

# Machine de TURING

## Partie n°1 : CONCEPTION ÉLECTROTECHNIQUE

Par Nulentout : jeudi 19 Mai 2020.

Effectuer un saut technologique dans le passé n'est pas forcément une évidence, car la finesse de fonctionnement des systèmes envisagés n'est pas moins complexe que celle des technologies au silicium actuelles. Globalement, on pourrait presque affirmer que le comportement des composants de l'époque supposée reste simple à première vue, (1) pour des éléments tels que moteurs à courant continu, relais électromagnétiques, redresseurs et transformateurs par exemple. (Redresseurs : Version ancienne des diodes.) La combinatoire pour aboutir à des ensembles fonctionnels reste toutefois aussi fouillée que pour les technologies actuelles à base de transistors, diodes et résistances tassés dans des circuits dits intégrés. Nous allons nous heurter à deux "nouveautés" particulières :

- Réapprendre les bases minimales de l'électrotechnique. (Vraiment que l'indispensable.)
- En électrotechnique il faut raisonner à la fois en "logique" et en "chronologie".

Assurez-vous, il est parfaitement possible d'oublier somptueusement le contenu de ce document si vous ne vous sentez pas concernés. Il vous suffira de réaliser les circuits imprimé décrits, de les relier entre eux conformément aux schémas de câblage, de procéder aux protocoles de validation et vogue la galère. *Ce document est mis à part du didacticiel et ne s'adresse qu'à celles et ceux qui désirent comprendre le fonctionnement intime de cette machine "préhistorique".* Avant de "décortiquer" pas à pas chaque module fonctionnel de notre ordinateur mécanique, un chapitre sera consacré aux divers concepts de base de l'ÉLECTROMÉCANIQUE. Ce mot combine dans sa construction la notion d'électricité, qui ici sera présente sous la forme de bobinages inducteurs, et de contacts électriques associé à de la mécanique, c'est à dire des assemblages de pièces guidées entre elles pour aboutir à des dispositifs en mouvements. (Palette, contacts électriques ...)

Fondamentalement l'électromagnétisme est basé sur la propriété que présente un bobinage de fil électrique isolé 2, de générer un champ magnétique 6 lorsqu'il est parcouru par un courant électrique 3. Comme montré sur la Fig.1 ce bobinage enroulé autour d'un noyau "de fer doux" attirera à lui toute pièce mécanique magnétique se trouvant à proximité. Pour concentrer les "lignes de force" 6 on ajoute à la bobine inductrice 2 un noyau ferromagnétique 1. L'ensemble génère une force d'attraction 5 pour tout matériau ferromagnétique situé à proximité tel que 7. Ces éléments proches peuvent venir se "coller" à l'électroaimant. Si c'est la palette d'un relais articulée à son

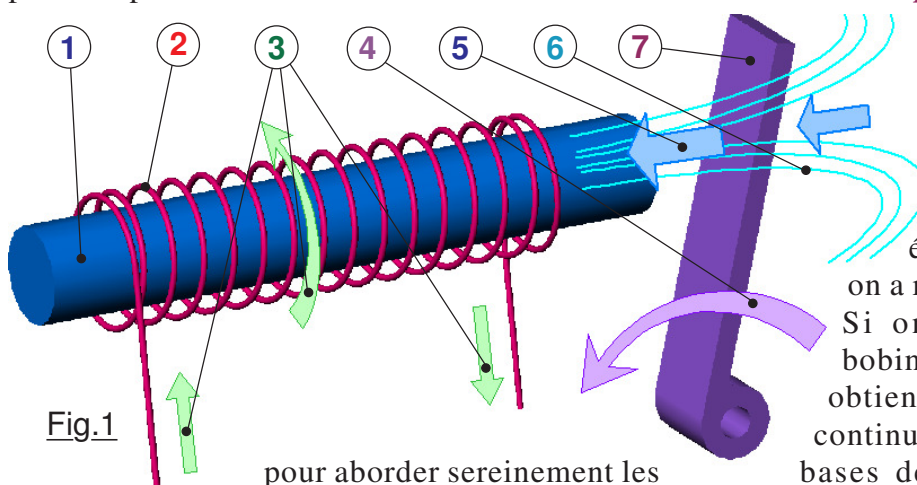


Fig.1 pour aborder sereinement les

extrémité elle peut alors tourner dans le sens 4 quand la bobine est alimentée par 3, ou s'écarter à l'opposé par un ressort quelconque. Quand cette palette active ou désactive des contacts électriques reliés mécaniquement, on a réalisé un relais électromécanique. Si on attire le pôle du rotor d'un bobinage connecté par un collecteur, on obtient un moteur électrique à courant continu. Nous en savons largement assez bases de l'ÉLECTROMÉCANIQUE qui

(1) Le fonctionnement d'un dispositif quel qu'il soit n'est jamais simple. On clarifie en permanence son comportement par une simplification qui cache une réalité autrement plus complexe. Par exemple en électrotechnique on va oublier les courants de Foucaud, les déphasages entre la tension et le courant lors des transitoires de commutation, les ondes stationnaires et autres phénomènes de résonance etc. La liste est longue. On se contentera ici du minimum minimorum ...

**01) Les principes de base de l'électromécanique.**

Lorsque l'on regarde un schéma tel que celui de la Fig. 18 par exemple, avec tous ses relais, un moteur, des capteurs à base de "Switchs" pilotés par des cames, on est en droit d'être impressionné et tenté de partir en courant. Rassurez-vous, ce fatras apparent n'est que l'addition de plusieurs sous-schémas très simples. Nous allons analyser pas à pas ces divers circuits de base pour progressivement comprendre un ensemble fonctionnel complet. Je suppose dans ces lignes que les lectrices et les lecteurs ont des connaissances de base sur l'électromagnétisme, c'est à dire la faculté d'un bobinage à créer une attraction magnétique lorsqu'il est parcouru par un courant électrique.

➤ **Principe de fonctionnement de la machine.**

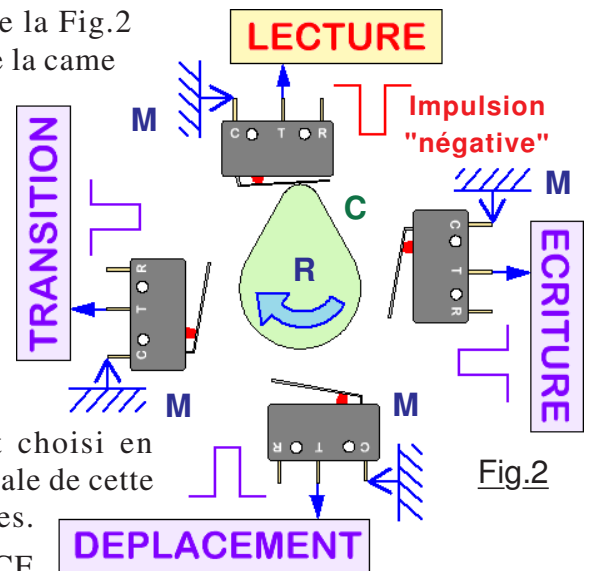
Dérouler un programme consiste sur la machine de Turing à enchaîner des opérations immuables jusqu'à ce que la fin de l'algorithme soit détectée. Un cycle typique se compose d'une **opération de LECTURE impérative**, suivie de trois actions éventuelles, mais uniquement si elles sont validées dans la feuille perforée décrivant le programme :

- **ÉCRITURE** d'un "Blanc", d'un "0" ou d'un "1" binaire,
- **DÉPLACEMENT** d'une "case" à droite ou à gauche sur la "bande des données",
- *Changement d'instruction dans la table des transitions.*

Ces trois dernières opérations ne se produisent que si elles sont programmées, c'est à dire si un trou est pratiqué à leur place précise dans la feuille de programme.

Fonctionnant en "logique négative", l'**HORLOGE** de la Fig.2 dans son principe de base fait tourner en permanence la came

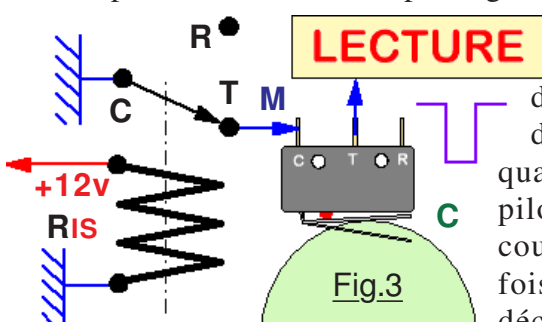
C dans le sens R. Dans ce schéma simplifié on ne se préoccupe pas du tout de l'arrêt de la machine lorsque le programme est arrivé à son terme. Le principe consiste à n'envoyer une courte Impulsion négative sur le module concerné que si la *Matrice de programme* présente GND en M du micro-contacteur de type Switch. On utilise le vocable de "logique négative", car l'activation du circuit cible se fait sur une "tension logique" nulle, alors qu'en "logique positive" l'impulsion de début serait en +12v.



**REMARQUE :** Le pilotage par présence de **GND** est choisi en fonction de l'agencement général de la logique interne globale de cette machine. Rien n'interdirait d'inverser tous les états logiques.

**NOTE IMPORTANTE :** Par agencement de la MATRICE DEPLACEMENT 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 la borne positive du relais piloté directement au +12v mais à la sortie de la MATRICE . Du coup, ce relais ne pourra passer au travail que s'il est validé à la fois sur sa connection positive et réuni à GND par le système de déclenchement des actions. Seul le relais pilotant la LECTURE sera relié directement au +12v car elle est effectuée systématiquement pour chaque instruction.



➤ **Utilisation de l'impulsion d'activation d'une fonction.**

Comme exemple nous allons analyser la séquence qui fait tourner le carrousel d'une position. Ce choix est assez représentatif de ce qui se passera un peu partout dans la machine car chaque module fonctionnel aura à gérer un moteur. (*Et même deux pour la fonction ÉCRITURE.*) Considérons la Fig.4 sur laquelle **M** représente le moteur qui fait tourner le carrousel. On suppose que la MATRICE de programme valide une totation du plateau des "pions binaires". Quand la came **C** active le Switch, ce dernier envoie donc une courte impulsion d'état **GND** au relais de

Page 2

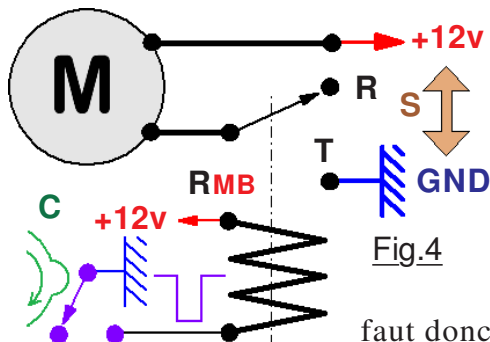


Fig.4

Motorisation du Barillet **RMB**. Durant toute l'impulsion **RMB** passe en état travail **T**. Le moteur **M** est alors alimenté et tourne *dans un sens correspondant à la polarité de la tension d'alimentation*. Si on désire qu'il tourne dans l'autre sens il suffit de permuter les fils des tensions comme symbolisé par la flèche marron **S**. La durée de l'impulsion qui valide une rotation du plateau est très insuffisante pour changer d'une position angulaire correspondant à une "case du ruban des données". Il faut donc impérativement allonger la durée d'activation du moteur. Il sera également incontournable de stopper cette rotation dès que le changement de "case" sera effectif.

### ➤ Relais avec contact d'auto-maintien.

Fondamentale, cette notion est utilisée de façon omniprésente dans les divers schémas électrotechniques architecturés avec des relais. La Fig.5 qui illustre ce propos présente en simplifié le module qui sert à mettre en service ou à stopper la machine. Nombreuses et nombreux sont celles et ceux qui vont penser qu'il suffit de brancher la fiche secteur ou de la retirer de la prise pour effectuer cette manipulation. C'est une fausse bonne idée car on génère des étincelles électriques entre la fiche et la prise qui lentement en dégradent les contacts électriques. Le mieux consiste à utiliser un bloc secteur, et d'interposer un interrupteur pour mettre sous tension. Toutefois, le schéma de la Fig.5 qui se place directement à la sortie du bloc secteur basse tension et qui complète l'interrupteur secteur, présente un avantage incontestable : Celui d'intégrer "naturellement" un **bouton d'ARRÊT D'URGENCE**. Dès qu'un incident se produit sur la machine, immédiatement on presse le bouton poussoir **BP2 d'Arrêt** et l'énergie de puissance est spontanément coupée. Le relais **Marche / Arrêt** repéré **RMA** présente l'avantage de pouvoir commuter facilement plusieurs ampères sans problème.

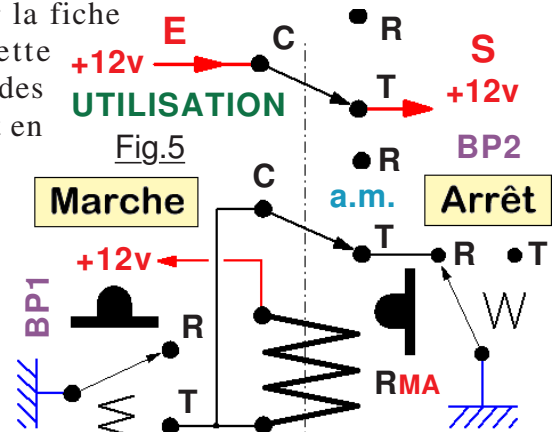


Fig.5

Examinons maintenant la technique du contact d'auto-maintien objet de ce chapitre. Tous les relais mis en service dans la gestion "informatique" de cette machine sont à deux sections de type contact travail **T** et contact repos **R** avec sur cet inverseur piloté un commun **C**. D'une façon générale l'un de ces contact noté **a.m.** sur tous les schémas pour le repérer sert précisément à l'auto-maintien. Quand on clique sur **BP1** du bouton poussoir **Marche** le relais **RMA** passe en état travail et commute toutes ses sections de contact sélectriques. (*Quel qu'en soit le nombre en fonction de modèle employé. Dans notre cas deux sections.*) Les autres sections disponibles que l'on qualifiera d'**UTILISATION** seront branchées librement en fonction de ce que l'on désire obtenir. Dans cet exemple **UTILISATION** se contente de fournir en sortie **S** le **+12v** de puissance au reste de la machine si le bloc secteur est branché et fournit son énergie de basse tension régulée en **E**. S'il n'y avait pas la section **a.m.** dès le relâcher de **BP1** l'alimentation serait coupée. Mais on constate que **a.m.** en configuration travail **T** se substitue à **BP1**. Sur **BP2** c'est le contact repos **R** que l'on ouvre lors de son activation. Supprimant l'état **GND** sur la section **a.m.** du relais **RMA**, sa bobine n'est plus alimentée et il repasse au repos, inversant simultanément la configuration de l'**UTILISATION**.

### Résumé sur l'usage des relais électromagnétiques avec auto-maintien.

Globalement, à part quelques cas particuliers, tous les relais de la machine décrite sont des modèles à deux sections de type **C/R/T**. L'une des deux sections sera branchée pour réaliser l'**auto-maintien** lorsqu'une activation sera issue d'une courte impulsion. L'autre section sera branchée à convenance pour assurer la fonction d'**UTILISATION**. Quelle que soit la fonction d'usage envisagée, il faut pouvoir librement en assurer la fin. Aussi, la section d'**auto-maintien** sera systématiquement branchée sur un sous-schéma *qui la coupera en fonction d'un événement précis*. Le relais concerné retrouvera alors sa configuration de repos. Le circuit d'annulation de l'**auto-maintien** sera d'une complexité directement fonction de la fonction envisagée.



## ➤ Synchronisation de l'HORLOGE.

Sédusant de simplicité, l'HORLOGE présentée sur la Fig.2 n'est pas utilisable en l'état. Il importe de comprendre que les diverses opérations qui s'enchaînent exigent des durées très différentes. Ne pas en tenir compte imposerait de passer de l'une à l'autre avec une temporisation qui laisserait à la plus lente le temps de se terminer. En effet, il n'est pas question de passer à une action suivante tant que la précédente n'est pas terminée. Hors, *ÉCRITURE* ou *Changer d'instruction* est bien plus long qu'effectuer une *LECTURE* ou une rotation du barillet. Ce sont ces deux dernières fonctions qui statistiquement seront les plus utilisées. *Les ramener en durée à l'opération la plus laborieuse ralentirait exagérément le fonctionnement de la machine.* Aussi, on va établir un "dialogue" entre l'horloge de notre ordinateur mécanique et les différents périphériques qui le composent.

Avec le croquis de la Fig.6 on s'approche d'une solution viable avec prise en compte d'une "poignée de main" entre l'HORLOGE et les autres composantes de la machine. Les divers SWITCH coloriés en rose ont pour fonction d'envoyer les courtes impulsions déclenchant le début d'une séquence fonctionnelle. (Consulter dans le chapitre qui suit la définition proposée pour le vocable de "séquence".) Quand la machine déroule un programme, le SWITCH de repos **R** est ignoré. Le moteur qui fait tourner la came **C** est alimenté et le SWITCH **A** transmet la courte impulsion au module *LECTURE* qui commence son activité. Dès que **C** qui continue à tourner dans le sens de la grosse flèche bleue active le microcontact **B** la rotation est stoppée. La fonction *LECTURE* arrivant à son terme repasse en attente et surtout libère **B**, la came **C** se remet à tourner. Elle transmet alors le "top départ" au capteur **C** puis va activer **D** qui arrête son mouvement. Quand la fonction *ÉCRITURE* est terminée, elle se met en attente à son tour et libère **D**, le moteur de l'HORLOGE continuant vers le module suivant. Le processus va se poursuivre jusqu'à ce que le programme trouve l'instruction de FIN de l'algorithme, validant alors le contacteur de repos **R**. La machine va alors rester en PAUSE jusqu'à ce que l'opérateur valide un nouveau déclenchement de programme.

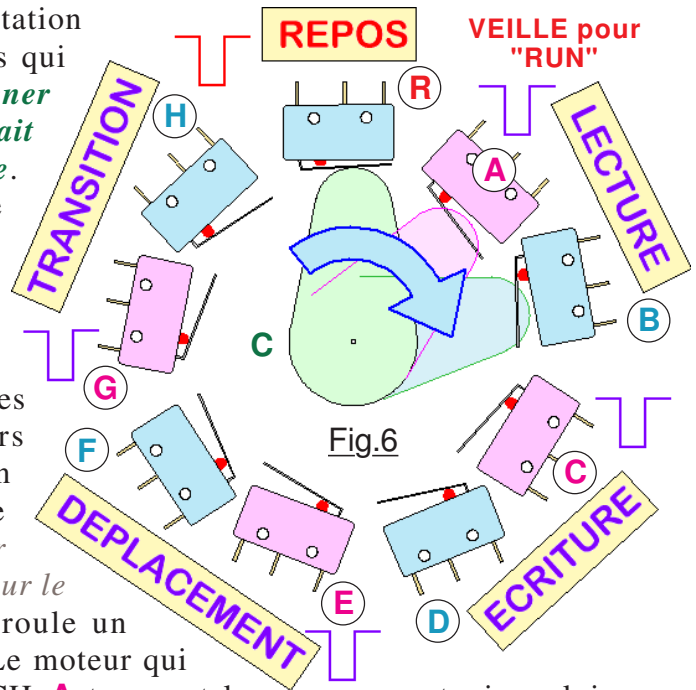


Fig.6

**NOTE IMPORTANTE :** Dans ce processus les quatre fonctions de base sont systématiquement balayées dans l'ordre "indéfiniment" jusqu'à l'instruction de FIN. Mais c'est la sortie de la MATRICE des transitions qui valide les SWITCH roses, et uniquement si un trou est percé dans la feuille de programme aux bonnes coordonnées. Ainsi un contacteur tel que **A**, **C**, **E** ou **G** ne transmet l'impulsion de début de séquence que s'il est validé en +12v par la MATRICE. (Voir le chapitre de la Fig.3) Par ailleurs, quand une fonction n'est pas sollicitée, c'est à dire en attente d'une impulsion courte, son signal "d'accusé de réception" sur les capteurs **B**, **D**, **F** et **H** est en état inactifs, donc sans effet sur le moteur qui entraîne en rotation la came **C**.

