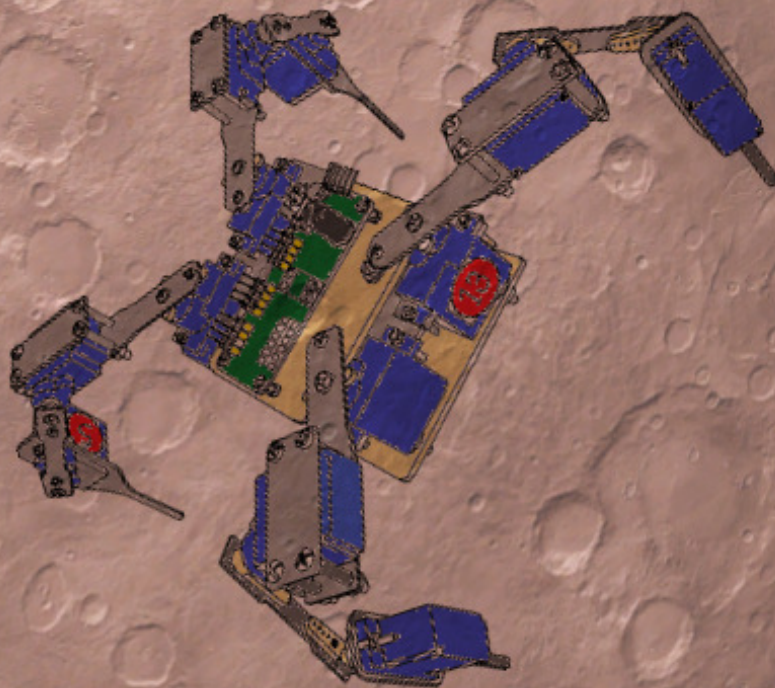


Sonde martienne JEKERT Électronique, circuits électriques et intégration des systèmes

TOME 4



Landing Site



Par Nulentout : Jeudi 21 Décembre 2017.

Développement du projet Sonde martienne JEKERT

Longue a été la gestation du projet JEKERT. Le développement logiciel est globalement à son terme. Les changements de stratégie ont été nombreux *avec des modifications importantes de l'approche et des dialogues entre l'homme et la petite machine*. Par exemple au risque de rendre le programme source moins lisible on a gagné une place considérable en mémoire de programme et en mémoire dynamique en plaçant les textes en EEPROM de l'ATmega328. Au début du développement logiciel il semblait que piloter les moteurs en indiquant des angles de position relevait de l'évidence. Rapidement c'est la notion de posture qui a dominé le débat et c'est la variable **Consigne** exprimée dans un **int** qui s'est imposée. Les butées logicielles pour ne pas amener les moteurs en "incident de rotation continue" ont été abandonnées, car ce sont finalement les limites d'encombrement ou d'angles de balayages angulaires qui sont maintenant traitées dans le logiciel.

Chamboulement dans le dialogue Homme / Machine on a introduit les commandes à un seul caractère puis les caractères de répétition pour les programmes de déplacements de base. L'affectation des diverses Entrées / Sorties a subi pas mal de permutations pour optimiser l'utilisation des broches de l'ATmega328. Le multiplexeur est lui même mis à contribution sur **S13**, **S14** et **S15** pour piloter des LEDs au lieu de servomoteurs sa vocation de base. Pour faciliter la réalisation du circuit imprimé principal, le signal du potentiomètre est passé de **A1** vers **A0**. (*Éviter de croiser des liaisons entre pistes cuivrées.*) *Un système technique n'est jamais définitivement figé, on peut toujours s'attendre à des évolutions. Néanmoins, ce jour JEKERT est stabilisée et les structures tant matérielles que logicielles sont considérées comme viables. Il reste 1742 octets de disponibles pour corriger un éventuel "bug" ou ajouter une adaptation de dernière minute, soit une bonne marge de sécurité. On peut raisonnablement envisager la réalisation des divers circuits imprimés et l'assemblage final.*

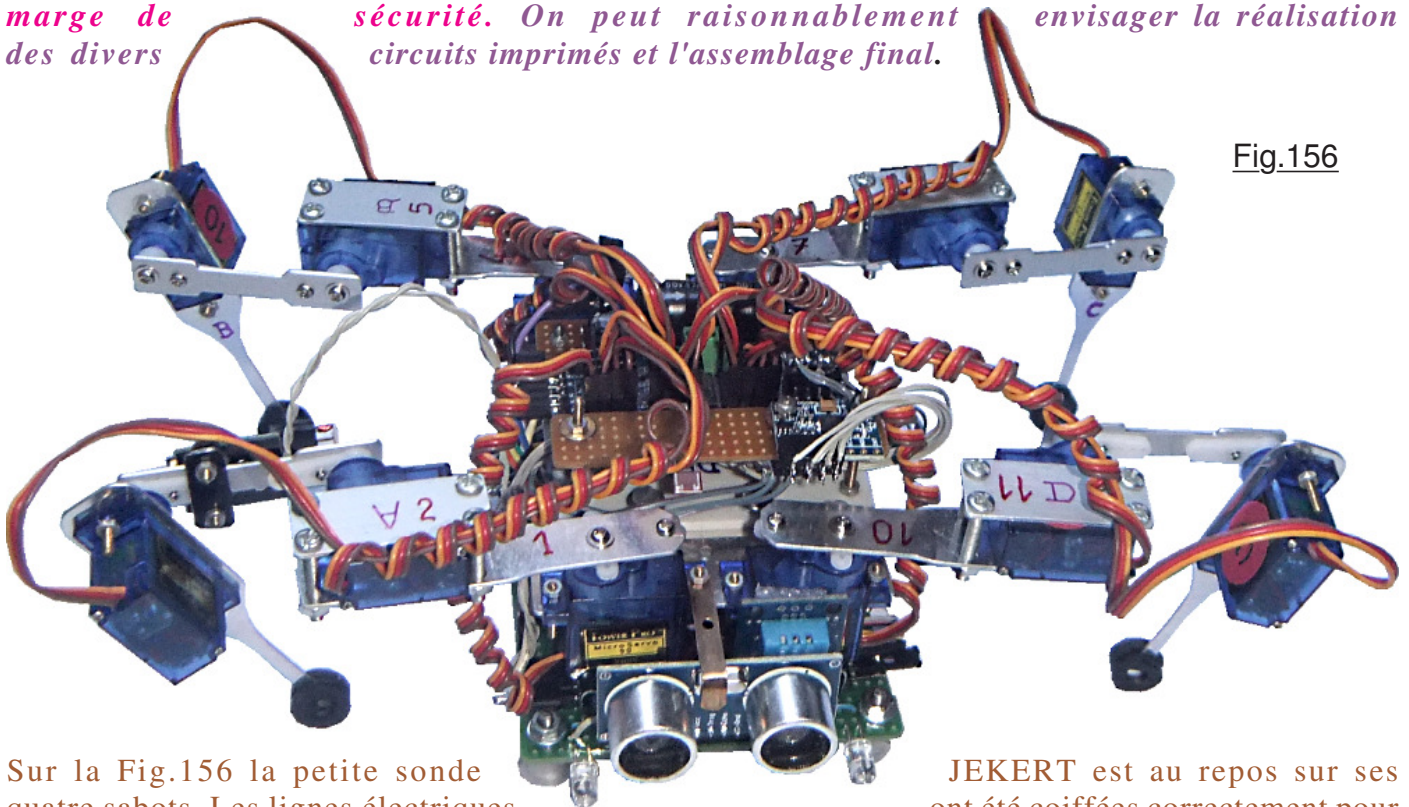


Fig.156

Sur la Fig.156 la petite sonde JEKERT est au repos sur ses quatre sabots. Les lignes électriques ne plus engendrer des risques d'interférence avec les membres. Mis à part les filtres du spectroscope chromatique, la petite machine est entièrement achevée. Les chaussettes définitives sont en place. L'ensemble des capteurs et effecteurs sont intégrés à la structure.

Réel défi technique, dans le cadre de contradictions et d'incompatibilités physiques, arriver à loger l'intégralité des systèmes dans un volume dérisoire sans qu'ils ne se perturbent mutuellement relève de la gageure. C'est souvent cette phase dans la conception d'un satellite qui engendre les plus de mauvaises surprises. Les électroniques embarquées ne doivent pas se polluer mutuellement, critère d'autant plus délicat à satisfaire qu'elles voisinent avec une promiscuité déraisonnable. JEKERT à ce titre ne déroge pas à la règle. Par exemple on a vu que la boussole est significativement perturbée par la présence de champs magnétiques parasites issus des servomoteurs. Les phares et des capteurs seront obligatoirement orientés vers l'avant, les uns ne doivent pas cacher les autres etc. Aussi, l'étude de l'implantation géographique des divers composants ainsi que celle du circuit imprimé principal constituent un "challenge" particulièrement délicat. C'est l'objet de ce chapitre. Plusieurs ingénieurs système sont réunis et vont en salle S2 collaborer pour lister en commun les contraintes qu'il faudra prendre en compte pour concevoir le circuit imprimé principal.

➤ **Contraintes de conception du circuit imprimé principal :**

Consacrer du temps pour lister sur une feuille de papier un maximum de critères qu'il faudra respecter est absolument indispensable. Agencer le dessin d'un circuit aussi fouillé que celui représenté sur la [Fiche n°27](#) demande un temps considérable. Situation "aggravée" par la réalisation proprement dite. On ne peut se permettre d'engloutir autant d'heures en pure perte parce qu'au moment d'assembler on a oublié de prendre en compte un élément essentiel. Tous les composants en main, un réglet, un morceau de plaque pré-percée pour vérifier que deux composants voisins peuvent se placer correctement sur la plaque, il faut calmement, tenter de tout prévoir, de ne rien oublier ...

- La taille maximale possible dans le sens longitudinal pour le circuit imprimé est de 38 trous, car limitée par la plaque pré-percée approvisionnée,
- La largeur maximale pour le circuit imprimé est évaluée à 29 trous limitée par l'encombrement imposé par la posture rétractée de la sonde placée sur le berceau du lanceur Ariane,
- Circuit Arduino NANO dans le sens longitudinal et centré pour sa sortie entre les servomoteurs, *(La sortie USB entre les moteurs arrière permettra de le programmer sans que les Jambes arrière ne risquent de venir buter durant les essais de nouvelles séquences ou de modification logicielle.)*
- Imposé par la contrainte précédente : Les pistes cuivrées sont d'orientation transversale,
- Circuit Arduino NANO assez à l'arrière pour faciliter le branchement de la fiche mini-USB,
- Circuit Arduino NANO placé sur des connecteurs HE14 hauts pour faciliter l'introduction des divers faisceaux de fils situés dessous, *(Sans risque de les pincer ou de les "écraser".)*
- Hauteur des capteurs ultrasons qui seront obligatoirement placés devant la sonde,
- LEDs des phares devant se trouver devant et non masquées par les capteurs ultrasons,
- Grande hauteur du capteur d'humidité,
- Capteur magnétique loin des servomoteurs,
- Centrale gravitationnelle correctement orientée pour respecter les axes normalisés,
- Envisager un disque coloré spectral d'où le placement de la cellule photorésistante,
- Hauteur limitée de 30mm entre le circuit imprimé et le châssis en aluminium,
- Hauteur limitée de 4mm entre les servomoteurs et le circuit imprimé principal,
- Le Buzzer étant relativement haut ne doit pas buter sur le châssis ou sur les servomoteurs,
- Liaisons à prévoir sur le cordon ombilical : *(Total 6 lignes filaires.)*
 - * Une ligne de puissance +5Vcc pour l'alimentation des servomoteurs,
 - * Une ligne de puissance pour GND des servomoteurs,
 - * Une ligne GND pour la carte Arduino NANO,
 - * Une ligne +5Vcc pour la carte Arduino NANO,
 - * Deux lignes pour D0 et D1 de dialogue avec la raquette de commande,

NOTE : Ces liaisons par cordon ombilical ont été soigneusement étudiées et déterminées par des essais préliminaires poussés pour prouver la faisabilité d'un pilotage autonome par petit pupitre.

- Prévoir en @ un "strap" facile à insérer et enlever pour couper les LEDs d'état,
- Petit connecteur HE14 pour un potentiomètre facile d'accès,

- Envisager sur le dessus et à l'arrière un petit circuit imprimé supportant un condensateur de 470µF servant de "tampon réservoir" au +5vcc de puissance comme conseillé dans la documentation, (*Globalement nous aurons entre 4 et 5 servomoteurs simultanément. La valeur de 470µF devrait suffire et présenter un encombrement et un poids raisonnables.*)

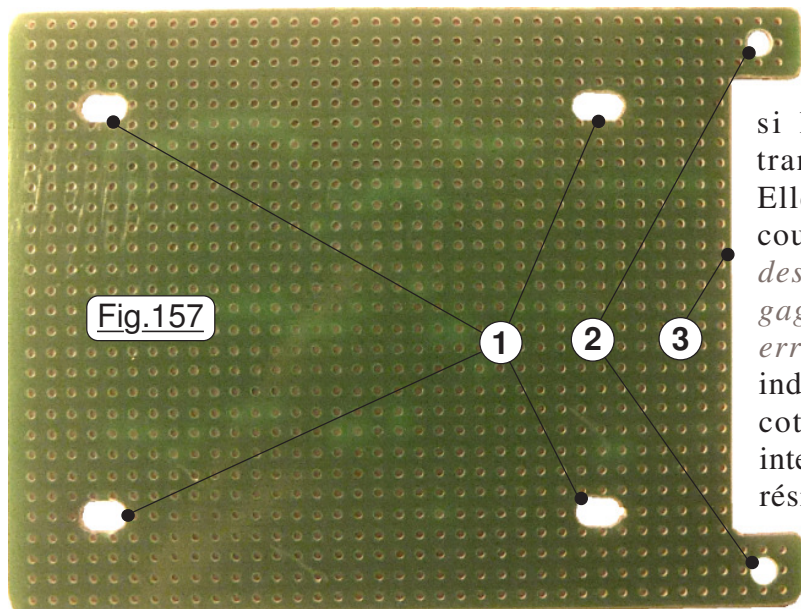
À l'arrière car devant la place est réservée pour un petit circuit imprimé qui supportera la cellule photoélectrique. Impérativement proche de la jambe A pour le spectrographe colorimétrique.

- Eviter toute interférence entre les boulons qui assurent la liaison de la plaque supérieure sur le châssis et les éléments du circuit imprimé principal,
- Deux LED de 5mm de diamètre ne peuvent "voisiner" directement sur la plaque percée et doivent être placées en quinconce par alignement sur deux rangées de trous voisines,
- Les rampes de LEDs seront coté bâbord pour être parfaitement visibles, (*Coté tribord la liaison avec le module multiplexeur en masquerait plus ou moins certaines.*)
- La LED clignotante étant "trop présente" devra être placée un peu en retrait et pouvoir se couper par l'intermédiaire d'un "strap" à languette dédié,
- Les deux connecteurs HE14 d'isolement des LED seront à trois broches pour pouvoir laisser et "ranger" la languette sur le circuit quand les éclairages sont suspendus.
- Un bouton de RESET sera placé sur le C.I. si possible assez accessible,
- Le cordon ombilical devant sortir sur l'arrière sera immobilisé sous le circuit imprimé principal. De ce fait il devient impossible d'y placer vers le milieu le microcontact de "bouclier sur le sol",
- Centrer au mieux les phares et les capteurs ultrasons sur l'avant de la sonde.
- Éloigner au maximum les deux phares l'un de l'autre.

(Pour ne rien vous cacher, sachez que cette liste n'a pas été constituée en un "claquement de doigts. Tout au long du développement, une feuille de papier lui était dédiée. Chaque modification ou évolution matérielle était accompagnée d'une réflexion sur l'intégration et les impératifs ajoutés à la liste. C'est au moment de concevoir le circuit imprimé principal, que structure motorisée en main elle a été soigneusement élaborée en cherchant l'exhaustivité : Ne rien oublier ...)

➤ Étude du circuit imprimé principal :

Concevoir un tel circuit se fait forcément en plusieurs étapes. (*Pour en arriver à bout il m'a fallu environ 14 heures ... unique ment pour l'étude. Pour le réaliser, tout souder et procéder aux essais, environ huit heures.*) À l'aide de votre logiciel de dessin favori, commencer par représenter le circuit imprimé "brut". **En particulier la première contrainte à y positionner** (Voir la Fig.157) non mentionnée dans la liste, ce sont **les trous de passage des vis d'immobilisation** et bien indiquer les rondelles d'appuis qui forcément encombrent par leur présence. Puis y disposer les composants principaux. Au fur et à mesure que des éléments sont ajoutés, couper virtuellement les pistes. En permanence passer en revue la liste des contraintes à respecter, ce qui remet souvent en cause des éléments et oblige à des modifications de modifications aux modifications. Bref, l'approche est

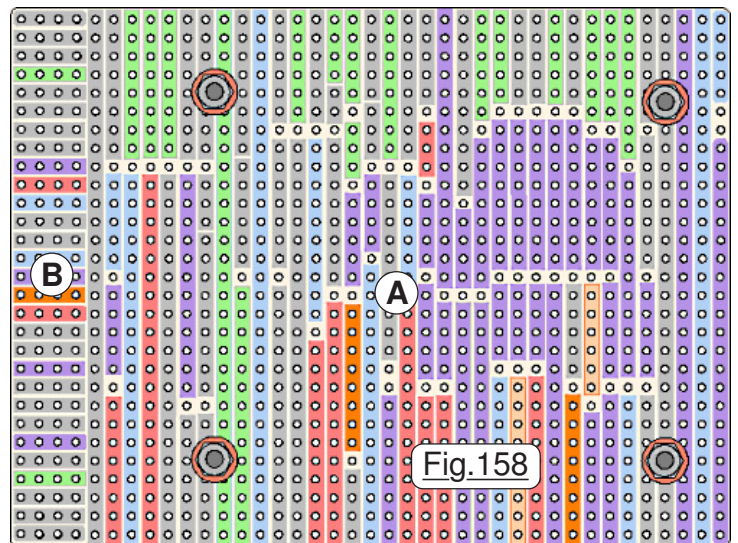


progressive. Considérez la [Fiche n°27](#) qui reproduit le fruit de cette étude. Le circuit imprimé est vu par dessus comme si la plaque était translucide et que par transparence on voyait les pistes cuivrées. Elles sont colorées pour immédiatement au cours de l'étude situer leur fonction. (*Utiliser des couleurs que vous avez standardisé fait gagner un temps fou et évite de nombreuses erreurs.*) Contrairement à un circuit imprimé industriel multicouches, on ne dispose que d'un coté cuivré. En contre partie, rien ne nous interdit de faire du 3D, c'est à dire de placer des résistances, des ponts de câblage les uns aux dessus des autres. Le tout, c'est de respecter les critères d'encombrement.

