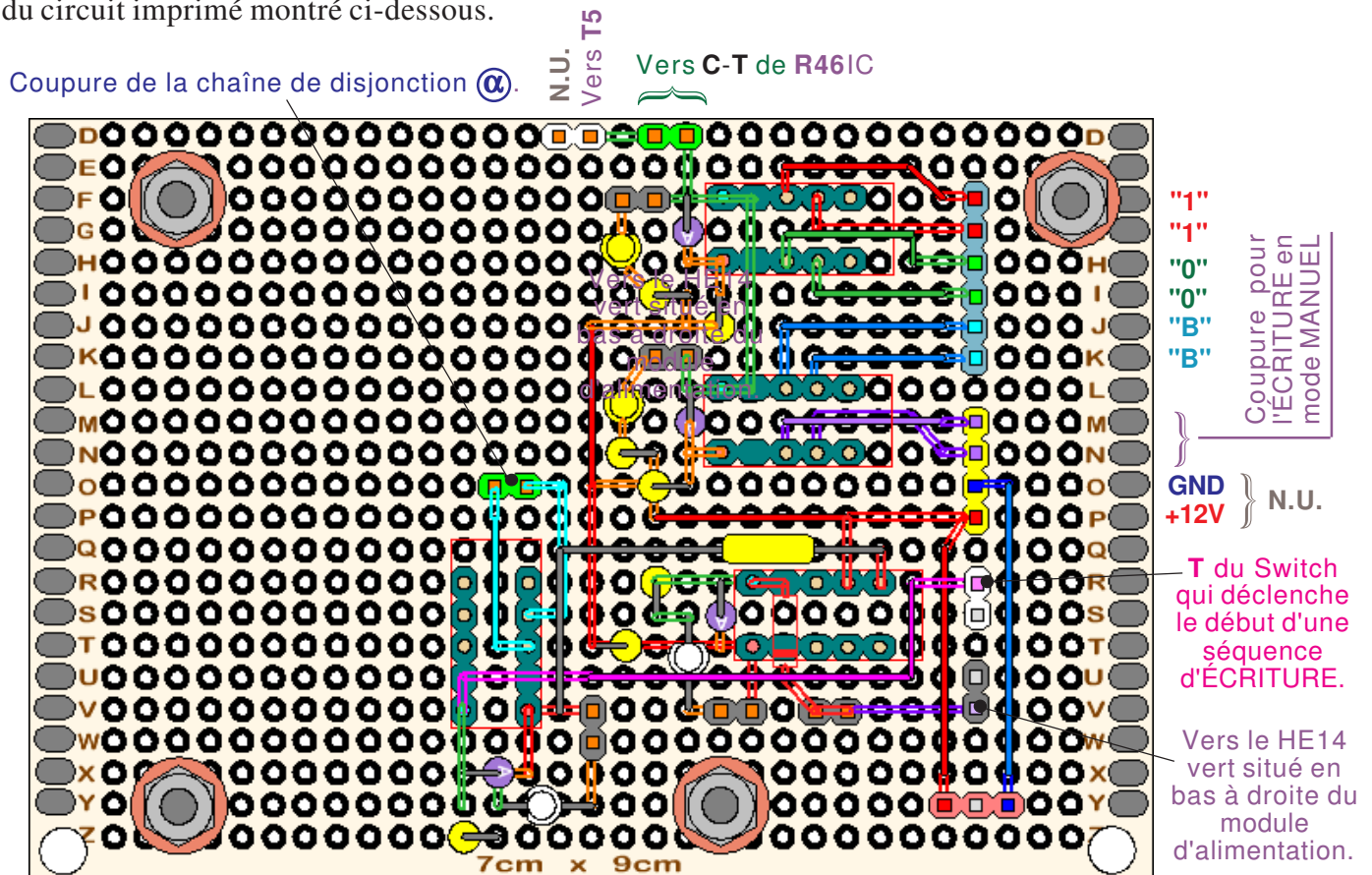
Le Strap **S** permet d'isoler la sortie **D0** quand en mode développement on désire l'affichage sur la ligne USB.



➤ **Dessin du circuit imprimé.**

N'étant occupé que sur la moitié de la surface disponible, ce circuit imprimé sera disponible pour d'éventuelles modifications et ajouts sur la machine. *(Ce n'est qu'une précaution de "future expansion", car maintenant on peut croire que la réalisation est à son terme. Toutefois, une mauvaise surprise n'est jamais à exclure, aussi prévoir l'avenir pour d'éventuelles corrections techniques va dans le sens de la sérénité.)* Sur les schémas précédents, seules les diodes de roue libre sont représentées. Toutefois, le circuit imprimé est prévu pour implanter des diodes LEDs qui témoignent de l'état des trois relais installés sur ce module. Naturellement, ces témoins logiques, comme pour l'ensemble des autres circuits de la machine sont alimentés à travers des "Straps" que l'on pourra enlever quand on désirera en suspendre le fonctionnement, quand la configuration de la machine sera pleinement opérationnelle.

Ce circuit imprimé se loge sur le statif juste en dessous des autres circuits de l'Unité Centrale. Non décrit dans ce didacticiel, la structure de l'unité MATRICE est munie d'un **éclairage interne** à base de LEDs blanches *qui illumine le haut des feuilles perforées*. On peut ainsi vérifier le positionnement correct en hauteur de la feuille insérée dans les rainures de guidage. Quelques photographies commentées accompagnent ce tutoriel pour illustrer concrètement ce propos, et montrer l'emplacement du circuit imprimé montré ci-dessous.