## ➤ Dialogue entre modules et terminologie.

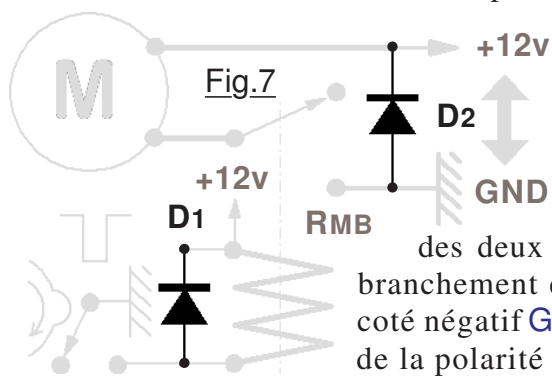
Choisir les mots qui seront utilisés dans un descriptif technique n'est pas immédiat, car il faut aboutir à un vocabulaire très précis et acceptable par tous. Pour la suite de ce didacticiel, je vous propose les définitions suivantes en espérant qu'elles seront pertinentes. Pour éviter toute ambiguïté je vais essayer de m'y tenir avec rigueur.

**CYCLE :** Suite répétée des opérations qui sont enchaînées pour réaliser une instruction, c'est à dire dans l'ordre : *LECTURE* / *ÉCRITURE* / *DÉPLACEMENT* / *TRANSITION*. L'unité fonctionnelle qui réalisera cette suite d'actions sera nommée l'**HORLOGE**.

**SÉQUENCE :** Déclenchée par l'impulsion de début d'action, *réalise la suite ordonnée dans un module du démarrage, suivi de l'action spécifique, puis arrêt en fin d'opération et génération de l'Accusé de Réception* qui réactive le moteur de l'HORLOGE.

### ➤ Surtensions sur les bobinages et diodes de "roue libre".

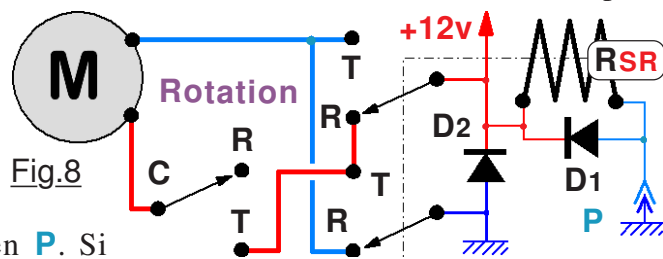
Bien connu des physiciens, un phénomène de surtension inverse à la polarité de la tension actuelle se produit quand brusquement sur un bobinage on coupe l'énergie. Cette surtension inverse est directement fonction du facteur de qualité  $Q$  du bobinage et peut facilement faire deux à trois fois la tension initiale. (*Donc 36V dans notre cas sur les moteurs, voir plus car leur facteur  $Q$  peut atteindre quatre ou cinq.*) On se doute que cette surtension inverse n'est pas appréciée de l'électronique, encore que dans notre cas les seules électroniques présentes sont les diodes électroluminescentes. N'oublions pas toutefois le bloc alimentation secteur qui sur sa sortie +12v



ne doit pas prendre ces surcharges. La solution pour résoudre cette difficulté est très simple. Il suffit de brancher une diode en polarité inverses de l'alimentation directement sur la bobine. Peu importe du reste qu'il s'agisse du bobinage d'un relais, ou celui d'un moteur à courant continu. Reprenons en Fig.7 le schéma de la Fig.4 sur lequel nous avons ajouté des deux diodes **D1** et **D2**. Noter que pour ces deux composants le branchement est bien en inverse, la cathode étant vers le +12v et l'anode coté négatif GND. Sur ce schéma, le sens de rotation du moteur est fonction de la polarité de son alimentation. Si on désire une rotation réciproque, il suffit de permuter +12v et GND **sans oublier alors d'inverser le branchement de la diode D2**. En électricité, les diodes de court-circuit des contre-courants sont nommées **diodes de roue libre**.

### ➤ Inverser le sens de rotation d'un moteur.

Grand classique en électrotechnique, quand on désire faire tourner un moteur dans les deux sens de rotation possibles, il suffit de "croiser" ses deux fils d'alimentation, opération aisée en utilisant un relais équipé de deux sections de type **R / T**. La Fig.8 présente le schéma classique assurant la fonction de croisement, architecture de base dans laquelle on a ajouté les deux diodes de roue libre **D1** et **D2**. Il importe de noter que **D2** est placée avant "le croisement" des lignes électriques, ainsi sa polarité correcte est assurée quel que soit le sens de rotation au moment de la coupure d'énergie. C'est par l'alimentation ou non du relais de **Sens de Rotation** de l'arbre moteur **RSR** que l'on pilotera en option horaire ou antihoraire. Par contre, pour piloter le mouvement de **Rotation** ou le stopper un autre relais tel que celui de la Fig.4 sera indispensable et complètera le circuit électrique du module concerné. Le sens de rotation sera piloté en **P**. Si



GND est appliqué au relais **RSR** le moteur tournera dans un sens, si le "point froid" de ce relais est isolé, le sens de rotation sera inversé. ("**Point froid**" : Côté négatif d'alimentation du bobinage.) Notons au passage que les deux sections **R / T** du relais **RSR** sont consommées pour croiser les fils d'alimentation du moteur. Si ce relais est piloté par une impulsion courte, il faudra lui ajouter un deuxième compère pour le contrôler en **P** et disposer ainsi d'un **auto-maintien**.

### ➤ Stopper "net" un moteur électrique.

Comprendre l'agencement d'un schéma et une approche technologique est directement lié à une connaissance assez précise des caractéristiques présentées par les composants sélectionnés pour la conception d'un système quel qu'il soit. Aussi, je vous invite fortement à consulter l'encadré situé en haut de la Page 6 relatif aux caractéristiques des petits moteurs réducteurs.

Nous désirons stopper les cames des fonctionnalités de cette machine à des positions angulaires précises. Par exemple la hauteur des pions du barillet de la mémoire RAM est optimisée avec exactitude sur ordinateur pour avoir des dépassements respectivement de 3mm, de 11,5mm et de 20mm. Le problème issu de la technologie est le suivant : Dès que l'on coupe l'alimentation du moteur, par inertie du rotor et des engrenages, ce dernier continue de tourner et l'arrêt n'est pas immédiat. L'arbre de sortie continue de tourner d'un angle non dérisoire d'environ 5° sur les unités approvisionnées. Ce phénomène, s'il n'est pas maîtrisé, est catastrophique car les positions en hauteur des pions du barillet seront relativement aléatoires et dans des proportions inacceptables.

Heureusement pour nous une solution simple existe : Les "**contre courants induits**"." **Page 5**

## Caractéristiques générales des petits moteurs réducteurs.

**C** aractéristique typique des petits moteurs électriques à courant continu, leurs rotors ont des inerties dérisoires, et ils tournent très rapidement, avec des rotations qui dépassent de façon banale les 6000tr/min à 8000tr/min. On envisage ici le cas des petits moteurs électriques "classiques" à rotors bobinés alimentés par collecteurs. (*Sont exclus les dispositifs asservis genre Brushless, les moteurs sans balais, les pas à pas etc.*) Par nature il est "impossible" de les mouvoir lentement, car il faut en diminuer tellement la tension d'alimentation qu'ils n'ont plus le moindre couple. Aussi, ils sont associés généralement à des réducteurs de vitesse à trains d'engrenages. Supposons, pour illustrer ce propos, que le rotor du moteur d'écriture analysé tourne à 7000tr/min. Pour que l'arbre de sortie soit à 40tr/min en nominal, le réducteur de ce produit commercial doit diviser la vitesse angulaire par 175. L'inconvénient de cette technologie réside dans "le prix de revient" du réducteur. Pour baisser son coût, on utilise des engrenages de qualité médiocre dont le rendement ne dépasse généralement pas 0,6. Si le déducteur intègre trois engrenages à denture droite par exemple, le train complet présentera un rendement global de  $0,6 \times 0,6 \times 0,6$  soit environ 0,2 en tenant compte des pertes dans le moteur. Seul un cinquième de l'énergie crée du mouvement, tout le reste se diffuse sous forme de bruit et de chaleur. Ces gaspillages d'énergie ne sont donc acceptable que pour des motorisations de très faibles puissance.

**Avantage** de cette approche : Quand on divise la vitesse de rotation par 175, on multiplie le couple dans les mêmes proportions au rendement prés. Donc dans cet exemple par 35. C'est un aspect très favorable, car le volume d'un moteur électrique est directement fonction du couple qu'il doit générer. De ce fait ce type de motorisation reste généralement discret en encombrement.

**Inconvénient** assez courant de cette technologie, si le réducteur est peu soigné, l'arbre de sortie peut être victime d'un jeu angulaire notable. Ce sera particulièrement pénalisant s'il faut aboutir à des positionnements précis et que le dispositif inverse régulièrement son sens de rotation.

Une toute petite liaison électrique ajoutée au schéma de la Fig.8 pour aboutir à celui de la Fig.9 apporte une solution royale pour résoudre ce problème. Quand le relais qui alimente le moteur en énergie passe au repos, on observe que le contact **R** de sa section **UTILISATION** force le moteur en court-circuit. Le rotor continue de tourner dans le champ magnétique de l'inducteur constitué d'aimants permanents. Les bobinages deviennent alors générateurs d'électricité et produisent un "**contre courant**" qui freine énergiquement tout l'équipement en rotation, train d'engrenages compris. Dans le schéma de la Fig.UU le moteur est stoppé net par ces "**contres courants**". On peut se demander si la présence de la diode **D2** est bien utile. La réponse est oui, car le passage de **R** à **T** dans la section **Rotation** engendre dans le transitoire l'ouverture du circuit électrique, et de ce fait génère la surtension de coupure de flux magnétique.

Notons au passage que l'inversion du sens de rotation par une commande en **P** est aussi "nerveuse" ce qui fait que le positionnement de la came entraînée sera aussi précis sur inversion du sens de rotation que sur arrêt du moteur. Nous pourrions penser que ces fins de mouvements ou inversion de sens sont brutales et vont malmener les moteurs. Il n'en est rien. Pour se convaincre consultez la fiche de **Validation de la motorisation (2/2)** précisant les tests d'endurances effectués.

### ➤ Appels de courant au démarrage.

**E** ncore une caractéristique bien connue des moteurs à courant continu. Quand ils tournent, les contres courants générés par le rotor tournant dans le flux magnétique du stator limitent l'intensité absorbée par le moteur. Mais au démarrage, seule la résistance ohmique de l'enroulements qui reste faible limite le courant de démarrage. Il en résulte une surintensité de l'ordre de trois fois à cinq fois la valeur du courant nominal quand la vitesse est stabilisée.

Comme précisé sur le Fig.10 on peut limiter cet appel de courant en ajoutant une résistance **R** sur la

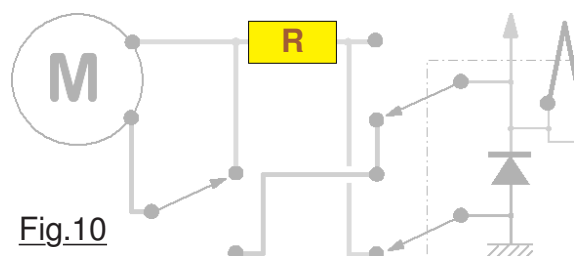
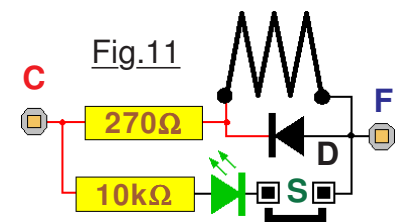


Fig.10

la ligne d'alimentation. La valeur de ce composant n'aura strictement aucun effet sur l'arrêt franc du moteur. Son influence sur la position d'inversion du sens de rotation est également dérisoire. En revanche, plus la valeur de **R** est élevée, moins la surtension sera virulente. La consommation en phase stabilisée sera également plus faible. Toutefois, la "nervosité" du démarrage sera plus faible et la came tournera plus lentement. Aussi, la valeur ohmique de **R** sera déterminée expérimentalement pour obtenir un compromis optimal en fonction des modules concernés.

➤ **Visualiser l'état d'un relais et tension de bobinage 5Vcc.**

Dernier chapitre consacrés aux "fondamentaux" de l'électromécanique qui vont directement influencer la conception des circuits électriques, la sélection des composants de cette machine résulte de nombreuses contraintes tant économiques que matérielles. Il résulte de ces choix que les divers moteurs utilisés fonctionnent en 12Vcc, tension nominale imposée sur la fourniture en énergie basse tension disponible à la sortie du bloc secteur 220V≈. En revanche, les relais miniatures équipés de deux sections de type **R / T** sont prévus pour fonctionner en 5Vcc. Pour éviter d'ajouter à l'ensemble un régulateur qui partant du +12Vcc fournirait du 5Vcc, il a été estimé *plus conforme à l'esprit des années 1940*, d'ajouter une résistance de 270Ω en série avec la bobine du relais. Par ailleurs, nous sommes en présence d'une machine expérimentale. À ce titre on doit pouvoir visualiser l'intégralité des divers états des systèmes critiques de cette dernière, et en particulier savoir si les relais sont alimentés ou non. Dans ce but, comme le montre la Fig.11 on ajoute une diode électroluminescente en parallèle sur le "point chaud" **C** et sur "le point froid" **F** de pilotage de la bobine du relais. Indépendante de la couleur de la LED, la résistance qui sous 12V en limite le courant sera de 10kΩ aboutissant à un éclairage correct. Sauf cas singulier, on retrouvera sur chaque relais de la logique interne de notre machine :

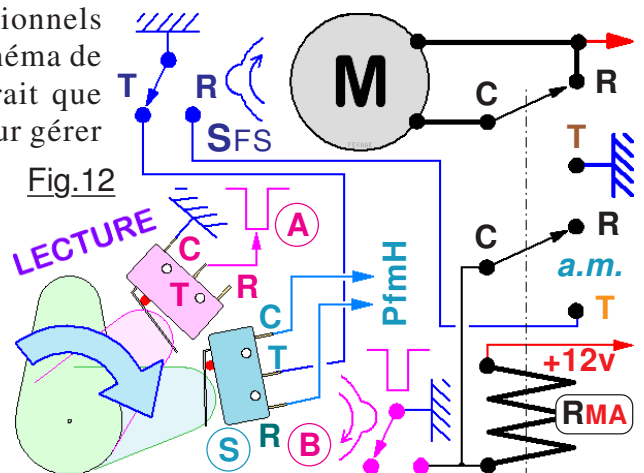


- La diode de "roue libre" **D**,
- La résistance de 270Ω pour abaisser à 5V la tension sur le bobinage d'induction,
- Une LED témoin de l'état d'alimentation du relais. (*Ne s'allume que si **C** et **F** sont polarisés.*)

Toutefois, dans l'esprit des technologies des années 1940, ces nombreuses LEDs anachroniques *ne se justifient que* pour la mise au point "facilitée" de la machine ou lors des opérations de maintenance. C'est la raison pour laquelle on peut à convenance les valider en plaçant un "Strap" **S** sur un petit connecteur de type HE14, ou l'inhiber en retirant ce petit accessoire. Logiquement, en fonctionnement standard seuls les témoins du tableau de maitrisent doivent rester en action.

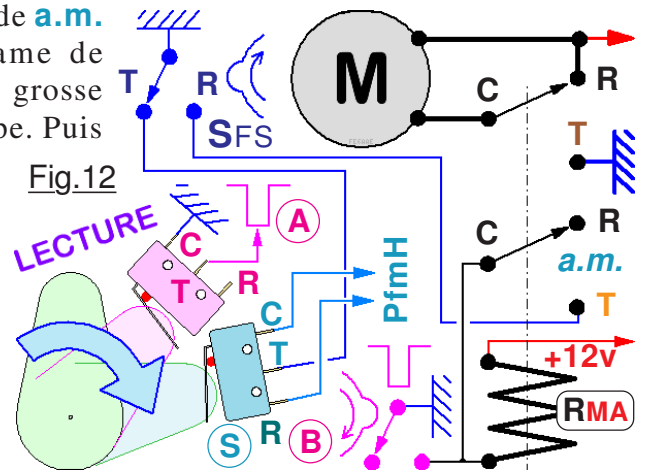
➤ **Déclenchement et fin d'une opération dans le cycle d'HORLOGE.**

Technologiquement, les quatre opérations qui se succèdent dans un cycle d'HORLOGE partagent un ADN commun pour des raisons d'homogénéité des signaux à échanger entre les diverses unités de la machine. Toutes sont animées par un bloc Moteur / Réducteur. Le principe de base pour établir une *poignée de main* entre deux modules fonctionnels de notre "ordinateur mécanique" est *ébauché* sur le schéma de la Fig.12 qui doit être associée à la Fig.6 qui montrait que pour chaque poste deux Switch servent de capteurs pour gérer un cycle. (*Ébauché car chaque fonctionnalité présentera des particularités.*) Sur ce dessin le *Switch de déclenchement d'un début de cycle* est représenté physiquement en **A** et dans le schéma en **B**. (*C'est le même composant.*) Il importe de retenir pour la suite, que le Switch **SFS** qui signale la Fin de Séquence en cours sera en configuration travail quand le module concerné est en *ATTENTE d'un déclenchement*. Par ce choix technique, le coté **R** du capteur **SFS** fournira alors l'état **GND** sur le Point froid du moteur d'HORLOGE repéré **PfmH** sur le dessin. Supposons que l'on vient d'amorcer manuellement le début du déroulement d'un programme, ou que la came de l'HORLOGE vient activer **T**. Immédiatement le relais Marche / Arrêt **RMA** passe au





travail **T** et le moteur du module **LECTURE** se met à tourner. Simultanément le contact **a.m.** passe au travail **T** assurant l'auto-alimentation du relais **RMA**. La came de l'HORLOGE et l'implantation du Switch **A** sont conçus pour que *l'impulsion "courte" de déclenchement de séquence* soit d'une *durée suffisante pour que la came du module concerné tourne d'un angle apte à libérer son Switch **SFS*** qui passe alors au repos **R**. Le contact **T** de **a.m.** continue d'être polarisé à **GND** alors que la came de l'HORLOGE continue de tourner dans le sens de la grosse flèche bleue. Le signal de déclenchement en **T** se coupe. Puis cette came active en le Switch **S** qui passe au travail. Son contact **T** est alors en liaison avec **SFS** qui étant au repos **R** ne fournit plus **GND**. Le moteur de l'HORLOGE va alors attendre que **SFS** repasse au travail. Le module en activité réalise son opération spécifique et termine sa séquence en revenant sur **SFS** pour le faire basculer sur **T**. Le contact **T** de **a.m.** n'étant plus au potentiel de **GND** le relais **RMA** repasse au repos et le module restera en **ATTENTE** d'un nouveau déclenchement. Le contact **T** de **SFS** polarise à nouveau **T** de **S** et le moteur de l'HORLOGE va alors enchaîner le cycle suivant. Cette approche chronologique combine à la fois des états logiques sur les divers relais, et surtout *une durée calibrée pour l'impulsion "courte" de déclenchement des séquences*. (La Fig.12 a été clonée pour éviter d'avoir à tourner la page durant la lecture.)



## 02) Schéma électrotechnique du module de rotation du carrousel.

**R**eprenant les nombreux concepts abordés dans les deux chapitres sur Les principes de base de l'électrotechnique, nous allons aborder progressivement l'élaboration du circuit qui permet de gérer la rotation du barillet de la mémoire RAM de notre machine. Du reste, le sigle RAM n'est pas vraiment pertinent, car il signifie que l'accès à chaque cellule de la mémoire vive est direct, (*Random Access Mémoires.*) alors que par sa conception c'est une mémoire à accès séquentiel. En logique traditionnelle on parlerait plus rigoureusement d'un **registre à décalage**. Sur notre machine mécanique, ce registre peut contenir entre 1 et 56 BITS en fonction de la taille des données manipulées par le programme chargé dans la machine, choix laissé à l'initiative du programmeur. Peu importe le vocable utilisé à partir du moment où l'on se comprend.

 **Le schéma que l'on va détailler dans ce chapitre doit permettre :**

- 1) De faire tourner avec des positions angulaires précises, le carrousel d'une "case" à la fois.
- 2) L'opération sera déclenchée par l'HORLOGE de la machine.
- 3) En fin d'opération le module doit retourner un accusé de réception pour libérer la rotation de la came de l'HORLOGE qui traitera alors l'opération suivante dans le cycle d'une instruction.
- 4) La feuille perforée du programme devra valider l'opération de changement de "case".
- 5) La feuille perforée du programme imposera le sens de rotation désiré dans l'algorithme.
- 6) En usage normal de la machine, l'opérateur doit pouvoir faire tourner à convenance le plateau à sa guise autant en amplitude angulaire qu'en choisissant le sens de la rotation.
- 7) Les états des éléments critiques seront visualisés pour la maintenance opérationnelle.