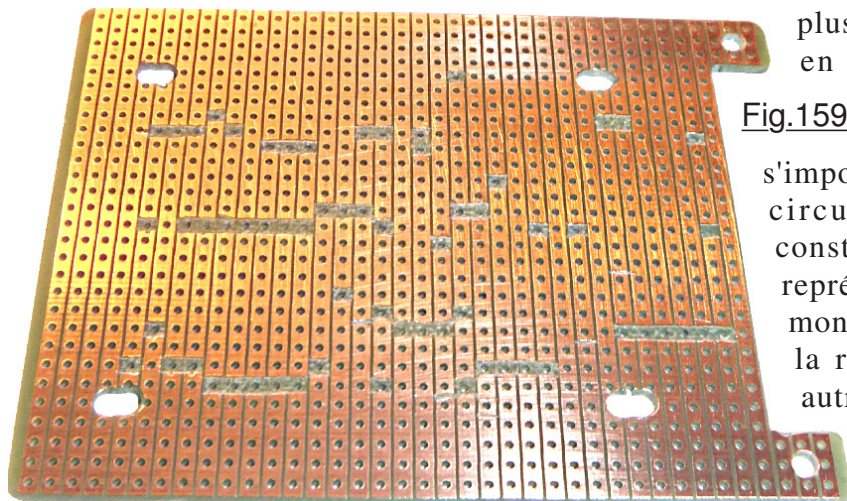
C'est volontairement que le dessin vu coté pistes cuivrées est "perdu" sur le coté verso de la **Fiche n°17**. Ainsi vous pouvez facilement placer les deux fiches en vis à vis et comparer coté cuivre et coté composants. Dans le même ordre d'idée le schéma électronique peut se comparer simultanément avec le coté composants et ainsi vérifier la correction du circuit. Il importe de noter que le dessin de la Fig.2 sur la **Fiche n°27** présente la version qui sera en ligne non pas avec un P.C. mais avec une Raquette de commande. Le potentiomètre sera dans ce cas remplacé par un équivalent virtuel. Le connecteur à trois broches sera alors utilisé pour piloter avec **A0** une LED nommée BUZZER dont il sera question dans le **TOME 5**. Toutefois, quand vous pratiquerez progressivement le tutoriel, **P14_Sonde_avec_capteurs_scientifiques.ino** sera totalement compatible avec la présence d'un potentiomètre réel branché conformément aux informations données dans le programme. Quand on abordera la réalisation d'une raquette de commande, outre une adaptation dans le logiciel définitif, on se contentera de débrancher le potentiomètre provisoire et on le remplacera par un tout petit adaptateur supportant la LED et sa résistance de limitation de courant. Vous pouvez également noter que la Fig.4 de la **Fiche n°27** précise les liaisons entre le circuit imprimé principal et le multiplexeur situé sur le dessus du châssis. Figure également sur ce dessin la représentation des liaisons filaires. Il est aussi prévu d'étudier cette page en ayant sous les yeux les schéma électronique de la Fig.1 donné sur la **Fiche n°17**.

➤ Réalisation matérielle du circuit imprimé principal :

Naturellement vous allez faire l'économie de l'étude du circuit imprimé puisque je vous livre clef en main une solution qui a fait ses preuves. Il faut maintenant la concrétiser. Les plaques de circuit prépercées à bandes cuivrées sont malheureusement pas faciles à se procurer. En particulier l'enseigne où je les approvisionnais semble avoir disparu de l'Internet. Il vous faudra peut être adapter. Les plaques les plus faciles à trouver ont une petite pastille carrée à chaque trou. Du coup pour l'orientation c'est plus facile car indifférent. Il suffit de couper aux bonne dimensions. Au lieu d'effectuer les coupures de piste, vous remplacez en créant une ligne continue par soudure d'un fil dénudé. Les queues de composants (*Que l'on doit systématiquement raccourcir à l'usage font merveille pour cette application.*) Dans ce paragraphe sera explicitée la technique mise en œuvre sur le prototype. L'aide la plus efficace que vous trouverez dans ce didacticiel est apportée par le fichier **Circuits Imprimés.spl** qui s'utilise avec **SPLAN-VIEWER.EXE** la **visionneuse**. Ce document représente étape par étape les actions dans l'ordre pour souder les divers composants sur la plaque de prototypage à trous. On commence par percer au bon endroit les quatre trous **1** de la Fig.157 de liaison entre le circuit imprimé et les boulons long qui supportent le bouclier.



L'étude du circuit imprimé montre qu'il faudrait pour disposer du cas idéal de la Fig.158 pour lequel les pistes sont pratiquement toutes verticales en **A**, sauf à gauche en **B** où elles doivent avoir la direction horizontale. Évidemment un tel circuit n'existe pas, il faut le créer de toute pièces. Dans ce but on découpe une petite plaquivrée dont les bandes sont dans le bon sens. cette plaque est rapportée sur le circuit principal par des boulons ϕ M3 traversant les trous **2**. Pour que les pistes cuivrées soient "disponibles, la plaque principale est éjourée en **3**. Notez au passage que les trous **1** sont oblongs, l'expérience a montré que cet artifice simplifiait la mise en place et le positionnement. Vous ouvrez le dossier **<Galerie d'Images>** et consultez **Image 17.JPG** qui présente les deux éléments de cet assemblage. L'étape de préparation suivante consiste à couper les pistes comme montré sur la photographie de la Fig.159 pour établir les isollements électriques. Un dernier assemblage provisoire sur la structure pour vérifier que les trous de passage des longues vis sont parfaitement positionnés. Immobiliser le petit circuit sur le plus grand mais sans bloquer les boulons, car il faudra les déposer pour intercaler les sabots de protection dont il sera question



plus avant. Nous pouvons passer au câblage en commençant par les fils de liaison rigides. Avant de passer en revue les photographies, deux remarques s'imposent. Quand vous observez le dessin du circuit imprimé avec attention, vous constaterez que plusieurs fils voisins sont représentés les uns à côté des autres comme montré sur la Fig.160 dans l'encadré **X**. Dans la réalité, ils sont les uns au dessus des autres comme visible sur la photographie en **Y**. Inutile de préciser que l'on soudera en premier ceux de dessous, puis la deuxième "couche" et

éventuellement comme c'est le cas présenté ici le troisième niveau en dernier. Le dessin sur ordinateur met à notre disposition une palette de couleurs infinie. Donc, le rouge pour le **+5Vcc**, le orange pour le **+9Vcc**, le bleu pour **GND**, le violet pour une E/S. Liberté totale dans le choix des couleurs. Pour réaliser les petits ponts électriques, on ne peut utiliser que les conducteurs disponibles. Le orange est devenu jaune, le violet vert et le rouge sans isolant. Il ne faut donc pas chercher à établir un lien quelconque entre le dessin théorique et la réalité montrées sur les photographies.

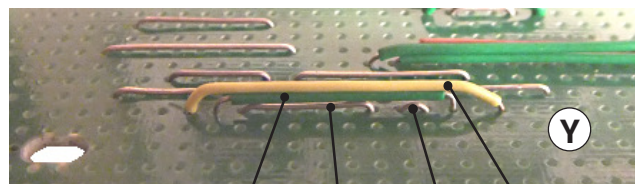
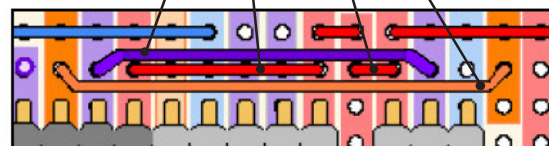


Fig.160

L'étape qui consiste à souder les petits ponts électriques rigides pour aboutir à [Image 18.JPG](#) est détaillée dans la page 2 du document *visionneuse* intitulé **Étape 1 : Les ponts de câblage rigides**.



Soudant séparément les composants sur les deux éléments de prototypage prépercés, on réalise ensuite **Étape 2 : Les connecteurs, les résistances, le bouton poussoir de RESET**. L'idée de base consiste à toujours commencer par les éléments les moins hauts vers les plus proéminents. Ainsi quand on pose la plaque à l'envers pour pouvoir souder, ils restent en place sans avoir à les brider. Notez que les deux résistance de **2,2kΩ** située à droite sont en dessous des deux résistances de 1kΩ. Donc veiller à l'ordre de câblage. Pour souder les petits connecteurs coudés HE14 la

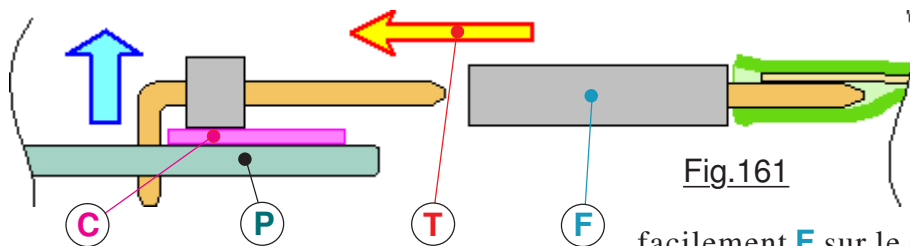


Fig.161

procédure est un peu particulière. Considérons la Fig.611 sur laquelle en **P** se trouve le circuit Principal et en **F** la fiche femelle de la liaison filaire extérieure. Pour que l'on puisse insérer facilement **F** sur le connecteur coudé par la translation **T**, il faut qu'entre le HE14 femelle et le circuit imprimé **P** subsiste un petit jeu. Pour aménager un petit écart suffisant, la technique consiste à surélever le connecteur coudé (*Flèche bleue.*) au moyen d'un petit carton **C** provisoire (*En rose sur le dessin.*) au moment d'effectuer la soudure le total étant maintenu en place par une pince auto serreuse. Veiller à ce que les broches soient bien parallèles à **P**, ou légèrement vers le haut pour faciliter le branchement de **F**. Quand tous les composants sont soudés on passe à l'**Étape 3 : Assembler les deux circuits et serrer les boulons de liaison**. Pour mémoire il faudra redéposer ces boulons ϕ M3, donc serrer le juste ce qu'il faut pour que les deux plaques soient bien en contact l'une avec l'autre, mais sans plus. Nous en sommes à l'état de la photographie d'[Image 19.JPG](#) sur laquelle on voit bien que seul le connecteur HE14 de droite en bas dépasse du circuit imprimé. Tous les autres sont en retrait. Sur cette image toutes les résistances ne sont pas encore en place, et une seule est soudée "en épingle", c'est à dire verticalement. Nous allons maintenant souder les composants plus "hauts" tels que le BUZZER, le connecteur HE14 double pour les périphériques se trouvant à l'avant etc. Cette étape aboutit à [Image 20.JPG](#) qui montre que le transistor est plus plat de le boîtier d'un 2N1711. C'est un composant de

récupération dont la référence est "quelconque". Pour l'heure, on va naturellement continuer dans l'ordre par **Étape 4 : Le Buzzer, les deux condensateurs de découplage**. Contrairement à ce que laissent entendre les dessins **B** et **C** de cette page, les liaisons souples ne seront soudées que lorsque les deux lignes HE14 qui supportent la carte Arduino NANO seront déjà en place, ainsi que toutes les diodes électroluminescentes placées en quinconce.

Pour toutes les étapes de la réalisation de ce circuit, chaque soudure est vérifiée avec une loupe à fort pouvoir grossissant pour s'assurer qu'il n'y a pas de contact interdit avec les éléments voisins, et que la soudure présente un aspect visuel correct. Un contrôle permanent à chaque étape est le gage d'un fonctionnement immédiat et fiable. Les deux lignes **A** et **B** de connecteurs femelle HE14 présentent une hauteur **H** moyenne. Il faut impérativement que la petite carte électronique entièrement enfichée, il reste entre ses composants situés sur le dessous et les torons de fils une place suffisante. Pour vous donner une idée plus précise, la hauteur **H** des éléments sélectionnés pour équiper le prototype fait presque 9mm. Sur la Fig.162 on distingue nettement les LEDs alignées sur deux rangées décalées et le "strap" à languette qui autorise ou coupe le clignotement de la LED verte. Le connecteur **C** et le petit fil souple qui passe sous les deux résistances peuvent ne pas être montés sur la plaque. Ils servent provisoirement à

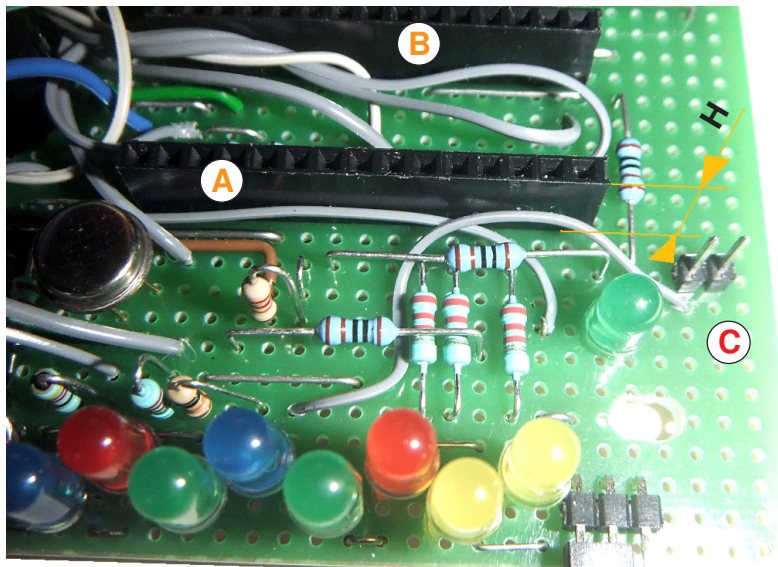


Fig.162

brancher un microcontact pour simuler celui qui détectera "bouclier posé sur le sol". Pour la mise au point des programmes, l'emplacement du petit contacteur n'avait pas encore été déterminé. En ce qui vous concerne, vous allez le souder dans la foulée, donc inutile de vous compliquer la vie.

Souder les deux lignes **A** et **B** ne présente pas de grosse difficulté. Toutefois, pour assurer un parfait alignement entre les connecteurs HE14 et les broches de la carte Arduino NANO voici comment je procède : Les deux lignes sont insérées sur les broches d'Arduino. Puis l'ensemble est positionné sur le circuit imprimé. Les quatre broches des extrémités sont soudées en s'assurant par une toute petite pression lors de l'opération, que le connecteur est parfaitement en contact avec la plaque percée. Puis la carte de l'ATmega328 est retirée et les autres soldes sont réalisées. Contrôle visuel à la loupe, vérification des liaisons avec l'ohmmètre. Quand tout est parfait, on peut achever la réalisation du circuit complet avec la soudure de toutes les liaisons filaires souples munies à leur extrémité des connecteurs idoines. **On ne place pas encore la carte Arduino sur son support.**

Fait assez rare pour être souligné, et contrairement à la majorité de mes publications sur Internet, le circuit imprimé principal ne comporte que deux liaisons filaires ajoutées sur le dessous coté cuivre. Bien visibles sur la photographie de la Fig.163 il s'agit de la ligne de masse **GND** et du **+5Vcc** pontés entre le circuit imprimé principal et le petit complément rapporté. Les deux LEDs cristal blanches sont soudées sur le dessus de la plaque prépercée. Elles dépassent notablement et sont de ce fait en porte à faux. Cette configuration particulière les rend relativement vulnérables. Il importe à