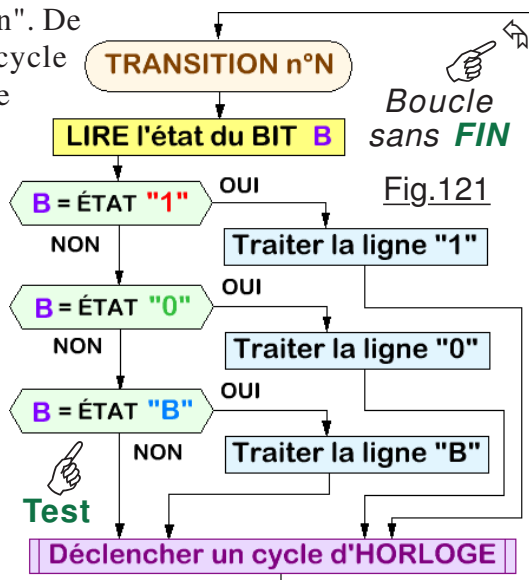


24) Programmer notre Machine de Turing.

Pratiquement tout, et même bien plus, a été décrit, précisé, expliqué sur l'Internet, aussi ce chapitre peut ressembler à du remplissage pour ajouter des pages à ce roman pour le "gonfler" artificiellement et le vendre plus cher. Rassurez-vous, je ne vais expliciter ici que le minimum *minimumorum*. Le juste ce qu'il faut pour attirer votre attention sur quelques points particuliers fondamentaux.

➤ La structure des programmes.

Chaque transition, avec un nombre maximum de 11 dont au moins une doit intégrer une commande de **FIN**, constitue une INSTRUCTION "triple" de type SI / ALORS FAIRE symbolisé sur la Fig.121 qui reprend la présentation des organigrammes "ancien". De par sa conception et de son fonctionnement de base, lors d'un cycle d'HORLOGE au moins un des trois tests sera effectif. Donc, l'une des trois comparaisons sera **VRAIE** et l'une des trois lignes d'instructions sera réalisée par la machine. On peut constater que le déroulement d'un programme est rigoureusement analogue à celui d'un processeur actuel, si ce composant est intégré sur une électronique d'architecture "Von NEUMANN". Ces électroniques fonctionnent en boucle infinies et ne s'arrêtent jamais. (Tout au moins dans la mesure où l'on ne fait pas appel à des mises en veille par "interruptions".) Ce sera exactement le cas sur notre ordinateur électromécanique si l'on oublie dans le programme une instruction de **FIN**. Noter au passage qu'il ne suffit pas d'un trou sur la dernière colonne de la MATRICE pour que la machine revienne au repos. Encore faut-il que dans les sauts de programme à un moment donné on "branche" sur la bonne TRANSITION. Il ne sera pas toujours facile de faire la différence entre un programme "infini" et un algorithme qui conduit bien à un arrêt de la machine, mais sur un nombre "famineux" de cycles d'HORLOGE. Aussi, **il est fortement conseillé de commencer par évaluer l'algorithme en soumettant à la machine une donnée présentant un faible nombre de BITS**. Puis, la grille ayant montré sa validité présumée, ensuite passer à des données plus cossues pouvant aller jusqu'à 55 BITS ! (Présumé, car un programme mal agencé peut "tourner" sur certaines combinaisons de données et pas sur d'autres. Par exemple s'il n'y a que des "1" la ligne FIN n'est jamais validée.)



➤ La structure des instructions.

Chaque ligne, avec un nombre maximum de 33 dont au moins une doit intégrer une commande de **FIN**, constitue une INSTRUCTION de type ÉCRIRE, puis DÉPLACER, puis TRANSITER. Ces instructions élémentaires se succéderont dans cet ordre immuable et ne seront réalisées que si elles sont validées dans la MATRICE. Compte tenu du nombre extrêmement restreint d'instructions que l'on peut loger dans la Mémoire Non Volatile constituée par la MATRICE, il incombera au programmeur d'optimiser à outrance son algorithme pour qu'il puisse "entrer" dans la faible place disponible. Les contraintes de programmation sont précisées sur la mini fiche dédiée **Utilisation de la machine**. (7/8).

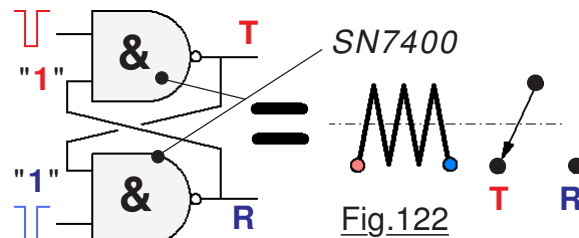
24) Les technologies de grand-père. (Chapitre dédié à celle et ceux qui ont du temps ...)

C'est toujours avec une certaine concupiscence que l'on écoute grand-père qui regrette le passé et radote régulièrement son "de mon temps ...". Pourtant, ces technologies d'une époque révolue étaient incontestablement d'une efficacité qui n'a rien à voir avec la débauche boulimique de composants intégrés dans les matériels actuels. Il est vrai que ces appareils d'une autre époque étaient volumineux, consommaient beaucoup d'énergie, **cependant, en termes d'optimisation rien ne peut les égaler**.