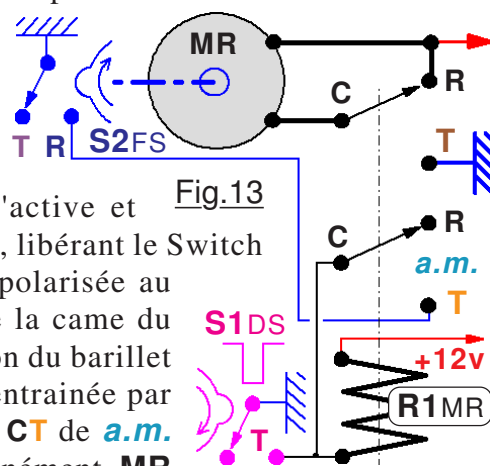
**C**ompromis visant à satisfaire plusieurs critères tant techniques qu'économiques, le moteur qui anime la rotation du carrousel a été sélectionné dans ceux disponibles car sa vitesse de rotation est un peu plus faible, tournant à 30tr/min au lieu de 40tr/min comme ceux utilisés sur les unités d'écriture et sur le module de lecture. Probablement qu'il serait possible d'approvisionner que des références de 40tr/min pour une homogénéité d'achat et réduire à un seul moteur le matériel prévu pour pouvoir changer un moteur en défaut. (*Il faut toujours prévoir la maintenance sur le long terme, surtout à une époque où les changements sont rapides et le suivi des produits ... aléatoire.*) Comme le plateau présente une certaine inertie, j'avais envisagé une motorisation un peu moins "nerveuse" pour diminuer un peu les accélérations, donc les efforts sur les piges du barillet. Je pense que c'est une précaution qui ne s'impose pas vraiment, mais le matériel a été acheté, et autant l'utiliser. Vu l'angle de rotation faible, la rapidité de la machine n'est que peu affectée. **Page 8**



### 1,2 et 3) Faire tourner d'une cellule à la fois.

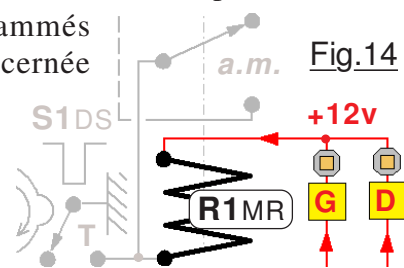
**A**ction élémentaire à satisfaire, on se contente en Fig.13 d'extraire de la Fig.12 la partie qui active le moteur, c'est à dire le déclenchement par l'impulsion de courte durée et le microcontact de fin de mouvement. Quel que soit le sens de rotation, sur la machine c'est le même capteur qui est sollicité. Pour mémoire, la came du moteur d'HORLOGE tourne et active le microcontact **S1DS**. (Switch n°1 du Début de Séquence.)

Pour mémoire, une séquence débute par le passage au travail **T** (**GND**) un court instant du capteur **S1DS**. Le relais **R1MR** s'active et immédiatement le Moteur de Rotation **MR** se met en mouvement, libérant le Switch **S2FS** qui passe au repos **R**. La section **CT** de **a.m.** est alors polarisée au potentiel de **GND** et **R1MR** conserve son état travail alors que la came du moteur d'HORLOGE libère **S1DS** qui isole **T** de **GND**. La rotation du barillet se poursuit jusqu'à ce que la came (En réalité la roue dentée.) entraînée par **MR** vienne réactiver **S2FS** qui repasse au travail **T**. La section **CT** de **a.m.** s'isole et le relais "décroche" adoptant la position **R**. Instantanément **MR** stoppe sa rotation par les phénomènes de contre courant. Enfin **S2FS** en repassant au travail **T** envoie son "*accusé de réception*" au moteur d'HORLOGE pour enchaîner l'opération suivante.

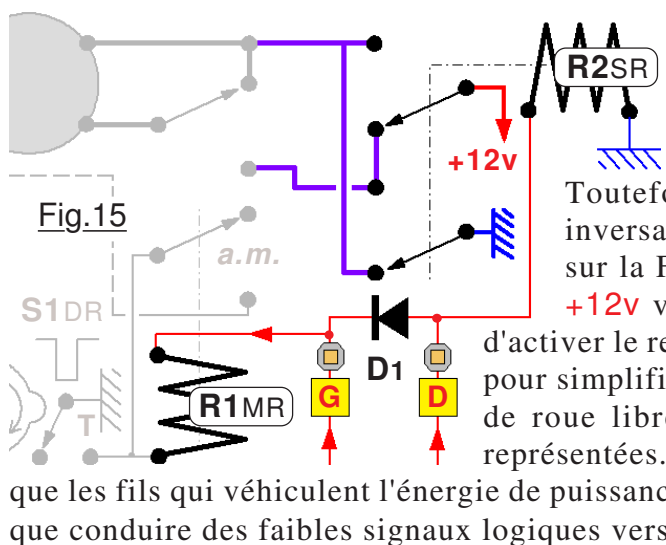


### 4) Le programme valide la rotation du barillet.

**L**orloge de la logique interne de cet ordinateur mécanique, par conception des schémas, va envoyer systématiquement une impulsion de début de cycle **GND** aux divers "points froids" des modules fonctionnels sans se préoccuper de savoir s'ils sont programmés dans la feuille perforée. Hors il ne faut actionner le moteur de l'unité concernée que si "le programme" fournit un **+12v** en sortie concernée de la MATRICE de diodes. Pour n'activer le moteur que si l'action est programmée, il suffit de transmettre directement la sortie de la MATRICE au "point chaud" du relais moteur **R1MR**. La Fig.14 montre bien que la condition nécessaire et suffisante pour que **R1MR** puisse passer en état travail, est que l'une au moins des deux sorties **G** ou **D** soit validée dans la feuille de programme. (Si les deux sont validées par erreur de perforation seul le sens sera affecté.)



### 5) Le programme impose le sens de rotation du barillet.



**R**eprenant la technique de base de la Fig.8 le pilotage **P** du relais de croisement des fils d'alimentation du moteur sera commandé par la sortie de la matrice pour la rotation vers la droite. Toutefois, seule cette sortie doit activer le relais **R2SR** inversant le Sens de Rotation. C'est la raison pour laquelle sur la Fig.15 on peut observer la diode **D1** laisse passer le **+12v** vers le "point chaud" du relais **R1MR** et empêche **G** d'activer le relais d'inversion de sens **R2SR**. Noter au passage que pour simplifier la lecture de tous ces schémas partiels, les diodes de roue libre ainsi que les résistances de **270Ω** ne sont pas représentées. À bien observer le schéma Fig.15 vous constaterez que les fils qui véhiculent l'énergie de puissance vers le moteur sont plus épais que ceux qui ne font que conduire des faibles signaux logiques vers les relais ou gérant la configuration.

### 6) Mode contrôle MANUEL de la machine.

**C**ontradictoire avec le fonctionnement automatique sous contrôle d'un programme logé dans une feuille perforée, pouvoir faire fonctionner n'importe quelle unité fonctionnelle de l'ensemble reste impératif, tant dans une optique de maintenance qu'en usage normal de cet ordinateur électromécanique. Compte tenu de la lenteur "relative" de déroulement des instructions, et surtout du nombre que va en engendrer le programme, (Qui peut aller jusqu'à l'infini si

- C'est quoi ce joli bouton rouge ? Clic ... FIN des clics clics clics sur la machine !  
- GRRRRRRRRRRRRRRRRRRRRR.

- Isoler les commandes arrivant de la MATRICE en mode MANUEL.
- Isoler les commandes opérateur en mode AUTOMATIQUE.
- Provoquer de faibles rotations sur le moteur de l'unité concernée si le clic est de courte durée.
- Stopper le moteur sur son capteur sur une durée "moyenne" d'activation du bouton poussoir.
- Permettre un fonctionnement continu du moteur sur un appui long du bouton poussoir activé.



entre le circuit imprimé du module et les interconnexions avec le reste des automatismes.

Fig.17

Droite

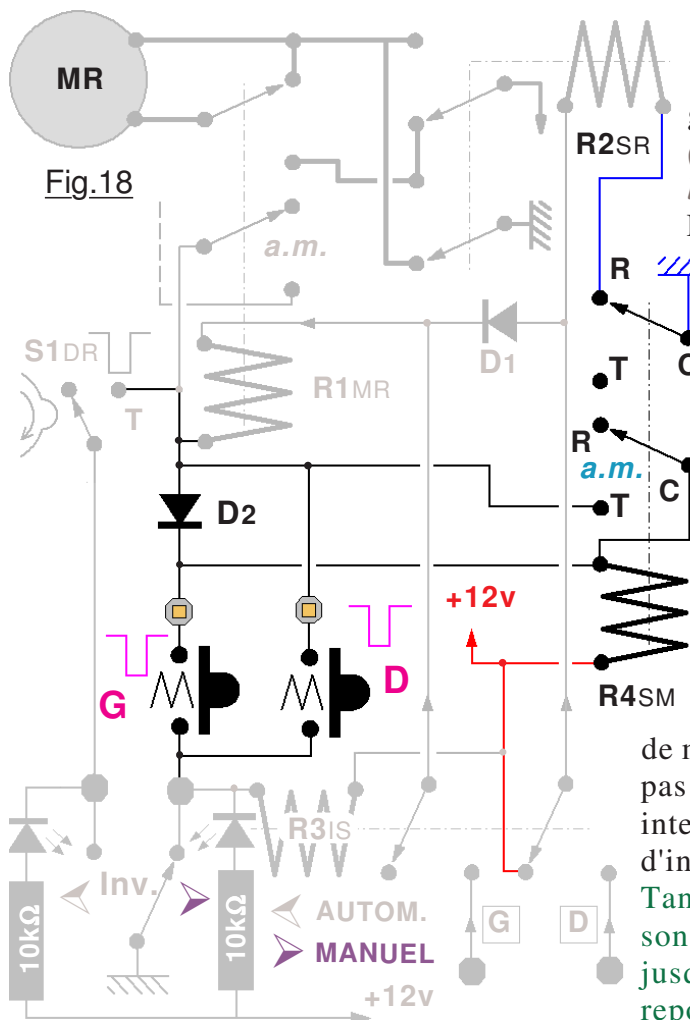
Gauche

Gauche

Droite

0 1 0 1 0 1 1 0 1 1

Page 10



Chacun des deux boutons poussoir doit se substituer au système de l'HORLOGE pour générer les impulsions de "début" de mouvement. (Début car tant que le bouton poussoir étant activé le plateau tourne en continu.) Sur le schéma de la Fig.18 l'inverseur configure la machine en mode

pilotage MANUEL. On remarque que le "point chaud" du relais **R2SR** qui croise les fils sur **MR** est bien alimenté en **+12v** comme c'est le cas en automatique quand la matrice valide **D**. Quand on active le bouton poussoir **G**, il fournit le niveau électrique **GND** au "point froid" du relais **R4SM** qui mémorise le Sens Manuel car il prend la configuration travail. (Voir explication en vert.) Le relais **R2SR** n'est alors plus polarisé au "point froid" du bobinage et passe au repos, ce qui correspond bien au cas **G** en configuration automatique. Quand on appui sur le bouton poussoir **G** on génère bien l'impulsion de "début"

de mouvement, mais le niveau électrique **GND** ne doit pas "remonter" au point froid du relais **R4SM**. Pour interdire la propagation de **GND** on place la diode d'interdiction **D2**. Pourquoi mémoriser le sens ?

Tant que **G** est activé la plateau tourne, et **R1MR** par son auto maintien continue à faire tourner le moteur jusqu'à ce que le Switch de fin de mouvement soit repoussé au travail par la roue dentée. S'il n'y avait pas

mémorisation avec **a.m.** le moteur inverserait son sens de rotation entre la fin du mouvement et le relâcher du bouton poussoir. Avec cet agencement, le plateau tourne aussi longtemps que l'on active **G** ou **D** et termine son mouvement jusqu'à détection d'une position angulaire d'un BIT.

### ➤ Le schéma complet du circuit de motorisation du carrousel.

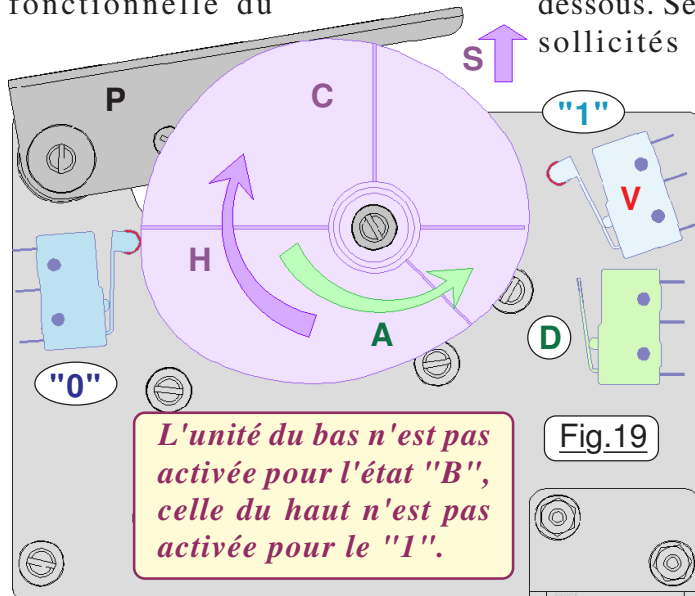
Construire un schéma complet qui respecte tous les critères consiste à ajouter au circuit de la Fig.18 une diode électroluminescente en parallèle avec chaque bobinage des relais pour en visualiser l'état de pilotage. En outre, sur ce dessin les relais sont directement alimentés en **+12v**, mais nous savons qu'il faut introduire une résistance de **270Ω** en série avec chaque bobinage pour abaisser la tension à 5V nominal. Enfin, moteurs et inductances devront se voir dotés des diodes de "roue libre" pour absorber les surtensions de coupure des flux magnétiques. Toutes ces modifications confondues aboutissent au schéma de la Fig.1 donné au recto de la fiche **Circuit de la motorisation du carrousel** n°1/4. Pour éviter d'encombrer inutilement le schéma, les diodes de roue-libre, les résistances pour adapter l'alimentation des bobinages en 5Vcc et les diodes électroluminescentes sont "banalisées" et ne sont donc par repérées. Deux fiches Recto / verso sont consacrées au schéma et au circuit imprimé de la motorisation du carrousel. La Fiche n°2/4 résume le fonctionnement de ce circuit et la mise en page est organisée pour que l'on puisse voir simultanément le schéma Fig.1 et les explications. Il semblerait que ce résumé sur le comportement du dispositif soit en doublon avec les développements du didacticiel. C'est un peu vrai. Ceci dit, dans le didacticiel il y a une approche progressive. Dans les fiches qui accompagnent en permanence la machine, les explications sont minimales pour optimiser ces dernières, tout en restant suffisantes pour assurer la maintenance sans avoir à remettre en service un ordinateur et fouiller avec agacement dans le didacticiel. Enfin, pour terminer ces remarques, la désignation des éléments est systématique. Des fiches dédiées et nommées **Repérage des divers composants** fournissent une liste des nombreux sigles employés avec pour chacun un rapide aperçu de la fonction par sa référence sur la machine. Ces fiches sont également consultables simultanément avec les schémas et en facilitent la lecture.

### 03) Schéma électrotechnique de la fonction ÉCRITURE.

**B**ien que chronologiquement c'est l'action LECTURE qui sera traitée dans le début d'un cycle d'horloge, nous allons étudier le schéma de la fonction ÉCRITURE car c'est la première qui a été menée à son terme après la fonction de rotation du carrousel. *(Et par voie de conséquence donné lieu à la rédaction des fiches et du didacticiel qui sont menés en parallèle avec les études et la réalisation du prototype.)* Ce n'est pas la facette la plus simple à comprendre, car elle comporte deux moteurs à gérer simultanément, le schéma étant réparti sur trois circuits imprimés dont deux sont identiques. Avant de commencer l'analyse du schéma on va décrire le comportement attendu.

#### ➤ Prendre de la hauteur.

**N**ous savons que pour effectuer une opération d'écriture *si elle est validée par le programme*, le module du dessus et le module du dessous doivent déplacer le pion concerné à trois hauteurs différentes en fonction de l'état binaire à concrétiser. Pour l'état "0" ces déplacements combinés entre l'unité du haut et celle du bas devront en outre être coordonnés. Enfin, quand l'écriture est effectuée, la palette **P** doit être ramenée en position dégagée. Sur la Fig.19 on observe l'unité fonctionnelle du



dessous. Seuls les deux Switch correspondant à "0" et "1" sont sollicités dans deux sens de rotation de façon un peu "nerveuse", raison pour laquelle ils sont munis d'une petite roulette. Pour soulever le pion avec la palette **P** dans le sens **S** la came quitte le Switch de dégagement **D** en tournant dans le sens horaire **H**. *Le moteur n'est mis en mouvement que si l'une des deux écritures logiques est validée dans le programme.* Supposons dans cet exemple que l'algorithme prévoit l'écriture d'un "1". Le Switch validé **V** reçoit du +12V depuis la MATRICE. *(S'il n'y a pas d'erreur de perforation l'une seule des trois options sera découpée dans la feuille du programme.)* Quand la came **C** active "0", il ne se passe rien car le Switch n'est pas alimenté. Continuant à tourner, **C** "clique" sur "1" qui

immédiatement doit inverser le sens de rotation car le pion est à la bonne hauteur. Tournant dans le sens antihoraire **A** la came repart jusqu'à solliciter le Switch de fin de séquence **D**. Immédiatement le moteur doit stopper, car c'est la configuration dégagée qui ménage la libre rotation pour le barillet du carrousel.

#### ➤ Le circuit de base.

**A**vant d'envisager la coordination des deux modules symétriques, nous allons par une approche très progressive élaborer le schéma pour l'unité du bas, sachant que pour celle du dessus le circuit électrotechnique est strictement identique. La seule différence au point de vue électrique réside dans le câblage des Switch "0" et "B" pour l'unité du haut et "0" et "1" pour celle du bas. La deuxième différence concerne l'aspect mécanique. Les deux sous-ensembles sont des clones, mais celui de dessus est en miroir par rapport à celui de dessous, un peu comme si la platine du haut se reflétait dans un lac pour renvoyer l'image du dessous. Du coup, certaines pièces comme la came **C** ou la palette **P** sont réalisées symétriquement, raison pour laquelle le didacticiel est accompagné de deux modèles **C** pour l'imprimante 3D. La plaque verticale du corps d'un module étant plate, celle de dessus et celle de dessous sont strictement identiques.