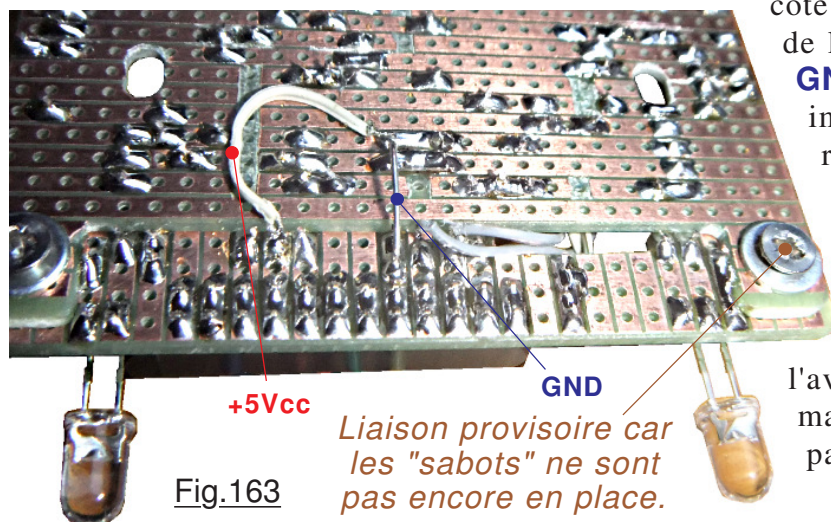


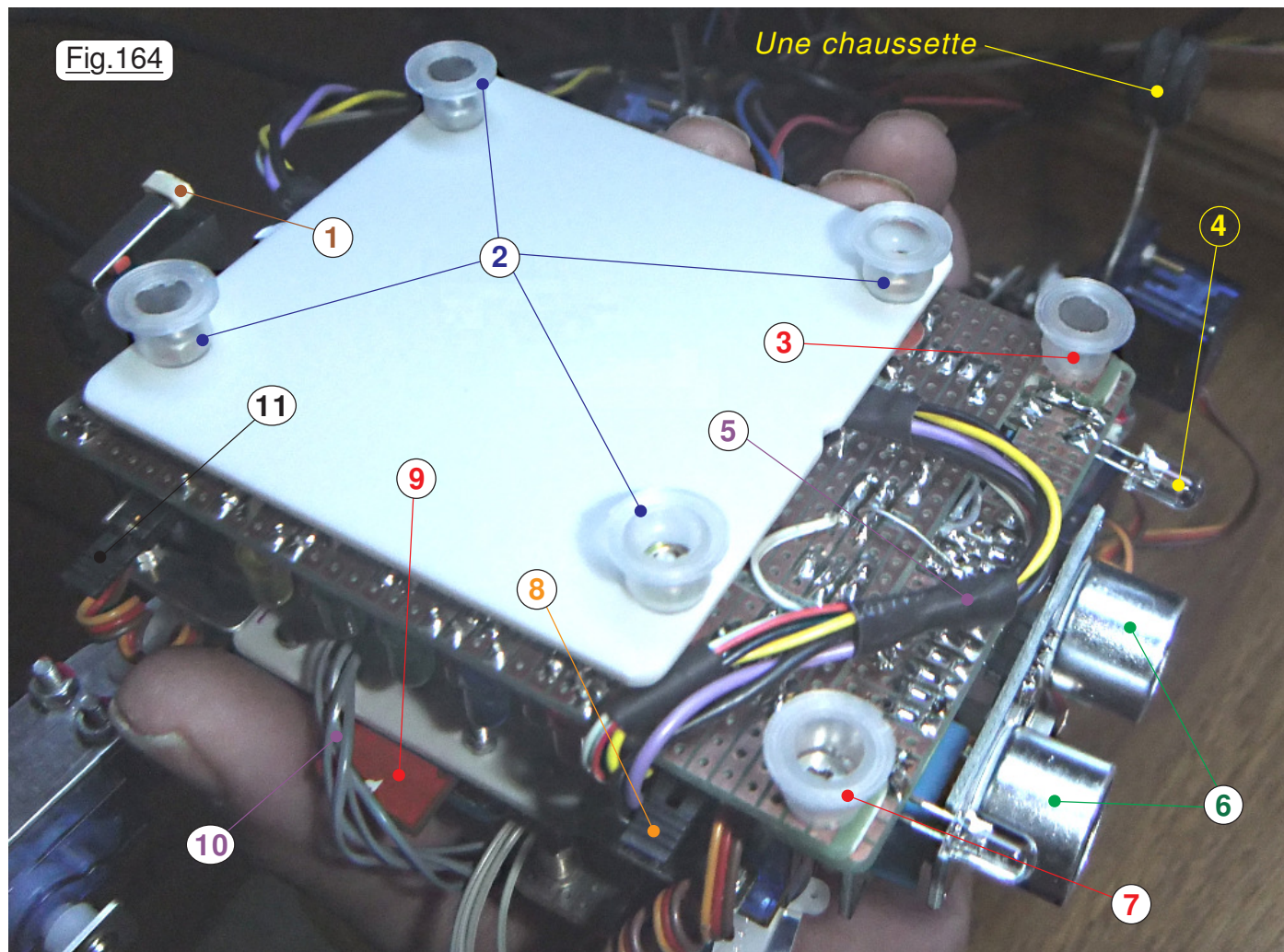
Fig.163

Liaison provisoire car les "sabots" ne sont pas encore en place.

l'avenir, et par voie de conséquences, de manipuler le circuit avec prudence pour ne pas risquer de les tordre.

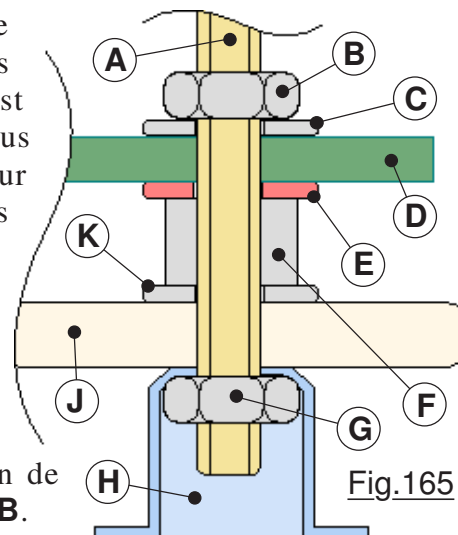
➤ Saboter JEKERT !

Avertir le contre-espionnage et la brigade d'intervention n'est pas d'actualité. Ce titre scandaleux pour "faire vendre" ne fait pas allusion à une quelconque malveillance. Il ouvre une parenthèse qui anticipe une action qui sera conduite tout à la fin de l'assemblage, mais qui justifie le contenu et les explications du chapitre qui suit. Nous allons chausser le petit robot non pas avec des pantoufles, mais avec les fameux sabots dont il est question depuis des lustres. L'Arlésienne va enfin dévoiler son identité. Quand la sonde se pose sur le sol, la gestuelle est assez vive et l'impact peut s'avérer un peu brutal. Par ailleurs, les quatre longues vis immobilisées sur le châssis qui servent à solidariser le circuit imprimé principal et le bouclier, ne dépassent par rigoureusement de façon identique. Posée au sol la sonde boîte légèrement. Ce n'est pas vital, tout au plus un petit "imparfait" qui agace l'élégance. Pour palier ces deux petits inconvénients mineurs, on va munir le bouclier de sabots. Vous pouvez dans ce but employer toute technologie qui sera à votre portée. Par exemple du



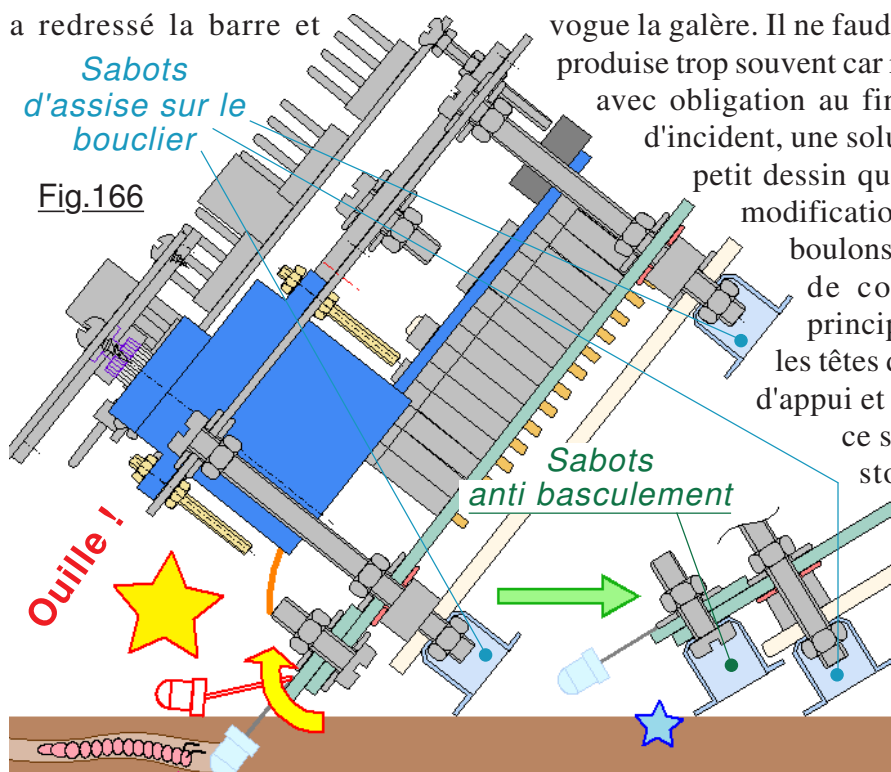
caoutchouc ou du feutre auto collant, produits faciles à trouver dans des magasins de bricolage à des "hauteurs" qui conviendront, quitte à intercaler des rondelles d'épaisseur taillées dans du carton. Sur le prototype, les sabots sont constitués de petits bouchons en matière thermoplastique qui à l'origine devaient boucher des flacons de parfum de luxe. Sur des machines on les moule sous pression par grappes de centaines. Quand le flacon change de forme, commerce oblige, des myriades de ces produits sont déchiquetés pour recyclage ... certains ont été récupérés ! Il suffit de percer un trou à ϕ M3 avec un poinçon adapté et on peut en 2 sur la Fig.164 munir JEKERT de ces protections. En configuration **VEILLE** la sonde se posera sur ces quatre sabots en forme de cloche à l'intérieur desquels se loge l'écrou. (Voir les détails en Fig.165) Sur la photographie la sonde est entièrement achevée, elle devient délicate à tenir en main sans presser des éléments fragiles débordant sur tous les cotés. Le capteur à ultrasons 6 est inséré sur le support et l'on devine en 9 la boussole statique. En 8 est bien visible le "strap" à languette qui coupe l'éclairage des LEDs d'état, et moins repérable en 11, celui qui valide la LED verte clignotante attestant de l'activité de la boucle

de base dans le logiciel de JEKERT. Revenons sur la structure rigide du robot. En **J** de la Fig.165 on reconnaît le bouclier avec en **A** les vis longues immobilisées sur le châssis. Le circuit imprimé **D** est immobilisé sur l'ensemble par les deux écrous **B** et **G**. Sur le dessus en **C** on trouve une rondelle d'appui métallique indispensable pour assurer une portée correcte sur les trous oblongs. Sur le dessous coté piste il faut impérativement faire appel en **E** à des rondelles isolantes. La portée sur le bouclier **J** est améliorée par la rondelle métallique **K**, la séparation étant assurée par l'entretoise **F**. Pour réaliser l'assemblage final, on desserre volontairement **B**. Puis on insère l'écrou **G** dans le sabot **H** en forme de cloche. L'écrou est légèrement forcé sur ses six pans, on peut donc facilement visser "la cloche" sur **A**. Quand les quatre sabots sont en place et bien de niveau sur un même plan, *on serre alors modérément* les écrous **B**.



➤ Attention aux faux pas.

Marcher est tellement naturel quand on est grand, que notre pensée peut oublier totalement cette activité. Les sensations imprégnées dans nos muscles font le reste. Et pourtant, un faux pas peut arriver à n'importe qui, n'importe quand. En tant que machine, JEKERT ne cours pas ce risques, car, sauf erreur humaine de pilotage, les mouvements programmés parent toutes les mauvaises surprises. La machine est vraiment petite, et posée sur le bureau, en train de faire sa sieste bien calée sur les sabots, elle ne risque pas grand chose ... sauf si par un geste malchanceux on lui communique une petite pichenette. Il ne faut pas grand chose pour la voir basculer sur le "nez" comme montré sur la Fig.166 avec pour conséquence inexorable de plier les deux LEDs des phares. En effet, la géométrie de la petite machine les obligerait à s'enfoncer dans le sol. Comme ce n'est pas possible, les tiges des deux LEDs se tordent alors vers le haut. C'est arrivé une fois sur le prototype ; sans gravité. On a redressé la barre et



vogue la galère. Il ne faudrait toutefois pas que cet incident ne se produise trop souvent car rapidement le composant se dégraderait avec obligation au final de le changer. Pour parer ce type d'incident, une solution élémentaire est représentée sur le petit dessin qui, pointé par la flèche verte montre la modification apportée. On démonte les deux petits boulons ϕ M3 qui solidarissent le petit circuit de complément sur le circuit imprimé principal. On ajoute deux autres sabots sous les têtes des vis et l'on remet en place la rondelle d'appui et l'écrou. Sur un déséquilibre accidentel ce sont les *Sabots anti basculement* qui stoppent le mouvement brusque et les deux LEDs des phares n'ont plus rien à craindre. Sur la Fig.164 bien repérables, ce sont les deux éléments **3** et **7** qui assurent cette fonction de protection. Je vous recommande d'assembler dès maintenant les deux *Sabots anti basculement* car ils ne gêneront

pas la mise en place du petit contacteur de "détection Bouclier au sol" et sont plus facile à monter quand le circuit n'est pas sur le reste de la structure de la sonde. Pour clore cette parenthèse qui a un peu anticipé sur l'intégration des systèmes, observez en **5** de la Fig.164 le cordon ombilical qui sur le dessous part vers l'arrière de l'insecte mécanique. En ajoutant un morceau de carton à l'endroit stratégique de sa sortie pour le protéger, compte tenu de l'espace situé entre le bouclier et le circuit imprimé, le cordon ombilical sera correctement pincé et ainsi solidarisé modérément avec la structure.

36) 03/12/2017 : Finir le circuit imprimé principal (MJD 58090)

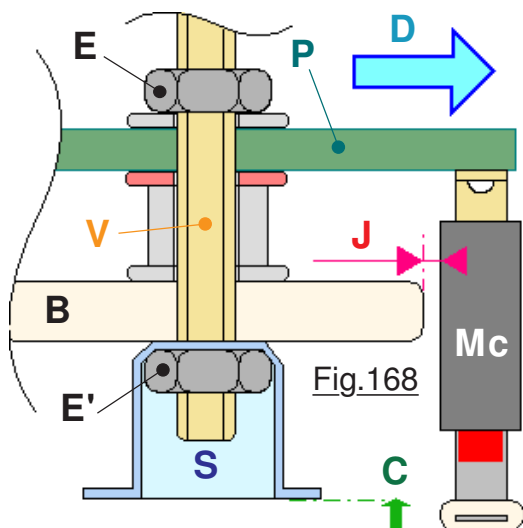
Logiquement, les développements qui vont suivre devraient se trouver dans le chapitre précédent. Vu que le nombre de pages qui le compose commence à devenir un peu trop important, il a été estimé plus raisonnable pour le personnel de prendre un peu de repos et de continuer *MJD 58090*. Rendons-nous en salle S12 réservée à l'assemblage des cartes électroniques et des tests en vraie grandeur. C'est du sérieux, car l'ordinateur de bord de JEKERT va être placé dans son environnement neuronal. Autant dire que S12 est aussi blanche que ses deux voisines S10 et S11.

➤ Souder le micro-contacteur sur le circuit imprimé principal.

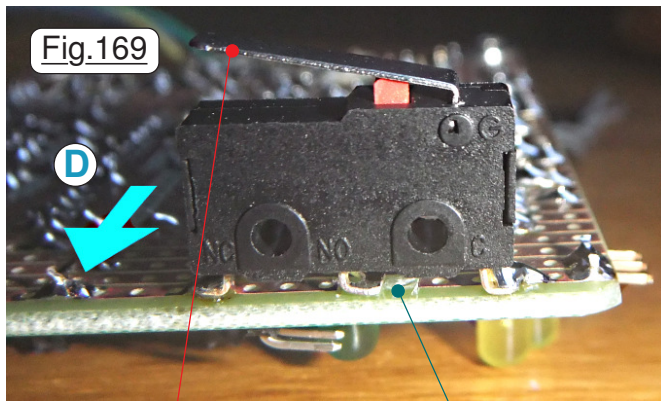
Contrairement à la chronologie qui a présidé durant le développement du prototype, il n'y a strictement aucune raison d'attendre pour souder sur le dessous de la plaque principale le micro-inverseur qui détectera le contact entre le bouclier et le sol martien. Initialement il était envisagé de disposer sur le bouclier une petite équerre métallique sur laquelle serait immobilisé le petit contacteur. Puis, lorsque les structures étaient pratiquement définies, le bouclier muni des sabots amortisseurs de chocs, le matériel dans sa configuration définitive a montré la possibilité de souder le composant directement sur le circuit imprimé coté pistes cuivrées. On y gagne l'économie de réalisation d'une équerre métallique spéciale, et la carte électronique forme un tout compact entièrement "autonome".

Un châtepeu de chirurgie s'impose. En effet, la course en rotation **R** sur ce type de composant est assez limitée. Sur la Fig.167 la palette est représentée au repos. (*ATTENTION : Sur la Fig.167 le circuit imprimé est retourné, pistes cuivrées vers le haut.*) Suite à une course relativement faible, quand elle passe à l'horizontale, le basculement de l'inverseur se produit. (*Épure rouge.*) Observez avec attention le détail **1** sur la Fig.164 de la page 8. Il s'agit d'un petit anneau en caoutchouc qui est passé comme une bague autour de la palette mobile du contacteur. (*Récupération !*) Ce petit artifice assure deux fonctions. En premier, si on force exagérément sur la palette, il vient en contact avec le corps de l'inverseur et évite ainsi de le surcharger mécaniquement. (*Épure coloriée en vert.*) Il ajoute une petite épaisseur qui optimise la course du microcontact quand ce dernier est en place sur la machine.

Quand la sonde sera entièrement achevée et au repos, le bouclier ne touchera pas le sol car nous savons que les sabots surélèvent ce dernier d'environ 8mm. Le circuit imprimé pour son propre compte est encore plus haut puisqu'écarté par les entretoises de 4mm et les rondelles d'appui. La hauteur totale de l'inverseur non modifié soudé "en bout" par ses cosses de raccordement est trop importante. Pour les raccourcir elles sont pliées au milieu du côté indiqué sur la Fig.167 par **P**. Notez que la cosse centrale est volontairement plus courte pour ne pas toucher le circuit imprimé car le contact travail **T** ne doit pas interférer électriquement avec le reste du circuit. Du reste, pour assurer l'isolement, la piste cuivrée est coupée en dessous de ce contact interdit.