➤ Quelques comparaisons objectives.

Pour se rendre compte de l'optimisation des matériels du passé, le mieux me semble t'il consiste à comparer avec pertinence ces technologies révolues avec celles actuelles. Nous allons commencer par sa Majesté la Machine de Turing. Supposons que l'on désire en faire une version "silicium" utilisant des circuits intégrés TTL par exemple. Dans ce but nous allons choisir des SN7400 qui intègrent chacun quatre "portes" de type NAND. Comme montré sur la Fig.122, pour transformer ces opérateurs logiques standard en bascules de type ON / OFF on les couple par paires. Naturellement, il est

totallement hors de question de détailler le fonctionnement de cette bascule. Il suffit de savoir que deux entrées sont indispensables, l'une pour forcer l'état "1" en sortie, l'autre pour rebasculer à "0". Deux opérateurs NAND sont donc nécessaires pour obtenir l'équivalent d'une section d'un des relais de notre machine. Pour émuler un relais complet avec ses deux sections, il faut câbler deux bascules en parallèle



ce qui consomme un circuit SN7400 complet. Quand on décortique le schéma interne d'une porte NAND, on constate qu'elle est constituée d'environ huit transistors, huit diodes et autant de résistances. Donc, l'équivalent "silicium" d'un de nos relais exige 32 transistors. Pour remplacer les 46 relais électromagnétiques, il faut donc 1504 transistors, diodes et résistances. Et encore, nous sommes en présence ici d'une technologie qui n'est plus actuelle. C'est avec un microcontrôleur de type ATmega328 qu'à ce jour nous serions tentés d'émuler une telle machine. Je vous laisse le soin d'aller voir combien de transistors sont intégrés dans un tel processeur, popularisé par la famille de cartes électroniques ARDUINO ...

Dans la cuisine de la maison de famille, trônait le poste récepteur de radio avec une grande antenne en serpentín qui barrait le plafond en diagonale pour avoir une longueur suffisante. Ce récepteur captait en grandes ondes, en petites ondes et en ondes courtes. La modulation de fréquence n'existait pas encore. Et bien pour recevoir fort et clair en "haut parleur", un tel appareil ne consommait que 6 tubes à vide, sept dans le meilleur des cas. Ces choses rougeoyaient légèrement car pour exciter leur cathode, il y avait un filament chauffé au rouge. C'est la raison pour laquelle on utilisait le vocable "poste à lampes".

Pensez qu'avec trois tubes seulement on réalisait un électrophone, et qu'un récepteur de télévision n'intégrait tout au plus que huit "lampes", plus le tube cathodique qui servait d'écran. Ce n'est pas avec huit transistors que l'on peut espérer une telle performance. Oui, je sais que la définition n'était que de 625 lignes ou 819 lignes entrelacées, et que c'était du noir et blanc. *Reste que coté optimisation on ne pourra plus jamais égaler ces ancêtres d'un autre temps.*

Force est de constater que nos technologies actuelles sont boulimiques et exagèrent à outrance, car ce que l'on cherche à optimiser, c'est le prix de revient. Dans un tel contexte, ce sont les études qui engagent financièrement les entreprises. Que l'on grave 100000 transistors ou 300000 sur "la puce" n'a que peu d'incidence sur le coût final. Alors vogue les compilateurs, les générateurs automatiques de circuits électroniques. *Ces logiciels font gagner un temps d'étude considérable, mais multiplient de façon faramineuse le nombre de composants sur les substrats.* Et cette boulimie a un prix énergétique. Chaque transistor ajoute sa petite contribution thermique et sa consommation propre. Le bilan est tristounet : Ces circuits merveilleux qui équipent nos lave-linges, nos machines à laver, nos téléviseurs grèvent de façon cachée mais dramatique le bilan énergétique et thermique de ces technologies "actuelles". À tel point que sur nos ordinateurs et autres gros serveurs et "Data Centers" camouflés du public, le plus gros problème consiste à en évacuer la chaleur ! Le monde n'est pas tout rose quoi qu'en disent "ceux qui le dominent" ...

➤ Performance de cette "chose".

Restons toutefois sur une note d'optimisme. Brasser du noir ou ressasser le passé est strictement sans intérêt. Aussi, revenons à ce projet complètement fou qui au final trône victorieux sur la table vernie du salon. (*Heuheuheue, ce n'est qu'une expression, Thérèse ne serait pas du tout d'accord !*) Malgré son apparence d'un autre âge, l'allure d'un "dinosaur", **cette chose** reste absolument "unique" et **bat trois records mondiaux**. OUI OUI OUI, j'ai bien dit **TROIS RECORDS MONDIAUX !**

- C'est à ce jour l'ordinateur le plus lent du monde !
- C'est à ce jour l'ordinateur le moins performant du monde !
- C'est l'ordinateur qui présente et de loin le coût du BIT de mémoire le plus élevé au monde. Comparé à celui d'un BIT d'une mémoire SD RAM actuelle son coût est environ 800000 fois plus important.

Mais ne vous y trompez-pas. Le nombre d'algorithmes différents qu'il peut exécuter dépasse le nombre de grains de sables totalisés par toutes les dunes, les plages et les déserts terrestres !