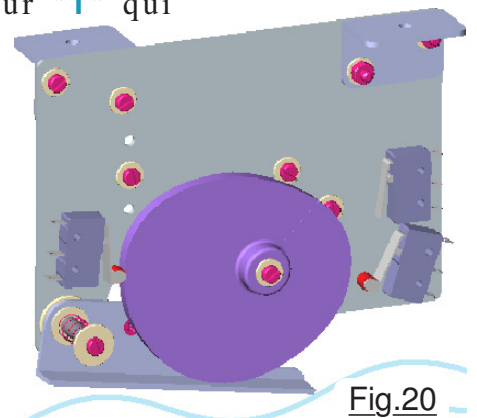
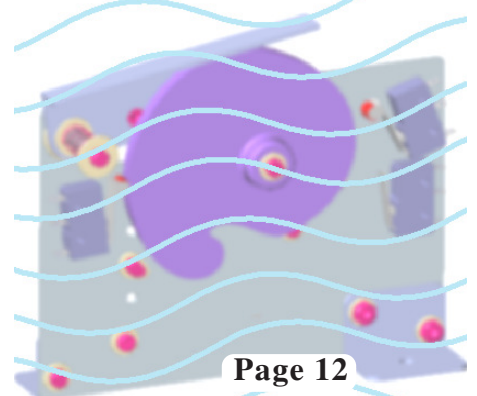


Fig.20



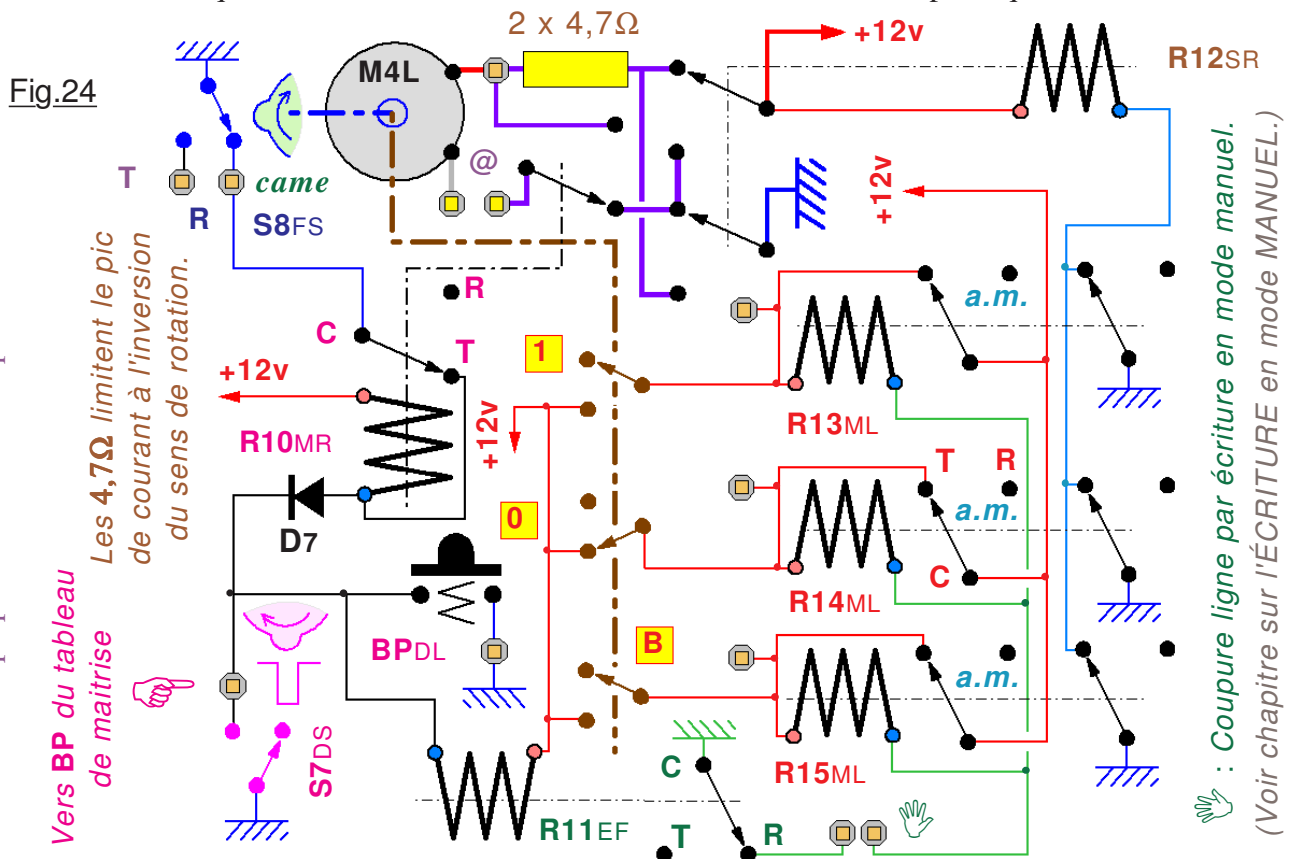






#### 04) Schéma électrotechnique de la fonction LECTURE.

**C**hronologiquement c'est l'action LECTURE qui sera traitée dans le début d'un cycle d'horloge, et cette fonction est sollicitée à chaque traitement pour une instruction. Comme c'est le cas pour toutes les analyses de fonctionnement déjà abordées, sur le schéma de la Fig.24 ne sont pas représentées la résistance d'adaptation en 12v, la diode de roue libre et la visualisation à LEDs de l'état logique des relais. Comme c'est la fonction la plus sollicitée et que les inerties du mécanisme restent modestes, il n'y a que deux résistances de limitation des pics de courant qui restent compatibles avec les caractéristiques du bloc alimentation secteur, et ce d'autant plus qu'un seul moteur est



sollicité à la fois par la fonction de LECTURE. Le fonctionnement est le suivant :

Durant un court instant l'HORLOGE génère une impulsion à l'état "0" sur **S7DS**. Le relais **R11EF** durant cette impulsion passe au travail et coupe **GND** de **R**. Les relais mémoire ne sont donc plus alimentés par **GND** sur leur section **a.m.** et repassent au repos effaçant ainsi la mémoire précédente. L'impulsion sur **S7DS** est de durée suffisante pour que la **came** libère **S8FS** qui passe au repos **R**. L'état **GND** est alors présent sur **C** de **R10MR** qui par sa section **a.m.** stabilise son état travail. Les trois relais **R13ML**, **R14ML** et **R15ML** ainsi que **R12SR** étant au repos, le moteur **M4L** tourne dans le sens de la "sortie" du bras des capteurs. Dès que l'un des Switch vient en contact avec le pion du barillet, (*Cas du "0" sur la Fig.24*) son relais passe au travail alimentant le point froid du relais **R12SR**. Immédiatement le moteur **M4L** inverse son sens de rotation et rétracte le bras des capteurs. Par sa section **a.m.**, **R13ML**, **R14ML** ou **R15ML** va mémoriser l'état logique détecté. Si le pion est en état dégagé "Blanc" c'est le capteur **B** qui sur le support de l'unité de lecture sera sollicité avec des effets totalement analogues. Puis le moteur tournant en sens de rétraction, le bras vient activer **T** du capteur **S8FS** stoppant immédiatement la **came** et envoyant l'accusé de réception à l'HORLOGE. La diode **D7** draine l'état **GND** sur **R10MR** qui passe au travail lors de l'impulsion de début de séquence générée par **S7DS**. Cette diode **D6** empêche **S8FS** de maintenir le relais d'effacement de la mémoire **R11EF** en état travail autorisant ainsi une nouvelle mémorisation contextuelle.

#### ➤ Une caractéristique bien cachée.

**A**bsolument pas indiqué dans la documentation de ces petits relais, ils sont polarisés ! Sur les composants non plus ne figure strictement aucune indication de la présence de cette particularité. Vraiment pas de chance, jusqu'à la réalisation du circuit imprimé destiné au module de lecture, l'intégralité des autres réalisations a été, et c'est assurément un pur hasard, **Page 15**

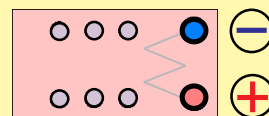


branchés toujours avec la même polarité sur la bobine inductrice. Il se trouve que lors de l'étude du circuit imprimé du module de lecture, pour des commodités d'étude de l'établissement des pistes conductrices, j'ai inversé la polarité sur la bobine inductrice de trois relais. BERNIQUE, inutile de les alimenter, ils restent inexorablement au repos. Plus un seul Clic clic clic ne se fait entendre !

**Sans que ce soit précisé dans la documentation ... ils sont polarisés.**

Ce n'est absolument pas une "diode de roue libre" qui serait intégrée, car quelle que soit la polarité de la tension appliquée, la consommation reste strictement identique. **On doit absolument respecter la polarité ci-contre :**

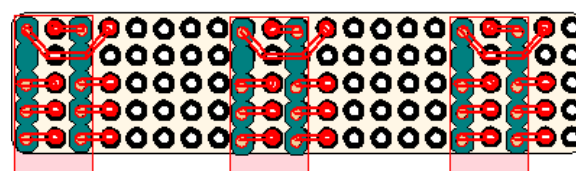
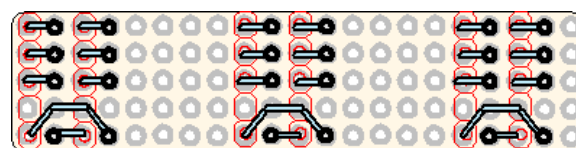
Vu par dessous.



Malheureusement, c'est en constatant que le circuit imprimé de la Fig.24 ne fonctionnait pas sur les trois relais d'inversion du sens de rotation du moteur que le piège a été détecté. Ils restent définitivement au repos. Il faut à l'étude des circuits imprimés respecter impérativement le sens de branchement indiqué dans l'encadré. Comme c'est jusqu'à présent le circuit imprimé le plus compliqué qui est en cause, je n'ai pas eu le courage de réétudier son dessin et de le refaire entièrement. Je me suis contenté de créer une "verrue" qui placée en gigogne sur les trois supports croise les fils. Ce n'est pas idéal en termes de fiabilité, c'est peu esthétique ... mais le problème est résolu. La Fig.25 propose le dessin du circuit imprimé de "réparation", et la Fig.26 la concrétisation de cette intervention chirurgicale improvisée.

**Vue coté picots**

**Fig.25**

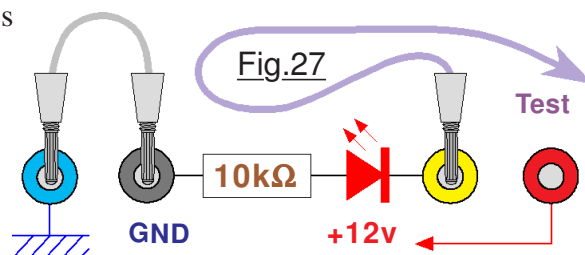


**Vue coté relais**

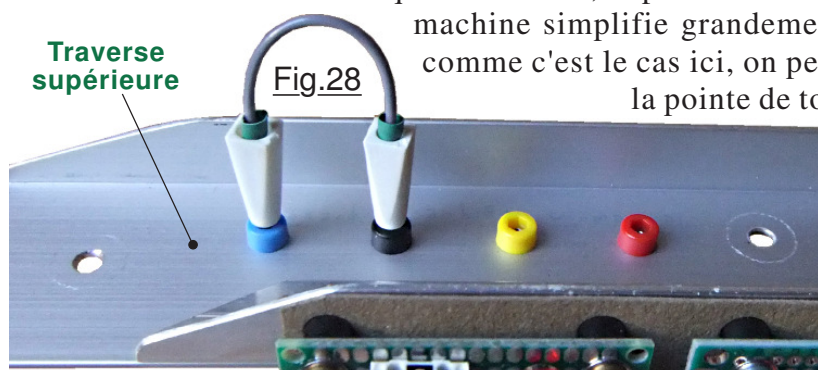
**Fig.26**

Notons au passage, que le circuit imprimé de LECTURE ne déroge pas au principe d'occupation maximale de la surface par les composants. Comme il restait une petite zone non utilisée vers le centre du circuit, immédiatement elle a été complétée par un petit témoin logique. L'expérience montre que lors de la mise au point, de la maintenance ou en

dépannage, un témoin logique lumineux est pratiquement aussi commode qu'un multimètre puisque globalement on ne trouve sur le schéma que le +12v ou le niveau électrique GND. Comme on le constate sur la Fig.28 quatre douilles pour fiches bananes de diamètre 2,5mm sont disponibles sur le dessus de la Traverse. Les deux extrêmes vont respectivement à GND et au +12v. Le témoin logique s'illumine déjà à partir de 2Vcc et peut supporter sans problème jusqu'à 20V, voir bien plus. Branché "flottant" entre la borne noire et la prise jaune, on pourra tester n'importe quelle branche d'un circuit électrique. Toutefois, la présence des deux bornes reliées à l'alimentation de la



**Fig.27**



machine simplifie grandement certaines manipulations. Par exemple, comme c'est le cas ici, on peut ponter le négatif à GND, et se servir de la pointe de touche pour surveiller le "point chaud" d'un relais par exemple. L'inverse est naturellement bien commode pour surveiller un "point froid". Enfin, la présence de l'alimentation peut s'avérer très utile pour débloquer un moteur, alimenter un circuit extérieur en cours de développement etc.



## 05) Schéma de la fonction sécurité en mode LECTURE manuelle.

**C**onsacrer un gros chapitre pour l'un des circuits les plus rudimentaires, et faisant partie des ajouts à la version "de luxe" de surcroît peut sembler exagéré. Pourtant, la simplicité n'est qu'apparente. Durant les essais à plusieurs reprises le dispositif a été se bloquer mécaniquement, la validation ayant révélé un problème potentiel sérieux.

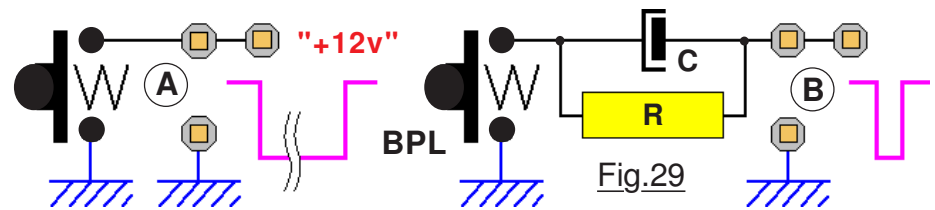
### ➤ DANGER important pour le matériel.

**A**TENTION : Si le Switch local, ou le bouton de déclenchement manuel d'une fonction LECTURE est maintenu enfoncé, l'inversion de mouvement ne se produit pas et le mécanisme va écraser le capteur de la butée pour détecter "B", ou sur le pion du barillet se trouvant sous la tête d'ÉCRITURE. **Il faut impérativement n'actionner ce déclenchement que par une courte impulsion.** Hors, le bouton pour déclencher manuellement une LECTURE situé sur le tableau de maîtrise n'est en rien différent des autres commandes. Pour l'ÉCRITURE ou la rotation du carrousel, l'opérateur peut naturellement laisser le bouton appuyé en continu. Inexorablement il risque de faire pareil avec la commande LECTURE et va générer une panne sur la machine. Aussi, il importe de prévoir impérativement une parade pour protéger les éléments mécaniques.

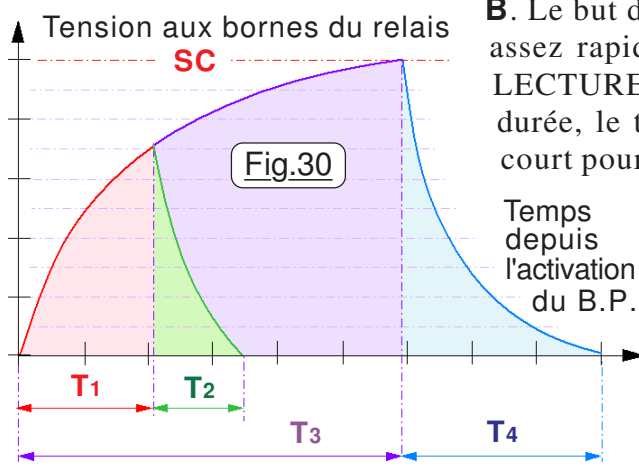
**Bouton poussoir de LECTURE manuelle :** L'impulsion électrique envoyée au circuit électrique de l'unité LECTURE pour en déclencher la séquence sera limitée à une durée de sécurité calibrée le juste ce qu'il faut pour activer le processus. Cette impulsion ne durera que le temps nécessaire et sera limitée même si l'opérateur laisse le bouton enfoncé.

### ➤ Chronométrage et "constante de temps".

**M**esurer un intervalle de temps dans les années 1940 passait par l'usage de ce que les électriciens nomment "un **circuit différenciateur**". L'idée de base est caricaturée sur la Fig.29 avec le fonctionnement d'un tel circuit supposant une logique positive pour **BPL** le bouton poussoir de LECTURE, ainsi qu'un contexte initial "au repos". L'opérateur clique un court instant pour **déclencher une lecture en mode manuel**. Durant tout le temps d'appui, le condensateur **C** se charge et la tension aux bornes augmente progressivement comme montré sur la Fig.30 présentant l'évolution temporelle. Plus les valeurs de **C** et de **R** seront importantes, plus il faudra du temps pour atteindre le **Seuil Critique SC** de basculement à l'état "1" en sortie du circuit. Pour rappel, ce signal de déclenchement de la séquence de LECTURE se fait en parallèle à celui qui sera fourni par l'HORLOGE en mode programmé activé par **AUTOM**.



En **A** le branchement direct de **BPL** sur la ligne de déclenchement de séquence provoque un état "0" tant que l'opérateur ne libère pas le bouton. En moins de deux secondes le mécanisme se retrouve en situation de blocage mécanique. Analysons maintenant sur la Fig.30 le cas de la solution adoptée en



**B.** Le but de la résistance **R** consiste à décharger le condensateur assez rapidement pour que l'on puisse enchaîner librement des LECTURES en mode manuel. Si l'appui sur **BPL** est de courte durée, le temps **T1** de charge du condensateur **C** est bien trop court pour que la séquence soit entièrement réalisée. Le **Moteur** n'effectuera qu'une partie de son travail et l'angle balayé sera insuffisant pour aboutir à une lecture. Il suffit dans ce cas de cliquer à nouveau sur **BPL** pour achever le processus. Dès que le poussoir est libéré, le condensateur se décharge dans la résistance **R** en une durée **T2**. Si l'opérateur laisse enfoncé le bouton poussoir, la tension aux bornes du condensateur, arrive au seuil critique **SC** et étant au potentiel de

+12V le condensateur ne se charge plus. Comme il n'y a plus de courant qui le

traverse, l'impulsion de déclenchement s'achève, et la tension en sortie du dispositif redevient égale à **+12V** stabilisé. Tout l'art de calibrer la temporisation critique consiste à choisir judicieusement la valeur de **C** et celle de **R**. Pour le mode MANUEL cet ajustement est moins critique que pour le fonctionnement en **AUTOM**. En effet, si la durée est limitée en durée, certaines lectures ne seront pas achevées et ce sera catastrophique. Pire, si la durée est un fifrelin trop longue, la tête de LECTURE ira se bloquer mécaniquement sur la palette d'écriture de l'unité du HAUT. La machine sera bloquée mécaniquement avec tous les inconvénients qui en découlent.

**N**oter au passage que la *constante de temps* d'un circuit **R / C**, en simplifiant outrageusement, représente la *durée pour laquelle la tension aux bornes du condensateur atteindra 63% de la tension d'alimentation* de la branche électrique concernée. Pour mémoire, la valeur de cette *constante de temps* se calcule simplement par le produit de **C** fois **R**. Hors les valeurs de **C**, particularité liée aux technologies, restent forcément faibles exprimées en Farads, ce qui impose dans ce domaine l'utilisation du millionième de Farad soit le représentant  $\mu$  pour  $10^{-6}$ . Naturellement nous pourrions effectuer de savants calculs pour déterminer ces deux valeurs critiques. Dans la pratique, il s'avère bien plus rapide de *tester diverses combinaisons avec des composants disponibles dans les tiroirs*. Les valeurs retenues doivent aboutir à l'impulsion la plus longue possible pour achever la LECTURE, mais surtout atteindre le seuil critique **SC** juste avant le blocage mécanique. On remarque sur la Fig.30 que les durées **T2** et **T4** pour la décharge sont plus courtes que celle pour la charge du condensateur **C**. Ce n'est qu'une façon générale de représenter le circuit **R / C**, sachant que dans notre cas particulier les deux durées sont voisines.

### ➤ Le circuit de sécurité pour la LECTURE en mode MANUEL.

**S**uite à de nombreuses combinaisons testées pour aboutir à un compromis fiable, au final la valeur adoptée pour le condensateur **C** est de 470 $\mu$ F avec une tension de service de 25V. Choisir une tension de service élevée ne peut qu'être favorable à la longévité et à la fiabilité de ce composant. Quand à la valeur de la résistance **R** une 470 $\Omega$  convient parfaitement. Ces deux composants sont de valeurs standards très courantes et vraiment faciles à approvisionner.