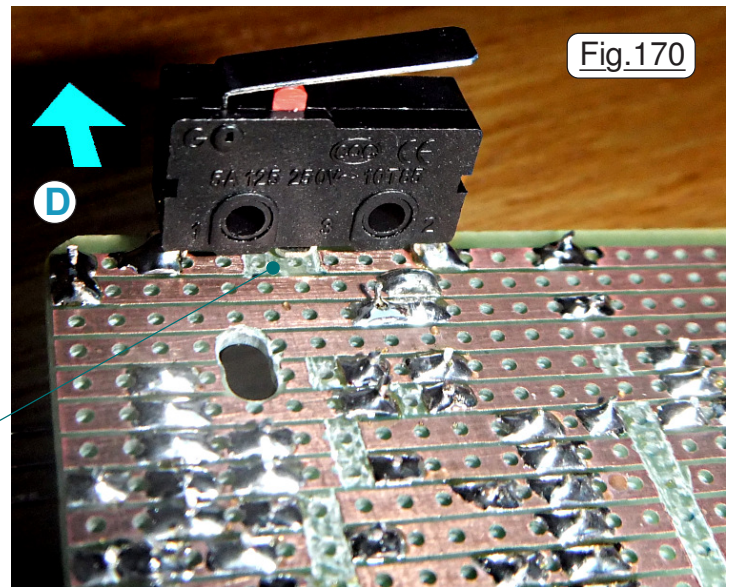


Considérons le dessin de la Fig.168 pour lequel la sonde n'est pas posée sur le sol, l'inverseur **Mc** n'est donc pas sollicité. Quand la sonde passe en mode **VEILLE** elle se pose sur les sabots **S** du bouclier. En ajustant finement la position axiale des écrous **E** et **E'** sur la vis **V** on optimise au montage la course **C** du micro-contacteur **Mc**. La plaque **P** du circuit imprimé principal dépasse vers l'arrière du bouclier **B**. Si l'on observe avec attention la Fig.169 on peut vérifier que **Mc** n'est pas soudé centré latéralement sur la piste cuivrée, mais **D**écalé vers l'extérieur comme symbolisé par la flèche bleue. Le but de ce petit décalage consiste à assurer un jeu **J** assez large entre **Mc** et **B** pour ne pas risquer d'interférence matérielle au montage, et faciliter au maximum l'assemblage final du circuit imprimé sur la structure.



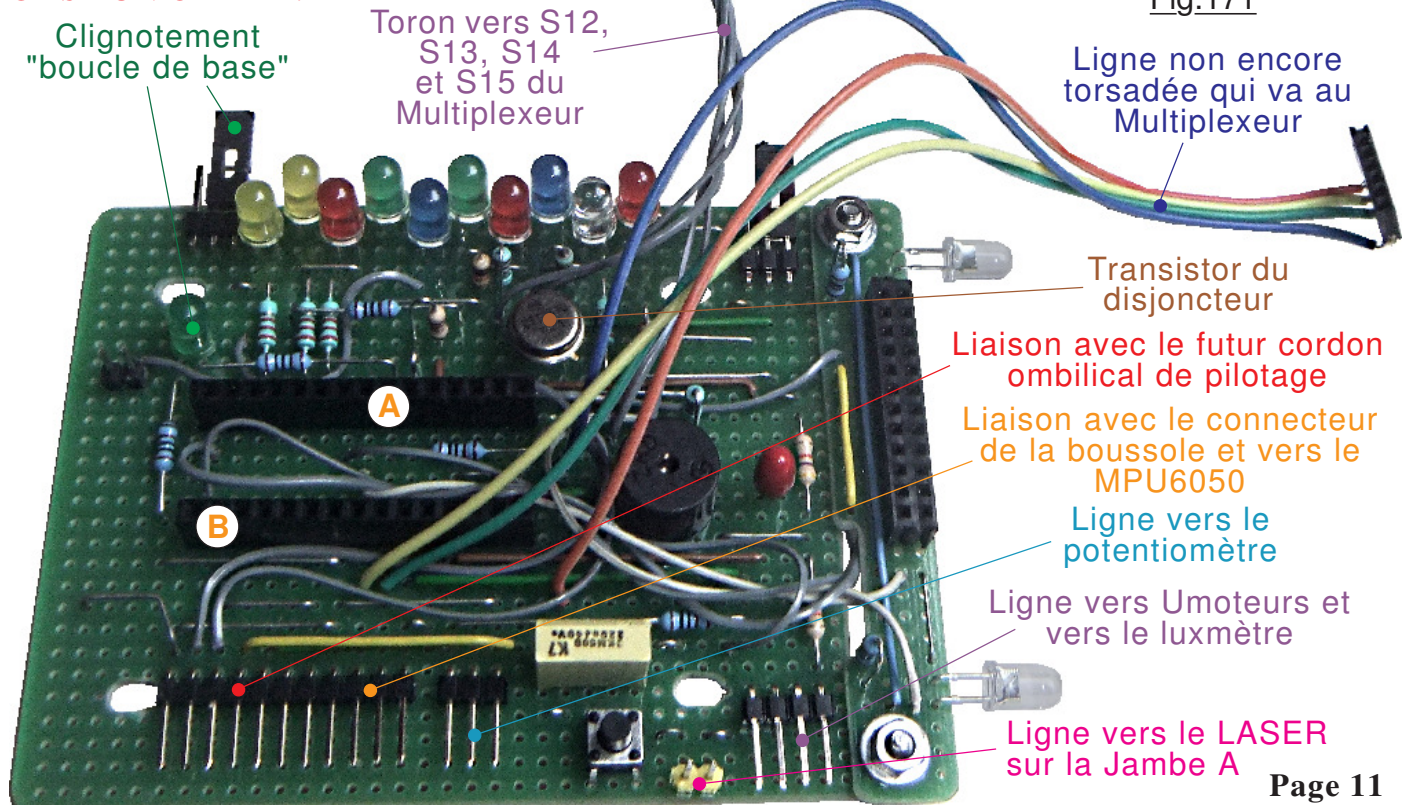
ATTENTION à orienter correctement la palette vers le milieu du châssis

La piste cuivrée est coupée sous le contact central qui ne touche pas le circuit imprimé



► Souder les dernières lignes de liaison et vérifier entièrement la carte.

Risquant une fois de plus de rabâcher, avant d'insérer Arduino NANO sur son support et de brancher l'alimentation il importe d'effectuer une vérification complète de la carte électronique. Assemblez provisoirement la carte pour tester la position des écrous et surtout varier la course sur **Mc**. Avec deux pointes de touche, une sur **GND** et l'autre reliée à un **+5Vcc** il est facile de simuler le microcontrôleur et d'allumer une à une les diverses LED, vérifier que le transistor du disjoncteur électronique fonctionne correctement etc. Il faut absolument superviser l'intégralité des branches du schéma de la **Fiche n°17**, ohmmètre en main. Vérifier qu'à strictement aucun endroit deux pistes voisines ne soient en contact alors qu'en théorie elles doivent être isolées. Ce n'est pas du temps perdu, et rien ne sera aussi valorisant que de voir la petite carte par sa minuscule prise USB au P.C. va fonctionner du premier coup. *(Ce fut en particulier le cas sur le prototype ...)* Rien ne serait plus frustrant de voir fumer un composant la piste voisine pile au mauvais endroit. **PARFAITEMENT et DU PREMIER COUP ...**



➤ Ça va cartonner !

Validation confirmée du circuit principal, nous allons enfin pouvoir placer l'ordinateur de bord sur les deux lignes **A** et **B** du support HE14. Avant il faut impérativement façonner une petite protection en carton qui plaquera les fils souples qui sont dessous et qui ne demandent qu'à se faire pincer quand on va enchâsser les 32 picots de branchement. La photographie [Image 22.JPG](#) montre la protection mise en place, alors que sur [Image 23.JPG](#) l'ordinateur est enfin en position. À ce

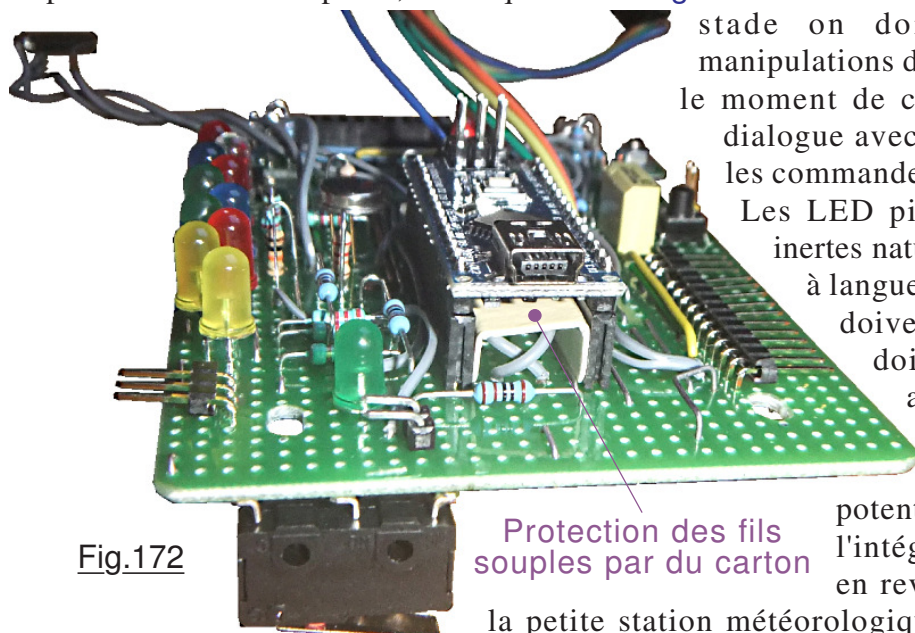


Fig.172

Protection des fils souples par du carton

stade on doit commencer les premières manipulations de la campagne de tests, inutile pour le moment de connecter le multiplexeur. Par le dialogue avec le moniteur de l'**IDE** tester toutes les commandes qui n'impliquent pas les moteurs.

Les LED pilotées par **S12** à **S15** resteront inertes naturellement. Si on enlève les "straps" à languette les diodes électroluminescentes doivent s'éteindre. Le mode **SOMMEIL** doit aussi aboutir au même résultat alors que les petits connecteurs valident à nouveau les éclairages.

Branchez provisoirement un potentiomètre et testez sa présence. Bref, l'intégralité des fonctions seront passées en revue les unes après les autres. Puis

la petite station météorologique est placée sur le connecteur et ses accusés de réception vérifiés sur l'écran de l'ordinateur. Ajouter le télémètre à ultrasons. Placer la main à proximité et enregistrez un panoramique. Ajoutez en provisoire une ligne pour brancher la centrale gyroscopique. La vie est belle, tout fonctionne et l'on va pouvoir s'occuper des deux autres petits circuits imprimés. Pensez à achever cette campagne de vérifications avec "q*".

➤ Un accouchement délicat.

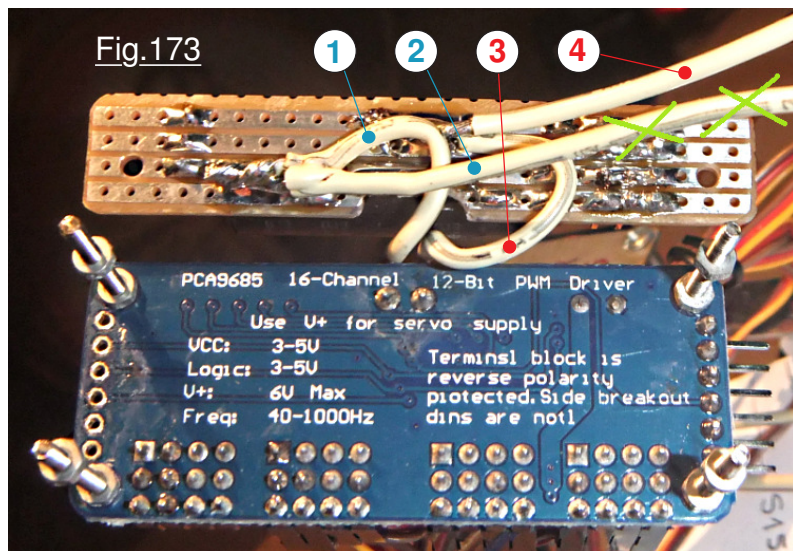
Réaliser le petit circuit imprimé qui supporte le condensateur de 470µF servant de réservoir énergétique des servomoteurs n'a pas été immédiat car on se heurte à un réel problème de promiscuité. Agencer la solution définitive sur le prototype a imposé de nombreux montages et démontages pour aboutir à un résultat satisfaisant. Aussi, pour vous éviter ces complications, nous allons procéder progressivement et dans l'ordre logique qui maintenant peut être dégagé des aléas passés. Posons calmement le problème pour lister les contraintes qu'il faut satisfaire. L'[Image 24.JPG](#) a été photographiée lorsque la sonde était entièrement assemblée, donc en configuration définitive. Sur le dessus du châssis l'espace vital est réduit par la présence des moteurs et surtout par les **Jambes** dont les mouvements ne doivent surtout pas être entravés. Le circuit imprimé qui supporte le condensateur de 470µF a donc été limité à quatre pistes cuivrées de largeur. ATTENTION : Les macrophotographies sont vraiment trompeuses. Les gros boulons visibles par exemple sur [Image 26.JPG](#) ne font que ϕ M2 mm. On voit nettement que sur [Image 24.JPG](#) le petit circuit imprimé est placé presque à toucher celui du multiplexeur. On remarque également que le condensateur réservoir présente un diamètre plus important que la largeur du petit circuit imprimé, donc il déborde. Hors on doit pouvoir faire circuler des fils (*Et des fils de forte section pour présenter une résistance électrique minimale.*) entre les pistes cuivrées et le bornier vert.

- **Ben ... ya pas la place Totoche !**

- **Pas le choix, faut en trouver et si possible que l'assemblage soit pas trop galère.**

Comme on ne peut pas écarter le circuit imprimé du multiplexeur, la solution consiste à ménager un passage pour les fils sur la petite plaque à trous. L'[Image 25.JPG](#) dévoile la technique utilisée. Le passage est suffisant pour laisser passer deux gros fils. Sur le prototype, cette échancrure a été pratiquée alors que le circuit était terminé. **Gnac, gnac**, deux coups de pince coupante ! Et impossible de passer une petite lime pour peaufiner. Aussi, vous aurez le pouvoir de préparer votre plaquette avant de faire les soudures, le dégagement sera bien plus esthétique.

Fig.173



Regardant la Fig.173 on ne peut que constater la grosseur des fils électriques soudés sur le petit circuit imprimé. Les deux liaisons 1 et 3 relient directement le condensateur de 470 μ F au petit bornier vert du multiplexeur. Vu la section de ces fils nous sommes certains que leur l'impédance sera faible. Initialement les deux autres fils 2 et 4 étaient prévus comme cordon ombilical pour alimenter les servomoteurs. Au final cette solution a été abandonnée car elle présentait de nombreux inconvénients. Quand on effectue les essais dynamiques pour la solution finale, on constate que ce

n'est pas la résistance de la ligne d'alimentation en puissance qui provoque les chutes de tension lors des appels de courant. C'est la diode de protection insérée en série et l'effondrement de l'alimentation secteur. L'alimentation en autonome par accumulateur a été abandonnée nous verrons plus avant pourquoi. Du coup, la grosseur de ces fils devient un inconvénient car ils chargent inutilement l'arrière de la sonde et sont un peu trop rigides. Pour faciliter les assemblages, déposes et autres aléas de la vie d'un prototype, c'est un petit connecteur HE14 à huit broches qui sert actuellement à brancher la ligne d'alimentation. Le gros fil 2 à été coupé à quelques centimètres et plié sous le circuit imprimé. Il n'est plus utilisé. Quand au fil 4, bien qu'un peu gros pour cet usage, il va au petit connecteur du circuit imprimé principal qui sert à mesurer la tension sur les moteurs.

Autre contrainte absolument incontournable : Ne pas créer d'interférence matérielle entre le palonnier de la [Hanche](#), ni avec le petit circuit imprimé, ni avec le corps du condensateur. On peut vérifier sur l'[Image 26.JPG](#) que pour assurer ce critère, le petit circuit imprimé doit se trouver à la même hauteur que celui du multiplexeur. On comprend facilement qu'il n'y avait vraiment pas la place pour laisser passer les gros fils vers le petit bornier vert. Suite à diverses études géométriques, il est ressorti le fait que de l'autre coté, vers l'avant, on pouvait placer un circuit imprimé un peu plus large. Aussi, bien que le dessin de ce dernier n'avait pas encore été étudié, il a été décidé d'installer un circuit de cinq pistes de largeur, quitte à diminuer par la suite si l'étude imposait un amaigrissement. Ce circuit à été taillé et percé des deux trous de fixation. Ainsi on pouvait passer à la réalisation des trous de passage de tous les éléments sur la plaque du multiplexeur.

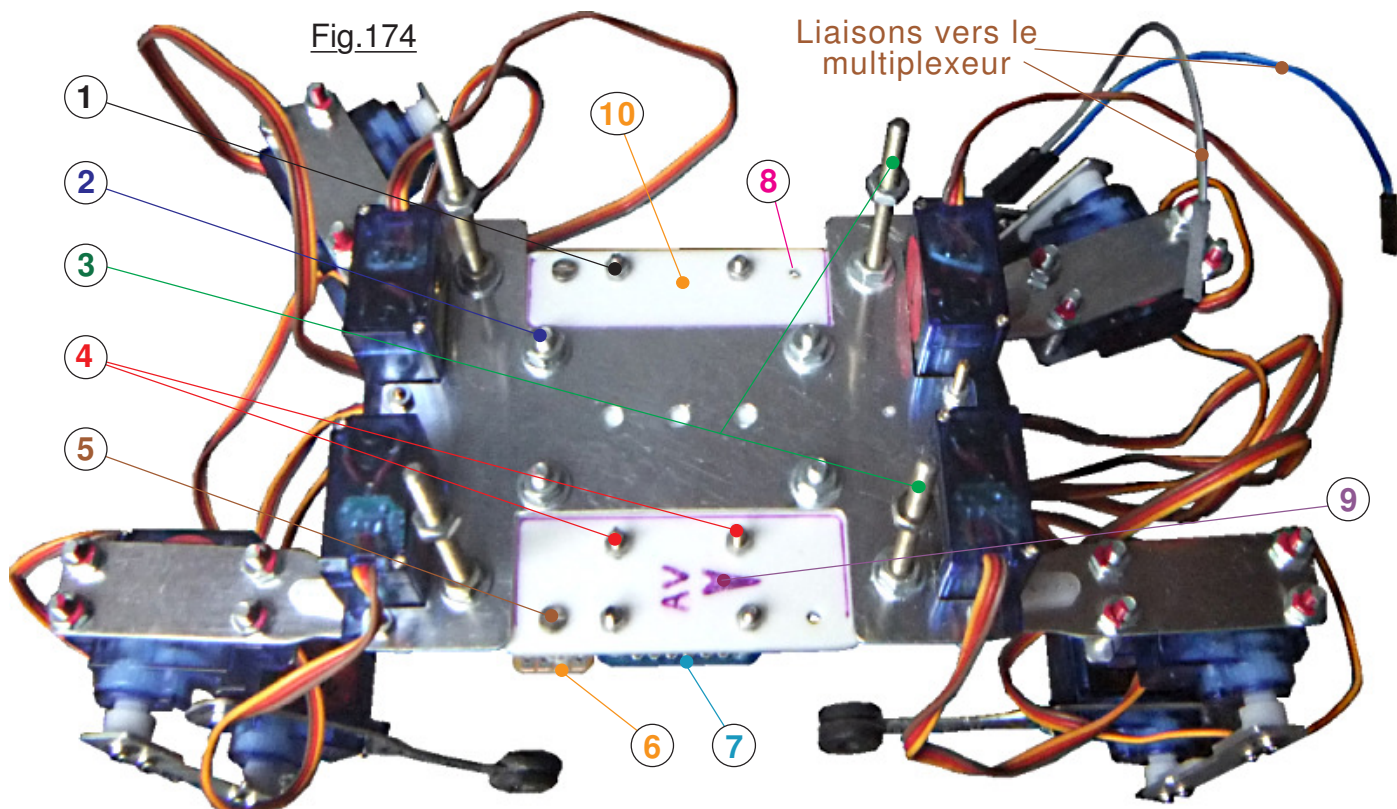
37) 04/12/2017 : Début de l'intégration des systèmes (MJD 58091)

Journée faste car on va commencer à préparer au bureau d'étude de la salle S2 quelques éléments mécaniques qui vont constituer la structure définitive du petit explorateur martien. Les électroniciens ont bien travaillé. Le circuit électronique principal est achevé. L'ordinateur de bord de JEKERT est enfin dans son élément naturel. Nous sommes plus de trois jours en avance sur le planning prévisionnel, c'est tout bon pour le moral. Dès que les dessinateurs auront terminés leurs plans, les "mécanos" vont usiner les pièces en S5, et l'on pourra enfiler les gants blancs pour assembler les nouveaux éléments sur JEKERT.