Enfin ne le titillez pas trop sur sa lenteur "mentale". Il vous proposera un défi : On place dans sa MATRICE un algorithme, et "TOP CHRONO", vous avec un crayon et un papier, vous effectuez exactement comme lui les instructions, et on verra bien qui arrive le premier. (*Ne tentez pas ce défi, vous n'avez strictement aucune chance de le battre, l'expérience l'a prouvé à maintes tentatives.*)

25) Quelques remarques avant de se quitter.

Difficile de tout dire, surtout que le développement de ce projet a largement imposé plus d'une année. Aussi, en fonction des problèmes rencontrés divers outils sont venu encombrer les tiroirs du laboratoire. Dévoilé sur la Fig.123, le premier fait l'objet de la fiche référencée **Outils de gestion des moteurs**. Je ne peux que vous engager à le réaliser, car vu le peu d'investissement qu'impose son élaboration, il rend de signalés services tant en maintenance "ordinaire" qu'en situation de crise. Bien que très efficace, il faut presque obligatoirement lui adjoindre un commutateur qui permet d'inverser le sens de rotation. Aussi, lassé de câbler en fils volants et pince crocodiles ce type de complément à la hâte, j'ai fini par

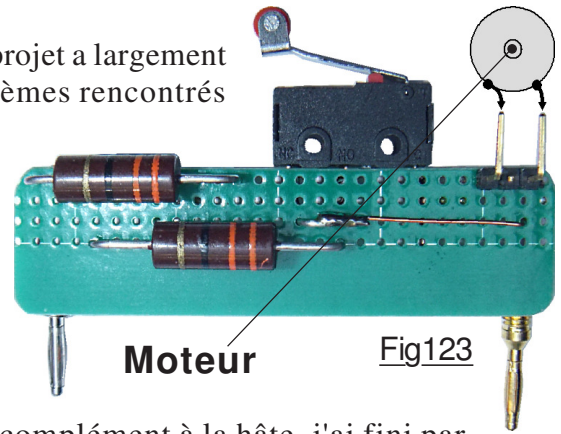
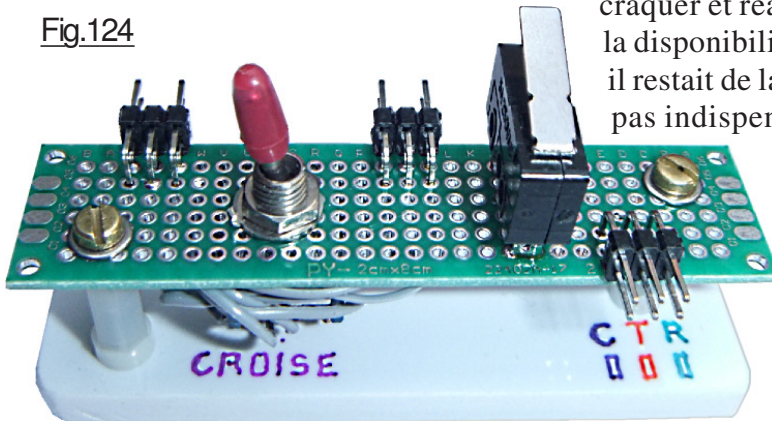


Fig123

Fig.124



craquer et réaliser le petit dispositif de la Fig.124 qui ajoute la disponibilité d'un inverseur supplémentaire à l'arsenal, car il restait de la place sur le circuit imprimé. Ce petit outil n'est pas indispensable, puisqu'il est possible de le créer sur les plaquettes de développement. Toutefois, c'est chaque fois du temps consommé et surtout, arrive la phase critique où l'on cherche désespérément des fils de liaison, car tous ceux prévus pour le développement sont déjà utilisés sur la machine pour conduire les essais.

➤ Révision des 2000 Km ! (Ne concerne que les internautes qui ont du temps !)

Comme toute machine qui se respecte, notre ordinateur mécanique mérite de bénéficier d'une **maintenance préventive**. Dans le monde de l'industrie, ce concept est omniprésent. Il est toujours préférable d'interrompre le service d'un ensemble technologique de façon programmée "pour changer un roulement" avant que ne se produise une panne lorsque le planning est en pleine charge. En aviation ce sont les grandes visites périodiques, en automobile le passage chez le concessionnaire. Pour son propre compte, notre machine de Turing doit bénéficier d'une telle mesure. Pour pratiquer du "préventif", il faut inventorier sur l'ensemble envisagé les composants les plus sollicités. Puis, on établit une périodicité raisonnable à partir de laquelle on va les changer sans vérifier leur état réel. Notez au passage, que conformément aux instructions et notices d'utilisation des moteurs réducteurs, le fournisseur recommande de changer la graisse dans les petits réducteurs environ toutes les 2000 heures de fonctionnement. Cette opération n'est pas très commode à conduire, car il faut déposer le couvercle du réducteur, sans compter que la directive pourtant en rouge dans la notice d'utilisation ne donne aucune précision sur la nature de la graisse à employer. (*Complément ... / ...*)

Sur notre machine de Turing, les composants les plus sollicités électriquement sont les relais qui commutent des courants importants. Le plus grand nombre ne manipule que des intensités "dérisoires". Toutefois, les relais de pilotage de moteurs et ceux s'inversion des sens de rotation se "cognent" sans arrêt des surintensités. Ils sont prévus pour, mais comme n'importe quel système physiques ils subissent une usure. Sur le long terme leurs contacts électriques se dégradent et arrivera un moment où leur usage deviendra "scabreux". Aussi, l'idée consiste à les remplacer toutes les 2000 instructions. (*Valeur arbitraire*) À ce stade ils seront encore en très bonne santé. Pour des raisons économiques, on va se contenter de les permuter avec des relais qui n'auront pas "pris une ride". L'idée de base consiste à établir une permutation circulaire avec l'ensemble des relais pour en homogénéiser l'usure. Franchement, c'est plus un délire de mécanicien qu'une nécessité pertinente. Il faut juste y voir l'esprit "machine des années 40". C'est dans cette optique que le compteur d'instruction devient presque utile, et que l'étiquette qui sur la machine indique "la date de la prochaine révision" est ajoutée sur la machine. Bref ... on se fait plaisir !