Comme pour le prototype je désirais avancer, j'ai opté pour l'utilisation d'un condensateur de facture ancienne, c'est à dire exagérément volumineux. Ce type de composant, comme on va le voir pour la protection  $\Delta T$  en mode **AUTOM**, est

actuellement bien plus modeste en volume occupé sur le petit circuit imprimé dédié. Ce condensateur ainsi que la résistance **R**

Fig.32

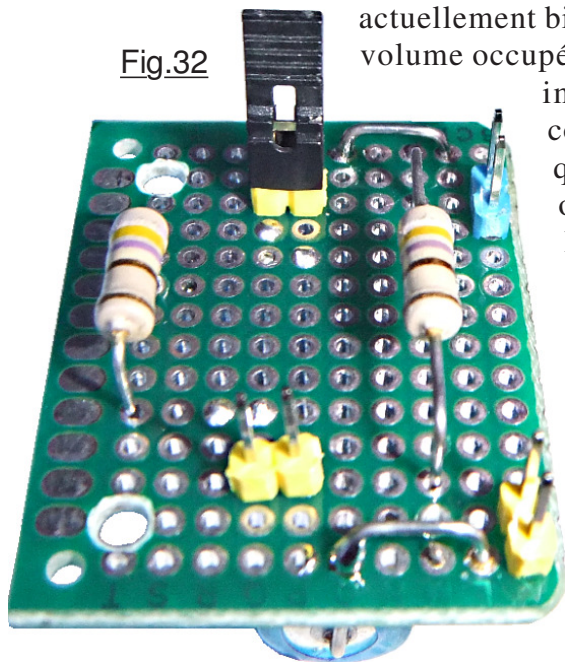
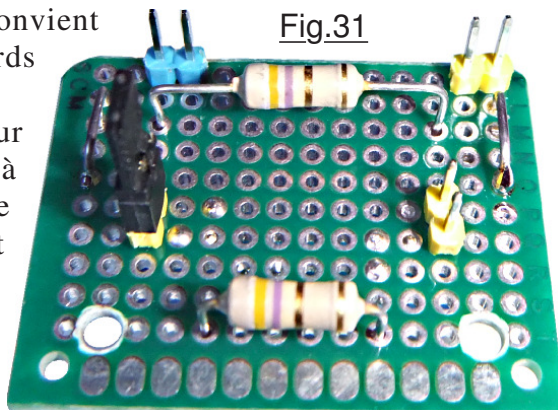


Fig.31



ont été ajoutés tardivement sur le petit circuit imprimé sur lequel sont logées les deux résistances de 4,7 $\Omega$  qui limitent les appels de courant sur le moteur de LECTURE. (Voir la fiche nommée *Circuits de la fonction LECTURE*. (1/4).)

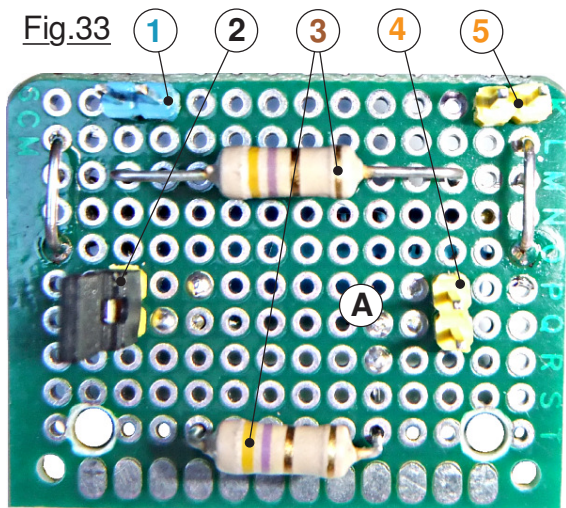
Le dessin du circuit imprimé ainsi que les explications associées est donné sur la mini-fiche au format A6 qui est nommée **Sécurité en LECTURE manuelle**.

La Fig.31 ainsi que la Fig.32 présentent deux vues plongeantes sur ce tout petit morceau de circuit prévu pour le prototype. Sur ces images on voit que le pont sur le connecteur HE14 jaune est un "Strap" à languette. C'est un luxe dont on peut se passer, et lui substituer un mini pont moins onéreux. Sur la vue de dessus de la Fig.33 **A**

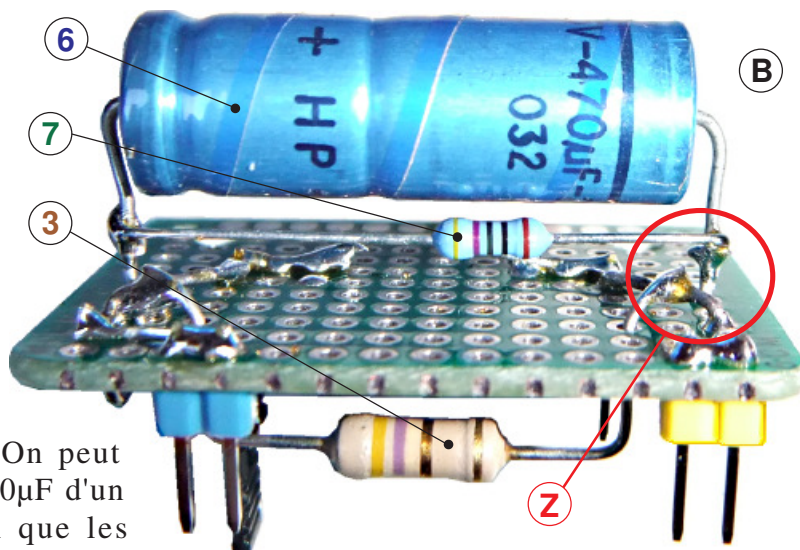
on retrouve en **2** le pont qui met en série les deux résistances **3** de 4,7 $\Omega$ . En enlevant ce pont le moteur **M4L** est mis hors circuit, ce qui peut s'avérer utile en opérations de maintenance, et surtout lors de la mise au point de la machine. C'est par le HE14 jaune **4** que ces deux résistances sont mises en série avec la ligne qui alimente le moteur **M4L**. Le HE14 bleu **1** directement



Fig.33



le condensateur **C** en **6** et sa résistance de décharge **R** en **7** ont été ajoutés en "surcharge" sur le dos du petit circuit imprimé qui jouxte sur la poutre transversale le module de LECTURE. On peut vérifier sur cette photographie que le 470 $\mu$ F d'un autre temps est bien plus volumineux que les modèles actuels ... encore que si l'on compare aux 1940 il est proprement miniature ! Prendre garde au fait que dans la zone **Z** la proximité des liaisons est importante, il faudra veiller à ce qu'il n'y ait pas de contact électrique interdit.



condensateurs des années

Ouvrons un peu tardivement une autre parenthèse. Sur la Fig.24 du schéma de la fonction LECTURE, est à peine mentionnée la présence des deux résistances de 4,7 $\Omega$  servant à limiter les pics d'intensité à l'inversion du sens de rotation de **M4L**. Ces dernières ont été ajoutées par la suite sur un petit circuit imprimé supplémentaire à part décrit en détails ci-avant. En effet, les pics de courants étaient vraiment importants et estimés préjudiciable à la longévité du moteur. L'alimentation en outre subit ainsi de biens moindres chutes de tensions inévitables car il ne faut pas oublier la présence permanente de la résistance de 1 $\Omega$  qui sert à mesurer l'intensité consommée. Si par exemple le transitoire se gave de 2A, la courte chute de tension fait 2V. Bien que non impliquée par la mesure de tension qui se fait directement sur la sortie du bloc secteur, un  $\Delta V$  est parfaitement accusée par le galvanomètre du tableau de maîtrise.

*En résumé, le dessin du circuit imprimé proposé dans les fiches est mis à jour, mais il n'a pas été reconditionné pour éviter ce tassement peu esthétique des résistances. Il a toutefois le mérite d'exister et a fait ses preuves. Il est possible que pour vous les valeurs de **R** et de **C** soudées en "gigogne" n'aient pas les mêmes valeurs, et il faudra les déterminer expérimentalement.*

### ➤ LECTURE en mode manuel.

D'un point de vue logique, le schéma de la Fig.24 n'est pas tout à fait complet. En effet, le bouton poussoir qui permet de déclencher en mode manuel une séquence de lecture depuis le tableau de maîtrise semble fonctionnel en toutes circonstances. Hors il ne faut surtout pas l'activer quand un programme sera en cours de traitement. C'est la raison pour laquelle le coté "froid" de cet élément n'ira pas directement à GND, mais comme le montre la Fig.34 présentée ici, il sera relié coté **MANUEL** sur l'**Inverseur** de sélection du mode actif.

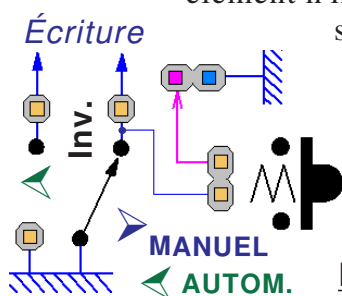


Fig.34

*En résumé, il faut interdire l'intervention de tous les divers B.P. du mode MANUEL quand la machine est en configuration automatique. Les B.P. pour l'Écriture sont gérés de façon particulière, ceux de la ROTATION sont utilisés comme montré sur la Fig 34 proposée ci-contre.*

### ➤ Dernière minute.

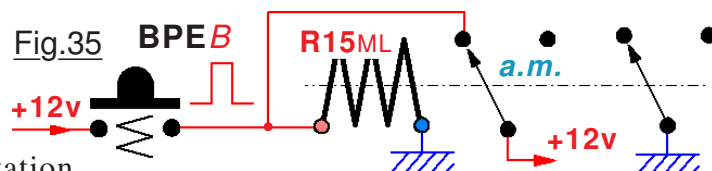
N'importe quel projet engendre des "pannes de jeunesse", c'est à dire des aléas qui surgissent lors des premières heures de fonctionnement. (*Composants défectueux ... problème de conception.*) Le pire des cas pour un technicien réside dans les pannes aléatoires qui ne se produisent qu'épisodiquement. Un tel cas s'est présenté sur les unités de d'écriture. Parfois, celle du bas ne revenait pas en position dégagée car le relais **R10MR** décrochait inopinément. Une solution radicale consiste à ajouter le condensateur **C** de **100µF** de la Fig.5 donné en fiche **Circuits de la fonction ÉCRITURE**. Ces explications arrivent tardivement car le didacticiel est rédigé au fur et à mesure du développement de ce projet un peu fou. Cependant rassurez-vous, les schémas et les dessins des circuits imprimés sur les fiches ont tous été complétés. C'est du reste le cas pour tous les documents, chaque fois que la découverte d'un problème impose une parade. (*Et des problèmes corrigés et passé sous silence pour alléger la narration, il y en a eu un grand nombre.*) Noter au passage que cette mesure n'est plus forcément indispensable, car après avoir effectué cette modification est par la suite venu s'ajouter la modification de la Fig.33 apportant une amélioration sensible au fonctionnement de l'ensemble. La tension peut descendre jusqu'à 10Vcc sans que le module de LECTURE ne soit perturbé, mis à part la lenteur du mouvement qui en résulte. Cette observation garanti un fonctionnement fiable lorsque le bloc secteur fournira 12V nominal.

### 06) Schéma de la fonction ÉCRITURE en mode MANUEL.

Logiquement on pourrait s'attendre à ce que *ce chapitre soit intégré à celui concernant la fonction ÉCRITURE*, et ce d'autant plus que l'aspect pilotage manuel des relais est abordé pour les deux Switch réservés à la mise en service de la machine et à la maintenance. Pour pouvoir gérer les trois boutons poussoir du tableau de pilotage, il importe que chacun puisse mémoriser l'état logique qu'il déclenche pendant toute la séquence qui s'active. *Pour minimiser le nombre de relais impliqués dans cette fonction d'écriture en mode manuel, on réutilise les trois relais mémoire de la fonction LECTURE.* Du coup, les explications relatives à la fonction écriture en mode manuel ne peuvent être abordées avec pertinence qu'une fois celui de la fonction LECTURE entièrement décrit. La seule particularité non abordée dans le chapitre n°5 concerne le petit connecteur repéré par 🖱 qui fait précisément référence aux explications qui vont suivre. On se doute que l'inverseur qui sur le tableau de maîtrise permet de sélectionner entre les deux modes fonctionnement AUTOMATIQUE et pilotage MANUEL va encore se voir mis à contribution.

### ➤ Réutilisation des relais mémoire de la fonction LECTURE.

Représenté sur la Fig.35 le principe de base consiste à activer le relais mémoire de la fonction lecture à partir du bouton poussoir de commande comme si cet état était imposé par la MATRICE de programme. Dans notre cas c'est l'écriture d'un état "**B**" qui est pris en exemple. De ce fait, le **Bouton Poussoir d'Ecriture** pour l'état **B** nommé **BPEB** doit fournir du **+12V** quand on l'active. Passant au travail, par sa section **a.m.**, le relais **R15ML**, mémorisera cet état quand on relâchera le bouton poussoir de commande. Toutefois, ce petit schéma très simple ne fonctionnera pas correctement, car lors de l'activation de l'un quelconque des trois boutons d'écriture, il faut commencer par effacer les trois mémoires.



### ➤ Effacer les trois mémoires de lecture.

Limité au circuit d'écriture d'un état "**B**" la Fig.36 complète le circuit précédent par un relais qui sera chargé de la "remise à zéro" des trois mémoires. Le principe consiste à couper l'alimentation des trois relais *un court instant* lors de l'enfoncement de **BPEB**. Qui dit "court instant" implique un chronométrage. Ce n'est pas nouveau, nous savons maintenant qu'un moyen simple consiste à faire appel à la charge ou à la décharge d'un condensateur. Dans notre cas on va associer le condensateur **C** de **100µF** avec la résistance de décharge **R** de **10kΩ**. Supposons que le circuit soit resté sans sollicitation durant plus d'une seconde par exemple. Le condensateur **C** s'est alors totalement déchargé dans **R**. Le relais d'Effacement Mémoires **R19EM** est au repos. Le niveau **GND** transite par la section **R-C** et se propage sur le point froid de **R15ML** qui assure alors





**C-T-R** pour couper l'arrivée du **+12V** sur les trois boutons poussoir quand la machine est reconfigurée en mode AUTOMATIQUE. Ainsi les trois commandes manuelles seront ignorées lors du déroulement d'un programme évitant un incident malencontreux toujours possible et très "agassif" quand on perturbe un algorithme qui a déjà consommé plus de deux heures de travail mécanique.

### ➤ **Mémoriser l'état désiré en écriture manuelle.**

C'est précisément pour cette fonction que les relais du module LECTURE vont être réutilisés diminuant d'autant le nombre de ces composants employés sur la machine. Une séquence de LECTURE n'étant pas déclenchée sur **S7DS**, l'unité de LECTURE va rester inerte. Toutefois, comme le montre la Fig.39 il n'y a aucune interdiction d'en piloter les trois relais **R13ML**, **R14ML** ou **R15ML**. On ajoute donc au schéma initial les deux relais qui mémorisent **R13ML** et **R14ML** ainsi que leurs diodes **D2** et **D3**. Chaque bouton de commande provoque en @ la fourniture du niveau **GND** quand il est sollicité comme on peut l'observer sur la Fig.24 de la page 15. Cette liaison qui pontre les trois sections est nécessaire pour le fonctionnement nominal du module de LECTURE. En mode pilotage MANUEL elle sera "sans effet" car elle ne fait que "croiser" les lignes d'alimentation du moteur **M4L** qui n'est pas alimenté par **R10MR** et restera inerte. Le relais qui est activé par l'un des boutons poussoir reste en position par son contact d'**a.m.** sans pour autant influencer les autres lignes car isolé par les diodes **D1** à **D3**. Chaque commande doit déclencher une écriture sur **R20DS** mais sans actionner les mémoires sur les deux autres BITS non concernés. C'est la raison pour laquelle les diodes d'isolement **D4** à **D6** sont ajoutées pour piloter les deux relais **R19EM** et **R20DS** sans interférence vers les deux autres lignes de mémorisation. Pour aboutir au schéma complet final il faut assembler la Fig.38 et la Fig.39, ajouter les diodes de roue libre, les LEDs de maintenance et les résistances d'adaptation des bobinages d'induction à 5Vcc avec une alimentation de la machine en 12V. Le schéma complet avec un résumé des explications sur le fonctionnement est donné sur les fiches **ÉCRITURE en mode MANUEL**.

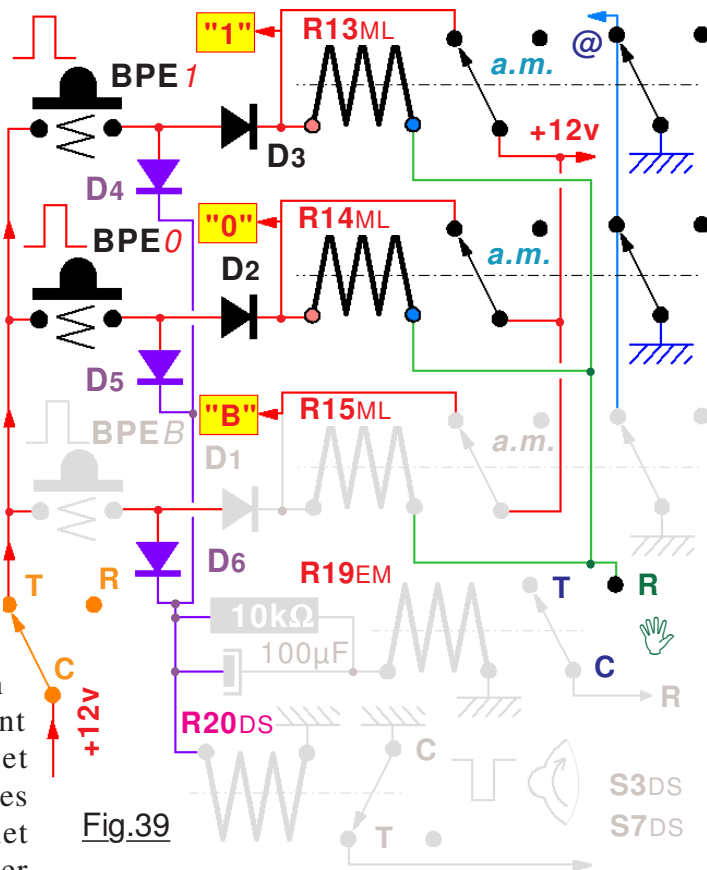


Fig.39

### ➤ **Un sérieux problème opérationnel.**

Quand une fonction impose plusieurs boutons poussoir sur le tableau de maîtrise, on doit systématiquement analyser le comportement de la machine si deux sont sollicités simultanément et parer un éventuel danger issu d'une telle manipulation.

Le schéma de la fonction ÉCRITURE en mode manuel proposé sur la Fig.39 fonctionne sans histoire. Toutefois, si l'opérateur appui simultanément sur deux boutons "B" et "1" par exemple, les deux cames vont tourner chacune pour imposer l'état correspondant à l'amplitude de balayage la plus grande. Représenté sur la Fig.40, l'ensemble va alors se bloquer vers le milieu des deux courses car les moteurs vont tourner jusqu'à ce que les cames viennent pousser les palettes au contact des deux extrémités du pion. Elles sont alors en butée positive et le moteur s'immobilise en surcouple. L'intensité permanente devient alors maximale car il n'y a plus les contre-courants magnétiques. Il ne faut surtout pas laisser la machine dans cette situation trop longtemps et couper immédiatement

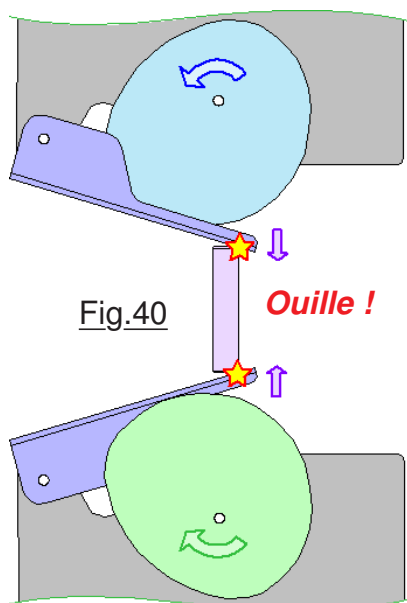


Fig.40

l'énergie de puissance. L'exemple utilise les deux états binaires opposés, mais les combinaisons de "B" avec "0" ou de "1" avec "0" conduisent également à l'impasse. On se doute que l'opérateur ne va pas cliquer sur deux boutons à la fois. Toutefois, il peut déclencher une écriture, et voyant qu'il s'est trompé engager un peu précipitamment l'état désiré pour corriger. *Si le mouvement de la première commande n'est pas entièrement achevé, un blocage va alors inexorablement se produire.*

### ➤ BLOQUÉ de chez BLOQUÉ !

Leurs rotors présentant des inerties très faibles par "nature", les petits moteurs à courant continu ont des vitesses de rotation très élevées. Aussi, pour obtenir en sortie de ces petites motorisations des vitesses de rotation faibles, on les associe à des réducteurs à engrenages. Un moyen courant pour obtenir de forts rapports de réduction consiste à utiliser un système roue dentée et vis sans fin. Hors ce type de réducteur est irréversible, c'est à dire que le moteur peut faire tourner la came, mais tenter l'inverse est impossible. Aussi, quand un tel avatar se produit, pour décoincer la machine il faut faire appel à une procédure particulière décrite sur la fiche n°19/36 nommée **Maintenance matérielle**. L'ÉCRITURE en mode MANUEL présentant un réel danger pour le matériel si par mégarde l'opérateur appui sur l'un des trois boutons alors que le mouvement précédent n'est pas encore entièrement achevé, la machine va fatalement se coincer. *Un dispositif automatique doit impérativement parer ce type de risque.*

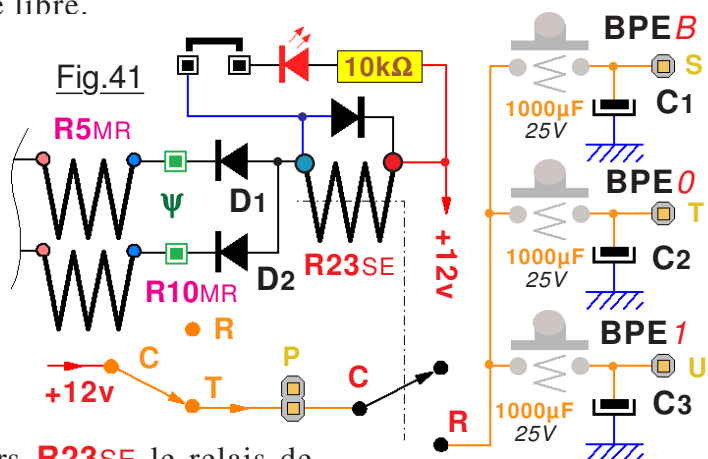
### ➤ Dispositif de sécurité en Écriture MANUELLE.