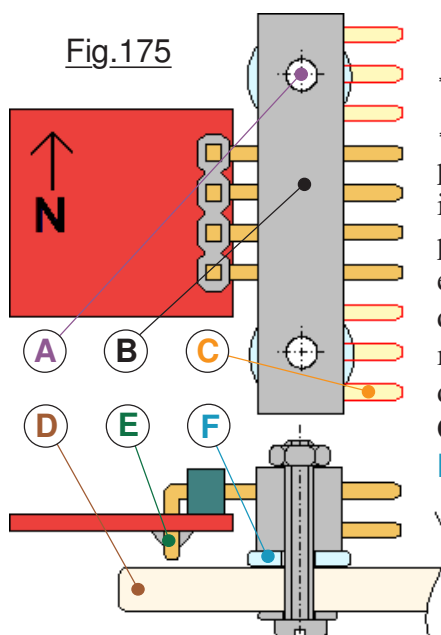
➤ Préparation de la plaque qui supporte le multiplexeur.

Terminer entièrement cette pièce est absolument vital pour pouvoir réellement débiter l'intégration. Sur le prototype il a été procédé à de multiples montages/démontages, inévitable quand on crée à partir de rien. On y va progressivement, pas à pas ce qui oblige souvent à déposer des organes pour pouvoir percer de nouveaux trous sur une plaque, ajouter un connecteur etc. La gestation du projet a demandé plus de sept mois. Pour les lecteurs de ce didacticiel c'est différent. Il vous suffit de prendre en compte l'intégralité de la solution possible et dès le début de terminer chaque élément avant de l'ajouter sur la structure. Donc, la première chose à faire consiste à terminer la petite plaque support du multiplexeur 10 qui se visse sur le châssis par les boulons ϕ M3 repérés 2 sur la Fig.174 qui représente l'état actuel de la sonde. Pour percer tous les trous il faut déposer cette plaque, donc commencer par libérer les petits boulons ϕ M2 en 1 qui supportent

le multiplexeur 7. En réalité, vous l'avez bien compris, sur la photographie qui montre JEKERT retournée sens dessus dessous, la plaque 10 est terminée et remontée sur le châssis. (Remarquez que pour faciliter le travail sur le dessous, les Tibias et les Griffes ont été placés manuellement vers le dessus de la sonde. Donc sur le dessous de l'image puisque JEKERT est retournée.) On distingue en 8 les deux trous pour la traversée de boulons ϕ M2 qui serviront à supporter le petit



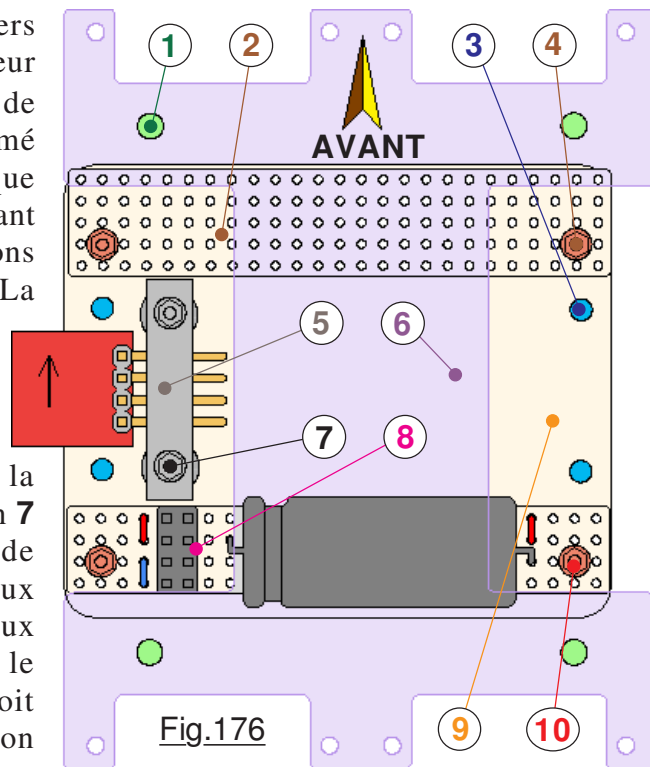
circuit imprimé du luxmètre non encore défini. En 5 on distingue les petits boulons ϕ M2 qui soutiennent le circuit imprimé 6 du condensateur de 470 μ F. Notez au passage qu'en 9 on trouve le tracé du contour du châssis et le sens de remontage de ce dernier. Le contour servait à vérifier que les divers trous soient assez éloignés du châssis pour ne pas que les écrous et les rondelles n'interfèrent matériellement avec ce dernier. Quand au sens, sachez que la symétrie des divers éléments mécaniques n'est pas parfaite, aussi repérez systématiquement pour chaque élément son orientation. (C'est à dire où se trouve l'avant et le dessus.) On retrouve facilement sur cette image les quatre boulons ϕ M3 longs 3 qui forment la structure rigide reliant le châssis avec le circuit imprimé principal et avec le bouclier. Enfin en 4 on constate la présence de deux petits boulons ϕ M2 qui servent à assurer la liaison entre 10 et le connecteur de la boussole statique.



➤ Le support du compas magnétique de route.

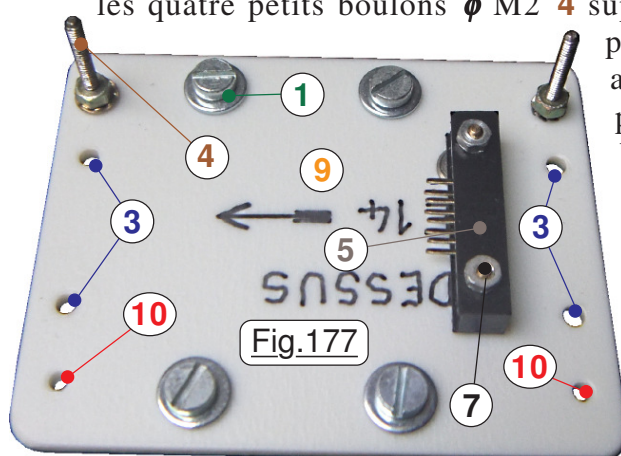
Depuis le TOME 3 nous savons vaguement qu'il est glissé en dessous du multiplexeur comme le montre la Fig.117, on ne peut pas dire que c'est suffisant pour comprendre les détails de son intégration. Le but de ce chapitre est de clarifier la situation sur ce point. Considérons la Fig.175 qui présente la boussole vue de dessus et de profil. En D se trouve le support du multiplexeur. Pour ne pas que les picots soudés E ne buttent sur D ce qui inclinerait le petit module, il faut utiliser un connecteur HE14 femelle à double rangées de lyres B. Ainsi en prenant les picots du haut on surélève le circuit. C'est insuffisant, raison pour laquelle on intercale une rondelle épaisse F. On retire avec une petite pince les 12 lyres telles que C pour dégager les extrémités. Pour immobiliser le connecteur B on le perce en A par des trous de diamètre 2,4mm. Il suffit alors de percer deux trous de passage des vis de liaison sur la plaque D de support du multiplexeur et du C.I. du condensateur de 470 μ F.

L'épure de la Fig.176 résume assez bien les divers perçages à prévoir sur le support du multiplexeur 9 immobilisé sur le châssis 6 par les longues vis de structure 1 qui servent à solidariser le circuit imprimé principal et le bouclier. Sur cette photographie la plaque 9 est représentée comme si elle était translucide, laissant entrevoir le châssis 6. En 3 se trouvent les petits boulons ϕ M2 qui soutiennent le module du multiplexeur. La **boussole** doit se trouver assez à l'extérieur pour pouvoir l'insérer ou la retirer assez facilement du connecteur HE14 repéré 5. Il faut placer le support 5 bien centré entre les vis 3 pour rendre aisées les manipulations de la **boussole**. Ce centrage détermine la position des deux trous de passage des vis de liaison 7 au diamètre ϕ M2. Sans que le circuit imprimé de complément 2 ne soit actuellement défini, ces deux boulons de liaison 4 sont au même écartement que ceux en 10 du circuit imprimé 8 dont on remarque sur le dessus un connecteur HE14 double rangées qui reçoit la ligne électrique du cordon ombilical d'alimentation en puissance des douze servomoteurs.



➤ **Installer la plaque supportant le multiplexeur.**

Forcément l'une des toutes premières phases de l'intégration des systèmes puisqu'elle supporte tout ce qui se trouve sur le dessus, et n'autorise la mise en place du circuit imprimé principal que lorsque tout ce qui dépasse sur le dessous est en place. C'est à dire que le connecteur de la **boussole** et les quatre petits boulons ϕ M2 4 supportant les circuits 2 et 8 sont immobilisés sur 9. La



plaque 9 entièrement percée est montrée sur la Fig.177 avec tous les repères identiques à ceux du dessin précédent. Notez qu'il est conseillé de mettre les deux petits boulons 4 en place avant d'installer la plaque 9 sur le châssis 6, c'est plus facile. Pour le moment ne pas immobiliser définitivement le multiplexeur car pour brancher la ligne sur 5 il faudra l'écarter de la plaque 9. Portons un petit regard sur [Image 27.JPG](#) qui présente la plaque en cours de finition. Vous pouvez vérifier que les trous sont assez éloignés du contour du châssis, il n'y aura aucun problème pour le passage des vis et des rondelles d'appui.

Bien qu'assembler la plaque 9 sur le châssis par ses quatre petits boulons courts ϕ M3 pourrait sembler évident, concrètement c'est une opération assez délicate qui mérite patience et surtout de bien préparer le travail. Tous les servomoteurs sont débranchés du multiplexeur. L'ensemble des **Jambe** a été écarté de la zone d'intervention, mais forcément se trouve en position de vulnérabilité, sans compter que régulièrement un **Tibia** ou une **Griffe** se positionnera exactement dans l'espace pour masquer un trou de passage ou la vis sur laquelle on tente désespérément de placer un écrou. N'oubliez pas que l'insecte mécanique sera retourné dans l'une des deux mains, et qu'avec l'autre il faudra déplacer la petite visserie, les pinces, les clefs de serrage. Bref, il faut avoir des mains de sage-femme ! Aussi, installez-vous confortablement, soignez l'éclairage et armez-vous de patience, car le minuscule écrou ϕ M2 qui vous échappe va ricocher sur le parquet et aller se cacher malicieusement sous le meuble le plus éloigné. (Si, si, je vous assure que c'est ce qui va se passer. Du coup mon épouse est contente, car pour retrouver le précieux écrou en question j'ai entièrement fait le ménage de la pièce et en particulier sous les meubles ... et je n'ai pas retrouvé ce scongregneugneu d'écrou ϕ M2 !) Bon, restons ZEN et observons sur la Fig.178 la préparation initiale du sous-ensemble juste avant de l'intégrer définitivement sur la structure.

L'ordre d'assemblage des éléments qui s'impose pour rendre l'opération aussi aisée que possible aboutit au protocole suivant :

On a réalisé la ligne électrique **X** qui se branche sur le connecteur HE14 de la **boussole** dédié sur le circuit imprimé principal à la ligne de dialogue I2C. Pour le moment, en **8** le module du condensateur est flottant, et le multiplexeur aussi car il faut pouvoir les soulever légèrement pour passer les vis et les rondelles ϕ M3 de fixation de la plaque **9** sur le châssis **6**. JEKERT retournée, on place **9** sur le châssis en prenant soin à ce que les vis de liaison ne ressortent pas des trous **Y**. Sur le châssis on place les rondelles, les écrous ϕ M3 et l'on peut enfin procéder au serrage de ces derniers. Le dessous étant pour le moment accessible, on va dans l'ordre placer la visserie **10** et immobiliser le circuit imprimé **8**. Puis dans la foulée on termine la liaison rigide du module multiplexeur. On peut également assembler les deux petits boulons ϕ M2 en **4** qui supporteront **2**. OUF, nous avons bien avancé. Les deux photographies [Image 28.JPG](#) et [Image 29.JPG](#) doivent ressembler assez à ce que vous avez obtenu sauf que le fil inutile **GND** n'est pas présent chez vous. Quand à celui du **+5Vcc** qui va vers la mesure de tension sur **A7** vous l'avez remplacé par un tout petit fil électrique, ça va sans dire !

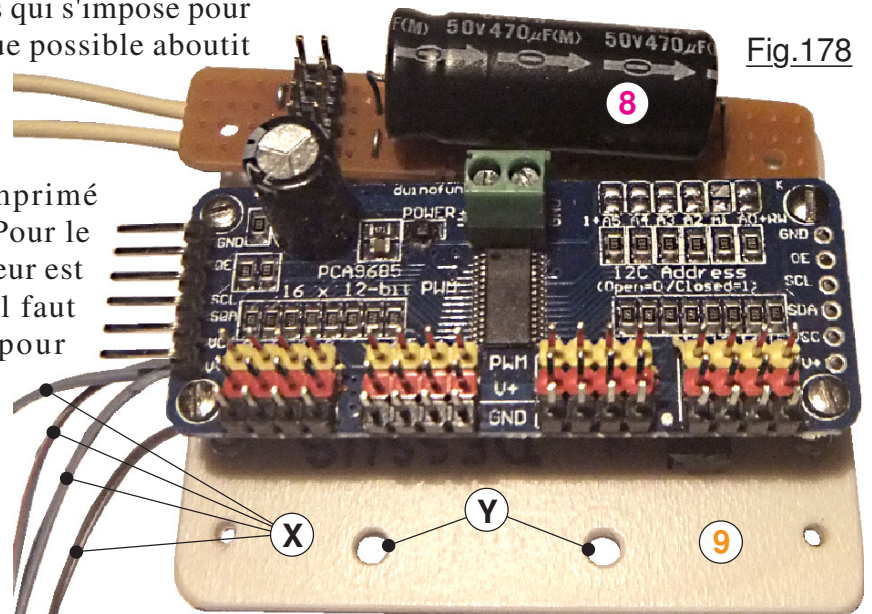


Fig.178

► Les bigoudis : Tournicoti tournicoton.

A ce stade de l'intégration des systèmes, il devient important de rebrancher les douze liaisons électriques entre les servomoteurs et le module multiplexeur. Tenter d'intégrer le circuit imprimé principal confine également à une opération assez délicate. Si les diverses liaisons des servomoteurs sont libres, elles brassent l'air et accrochent constamment tout obstacle se trouvant à leur portée dans leur environnement. Il suffit pour éviter ces phénomènes de rebrancher les petits connecteurs HE14. Hors cette opération impose de la pondération, car ils sont les uns sur les autres. Aussi, pour ne pas avoir à réitérer cette manipulation, *contrairement à ce qui a été fait*

chronologiquement sur le prototype, nous allons immédiatement offrir une permanente à JEKERT et soigner ainsi son élégance. "Coiffer" les lignes filaires qui vont vers les moteurs consiste à les raccourcir au maximum tout en leur laissant la souplesse indispensable aux mouvements mécaniques. Pouvant assurer des pointes de courant notables, les lignes qui alimentent les petits servomoteurs SG90 sont semi rigides. Si l'on effectue un pliage court, elles le conservent. Pour qu'en application de robotique elles puissent ne pas trop gêner les mouvements mécaniques, il faut leur laisser une longueur suffisante et les relier à la machine par une ample boucle plus ou moins courbe. L'encombrement en pâtit. Une solution très simple est possible puisque ces conducteurs électriques conservent une "mise en plis". Comme montré sur la Fig.179 le secret réside dans la queue de cochon. La ligne électrique est devenue courte et ne brasse plus l'air comme un sémaphore, tout en conservant une souplesse parfaitement opérationnelle.