Noter que la petite fiche **Maintenance périodique** précise les manipulations à effectuer.



Franchement, elle est vraiment stupide cette blague de Nulentout qui fait croire que dans la notice d'utilisation des moteurs il faut changer la graisse des réducteurs toutes les 2000 heures ! On va faire une pétition et l'envoyer au ministre des didacticiels NA !

➤ Les pièces moulées en 3D qui sont loupées !

E *cologiquement, il est bien plus rentable de réparer que de remplacer.* S'il est un domaine qui impose beaucoup d'expérience, c'est bien celui du moulage en 3D. Les pièges sont nombreux et les ajustements à opérer pour définir les températures du tapis chauffant ou des buses d'extrusion ne sont pas des évidences. Globalement, prototypes sont généralement "parfaites". Du reste qui accompagnent ce tutoriel le démontrent. aléatoirement que sur certaines pièces, en fonction "tassements" de type "manque de matière" se aucune idée de leur origine. Aussi, quand il faut une pièce, c'est assez "agassif" sans compter la

F oisonnant dans les références du de réparation bien utile : Le stylo à intégrant une tête chauffante et un petit manuellement, ces ustensiles sont créant des dessins "filaires", activité est parfait pour soigner des pièces fragilisées, ou de surcharger des zones de galère. Aussi, pour ma part l'outil montré d'intervention rapide pour sauver des percer, tarauder, couper au cutter du PLA facile. À l'expérience, car nombre de été réparées, je crois pouvoir conseiller *dégrossir un usinage.*) On ajuste avec vite des phénomènes thermiques l'ajustement, sachant alors qu'elles régulièrement. On peut aussi se servir

Fig.125



les pièces étudiées sur mes les nombreuses photographies Toutefois, il arrive du PLA chauffé par la buse, des produisent et je n'ai strictement presque deux heures pour refaire consommation de filament.

commerce en ligne, on trouve un outil extruder. Véritable imprimante 3D, mécanisme pour l'extrusion piloté initialement prévus pour se divertir en ludique très amusante. Ce type de matériel douteuses. Il suffit de consolider des zones manque de matière, de réuser, et vogue la sur la Fig.125 fait partie intégrante de l'arsenal pièces mal formées. Signalons au passage que reste aisé. Limer au contraire n'est pas spécialement pièces dans ma vie de bricoleur du Dimanche ont l'utilisation d'une lime bâtarde. (*Lime "rustre" pour vigueur, mais lentement.* Dès que l'on lime trop compliquent l'ouvrage. Enfin, les limes fines terminent s'encrassent relativement rapidement et qu'il faut carder de papier abrasif fin.

E xemple typique sur la Fig.126, la came d'écriture de l'unité de dessous était nettement mauvaise, et comme par hasard c'est dans la région du profil utile qu'un important manque de matière a été constaté. La zone a été copieusement "rechargée" en PLA puis soigneusement

Fig.126

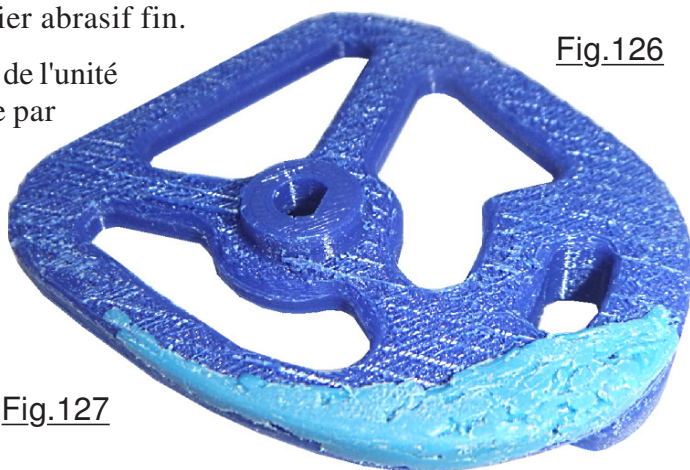


Fig.127



réajustée pour retrouver le profil attendu pour cette came. Sur la Fig.127 l'aspect visuel n'est pas mauvais et surtout la pièce est récupérée. Cette réparation aurait été pratiquement invisible si j'avais libéré la bobine de filament bleu marine d'origine sur l'imprimante 3D ... mais la paresse m'a fait choisir une chute de PLA bleu ciel !

26) Réaliser une Machine de Turing en moins de deux heures !