Nombreuses tentatives ont été testées avec l'idée d'enclencher un relais dès que plus de deux lignes fournissent du +12V. (C'est du reste la solution qui sera adoptée pour parer ce type d'incident si le programmeur se trompe et perfore plus d'un trou sur les trois colonnes dédiées à l'écriture d'un état logique. Du reste il n'est pas exclus d'activer un programme alors qu'une feuille perforée n'est pas engagée dans le lecteur. Dans ce cas ce sont les trois états qui sont simultanément à +12V.) Cette approche s'est avérée inexploitable quel que soit l'agencement envisagé. Au final, une solution relativement simple qui ne fait appel qu'à un seul relais supplémentaire vient nous sauver de l'impasse. L'idée de base consiste à rendre inerte les trois boutons de commande tant que l'un au moins des deux moteurs d'écriture est actif. Le schéma en est donné sur la Fig.41 qui est complète, avec la LED de maintenance et la diode de roue libre.

Quand l'opérateur a déclenché l'écriture d'un état logique, s'il en provoque une autre avant que le mouvement actuel ne soit totalement terminé, les deux moteurs vont tourner jusqu'à bloquer entièrement les palettes sur le pion engagé en tête d'écriture. Pour éliminer ce risque, les trois B.P. de commande d'écriture sont inhibés tant que l'un des deux moteurs **R5MR** ou **R10MR** tourne. Tant que l'un au moins des deux moteurs est actifs, on trouve un état **GND** au point froid  $\Psi$  de ces deux relais.

Les deux diodes **D1** et **D2** propagent **GND** vers **R23SE** le relais de Sécurité Ecriture sans interférer en amont sur **R5MR** et **R10MR**. Dès que **R23SE** passe au travail, il coupe immédiatement le +12V qui arrive par la section **C-T** du relais **R22IM** en ouvrant sa section **C-R**. (Voir la Fig.1 de la fiche **ÉCRITURE en mode MANUEL**. n°2/4.) Il faut impérativement que les moteurs d'écriture puissent amorcer leur mouvement, exigeant que *l'impulsion fournie par les boutons de commande soit de durée suffisante*. Quand on clique sur l'un des trois B.P, son condensateur **C1** à **C3** de 1000µF emmagasine une énergie suffisante pour maintenir une tension positive durant un délai qui permet l'amorçage franc de l'écriture souhaitée.

Lors de l'étude des deux circuits imprimés de gestion de l'écriture, le dispositif de la Fig.41 n'avait pas encore été envisagé. Donc, aucun connecteur de liaison n'était prévu pour se brancher en  $\Psi$ . Aussi, comme présenté sur la fiche des schémas dédiée **Sécurité en fonction ÉCRITURE** n°2/4 on va employer le petit HE14 à deux broches situé en  $\Psi$  qui servait à mettre en service ou à neutraliser la LED rouge locale destinée à la maintenance et au développement du projet.

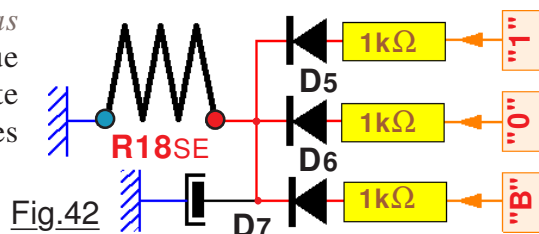


### ➤ Dispositif de sécurité en Écriture AUTOMATIQUE.

Lorsqu'un programme est en train de se dérouler et que plus d'un trou ont été pratiqués par erreur dans les trois colonnes relatives à l'option d'écriture d'une instruction, un phénomène strictement identique à celui du mode manuel va bloquer la machine, puisque concrètement le matériel "désire deux écritures contradictoires". Comportement identique si la mémoire de programme est verrouillée, qu'il n'y a pas de feuille perforée dans le lecteur et que l'on déclenche le déroulement d'un programme. Dans ce cas c'est trois contradictions simultanées qui sont présentes en sortie de MATRICE. Il faut impérativement stopper la machine dès que ce type d'erreur est détecté, et informer l'opérateur sur la raison d'une disjonction générale d'énergie de puissance.

### ➤ Réalisation d'un ET logique sur les sorties critiques.

Observant la conception électrique de la Fig.24 on constate que pour écrire en mode programmé un état logique, les sorties de la MATRICE fournissent une tension positive au circuit électrique impliqué. Pour détecter une erreur éventuelle du logiciel "en sortie de MATRICE", il faut agencer un montage qui concrétise un ET logique sur trois lignes pouvant se trouver au niveau +12V. Pour élaborer un montage n'utilisant qu'un seul relais, l'idée consiste à n'amener par chaque ligne que la moitié du courant nécessaire à la bobine inductrice avec une marge de sécurité. Mathématiquement il suffirait d'utiliser des résistances de 270Ω fois deux, soit 540Ω. (Déjà ce n'est pas idéal car cette valeur n'est pas normalisée.) Dans la pratique nous allons augmenter ces valeurs à 1kΩ. Si l'on compte la chute de tension aux bornes des diodes D5 à D7, quand deux sorties (Au moins.) s'activent à la fois, le relais R18SE est alimenté à environ 3,4V suffisant pour le faire changer d'état. Par contre, la tension ne monte qu'à ≈1,7V si une seule des trois sorties est activée. Nous sommes donc certains qu'il n'y a aucun risque que le système ne disjoncte en utilisation "rationnelle" de la machine. Le but des trois diodes D5 à D7, consiste à interdire qu'une sortie de la MATRICE ne perturbe les autres en amont et réciproquement. Le positif fourni par la MATRICE doit pouvoir se propager vers le point chaud de R18SE mais pas remonter en sens inverse à travers la résistance de 1kΩ. (Pour la présence de C voir plus avant le chapitre 17 sur L'intégration finale des systèmes.)



### 07) Schéma du DISJONCTEUR de l'énergie de puissance.

Manifestement ce chapitre semble débarquer "comme un cheveu dans la soupe". En toute logique, on s'attendrait à terminer la fonction écriture en manuel, puis on passerait à l'élaboration de l'HORLOGE, on poursuivrait par la fonction des TRANSITIONS. Ce n'est que lorsque la machine serait pleinement opérationnelle que l'on pourrait envisager les brouilles du genre ALIMENTATION et tableau de contrôle. Et bien le planning va se trouver une fois de plus chamboulé par la découverte du problème de l'écriture en mode automatique décrit dans le chapitre précédent. Il se trouve que *la parade pour éviter le coincement des deux cames sur erreur de programmation de l'opérateur consiste à supprimer immédiatement l'énergie de puissance dès que deux au moins des sorties ÉCRITURE de la MATRICE sont détectés simultanément au +12V*. L'étude de cette mesure de sécurité passe donc par celle d'un disjoncteur sur l'arrivée d'énergie de puissance.

### ➤ Fonctionnement du disjoncteur de sécurité.

Avec ce projet un peu ringard, nous faisons un saut temporel qui nous précipite dans les années quarante. À cette époque, pour mettre en fonctionnement une machine il n'était pas fait usage d'un simple interrupteur du type Alimentation / Coupure. Toutes les machines, de la simple perceuse sensitive à la grosse fraiseuse de production étaient équipées d'une armoire électromécanique pour gérer leur fonctionnement. L'opérateur disposait à son poste de travail de deux boutons distincts. L'un pour activer la machine, l'autre pour la stopper. Respectant cette approche poussiéreuse, notre ordinateur mécanique sera géré électriquement par deux boutons poussoir. Quand le bloc secteur sera branché sur le réseau, rien ne se produira sur la machine de Turing mis à part le voyant rouge qui signale que l'énergie secteur est présente, mais que le sectionneur est en configuration disjonctée. Le silence absolu règne dans le "local informatique". Ce n'est que lorsque l'on cliquera sur le beau bouton **vert** que l'ensemble prendra vie. Le bouton **rouge** sera celui qui coupe





l'état **GND** ne se propage pas sur le point froid de **R17DE** à travers la bobine inductrice de **R16PE**. La diode **D4** autorise **BP2** à propager l'état **GND** au point chaud de **R18SE** pour libérer la sécurité. Elle interdit le +12V permanent issu de  **$\pi$**  de transiter à ce point chaud de **R18SE**.

➤ **Multimètre du tableau de maîtrise.**

F

ranchement, cette fonction constitue un luxe absolument pas indispensable. Avec le témoin logique, mis à part des cas très particuliers, on peut parfaitement se passer de ce complément. Comme nous sommes sur une machine expérimentale, et surtout que je disposais du galvanomètre de 100μA dans mes tiroirs, je me suis fais un petit plaisir. Un délire de bricoleur. Placé sur le tableau de maîtrise cet instrument permet de mesurer la tension de la source d'alimentation, et l'intensité consommée par l'ensemble. Avouons que c'est pour avoir le plaisir de compléter des items dans les protocoles d'utilisation que j'ai ajouté cette cerise sur le gâteau. Il est évident que pour des raisons économiques vous pouvez oublier ce chapitre. Toutefois, je dois forcément ouvrir une parenthèse le concernant, vu que le circuit imprimé est "surchargé" par les quelques "bricoles"

relatives à cette opulence technologique. Il vous suffira de ne pas placer le connecteur HE14 à huit picot ni son voisin blanc. Oubliez également la grosse résistance de  $1\Omega$  ainsi que les shunts et le HE14 blanc prévu pour le rétro-éclairage du galvanomètre. On peut déjà noter que l'utilisation d'une résistance pouvant dissiper 10W pour mesurer le courant est totalement exagérée. Il se trouve que dans les composants disponibles je n'avais pas plus petit. Un modèle de 2W serait parfaitement adapté. Comme on peut le constater sur la Fig.45 un sélecteur autorise le choix entre quatre types de mesurages. Commuté sur **I** comme représenté sur le schéma on mesure l'intensité totale consommée par la machine.

Le principe est le suivant : Une résistance de puissance **R** de **1Ω** est insérée entre **GND** et le moins du bloc alimentation 12V. Tout le courant consommé par la machine traverse cette dernière et engendre entre ses bornes une chute de tension déterminée par  $\Delta U = I \times R$ . La résistance de **10,3kΩ** soit **5,7kΩ + 4,7kΩ** en série est sélectionnée pour qu'aux pics d'intensité les plus "virulent" l'aiguille se déplace sur une grande amplitude sans toutefois s'approcher trop de la butée. Cette valeur convient bien pour observer également les courants relativement modérés présents à la mise en route de la machine. Si on appui sur le

bouton poussoir **BP** la pleine déviation est obtenue pour environ 270mA. À n'utiliser que pour mesurer l'intensité lorsque sur la machine au repos la, consommation restant faible. Placé sur **V** la fonction voltmètre est prévue pour une déviation maximale avec 12V, sachant que le galvanomètre est gradué entre 1 et 6. La sélection de l'option **U** consiste à mesurer la tension en sortie du régulateur 5V de la carte Arduino NANO qui gère les TRANSITIONS. (*Voir le petit livret traitant de la carte Arduino NANO*) La pleine déviation est également obtenue pour 12V. Enfin, commuté sur **E** on obtient un voltmètre isolé des circuits de la machine qui permet des mesures **E**xternes en mode flottant. Il constitue alors un instrument de mesure totalement indépendant de la machine. On peut ainsi faire des mesures sur cette dernière, ou sur n'importe quoi, comme une pile, une alimentation USB ...

08) Disjoncteur de puissance sur incident de surintensité.

**A**utant on peut oublier totalement la présence d'un multimètre local sur la machine, autant *il ne faut pas à mon sens faire l'impasse sur ce chapitre*. Jusqu'à présent, l'intégralité des essais a été conduite à l'aide d'une petite alimentation de laboratoire qui totalise plus de quarante années de bons et loyaux services. Autant dire qu'elle englobe des technologies très poussiéreuses avec transformateur basse tension, redresseurs, filtrage et transistor ballast. Bref, la technologie de mes "vingt ans". Cet appareil de laboratoire est prévu pour ajuster librement la tension de sortie entre 5V et 30V, *et surtout dispose d'un limiteur d'intensité électronique ajustable entre "presque rien" et 3A*. Bien que de caractéristiques modestes, ce précieux outil couvre déjà bien des besoins pour un électronicien amateur. Mes lectrices et lecteurs ne posséderont pas un tel appareil. Aussi, je me devais d'envisager l'alimentation autonome de cette machine par l'entremise d'un

**Page 26**

bloc secteur actuel. De tels produits pullulent sur les étagères du commerce en ligne. Mon choix s'est porté sur un modèle produisant 12V avec une intensité nominale de 5A. Autant dire que sur notre machine qui ne consomme qu'environ 1,2A en moyenne, voir bien moins, le module en question ne va pas beaucoup souffrir. Par contre, c'est notre machine qui est en danger, car de telles alimentations fonctionnent "par découpage" et présentent une dynamique bien plus importante que celle de ma petite ouvrière de laboratoire. Surtout, sur un court-circuit franc avant de "disjoncter" elles sont capables de "sortir" un pic de courant très important.

➤ **Un bloc basse tension secteur actuel ... est "impitoyable".**

Contrairement à ce que vous pouvez penser, des court-circuits francs j'en ai provoqué des "pelles" durant les recherches de schéma. Quand sur le module de développement six à 8 relais sont connectés avec des tas de fils "plantés en vrac", il arrive très souvent que je me perde un peu. Un ou deux fils mal placés, et durant les essais un relais passant au travail, ou directement à la mise sous tension, provoque un court-circuit sur l'une des ses sections. Comme je limitais le courant à 1A, voir moins en fonction de la validation en cours, il ne s'est rien passé de dommageable, et mon banc de test est toujours pleinement opérationnel. Mais avec un module secteur tels que celui que je suis en train de mettre en service, car à un moment ou un autre il faut bien passer en configuration définitive, sur court-circuit la sortie peut facilement générer une surintensité de 10A ou bien plus. Ce phénomène reste de très courte durée, mais vous pouvez être certain qu'à ce régime les petits contacts du relais se soudent définitivement. *Poubelle le petit relais !* De plus, sur mon alimentation j'avais un contrôle permanent du courant consommé par la machine. Le bloc secteur lui restera muet. La machine va alors avoir un comportement imprévu sans que l'on puisse en trouver l'origine.

➤ **Retour vers les bonnes vieilles méthodes.**

Seule façon d'éviter une hécatombe de petits relais : Ajouter aux circuits d'alimentation un disjoncteur fonctionnant sur dépassement d'intensité. "Vieux" comme l'électrotechnique, il y a belle lurette que de tels disjoncteurs peuplent les armoires, à commencer par celui qui est dans votre maison et qui protège votre installation secteur. Trouver un tel composant ne serait certainement pas trop délicat. Par contre, on peut s'attendre à des tarifs nettement prohibitifs dans le cadre des loisirs. Aussi, on va munir notre machine d'un dispositif "maison". On se doute que l'on va devoir "mesurer" l'intensité consommée, et dès qu'un seuil sera franchi, on provoquera une coupure quelque part sur le schéma de la Fig.44 avec au final la présence de la résistance de puissance de  $1\Omega$ . Le problème se pose de la façon suivante : Supposons que l'on désire un seuil de disjonction de 2A. Entre GND et l'autre extrémité de la résistance de  $1\Omega$  on va se trouver en présence d'une tension négative de 2V. Dès que -2V seront atteints, il faudra provoquer le changement d'état d'un petit relais qui lui fonctionne en +5V. *Ben ... ce n'est pas fastoche du tout !*

➤ **Un compromis avec la vérité historique.**

L'époque dont on copie les technologies en était aux balbutiements de l'électronique. Le transistor n'était qu'une vue de l'esprit dans les facultés de pointe. Le vocable opto-électronique était totalement absent des traités d'électronique. Quand aux composants amplificateurs, c'était ces bons vieux tubes à vide qui équipaient les récepteurs et les émetteurs radio. Bref, en regardant le schéma que je vous propose en Fig.49 les puristes vont hurler "SCANDALEUX !". En effet, on y découvre deux transistors de type NPN et une fourche optique. J'estime que ce n'est pas une trahison totale en ce sens que le bloc secteur est également gavé de ces technologies. Aussi, à tort ou à raison la beauté philosophique de notre machine de Turing, acceptons ce compromis avec une économie financière considérable et notamment l'emploi d'un tout petit module discret qui sera facile à caser sur un circuit imprimé. Et surtout, dès que le bloc secteur est utilisé pour poursuivre le développement, on va gagner en sérénité, car les circuits seront bien protégés. Pour valider la solution que je vous présente j'ai volontairement effectué de nombreux court-circuits francs directement en sortie du circuit imprimé qui gère l'alimentation de puissance. "Calme plat". La coupure est quasi immédiate, et de toute manière l'intensité la plus grande possible reste limitée par la présence de la  $1\Omega$ .

C.C franc pouf ... je réarme. C.C franc pouf ... je réarme. C.C franc pouf ... je réarme ... *et suite à de nombreuses bêtises volontaires de ce genre, rien ne s'est dégradé.* Il n'est assurément pas raisonnable de s'amuser à de telles manipulations. Par contre, j'étais obligé de m'y astreindre pour



acquérir la certitude que le circuit que je vous propose est fiable. Cette vérification relève d'une obligation morale. Maintenant que le circuit est validé, décortiquons son fonctionnement :

### ➤ Principe de fonctionnement d'une fourche optique.

Anticipons un peu sur la narration du prochain chapitre avec cette parenthèse informative : Deux modèles TCST 2000 et QTC 9544 disponibles dans "mes stocks" ont été testés avec des résultats totalement similaires. En particulier la fourche TCST 2000 est facile à trouver "en ligne". Un tel composant présente l'apparence proposée sur le dessin de la Fig.46 et comporte en interne deux entités totalement indépendantes électriquement. D'un coté de la fourche se trouve une diode électroluminescente repérée **E** (*Emetteur.*) qui rayonne un flux lumineux **F** sur un phototransistor repéré **D**. (*Data detector.*) Attention, ces deux composants sont polarisés et aucune résistance interne de limitation de courant n'est prévue. Le comportement d'un tel composant est symbolisé sur la Fig.47 sur laquelle on retrouve l'émetteur lumineux **E** qui par le flux **F** influence le phototransistor **D**. Dans la pratique, **D** se

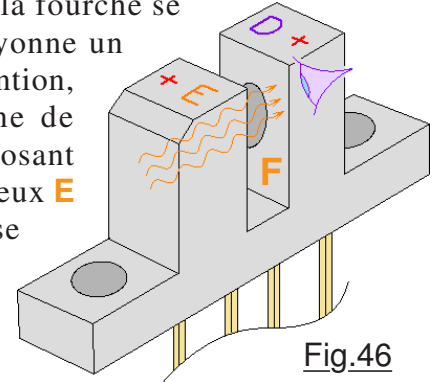
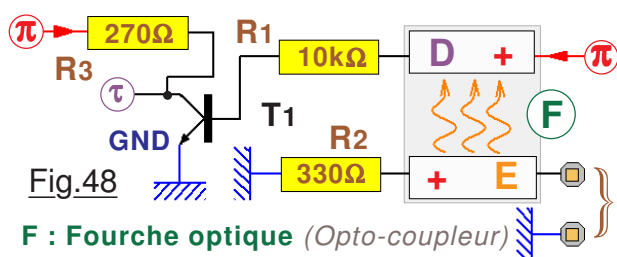


Fig.46

comporte exactement comme une simple résistance variable **R** dont la valeur diminue en fonction de l'intensité de **F**. En "standard", un tel équipement est utilisé en binaire. Soit la fente de la fourche est libre, et **F** sur **D** maximal. Le phototransistor est alors saturé et présente une résistance faible. Soit un dispositif mécanique servant à détecter l'événement surveillé vient s'interposer dans la fente de la fourche optique, masquant le passage de **F**. Le phototransistor devient alors "non passant" et présente une résistance très élevée. Ce sont ces deux valeurs très différentes présentées par **R** qui permettent à l'électronicien concepteur de piloter les circuits concernés.