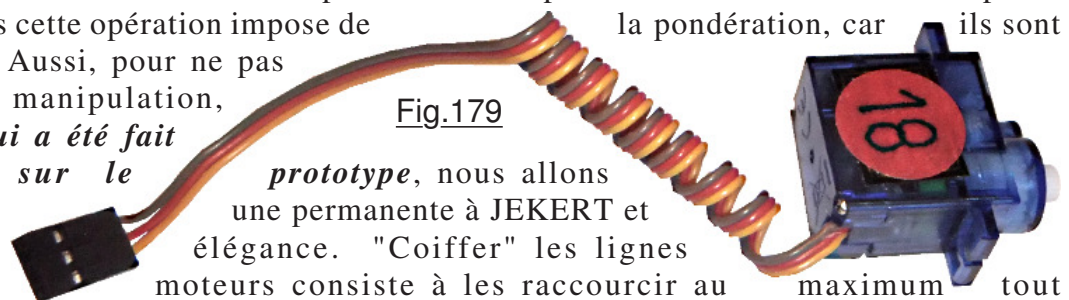


Fig.179

La ZEN attitude : Vous en avez forcément entendu parler. C'est une vue de l'esprit assez à la mode qui caractérise le comportement hypothétique d'un individu qui a laissé tomber ce @@@ d'écrou au sol. L'écrou est passé par la minuscule fente du plancher et se trouve définitivement perdu dans le vide sanitaire. Et bien ZEN reste courtois, pondéré, d'un calme olympien. Avec élégance il accepte ce petit aléa de la vie, et le convertit en une expérience tout à fait positive. **C'EST DU PIPOT, ÇA N'EXISTE PAS nom d'un écrou @@@@ !!!**

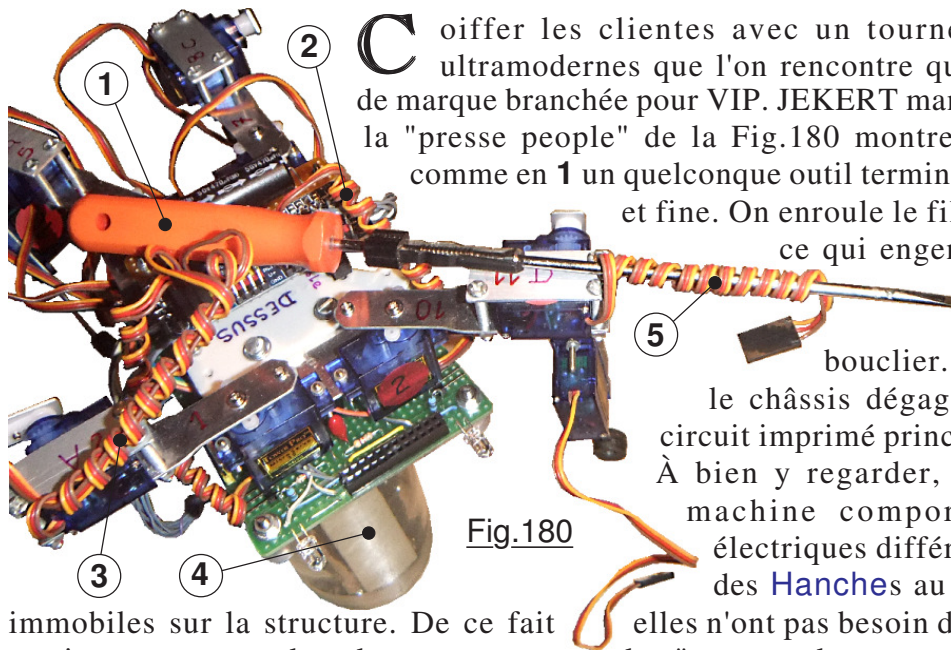


Fig.180

immobles sur la structure. De ce fait pratiquement toute leur longueur pour machine. Moins elles dépassent de la structure, moins il y aura de risque d'interférence avec les organes mobiles. Puis on trouve les moteurs des **Fémurs**. Ils occupent dans l'espace une position intermédiaire. Leurs lignes hélicoïdales seront courbées en une sorte d'arche pour les ponter sur le dessus de la sonde. Boudiner de cette façon les fils allant aux SG90 des **Genoux** ne conviendrait pas. En effet, les moteurs qui animent les **Griffes** sont un peu "loin". La ligne enroulée, inévitablement finirait par se mélanger avec les spires de celle des **Fémurs**. Pour contourner cette difficulté, la solution consiste, comme visible en **3**, à passer le fil de liaison à l'intérieur du "tuyau" que constitue la ligne torsadée du **Fémur**. Pratiquement terminée, sur la Fig.181 JEKERT est en **VEILLE**.

Coiffer les clientes avec un tournevis fait partie des méthodes ultramodernes que l'on rencontre quand on fréquente une enseigne de marque branchée pour VIP. JEKERT manifestement en fait partie puisque la "presse people" de la Fig.180 montre comment on procède. Choisir comme en **1** un quelconque outil terminé par une tige cylindrique longue et fine. On enroule le fil tel que **5** sur un diamètre faible ce qui engendre des courbures rémanentes.

La sonde est confortablement installée sur le bocal **4** sur son bouclier. Pour votre machine, ce sera sur le châssis dégagé dessous, puisque bouclier et circuit imprimé principal ne sont pas encore en place. À bien y regarder, on va constater que la petite machine comporte trois sortes de liaisons électriques différentes. Celles comme **2** qui vont des **Hanches** au multiplexeur. Les moteurs sont

elles n'ont pas besoin de souplesse. On les bobinera sur les "tasser et les recroqueviller" le plus possible sur la machine. Moins elles dépassent de la structure, moins il y aura de risque d'interférence avec les organes mobiles. Puis on trouve les moteurs des **Fémurs**. Ils occupent dans l'espace une position intermédiaire. Leurs lignes hélicoïdales seront courbées en une sorte d'arche pour les ponter sur le dessus de la sonde. Boudiner de cette façon les fils allant aux SG90 des **Genoux** ne conviendrait pas. En effet, les moteurs qui animent les **Griffes** sont un peu "loin". La ligne enroulée, inévitablement finirait par se mélanger avec les spires de celle des **Fémurs**. Pour contourner cette difficulté, la solution consiste, comme visible en **3**, à passer le fil de liaison à l'intérieur du "tuyau" que constitue la ligne torsadée du **Fémur**. Pratiquement terminée, sur la Fig.181 JEKERT est en **VEILLE**.

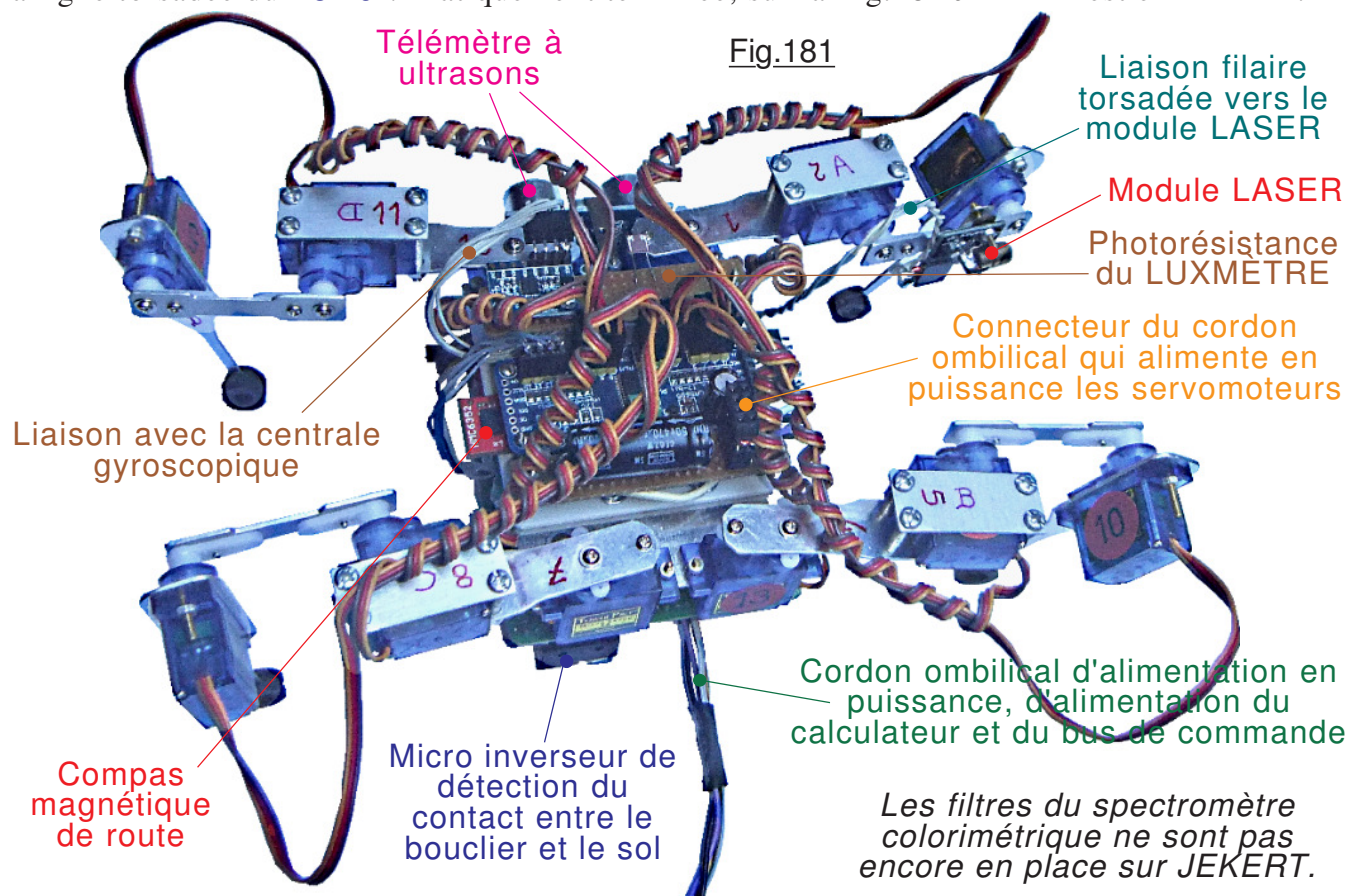


Fig.181

Ben Môamôa quand j'ai voulu coiffer Grand mère avec un tournevis, elle m'a appris plein plein plein de noms d'oiseaux dont j'ignorais totalement l'orthographe !

38) 05/12/2017 : Intégration de la grande carte électronique (MJD 58092)

Enfin JEKERT va grandir et adopter sa morphologie adulte. Avec la mise en place du circuit imprimé principal, la compacité du petit animal mécanique va prendre le dessus. Les divers modules seront réunis par des liaisons courtes. Bref, le personnel profitera des pauses journalières pour aller l'admirer derrière les vitres étanches, installée sur son berceau en salle S6.

On se doute que l'assemblage final du circuit imprimé principal sur la structure représente une opération délicate. Les diverses lignes qui seront reliées sur les périphériques du dessus doivent

avoir été correctement torsadées pour les compacter et en faire des lignes électriques plus résistantes mécaniquement. Elles sont réalisées les plus courtes possibles compatible avec des branchements/dépose aisés. Avant de concrétiser l'intégration définitive, il importe de procéder une dernière fois à des essais complets de l'intégralité de l'électronique. À l'usage, on constate que les LEDs d'Arduino, et particulièrement celle qui témoigne de la présence du +5Vcc rayonnent une clarté trop importante.

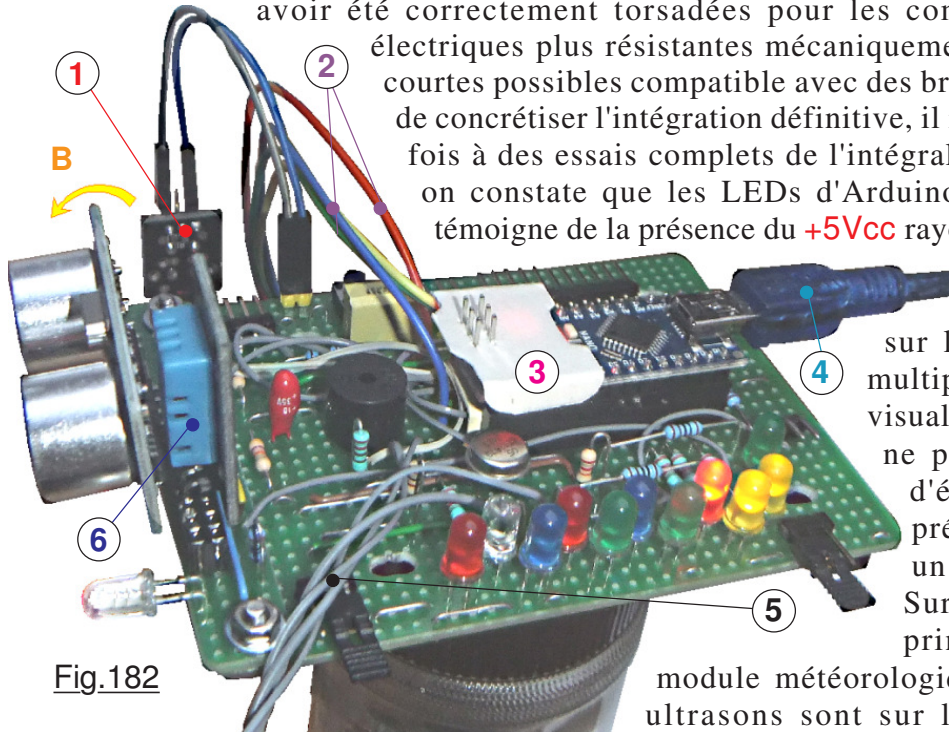


Fig.182

Hors cette information n'est pas vitale, d'autant plus que sur le dessus le module du circuit multiplexeur pour son propre compte visualise la présence de l'énergie. Pour ne pas trop diffuser sur les LEDs d'état de la sonde, on a, comme présenté sur [Image 30.JPG](#) ajouté un petit masque en carton rigide. Sur la Fig.182 le circuit imprimé principal repose sur un bocal, le module météorologique 6 ainsi que le télémètre à ultrasons sont sur le connecteur HE14. On peut observer que les lyres des contacts électriques présentent un certain jeu. Étant en porte à faux le petit circuit **B**ascule en avant et pointe vers le bas. Il faudra le maintenir vertical par un dispositif mécanique quelconque. La liaison externe 2 vers le multiplexeur est branchée par des fils provisoires longs. Le module LASER 1 pend dans le vide. On relie la mini prise USB 4 au P.C pour effectuer cette dernière campagne de vérifications. Les LEDs de la petite carte Arduino NANO s'illuminent, ce que l'on observe en 3 à travers le morceau de carton. Les fils du encore été torsadés contrairement à ceux de 5 qui vont au connecteur sur S12 à S15 du multiplexeur. L'[Image 31.JPG](#) présente en cours de dernière vérification pour le valiser

Quand la certitude prédomine, on retire les transducteurs, le LASER et tout ce qui se débranche. Avant de procéder à l'assemblage, la ligne qui va au multiplexeur est soigneusement "compactée" en X. Par ailleurs, le plus sûr moyen de ne pas avoir de mauvaise surprise avec la ligne qui se branche sur S12 à S15 du multiplexeur consiste à la brancher provisoirement sur le connecteur du "strap" de coupure de la LED verte. Comme montré en Y de la Fig.183 un seul picot suffit. Puis, on a placé les quatre écrous et les quatre rondelles ϕ M3 sur les vis longues de la structure. Tous les outils sont étalés sur le bureau. On prend JEKERT retournée dans la main, on amène tendrement le circuit imprimé principal, on vérifie bien qu'aucun petit fil souple n'est pincé. On peut vérifier sur

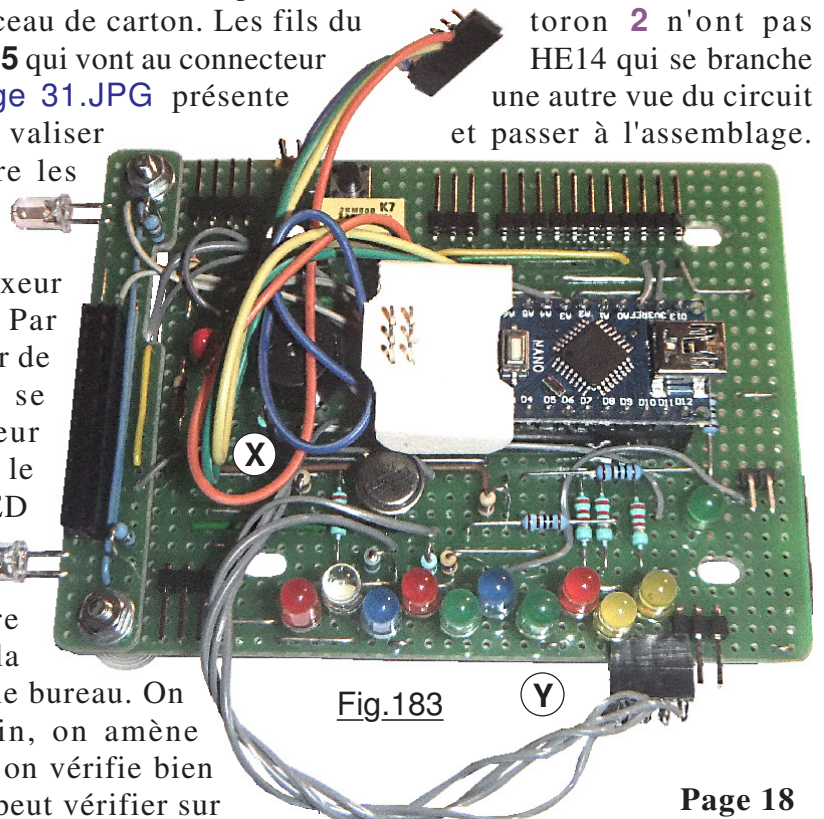
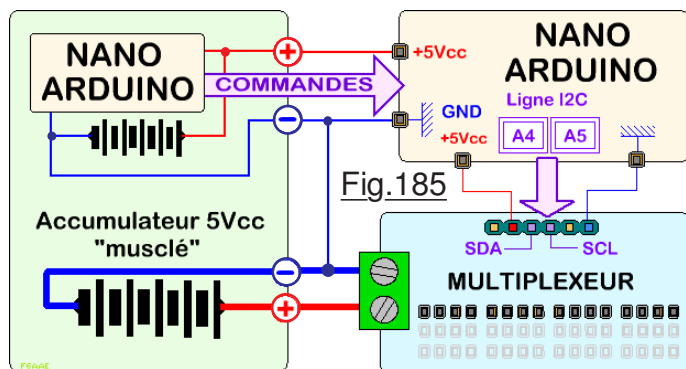
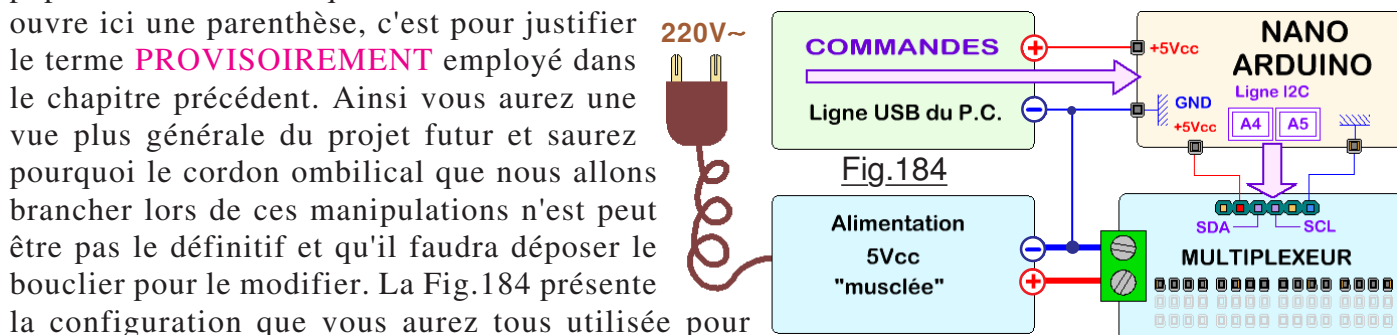


Fig.183

Image 32.JPG que le petit condensateur de filtrage rouge passe bien entre les corps des deux servomoteurs. L'on place alors les rondelles isolantes rouges ainsi que les entretoises. On ajoute les rondelles métalliques d'appui et JEKERT est en configuration "sur le dos" pour mettre en place **PROVISOIREMENT** le bouclier. (Pour bien comprendre la manipulation, consultez la Fig.189 qui présente la sonde dans la posture permettant de réaliser cette phase de finalisation de la structure du corps du petit robot.) En effet, ainsi complétée, la sonde sera pratiquement en apparence définitive. On pourra la placer sur son bouclier et continuer l'intégration des autres éléments, réaliser les lignes électriques non encore disponibles. Ce n'est que tout à la fin, JEKERT étant entièrement terminée, que l'on aura peut être à redémonter le bouclier pour modifier le cordon ombilical. Comme il n'y aura que les quatre écrous inférieurs à déposer, ce sera facile.