Chaque fois que l'on désire tester un algorithme sur la machine, il faut obligatoirement réaliser une feuille perforée. C'est à la fois la consommation d'une page imprimée, et un travail fastidieux pour réaliser les nombreuses ouvertures circulaires. Dès que notre prototype sera réputé utilisable, nous allons forcément désirer le tester et le valider sur plusieurs programmes. Pour éviter une perte de temps et de papier inutile, on sera bien tenté de soumettre à la mécanique des algorithmes récupérés sur Internet qui sont supposés corrects. Force est de constater que ce n'est pas gravé dans le marbre, et j'ai du refaire "pour rien" trois feuilles perforées. Aussi, j'en suis rapidement arrivé à la conclusion, qu'avant de réaliser une feuille de programme ajourée, il serait plus sage de tester "en temps réel" la séquence d'expérimentation.

Suite à diverses manipulations, je me suis vite rendu compte que la méthode papier, crayon, gomme était d'une inefficacité patente. D'où l'idée de concrétiser une vraie Machine de Turing avec du papier plastifié de récupération. Représentée sur la Fig.128 cette version animée donne pleine satisfaction et évite ainsi bien des déconvenues. La "puissance" de cet exemplaire est limitée à un OCTET soit huit BITS. On sera limité pour la richesse des données, mais d'un autre coté le nombre de "cycles HORLOGE" croît rapidement avec la taille de la donnée traitée. Aussi, ces huit BITS seront généralement suffisants pour évaluer le comportement d'un algorithme ; qu'il soit trouvé sur la toile, ou de votre fait.

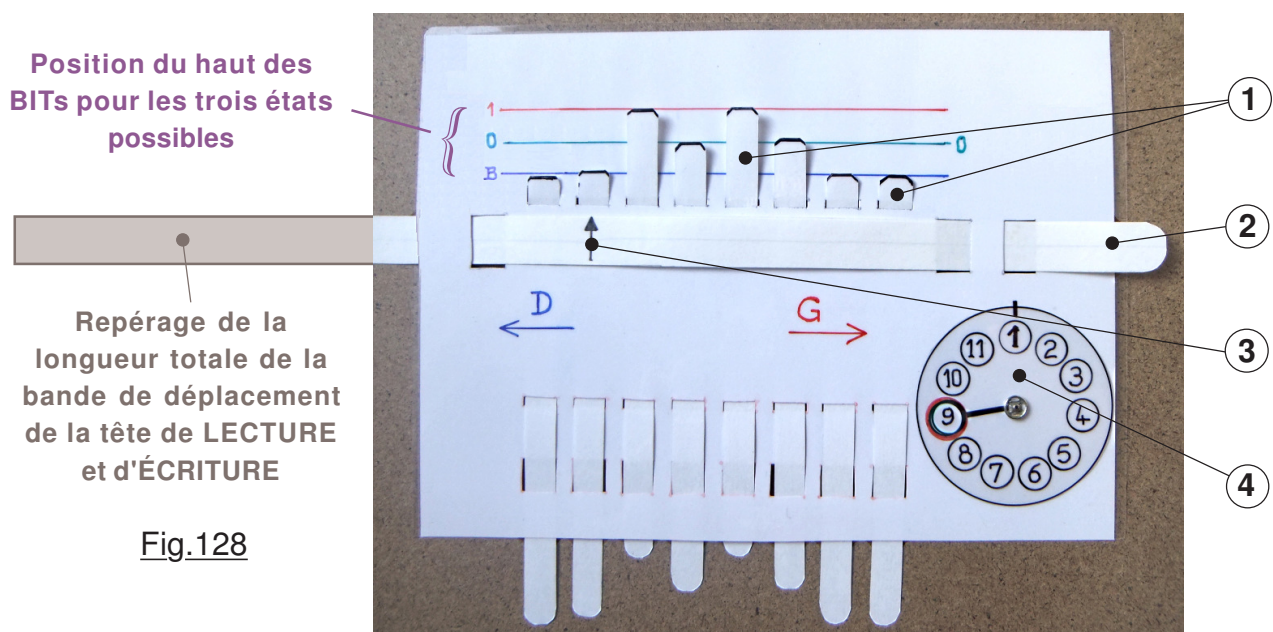


Fig.128

Sur cette photographie on trouve en **1** les huit BITS de l'octet. Ces pions virtuels se déplacent verticalement pour pouvoir adopter les trois positions "B", "0" et "1". En **2** se trouve la bande de papier qui se translate horizontalement pour positionner la tête de LECTURE / ÉCRITURE symbolisée en **3** sous le BIT de notre choix. Enfin en **4** le disque qui tourne mémorise l'ÉTAT machine du moment. (*Ici il est en position n°9.*)

REMARQUE : Sur cette Fig.128 l'image a été complétée par un croquis gris représentant le coté de la bande **2** qui est hors du cadre de la photographie. En effet, la bande est symétrique par rapport à **3**. On notera au passage, que la bande de papier linéaire encombre bien plus l'environnement que son homologue circulaire. Ce concept rectiligne aboutit à des prototypes bien plus larges que l'option "barillet".