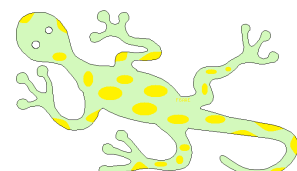
### ➤ Du négatif vers le positif.

Transformer du -2V en +5V s'est révélé très indigeste jusqu'à comprendre qu'une isolation galvanique s'avérait indispensable, avec pour conséquence de faire appel à une fourche optique. Pour notre application nous allons utiliser cette dernière d'une façon très particulière en la transformant en Opto-coupleur. Comme je ne disposais pas de tels composants, j'ai employé une fourche optique, en fermant entièrement la fente par un capot opaque pour éliminer radicalement



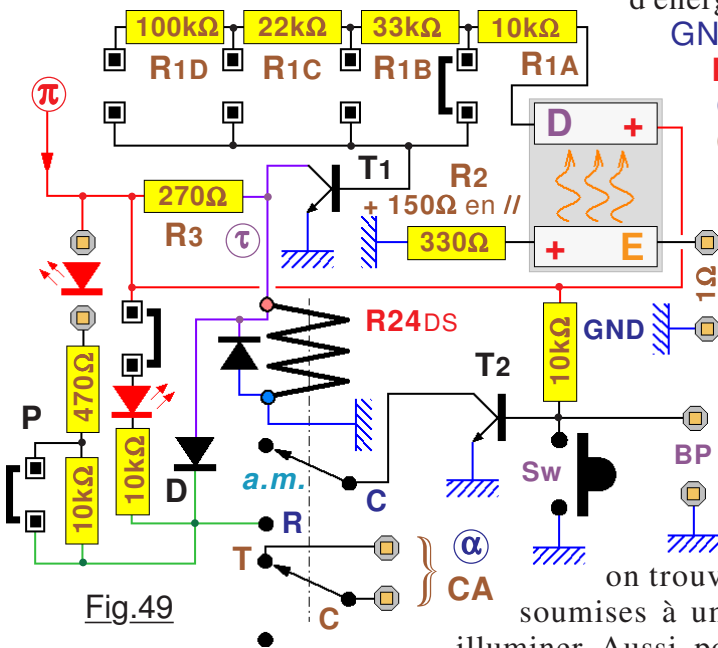
l'influence d'une clarté locale extérieure. Évidemment rien ne s'oppose à faire appel à un opto-coupleur banal, mais dans ce cas il faudra certainement adapter les valeurs des résistances et revoir l'implantation du circuit imprimé. La diode électroluminescente **E** reçoit la tension négative par rapport à **GND** issue de **MI** la résistance de puissance de **1Ω** qui mesure l'Intensité totale consommée par la machine. Elle va générer un flux lumineux d'autant plus important que la tension négative sur **MI** sera importante. La résistance **R2** de **330Ω** assure la protection et limite le courant maximal qui traversera **E**. Noter au passage le respect de la polarité de ce composant. La résistance interne de **D** va diminuer proportionnellement à la valeur de l'intensité traversant **MI**. En choisissant judicieusement la valeur de **R1** on peut définir la valeur du courant qui provoquera la saturation du transistor **T1** qui se comportera comme un vulgaire interrupteur. Tant que **T1** est en état "non passant", on retrouve sur son collecteur en **τ** la tension présente en **π**, soit **+12V**. Dès que **T1** commute en "conduction", il se sature et on retrouve en **τ** la tension présente sur son émetteur soit **GND**. Avec les valeurs du schéma, et notamment la grandeur de **10kΩ** pour la résistance **R1** qui limite le courant de base sur **T1**, la disjonction se produit pour une intensité d'environ 1,3A. Toute référence NPN pour petit signal tel que 2N1711, 2N2222 etc conviendra. Noter qu'en **π** le **+12V** reste présent même quand l'alimentation de puissance disjoncte.

Hé bé, une grande page n°27 sans image avec que du baratin pas du tout rigolo. Il a complètement **DISJONCTÉ** le Nulentout !



## ➤ Disjoncteur sur dépassement d'intensité.

L'option utilisant un relais qui passe au travail lors de la disjonction a été expérimentée en premier. Force est de constater qu'elle s'accompagne de pas mal de difficultés, voir d'une d'impossibilité. Par exemple sur un court-circuit franc la disjonction se produisait correctement. Par contre, la rapidité de coupure est telle que le relais **R24DS** de Disjonction sur Surintensité n'avait pas le temps d'armer son auto-maintien. Du coup le voyant de signalisation de l'origine de la disjonction restait éteint. Par conséquent, l'approche fondamentale consiste à mettre **un relais qui reste au travail en permanence. Quand le seuil prévu pour l'intensité est dépassé, il bascule au repos, maintenu dans cette configuration par sa section d'auto-maintien.** Quand à sa section "active", elle provoque immédiatement la coupure d'énergie en sortie de puissance. Illustré sur la Fig.49 ce concept associe au circuit de la Fig.48 un petit relais **R24DS** pour déclencher la coupure d'énergie. Lorsque **T1** se sature, le niveau électrique

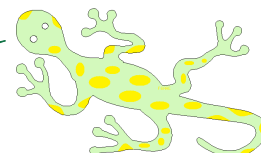


**GND** se retrouve sur son collecteur en  $\tau$ . Le relais **R24DS** dont le point froid est constamment sur **GND** passe au repos. Immédiatement sa section **C - T** s'ouvre, et la ligne de **Coupage Alimentation CA** provoque alors la disjonction car sur le connecteur  $\alpha$  du module de gestion énergie l'état **GND** n'est plus propagé sur le point froid de **R17DE**. L'énergie de puissance est supprimée sur la machine jusqu'à ce que l'opérateur intervienne. La section **C - R** d'**a.m.** impose **GND** sur le point chaud de **R24DS** la diode **D** étant conductrice dans ce sens de polarisation. Les deux témoins rouges s'illuminent signalant à l'opérateur la nature de l'incident. En fonctionnement normal, en  $\pi$  on trouve **+12V** et en  $\tau$  **+5V**. Les LEDs rouges sont alors soumises à une tension de 7V largement suffisante pour les illuminer. Aussi, pour éviter cette fausse information la diode bloque

le courant de  $\pi$  vers  $\tau$ . Quand le pont **P** est en place la résistance de **10k $\Omega$**  n'intervient pas. Le courant dans la LED rouge du tableau de maîtrise n'est alors limité que par la **470 $\Omega$** . Sa valeur est bien plus grande que celui habituellement injecté dans ces témoins lumineux. C'est qu'à ce stade du projet j'envisage d'utiliser un composant ancien dont le rendement correspond à "ceux de cette époque". Toutefois, et c'est son avantage, la diode électroluminescente pressentie clignote et présente un gros diamètre de 10mm. Si par la suite je changeais d'idée et que j'utilisais une référence plus actuelle de 5mm bien classique, il suffirait de retirer le pont **P** sans avoir à intervenir sur le circuit imprimé. On remarque surtout sur ce schéma, que la résistance **R1** de **10k $\Omega$**  qui limitait le courant dans la base de **T1** est remplacée par la série **R1A, R1B, R1C** et **R1D**. En augmentant la valeur de **R1** on augmente directement le seuil pour lequel se produit la disjonction. Le tableau donné ci-contre présente les résultats obtenus avec les valeurs du schéma. Actuellement le premier calibre le plus sensible convient. Il ne se produit pas de disjonction intempestive lors des appels de courant, et en particulier pour les plus virulents du système d'écriture quand se produit l'inversion du sens de rotation des moteurs. Autant conserver le calibre le plus "chatouilleux". Si par la suite la consommation de la machine s'avérait plus importante, il suffirait de déplacer le "starp". Au calibre de **4A** avec une consommation artificielle extérieure permanente de 1,5A le dispositif ne disjoncte pas. L'alimentation s'écroule à 10,5V car la résistance de **1 $\Omega$**  provoque une chute permanente de potentiel. Dans des conditions aussi dégradées, les unités d'écriture les plus critiques continuent de fonctionner correctement. Elles sont plus lentes puisque les moteurs sont sous-alimentés. Ce test montre que la marge de tolérance de la fonction alimentation est très importante et devrait nous épargner bien

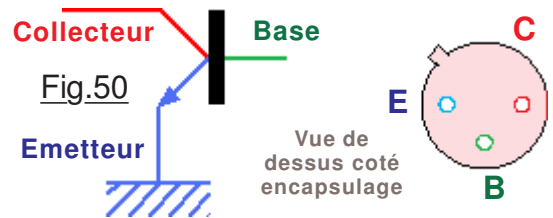
R	I
10k $\Omega$	1,3A
+33k $\Omega$	2,9A
+22k $\Omega$	3,7A
+100k	4A

Hé bé, j'ai bien fait de râler, car en page 28 l'en a mis plein plein des dessins. Bon, j'y pige rien, mais avouez que c'est autrement plus joli !



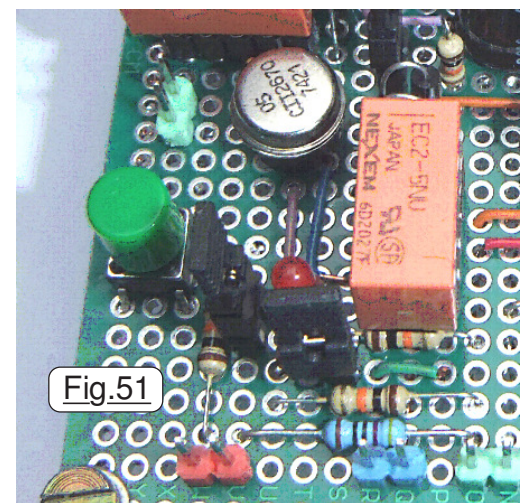
des "misères". Le poussoir **B.P.** est le bouton de réarmement du disjoncteur sur le tableau de maîtrise et **Sw** son équivalent en local. La procédure pour intervenir quand une disjonction par surintensité s'est produite consiste à en supprimer la cause. Puis l'opérateur doit réarmer l'ensemble en supprimant l'état **GND** sur la broche **C** de la section d'**a.m**. Il suffirait d'ouvrir un court instant la liaison entre **C** et **GND**. Comme on désire n'utiliser que des composants ordinaires à fermeture, il faut en inverser la logique. Un autre relais serait utilisable, mais la solution envisagée, plus économique, consiste à se servir du deuxième transistor **T2** qui est saturé en permanence par sa résistance de base de **10kΩ** qui est réunie au **+12V** permanent en **π**. On retrouve alors le niveau **GND** sur son collecteur, donc sur **C** de la section d'**a.m**. Quand l'opérateur clique sur **B.P.** ou sur **Sw**, la base est ramenée au potentiel de l'émetteur et **T2** commute en isolement. (*Fonctionnement de type Saturé / Bloqué.*) Le contact **C** se retrouve isolé électriquement, provoquant le passage au travail de **R24DS** qui réarme le disjoncteur, et les deux LEDs rouges s'éteignent. Il ne reste plus qu'à cliquer sur le bouton de marche **MA** pour que la machine s'anime. Si l'origine du problème n'a pas été supprimée, l'accrochage ne se produit pas car l'ensemble coupe inexorablement la puissance. Outre que l'utilisation de **T2** est moins onéreuse que celle d'un autre relais électromagnétique, elle tient moins de place sur le circuit imprimé. (*Le relais avec son support, sa résistance d'adaptation en 5V et sa diode de roue libre imposent une "surface" plus grande.*)

**NOTE Importante :** Le boîtier métallique et le collecteur sont reliés électriquement sur l'encapsulation des deux transistors **T1** et **T2**. Pour celles et ceux qui n'ont pas trop d'expérience, à titre indicatif la Fig.50 précise la terminologie associée au schéma et le brochage de ces composants.



### ➤ Une option à ne pas ignorer.

**É** tant disponibles dans "mes stock" de composants électroniques, c'est volontairement que sur le circuit imprimé du disjoncteur d'intensité je n'ai pas employé comme sur les autres circuits un Switch comme bouton poussoir local pour réarmer le dispositif après incident. En observant la Fig.51 vous remarquerez qu'un tout petit bouton poussoir vert qui en surface ne fait que 3 x 4 trous du circuit imprimé a été substitué aux habituels Switch. *C'est une option possible qui sera utilisable chaque fois qu'un contact repos n'est pas nécessaire.* Ces boutons poussoir miniatures se trouvent sur "la toile" à des tarifs très raisonnables. Ces lots sont accompagnés de cabochons de multiples couleurs laissant à l'utilisateur le choix entre blanc, vert, bleu, noir, rouge et jaune. (*Vert sur la Fig.51*) En comparaison avec le strap à languette ou le relais voisin on comprend que ces petits boutons sont vraiment de taille modeste. Rassurez-vous, si vous n'approvisionnez que des "Switch" comme ceux déjà implantés sur les autres circuits, le dessin du module de la Fig.51 a été conçu pour laisser largement la place à ces composants plus encombrants. Enfin, pour clore ce chapitre, vous remarquez sur cette photographie que les transistors **T1** et **T2** ne sont pas des 2N1711, 2N2222 mais des CII2670. Ces éléments trainent depuis des lustres dans un bocal. Ils sont un peu moins performants en gain en courant que ceux proposés en référence. Aussi, votre circuit fonctionnera au moins aussi bien que celui du prototype.



### ➤ Chambre noire.

**N** on, nous n'allons pas aborder ici la technologie des anciens appareil photographiques argentiques. On ouvre juste un petit chapitre pour vous expliquer comment la fourche optique a été entièrement obstruée pour empêcher toute intrusion de lumière locale. Sur la Fig.52 sont présentes deux entités fonctionnelles. En **A** la fourche optique et en **B** un blindage de protection. Les broches en zone **F** de la fourche optique dépassent largement du boîtier noir. Aussi, ce composant n'est pas soudé directement sur le circuit imprimé, mais surélevé comme visible sur la Fig.53 par de petites entretoises. La boulonnerie ainsi que ces entretoises sont bien visibles en **E**. Noter au passage que dans l'assemblage final c'est la tête de vis qui se trouve dessous car dans le sens



montré sur la Fig.52 la hauteur d'implantation du circuit imprimé est insuffisante et elles talonneraient. Pour masquer la lumière, sur le prototype je me suis contenté de plaquer en zone **C** de la fente un tout petit morceau de feuille d'étain culinaire. Puis, avec du ruban adhésif, tout le tour et "à cheval", ce fragile "obturateur" est plaqué et collé sur le boîtier noir en matériau thermoplastique. Le morceau placé "à cheval" débordé un peu en **D** ce qui le rend plus facilement observable. Cette solution donnait toute satisfaction. Toutefois, je trouve cet équipement

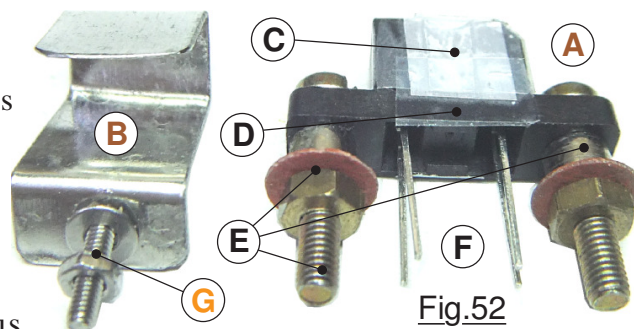
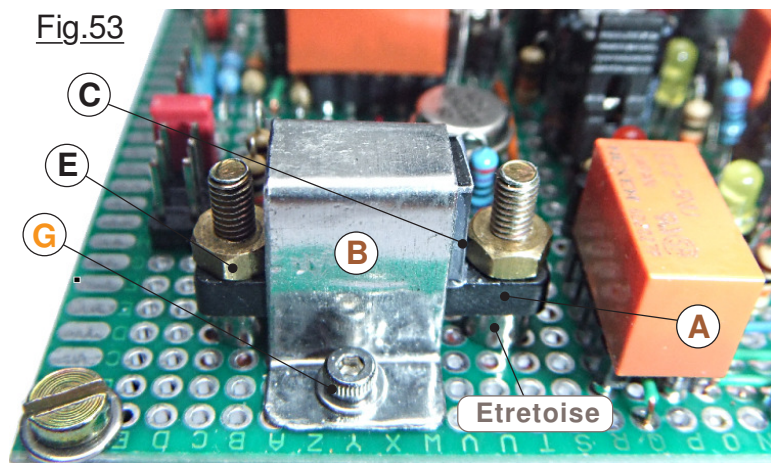


Fig.53



bien fragile et trop vulnérable. C'est la raison pour laquelle le petit étrier **B** taillé dans un tout petit morceau de tôle et plié à la demande coiffe la fourche optique et assure une protection mécanique totale. Compte tenu des dimensions de l'ensemble, et de la faible place disponible pour fixer l'étrier **B**, le petit boulon de liaison **G** est de diamètre métrique  $\phi 2\text{mm}$ . Il importe de savoir que sans le masque opaque, la fente n'étant pas protégée de la lumière ambiante, le système fonctionnait correctement. L'éclairage n'était que celui du local. Par

contre en lumière naturelle et avec un ensoleil estival, je n'étais pas totalement convaincu d'un non changement comportemental des circuits. Aussi, par précaution le masque obscur à été ajouté. Je suis persuadé que le blindage **B** est totalement suffisant et que feuille d'étain et ruban adhésif sont totalement surabondant. Par conséquent, en fonction de vos facilités de réalisation, l'une ou l'autre des deux approches restera largement suffisante à mon sens. Je n'ai ajouté **B** que par mes facilités à découper et plier de la tôle de faible épaisseur. De plus, en développement on passe son temps à déposer et remonter N fois les modules. Le risque d'abimer les zones fragiles est bien plus important que pour une réalisation directe avec des documents "fiabiles". Aussi la solution "vulnérable" me semble amplement suffisante et sera certainement plus simple à mettre en œuvre.

### 09) Remise en cause fondamentale du mécanisme d'écriture.

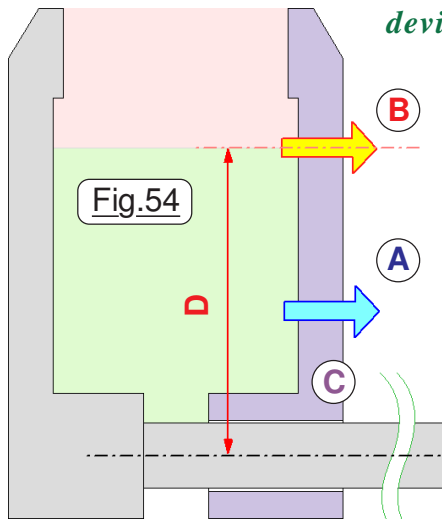
**C**hronologiquement, ce chapitre devait introduire la fonction HORLOGE de notre ordinateur mécanique, suite logique dans l'organisation du "planning". Les premières études pour ce nouveau module consistent à agencer la mécanique, un moteur, une came, des Switch et "tortiller" un schéma pour que l'ensemble fonctionne.

**Patatra, Scrouich, Sboom spaltechhhh ...** encore un gros problème qui remet totalement en cause le projet et impose de bousculer l'ordre des études de développement.