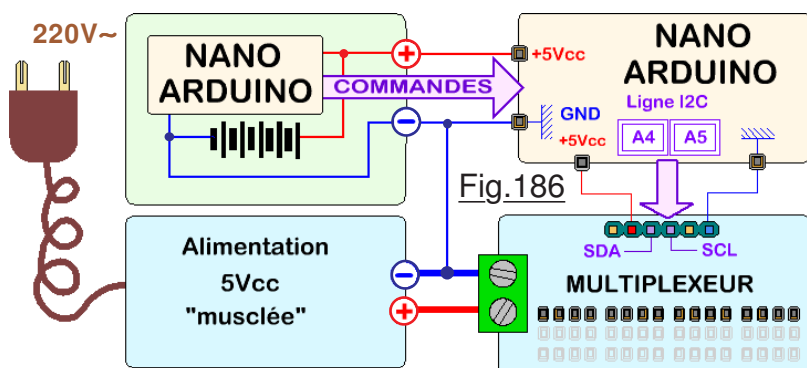
➤ Les options possibles.

Comme l'affirme un dicton chinois, *"C'est très difficile de prédire l'avenir, surtout quand c'est pour plus tard !"* Aussi, bien que seule la faisabilité a été vérifiée, il est prévu sérieusement de compléter cette saga par un **TOME 5** dans lequel il sera question de réaliser un pupitre de commande qui se substituera au P.C. et rendra ainsi la sonde totalement autonome. Si on ouvre ici une parenthèse, c'est pour justifier le terme **PROVISOIREMENT** employé dans le chapitre précédent. Ainsi vous aurez une vue plus générale du projet futur et saurez pourquoi le cordon ombilical que nous allons brancher lors de ces manipulations n'est peut être pas le définitif et qu'il faudra déposer le bouclier pour le modifier. La Fig.184 présente la configuration que vous aurez tous utilisée pour conduire toutes les études et faire les expérimentations. Dans cet arrangement, c'est une alimentation secteur 220V~ qui alimente en puissance le multiplexeur. Le calculateur Arduino est alimenté à part par la ligne USB du Moniteur série de l'IDE qui lui transmet les **COMMANDES** de pilotage.



Particulièrement séduisante, la solution de la Fig.185 consiste à incorporer dans le petit pupitre de pilotage autonome deux sources d'énergies. Un petit accumulateur 9Vcc ou 5Vcc qui alimente la carte Arduino animant JEKERT, et la carte Arduino assurant la gestion du pupitre. Un gros accumulateur 5Vcc se charge de fournir les courants importants consommés en transitoire dans les servomoteurs. Bien qu'idéale ce ne sera pas celle retenue dans ce didacticiel.

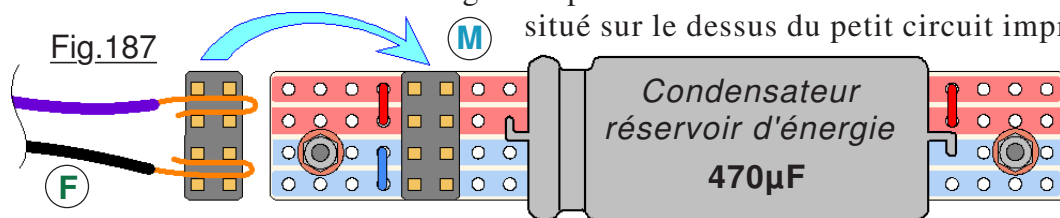
Finalement, c'est la solution de la Fig.186 qui a été retenue. Elle sera justifiée dans le **TOME 5**, mais *n'interdit absolument pas que vous puissiez opter pour une solution locale entièrement autonome*. En effet, si vous analysez les dessins, que ce soit pour la configuration de la Fig.185 ou celle de la Fig.186 dans les deux cas la sonde ne "voit pas la différence". C'est coté raquette de pilotage que les branchements sont différents. Dans les deux cas on devra réaliser un cordon ombilical avec deux fils de puissance, deux lignes plus petites pour l'alimentation de la carte Arduino, et des fils



pouvant adopter des sections très faibles pour le bus de **COMMANDE**. Dans le cas d'un pilotage avec l'IDE on se contentera de ce que l'on va faire dans ce chapitre, c'est à dire de ne réaliser que le cordon ombilical de puissance. Si un jour vous franchissez le pas pour un pilotage autonome, il suffira de déposer le bouclier et de compléter le cordon ombilical avant de le réinstaller sur JEKERT. **Page 19**

➤ Préparer un cordon ombilical provisoire.

P réalable à l'assemblage du bouclier, il faut disposer de la ligne électrique qui assurera l'alimentation électrique des servomoteurs, car elle conditionne la mise en place du bouclier. En effet, elle est coincée entre ce dernier et le circuit imprimé principal. Un petit retour sur la Fig.173 remémore la toute première approche qui consistait pour alimenter les moteurs à souder deux gros fils sous le circuit imprimé du condensateur de $470\mu\text{F}$. Puis estimés trop rigides, les deux fils **2** et **4** ont été oubliés. La ligne de puissance se branche actuellement sur le connecteur HE14

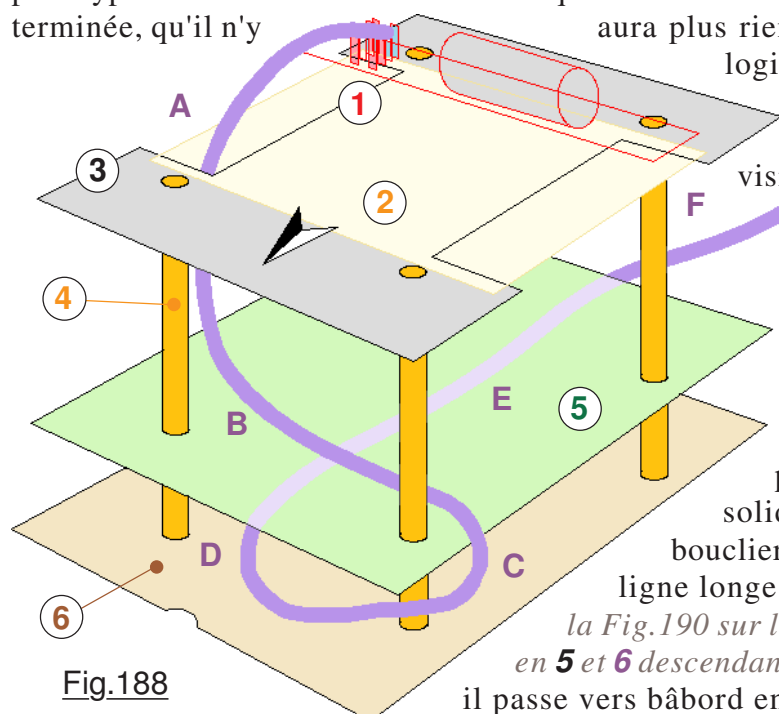


situé sur le dessus du petit circuit imprimé. Pour minimiser les résistances électriques des contacts entre les broches, sur le circuit imprimé on place en **M** de la Fig.187 un connecteur HE14 *mâle* à huit picots. En effet, une règle élémentaire de sécurité fondamentale consiste à **toujours placer en "sortie d'une ligne électrique quelconque" des prises femelles** pour éviter des contacts accidentels. Le cordon ombilical de puissance sera donc branché sur le dessus à l'aide d'une petite fiche HE14 femelle **F**. Quatre picots sont soudés sur le **+5Vcc** dont le fil est violet sur le prototype. Quatre autres lyres sont soudées sur **GND** dont l'isolant du fil est noir.

L'environnement de développement n'est pas forcément très lumineux. En particulier quand la nuit est tombée, (*La pauvre, passer sa vie à tomber, c'est un coup à se faire mal ça !*) et que seule la lampe du bureau de l'ordinateur éclaire le clavier. La sonde est alors dans une zone de pénombre. Hors durant les procédures de tests, on branche, on débranche, on mesure des tensions. Bref, il faut y voir un minimum. L'[Image 33.JPG](#) montre une petite baladeuse électrique improvisée qui fait partie intégrante du matériel expérimental du laboratoire Arduino. Pour pouvoir la brancher facilement sur la sonde, comme sur le dessus de cette dernière on dispose de place, la petite prise **F** a été complétée en soudant en gigogne une deuxième couche femelle picot à picot. L'[Image 34.JPG](#) présente en gros plan la fiche double gigogne qui amène l'énergie sur les servomoteurs. Notez que sur [Image 35.JPG](#) la ligne part directement sur le côté de la sonde. Les picots soudés sont "barbouillés" en rouge d'un côté et en vert de l'autre pour éviter une inversion accidentelle de branchement lors des nombreuses manipulations de mise au point de la petite machine.

➤ Mise en place du bouclier de protection.

P hase ultime de concrétisation de la structure résistante de JEKERT, on a branché *la ligne d'alimentation*. Peu importe ce qui sera branché à son autre extrémité. *Sa longueur* sur le prototype *est d'environ deux mètres* ce qui me semble amplement suffisant. Quand elle sera totalement terminée, qu'il n'y



aura plus rien à jouter tant au point de vue matériel que logiciel, on va s'amuser un peu. Puis la précieuse mécanique sera ragée confortablement dans sa boîte à chaussures et oubliée jusqu'à la visite d'amis qui désireront la voir se trémousser.

Elle franchira probablement jamais de longues distances. Aussi, tout au moins pour l'usage que j'en fais, deux mètres sont plus que suffisants. Considérons sur le croquis de la Fig.188 le cheminement de cette ligne électrique représentée en violet.

La structure globale est représentée en **3** pour le châssis, avec les vis longues **4** qui solidarisent le circuit imprimé principal **5** et le bouclier **6**. Sortant sur le côté du connecteur **1**, la

ligne longe en **A** le flanc tribord de la sonde. (*Observez la Fig.190 sur laquelle le faisceau en zone **A** est bien visibles en **5** et **6** descendant et partant vers l'intérieur*) Puis de l'intérieur

il passe vers bâbord en **B** pour ressortir en **C** et

passer vers l'avant en restant au-dessus du bouclier **6**. La photographie de l'[Image 36.JPG](#) montre la ligne ombilicale complète sortant sur bâbord avant d'être pliée vers le dessous pour passer vers l'avant au dessus du bouclier. Courbée alors vers l'arrière en **D** elle passe en **E** entre le bouclier **6** et le circuit imprimé principal **5**. Puis, coincée entre les deux elle ressort vers l'arrière en **F** pour aller se poser au sol par souplesse. Mis à part le fait que sur la

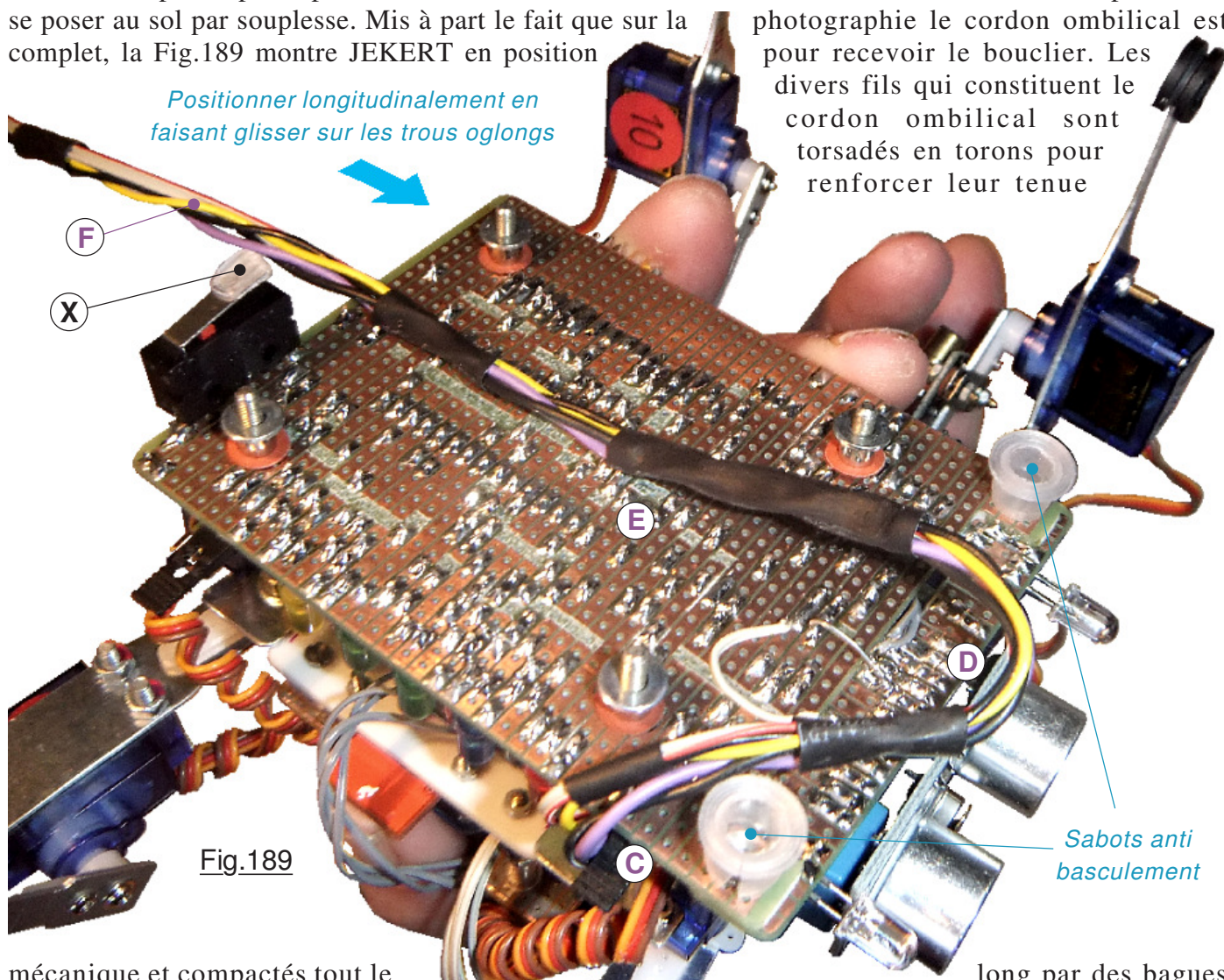


Fig.189

photographie le cordon ombilical est pour recevoir le bouclier. Les divers fils qui constituent le cordon ombilical sont torsadés en torons pour renforcer leur tenue

mécanique et compactés tout le long par des bagues de gaine thermo-rétractables régulièrement réparties tous les 9 cm environ. Mettre en place le bouclier, les rondelles métalliques d'appui et serrer modérément les écrous. Si le cordon ombilical est définitif, munir les écrous des sabots avant leur mise en place. Sur la Fig.189 en **X** se trouve une petite butée autocollante en caoutchouc synthétique. Elle a été remplacée par la petite bague en caoutchouc de la Fig.161 car elle se décollait et ne restait pas à demeure. Notez au passage que l'assemblage du bouclier n'est pas spécialement compliqué. On ne peut pas poser la petite mécanique qui reste constamment dans notre main. Seule l'autre est disponible. Aussi, pour mener à bien cette opération il importe de bien préparer tous les outils dont on aura besoin à l'avance. Par ailleurs, le cordon ombilical de deux mètres ne demande qu'à compliquer les choses. Aussi il convient, avant de commencer la manipulation, de l'enrouler et le maintenir dans une boucle avec du petit fil rigide.

➤ Un petit résumé de la connectique sur tribord.