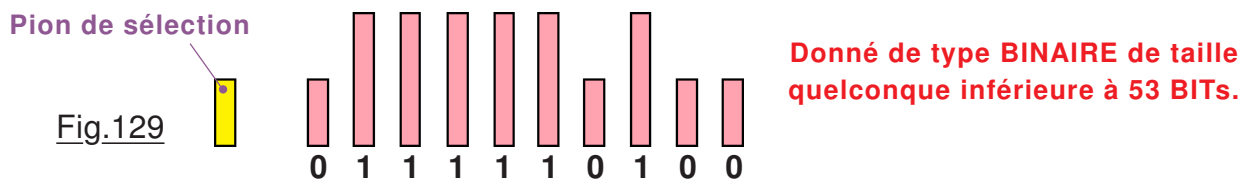
Curieusement, il semble que l'indication du déplacement de la bande qui matérialise la tête de LECTURE / ÉCRITURE soit inversée, c'est à dire que pour un déplacement à **D**roite la flèche est orientée vers la **G**auche et pour la **G**auche elle est dirigée vers la droite. Ce n'est pas du tout contradictoire. *Dans le concept énoncé par Turing, c'est la bande de papier qui se déplace*, option que j'ai adoptée sur le prototype. Quand un mouvement à **G**auche est programmé, le plateau tourne pour faire défiler les pions vers la gauche, et réciproquement. Sur l'exemplaire papier de notre machine, c'est la bande qui symbolise la tête de LECTURE / ÉCRITURE. Du coup, si l'algorithme respecte la description initiale, on doit inverser le sens de la translation. Noter que parmi les algorithmes qui m'ont obligé à refaire la feuille perforée, certains étaient faux car pour **G** et **D** l'auteur faisait allusion au déplacement de la tête de LECTURE / ÉCRITURE et non de la bande de papier. (*Donc, si vous utilisez des logiciels trouvés sur Internet, méfiez-vous, car ce type d'inversion me semble fréquent ... et non précisé !*)

27) Deux exemples de programme.

Faire l'impasse sur la fourniture de petits programmes bien classiques qui traînent sur l'Internet serait pertinent, vu le nombre considérable d'algorithmes bien expliqués qui fourmillent sur la toile. Toutefois, il me semble impératif d'ouvrir une petite parenthèse relative à deux programmes un tantinet particuliers que je joins à ce dossier. La description pour le premier et la façon de s'en servir sont décrites dans la mini-fiche dédiée nommée **Programme utilisateur n°0**. En réalité, bien que cet algorithme réalise une transformation LOGIQUE plus que classique et faisant partie des exemples fondamentaux, il est conçu principalement pour tester les diverses unités de la machine, tant pour sa première mise en route en mode AUTOMATIQUE, qu'en opérations de maintenance. Aussi, outre la petite fiche qui en explicite les divers aspects particuliers, vous trouverez dans le dossier **<Divers dessins>** un fichier nommé **Programme n°1.BMP** à imprimer puis à perforer pour créer en toute simplicité la grille matricielle idoine.

➤ Deuxième programme spécifique personnel.

Certains algorithmes peuvent se montrer très économes en nombres d'instructions à perforer sur la feuille de programme. Si deux programmes n'exigent pas plus de 10 TRANSITIONS, il est tout à fait possible de les faire cohabiter sur une feuille perforée unique, option dont il n'est pas utile de démontrer les avantages économiques. L'idée de base consiste à utiliser l'instruction n°1 pour effectuer un aiguillage dans la table des transitions. Dans ce but, la ou les données sont précédées d'un pion séparé qui sur l'état "0" branche sur le premier logiciel, et sur l'état "1" vectorise sur le deuxième algorithme. Dans le dossier **<Divers dessins>** des documents joints, se trouve un fichier nommé **Programme n°2.BMP** à imprimer qui propose un exemple typique d'aiguillage logiciel. Sur la Fig.129 un premier pion de donnée représenté en jaune sert à sélectionner le cas traité par le programme. Puis on sépare la donnée, ici représentée en rouge, par un ou des pions positionnés à l'état "B". Dans cet exemple la donnée est un "mot" de type BINAIRE et peut comporter un nombre quelconque totalement libre de BITS.



➤ Utilisation de cet exemple de programme d'aiguillage.

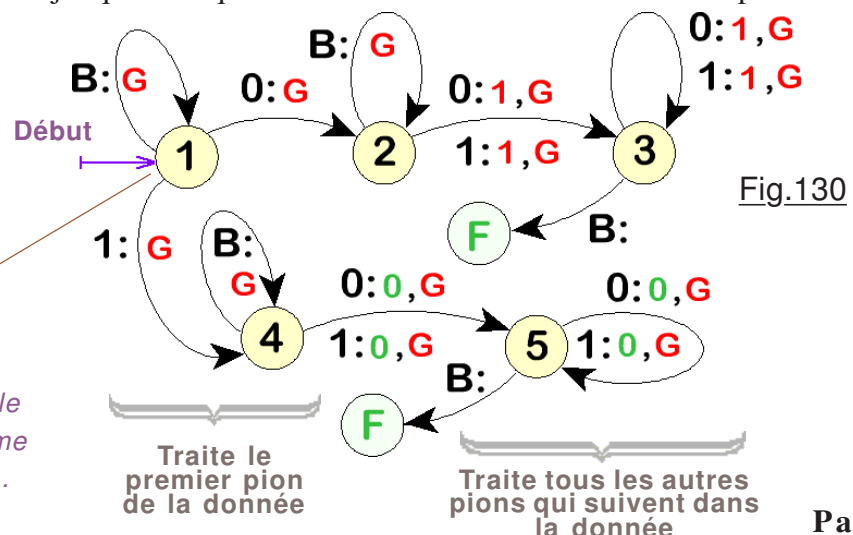
Commencer par définir le pion du BIT de sélection à l'état "0" ou à l'état "1" en fonction de la séquence que l'on désire invoquer sur la machine. Puis on intercale un ou plusieurs pions à l'état "B" pour séparer ce premier BIT de ceux de la donnée binaire. Les deux traitements qui seront effectués sont vraiment très classiques et parfaitement adaptés à la "philosophie binaire" de pratiquement toutes les machines informatiques actuelles. Le comportement de l'algorithme est le suivant :