Durant les premiers essais d'un séquenceur, pièce maîtresse de tout ordinateur, un gros problème qui n'avait pas encore été repéré car il ne se produit qu'épisodiquement a montré que la machine ne serait pas fiable, donc inutilisable. Quand on déclenche une cascade d'actions LECTURE / ÉCRITURE / ROTATION du carrousel, la séquence se déroule correctement. Donc chaque fois la configuration passe au pion suivant ou précédent. Environ un pion sur 15 traités engendre un blocage mécanique complet du moteur du haut ou du moteur de bas en fonction de l'écriture d'un "B" ou d'un "Un". Outre que le moteur se trouve en surcouple et en surintensité, mécaniquement le barillet ne va pas apprécier les efforts exagérés auquel il est soumis. Quelle est l'origine de cette calamité ?

#### ➤ **Ennemi n°1 du mécanicien : L'arc-boutement.**

**P**hénomène bien connu des mécaniciens, l'arc-boutement est l'approche idéale quand on désire réaliser des serre-joints, des étagères à hauteur variable, des dispositifs "de non retour". En revanche, gare au concepteur qui n'y consacre pas assez d'attention. À l'affut d'une petite erreur et c'est la déconvenue, comme dans notre cas. Pour simplifier, on peut dire qu'il y a **arc-boutement quand des guidages permettent théoriquement un mouvement, mais que ce dernier**



*devient impossible par le fait de l'adhérence.* Considérons la Fig.54 qui illustre ce propos en prenant en le cas du serre-joint. Ce n'est pas une démonstration, à peine un exemple. Quand on force à proximité du guidage dans la zone verte, comme en **A**, le glissement du montant mobile **C** est effectif et facile. Par contre, dès que la direction de l'effort dépasse une certaine distance **D** du guidage, impossible de déplacer **C** quelle que soit l'amplitude de l'effort exercé. Le dispositif est conçu de telle sorte que les deux mâchoires de serrage sont assez loin de **D** dans la zone rouge pour être certain que l'arc-boutement aura bien lieu. Sans entrer dans les détails, la distance **D** dépend des matériaux utilisés, de la rugosité et du jeu dans le guidage. Interprétons sur la Fig.55 ce phénomène dans le cas particulier de la motorisation de l'unité d'écriture du haut pour positionner un état "B". Partant de la position dégagée en vert,

poussée par la came **C**, la **Palette** tourne dans le sens horaire avec un maximum d'amplitude angulaire, et arrive en configuration rouge. C'est en position basse, (*S'il n'y a pas eu blocage en cours de déplacement !*) que la poussée exercée par la **Palette** sur le **Pion** ressemble à l'effort **F**. (*Ressemble car l'angle de frottement, pour simplifier, n'est pas pris en compte sur ce dessin.*) On peut "décomposer" **F** en deux actions **R** et **A** qui combinées vectoriellement la remplacent de façon équivalente. L'effort Axial **A** constitue une composante utile, celle qui fait descendre le **Pion**. La poussée Radiale **R** engendre une composante parasite qui force le **Pion** sur les contacts **X** et **Y** et génère un frottement qui s'oppose au mouvement. *Si ce frottement dépasse une grandeur critique, c'est l'arc-boutement et le moteur se bloque.* Comme il n'est pas possible de lubrifier, de changer les rugosités et les matériaux, ainsi que le jeu fonctionnel entre Barillet et Pion, la seule parade qui reste consiste à changer la géométrie pour diminuer au maximum l'inclinaison de la palette dans ses positions maximales, tant vers le haut que vers le bas.

*J'avoue qu'obnubilé par le désir d'avancer le projet, je n'ai pas assez écouté la mécanique qui pourtant cherchait désespérément à me prévenir. En effet, lorsque la came tournait, plus l'angle balayé était important, plus le "grognement" de moteur s'écartait du "ronron" bien régulier entendu sur les autres motorisations. Dommage, que cet avertissement a été ignoré ... la machine a souffert inutilement !*

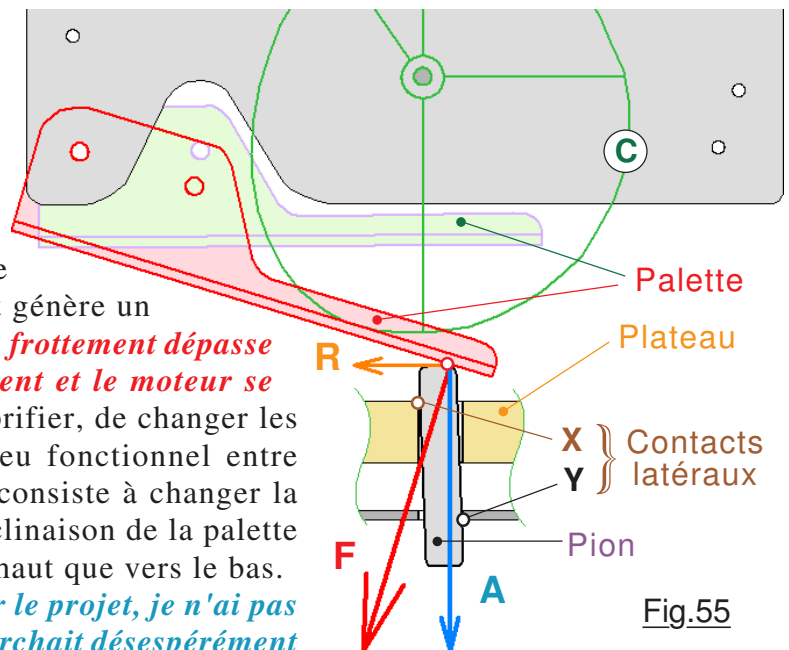
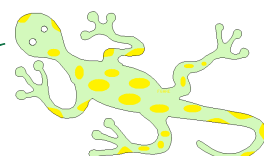


Fig.55

### ➤ Solution envisagée.

**R**echercher une solution radicalement différente, du type bielle/manivelle comme celle du module de LECTURE n'est plus vraiment possible, car la structure globale est figée, et nos deux unités "nouvelle conception" sont restreintes au volume occupé par les anciennes. Deux modifications relatives aux palettes se complètent pour diminuer au maximum l'angle de déviation maximal. Le premier changement consiste à descendre vers le bas, ce que représente la blèche large **B** l'axe de rotation du pivot **P** de façon à ce que la configuration dégagée et la position "Blanc" se partagent l'inclinaison maximale. L'angle de déviation critique est ainsi divisé pratiquement par deux. La deuxième approche montrée par la flèche large **G** revient à déplacer vers la gauche l'axe du pivot **P**. Montrée sur la photographie de la Fig.57 cette approche impose de refaire les deux palettes qui doivent être allongée d'environ 7mm. Le bénéfice est double. D'une part le "bras de

Ben ... môamôa je prétends que le Pion et la Palette c'est un cas contact avéré. Doivent se faire dépister !





levier" est plus favorable pour s'opposer aux frottements qui résultent de la pression du ressort de rattrapage de jeu. Surtout, l'angle d'inclinaison critique diminue encore de façon significative. Réalisé à une échelle identique, le dessin de la Fig.56 montre

clairement que pour un effort axial utile **A**, la composante parasite radiale **R** est globalement divisée

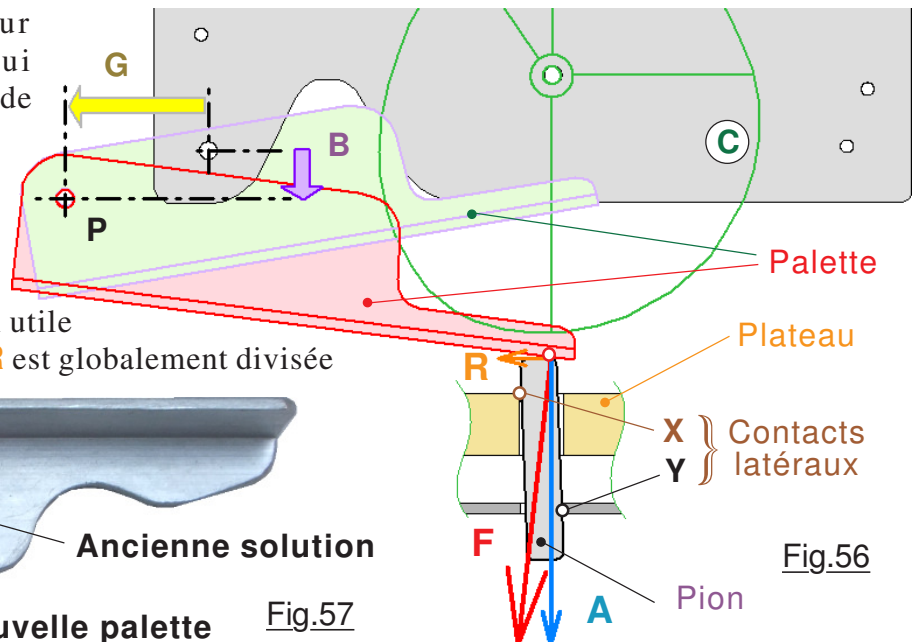


Fig.56

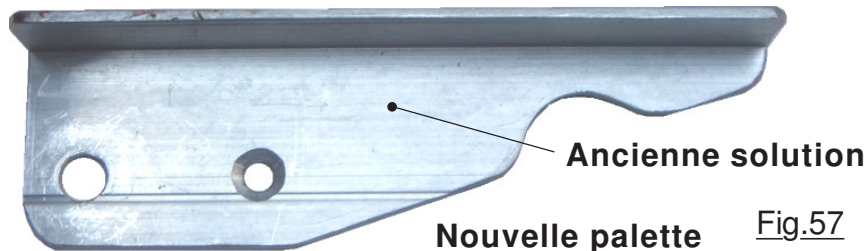
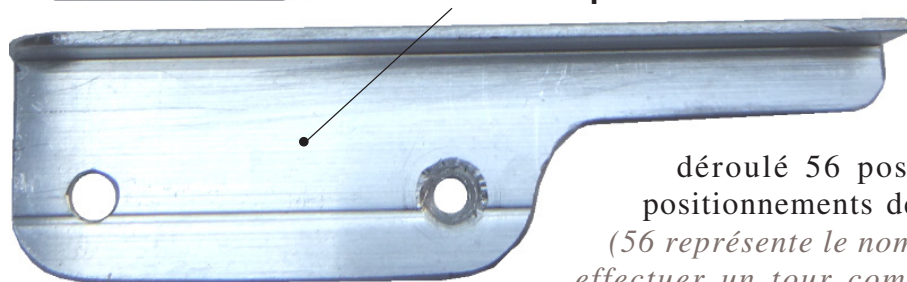


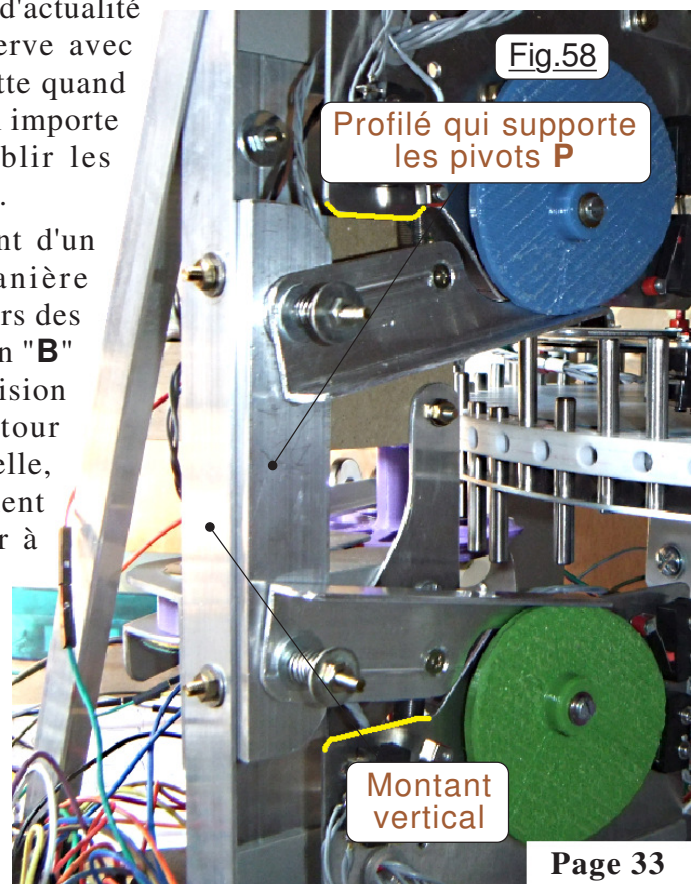
Fig.57



par deux. Un essai sérieux sur la machine prototype en mode séquençement automatique a déroulé 56 positionnements de type "B" et 56 positionnements de valeur binaire "1" sans incident. (56 représente le nombre de pions à déplacer pour faire effectuer un tour complet au carrousel.) En testant la

pression a produire manuellement, l'effort à exercer reste très faible sur toute la course nécessaire. Enfin, les deux moteurs "ronronnent" régulièrement et ne font plus le grognement de "douleur" qui semble maintenant appartenir au passé. Cette modification sur la machine ne permet plus d'articuler les palettes sur le corps des unités d'ÉCRITURE. Du coup, le plus simple a consisté à déporter les pivots **P** sur un profilé en équerre qui se fixe sur le montant de la structure. La Fig.58 a été saisie lors des essais des nouvelles palettes mais n'est pas d'actualité pour les nouvelles comes. En effet, si l'on observe avec attention la Fig.56, la came ne touche pas la palette quand cette dernière doit adopter la configuration "B". Il importe de revoir le profil des deux comes pour rétablir les déplacements désirés pour les trois états logiques.

**P**rofitant de ce passage obligé et bénéficiant d'un certain acquis, on va diminuer de manière significative le temps pour réaliser une écriture lors des rotations de plus grande amplitude, à savoir pour un "B" ou un "1". Initialement, afin d'optimiser la précision des déplacements, la rotation sur presque un tour complet avait été adoptée. Avec l'expérience actuelle, on peut raisonnablement réduire considérablement l'angle balayé. Par ailleurs, autant éviter d'avoir à refaire le corps des unités d'ÉCRITURE car cette pièce est assez longue à usiner. Il se trouve que placer les trois Switch de détection des configurations ne pose aucun problème. Donc, au prix d'un déplacement de capteur et d'une adaptation du câblage, avec une nouvelle came de profil totalement revu on aboutit à une solution optimisée avec un bénéfice sur les durées de traitement. Que demander de plus ?







**ATTENTION :** Ce changement tardif qui modifie la structure mécanique de la machine a engendré une réactualisation d'un nombre considérable de documents. Toutefois, il n'est pas impossible qu'un détail soit passé à la trappe et ne soit pas conforme, il ne faudra pas en tenir compte. Par ailleurs, certaines anciennes photographies (*Un peu comme celle de la Fig.58*) seront forcément saisies avec les cames initiales.



Observant sur la Fig.59 le profil de la nouvelle came, on constate qu'elle est très ajourée. Issu de l'expérience, c'est un **artifice qui diminue notablement le temps de moulage** en 3D, qui fait économiser du filament de PLA et qui donne un cachet esthétique très "mécanique". Pour ceux qui ne disposent pas d'imprimante 3D dans leur environnement, une fiche nommée **Profil de la came d'ÉCRITURE** précise les éléments géométriques de la zone active de cette came. On constate que le Switch de capture de l'une des positions est "décalé" en hauteur, son activation étant réalisé par la forme périphérique du **Bossage B**. Comme représenté en Fig.60 ce capteur a été écarté du corps des modules d'ÉCRITURE car certaines formes du profil actif en **X** et **Y** de la came dépassent trop et généreraient une interférence matérielle. Décaler le capteur incriminé dans le sens de la flèche verte, et l'actionner avec le **Bossage** local contourne cette difficulté. Suite à ces diverses modifications, un sérieux problème est évité, et de surcroît la machine fonctionnera un peu plus rapidement pour

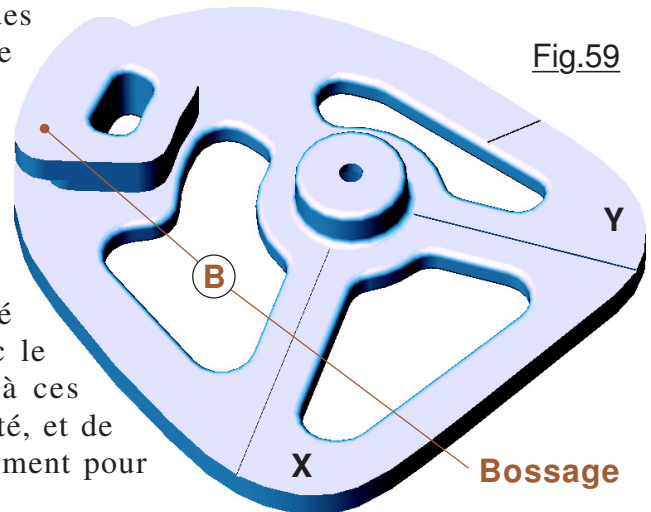
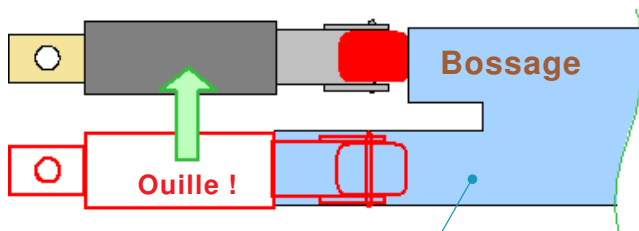


Fig.59



Profil actif coté moteur/réducteur

réaliser ses instructions. (*On gagne environ 50% de temps sur l'écriture d'un "B", d'un "0" ou d'un "1".*) C'est tout bénéfice. Nous allons maintenant pouvoir reprendre sereinement le planning pour des études qui chronologiquement s'imposent de façon plus logique et oublier cet incident.

Fig.60

➤ **Pas vraiment symétrique.**

Force est de constater quand on regarde les photographies, que la came de dessous présente des formes assez différentes de celle de dessus. Pourtant, on imaginerait bien que les deux soient totalement symétriques, car fondamentalement elles génèrent des déplacements pour les pions d'amplitudes identiques mais de sens inversé. Cette différence résulte du fait que les axes de rotation des palettes ne sont pas situés à une hauteur analogue par rapport à la course du pion. Du coup, pour la came du dessus le **Bossage** n'agit que sur un seul Switch, alors que dessous, il active deux des trois capteurs. Noter que pour le dessus la jante passe très proche du volume enveloppe du capteur

pour le "0", l'ajustement de sa position et de son orientation sont critiques. Pour la came de dessous, l'interférence était inévitable, raison pour laquelle le Switch pour le "0" a été décalé en hauteur. Le **Bossage** dont la forme a été revue pour améliorer la progressivité de la rampe d'activation facilite l'ajustement en position du capteur, *car pour le "0" il faut impérativement ménager un léger jeu entre les palettes et le pion. Ce bossage ne présente pas la même "largeur", et surtout*

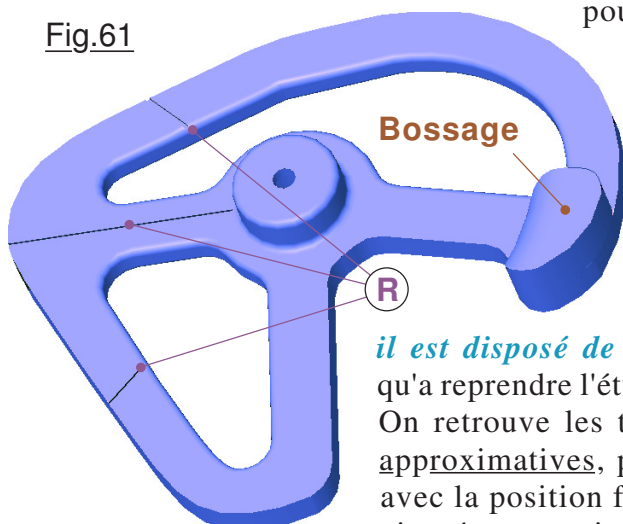


Fig.61

*il est disposé de manière différente pour sa position angulaire.* Tant qu'à reprendre l'étude de cette pièce, elle est optimisée sur plusieurs points. On retrouve les trois repères de position **R** qui ne sont que des aides approximatives, pour "dégrossir" la position des capteurs. C'est ensuite avec la position finale du pion que l'on affine l'ajustement. La forme est ajourée pour minimiser la durée du moulage en 3D.