- Si le bit est à "0" l'intégralité des BITS de la donnée est forcée à l'état "0".
- Si le bit est à "1" l'intégralité des BITS de la donnée est configurée à l'état "1".
- Le processus se déroulera jusqu'à ce qu'une LECTURE détecte un état séparateur "B".

La Fig.130 traduit graphiquement l'organisation et le comportement logiciel de cet exemple.

Sélection du traitement

La flèche Début est optionnelle car par convention le programme sera commencé sur l'état n°1.



28) Interprétation conventionnelle des diagrammes.

Globalement les sites Internet qui traitent de la machine de Turing utilisent presque tous une **représentation du comportement** des algorithmes proposés **qui est le suivant** :

- Les différents états de TRANSITION sont numérotés et symbolisés par : **N**
- Les TRANSITIONS sont précisées par des flèches curvilignes.

Si la flèche recircule sur le même état, alors il n'y a pas de transition.



➤ Symbolisation des actions.

Elles sont codées globalement sous la forme :

Si Lecture = **X** : faire **E**, **D**.

X : Lecture de l'un des états B, 0 ou 1.

E pour écrire un "**B**", un "**0**" ou un "**1**".

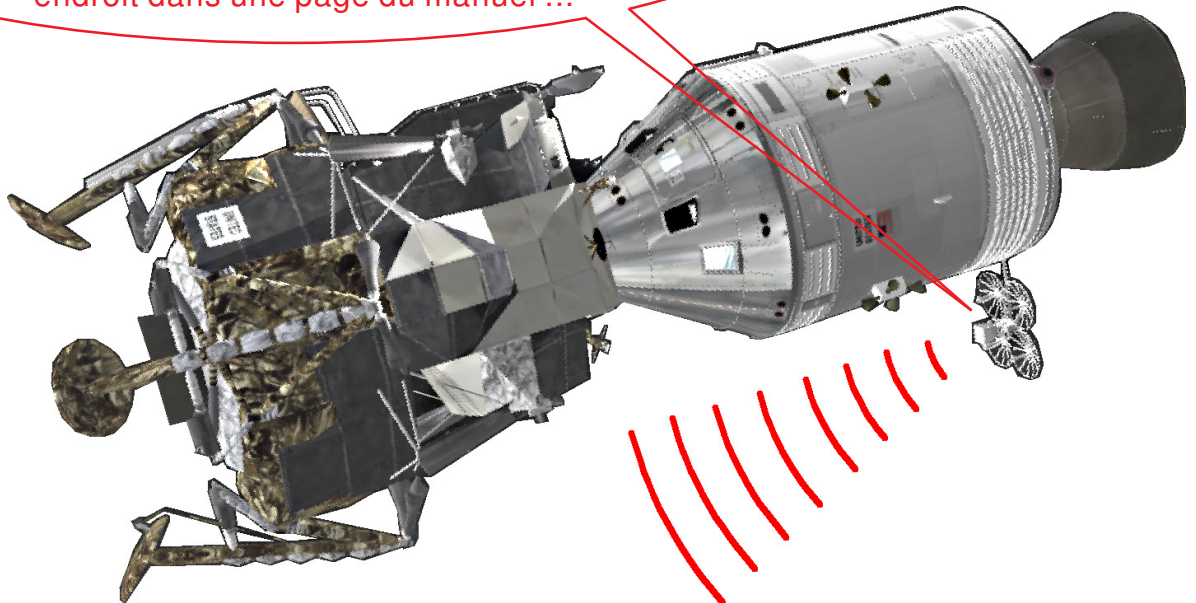
D pour déplacer à **G**auche ou à **D**roite.

F : Déclare la **F**in du programme."

Exemples : **B: G** (Une seule action.)

B: 0,D (Deux actions.)

Houston, ici Apollo 11, nous avons un problème.
La fiche perforée de notre Machine de Turing qui permet
de circulariser l'orbite lunaire a été égarée. Il nous faut un
modèle pour découper des petits trous au bon
endroit dans une page du manuel ...



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

Je souhaite intensément que certaines et certains oseront s'engager dans la réalisation d'un clone, je ne doute pas de leur réussite. Surtout, je vous souhaite à toutes et à tous de trouver dans ces lignes le plaisir de la découverte. Si d'aventure vous engagez vos heures de liberté dans une telle réalisation et que vous rencontrez une difficulté, et que dans votre entourage personne ne peut vous aider, dans le pire des cas, vous pouvez me contacter sur : michel.droui@laposte.net et dans les limites de mon temps de libre, c'est avec grand plaisir que je tenterai de vous dépanner. Je vous souhaite à toutes et à tous agréable lecture et n'hésitez pas à vous perdre dans les méandres de l'algorithmique, c'est un monde merveilleux ...

Chaleureusement : Nulentout.