Maintenant que l'on peut poser JEKERT sur son bouclier et que la structure principale est en place, nous allons compléter la machine en assemblant les divers modules scientifiques. Avant de continuer la description, il me semble utile de vous présenter le flanc tribord de la machine avec tous les connecteurs en place, histoire de faire un petit résumé d'anticipation.

La Fig.190 est une photographie réalisée avec la sonde en version ultime, c'est à dire celle qui se pilote avec une raquette de commande. Sur cette vue les sabots anti-basculement **11** sont en place, mais pas encore ceux du bouclier. Le bouton de RESET est parfaitement visible. Le connecteur initialement prévu pour brancher un potentiomètre supporte maintenant en **8** un petit

adaptateur pourvu d'une LED rouge. (Les explications le concernant ainsi que son utilité seront abordées dans le **TOME 5** si l'avenir lui permet de voir le jour.) Ce qui frappe le plus quand on regarde cette image, c'est la compacité matérielle. On peut affirmer qu'il n'y a pas beaucoup de place perdue à l'intérieur de la structure. Si une mouche veut traverser, il vaut mieux qu'elle se munisse d'un GPS ! En 1 se trouve le gros fil **GND** actuellement inutilisé et replié vers l'intérieur. Partant du dessous, on voit monter en 2 la ligne à quatre couleurs qui se branche sur le multiplexeur. Le paquet de fils qui sort en 3 est en réalité la continuité de 12. Cette ligne part du petit connecteur HE14 à six broches qui véhicule la ligne I2C vers la boussole et vers la centrale gyroscopique. Le gros barreau 4 n'est pas autre chose que le **+5Vcc** du "circuit 470µF" qui se branche sur le connecteur HE14 à quatre picots en 10. Sur votre exemplaire, c'est un tout petit fil comme ceux de 3 par exemple. En 5 et 6, torsadés intimement, transitent les deux fils de section moyenne constituant le cordon ombilical de puissance 5Vcc. La petite ligne torsadée 7 vient de la cellule photorésistante

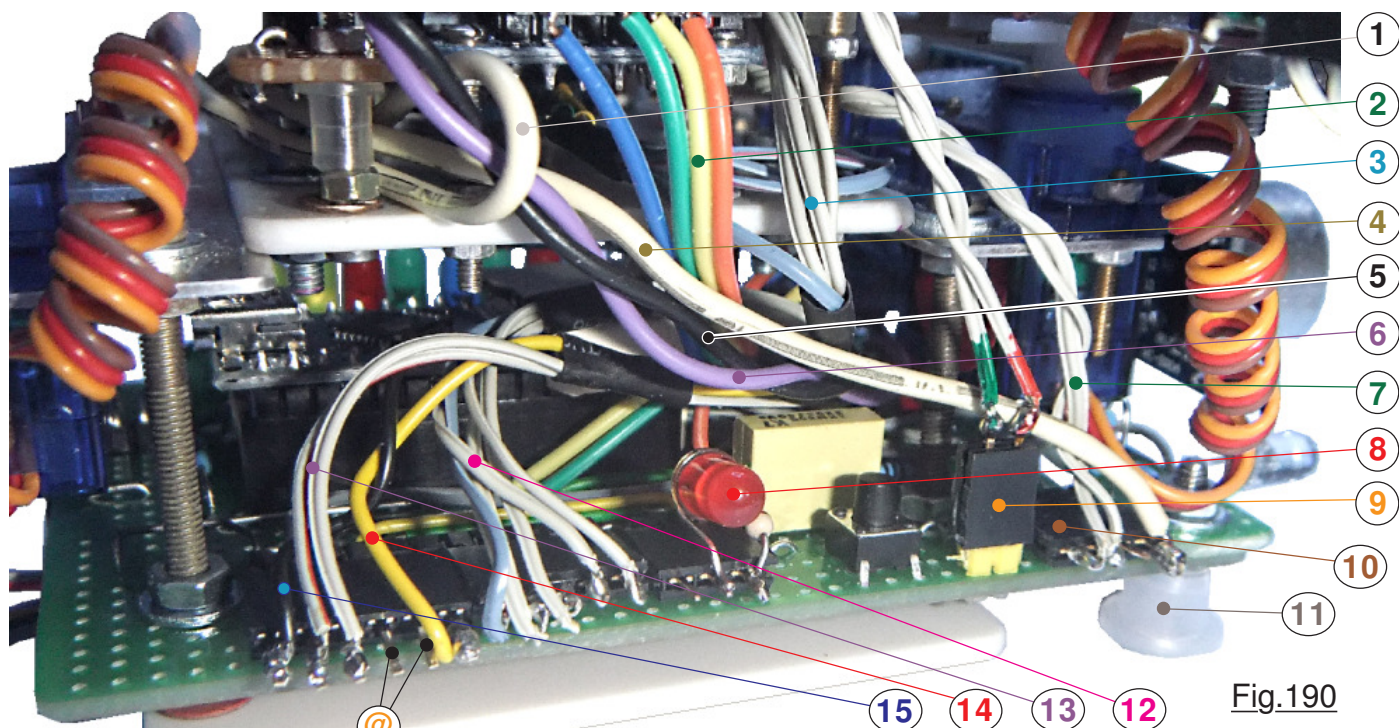


Fig.190

du luxmètre colorimétrique. En 9 est branchée la ligne filaire, également bien torsadée, qui alimente le LASER. Notez que pour diminuer le risque d'inversion lors des nombreux essais, les deux fils sont colorés pour en repérer la polarité. Le cordon ombilical qui relie la carte Arduino de la sonde à celle de la raquette de commande est branché sur le connecteur situé en bas à droite. Initialement six fils étaient prévus. Dans la version définitive seuls quatre sont utilisés, les deux picots @ restant non soudés. En 13 nous avons la ligne de dialogue croisée TX / RX dont la fonction sera détaillée dans le **TOME 5**. Le fil jaune en 14 est soudé sur le picot le plus à droite sur le connecteur. Il amène le **+5Vcc** au calculateur de bord. En 15 c'est **GND** qui est soudé sur le premier picot. Ces deux fils constituent la ligne énergétique pour l'Arduino NANO de JEKERT. Vu que le courant total peut aller jusqu'à 90 mA, (Voir la fiche signalétique au début du **TOME 3**.) on utilise deux fils de section plus importantes que ceux des minuscules lignes ne véhiculant que des signaux binaires.

➤ Souder les petits fils sur les non moins petits connecteurs HE14.

Opération d'une banalité à pleurer pour un électronicien averti, arriver à souder ces minuscules conducteurs sur les broches des connecteurs HE14 sans faire de court circuit intempestif avec la broche voisine peut tourner au cauchemar pour la roboticienne ou le roboticien occasionnel si l'on ne s'y prend pas correctement. Par correctement, il faut interpréter comme *"Se faciliter la mission en préparant bien son travail"*. Pour que cette manipulation ressemble à de la routine, deux conditions seront réunies en préalable : Le petit connecteur HE14 qu'il soit mâle ou femelle sera bien tenu dans l'espace et ne bougera pas quand on va appliquer le fil de soudure. (Inutile de vous préciser que le fer à souder est bien adapté à ce travail d'orfèvre. C'est un petit modèle avec une pointe fine. Le rouleau de soudure est de première qualité et de petite section.)

Sur [Image 37.JPG](#) il s'agit d'une simple pince à auto serrage. Comme elle n'est pas assez stable, ce que ne montre pas la photographie, c'est que par dessus est posé une autre grosse pince plus massive pour faire poids. La deuxième condition réside dans la facilité à enrouler les tout petit fils électriques autour des broches du connecteur. Cette phase est particulièrement indigeste quand on tente directement l'opération sur le connecteur. Elle devient totalement aisée qui on commence, comme montré sur [Image 37.JPG](#), à donner au conducteur en cuivre la forme d'une queue de cochon s'enroulant exactement sur la broche du connecteur HE14. Pour réaliser cette préparation, on a récupéré la lyre d'un connecteur dont les broches sont longues et l'on s'en sert de gabarit.

39) 06/12/2017 : Intégration des capteurs situés à l'avant (MJD 58093)

L'encombrement du capteur météorologique et celui du télémètre à ultrasons étaient pris en compte lors de leur implantation sur le circuit imprimé principal. Bien que relativement volumineux, ces deux modules ne posent donc pas de problème d'interférence, tant avec le corps fixe qu'avec les éléments mobiles. Par exemple sur [Image 39.JPG](#) le module météorologique passe

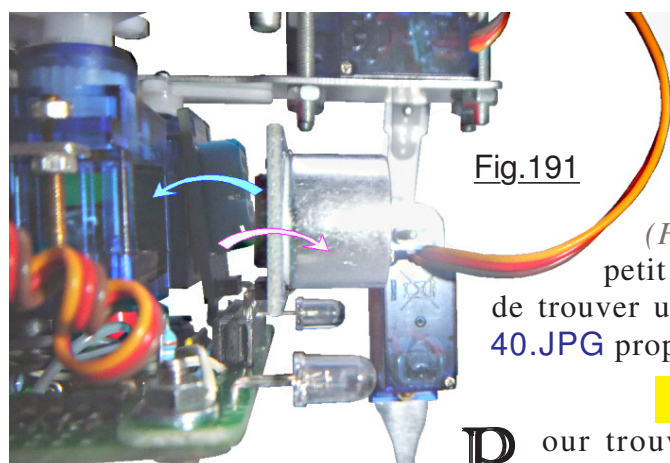


Fig.191

très en dessous de la **Hanche** de la **Jambe D**.

Bien que de mauvaise qualité, la Fig.191 qui observe la sonde vue du côté tribord montre que le jeu dans les lyres du connecteur laisse le module météo basculer à gauche. (*Flèche bleue.*) Le module à ultrasons pour son compte se penche vers l'avant. (*Flèche rose.*) Pour le petit module bleu ce n'est qu'un petit détail esthétique, pour le capteur ultrasons il importe de trouver une solution mécanique pour le redresser. L'[Image 40.JPG](#) propose une vue plongeante proche des deux capteurs.

➤ immobiliser les deux capteurs.

Pour trouver une solution mécanique simple, considérons [Image 41.JPG](#) sur laquelle il est manifeste que l'écrou ϕ M2 qui solidarise le servomoteur sur le châssis dépasse légèrement en hauteur au dessus du circuit imprimé du module capteurs à ultrasons. Ce détail permet d'agencer une toute petite bride métallique. Proposée en Fig.192 le dessin représente le petit servomoteur immobilisé sur le châssis **6** par l'écrou de liaison **E** la petite bride **4** qui plaque vers la gauche le quartz **5** du module ultrasons. Le module météorologique **3** est maintenu bien vertical par le petit bloc de mousse synthétique **2** intercalé entre son circuit imprimé et le servomoteur de la **Jambe D**. Comme **3** prend appui sur les dépassements de composants du module ultrasons, (*Pas de problème électrique car le boîtier bleu clair est isolant.*) l'ensemble est entièrement solidaire et plus rien ne peut bouger.

Sur la Fig.193 le petit bloc de mousse synthétique **2** est à peine visible.

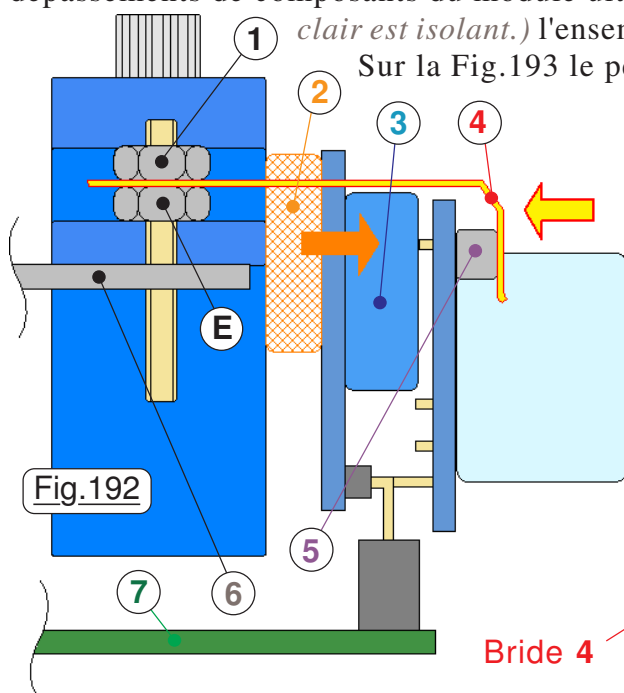


Fig.192

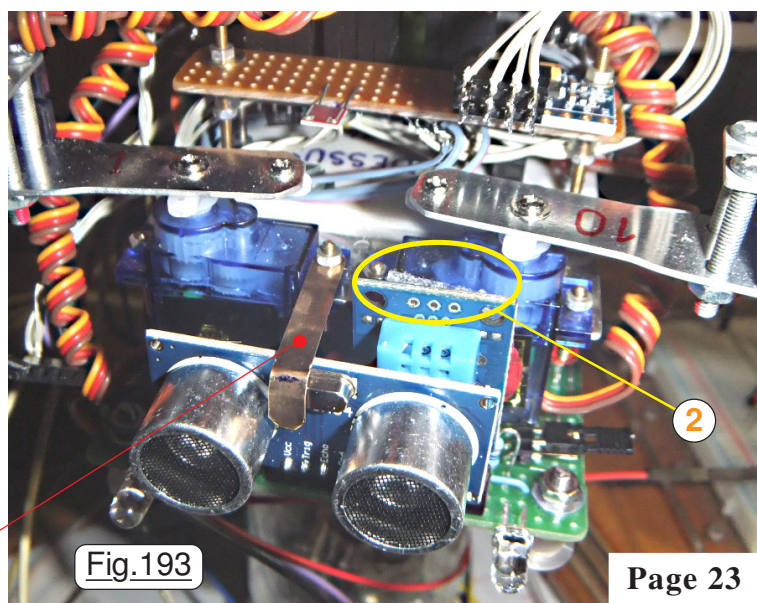


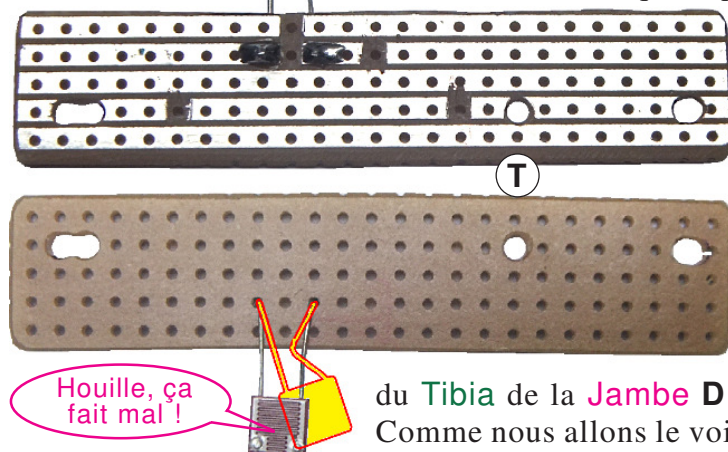
Fig.193

40) 07/12/2017 : Circuit imprimé du luxmètre photorésistant (MJD 58094)

Durant ce chapitre, nous allons nous égarer un peu dans l'historique de la conception, car les photographies proposées sont réalisées chronologiquement et simultanément à l'avancement du projet. En ce qui vous concerne, ce sera bien plus facile, car la solution définitive étant connue, il vous sera possible de réaliser entièrement le petit circuit imprimé avant de le placer sur la sonde. C'est parti, remontons le temps par un petit regard attendri sur la [Fiche n°17](#) pour se remémorer le schéma électrique du luxmètre. Cette expérience scientifique ultra compliquée ne mobilise que la photorésistance et la résistance de $1k\Omega$ pour former un diviseur de tension présenté à [A6](#). Sur la [Fiche n°27](#) on vérifie que la résistance de $1k\Omega$ est logée sur le circuit imprimé principal, donc sur le circuit imprimé de complément seule sera soudée la cellule photorésistante.

➤ Réaliser le circuit imprimé du luxmètre.

Initialement, le spectromètre colorimétrique n'était qu'une vague hypothèse dont la faisabilité restait à démontrer. Aussi, la cellule photosensible a été simplement dirigée vers le haut et placée un peu vers le centre, pas trop loin de la [Fémur](#) de la [Jambe A](#) en vue d'expérimentations chromatiques futures. Le circuit imprimé tel qu'il se présente sur la Fig.194 correspond à la configuration initiale, la cellule est perpendiculaire au bord de la petite plaque préperçée. Cette photographie est à rapprocher de la [Fiche n°14](#) car les pistes sont coupées en vue de brancher la centrale gyroscopique MPU6050. Le trou central **T** sert précisément à son immobilisation ainsi que le perçage le plus à droite. Pour faciliter l'installation



du petit circuit imprimé de complément sur les deux boulons **4** de la Fig.177, l'orifice de droite est légèrement allongé. Pas de chance, sur [Image 42.JPG](#), car la cellule photosensible est exactement en dessous de la ligne qui alimente le servomoteur. Sur cette image on distingue parfaitement le petit bloc de mousse qui cale les deux modules situés à l'avant. On voit également que le petit connecteur de liaison avec la centrale gyroscopique est nettement au dessus

de la [Tibia](#) de la [Jambe D](#) éliminant tout risque d'interférence matérielle. Comme nous allons le voir dans les chapitres qui suivent, telle qu'elle est positionnée à l'origine la cellule n'est pas située au bon endroit en dessous du filtre chromatique pour le spectromètre colorimétrique. Aussi, sur le prototype, il a fallu la torturer un peu en pliant à angle droit le fil rigide de droite comme dessiné à l'échelle sur la photographie. Aussi, en ce qui vous concerne, il tombe sous le sens que vous aller procéder avec méthode et la placer sans la torturer directement en bonne orientation. Autrement dit, les deux tiges de raccordement de la cellule resteront rectilignes, la zone sensible étant placée bien en coïncidence avec le centre des secteurs colorés lorsque le filtre est immobilisé sur le [Fémur](#) de la [Jambe A](#). (Voir la Fig.195)

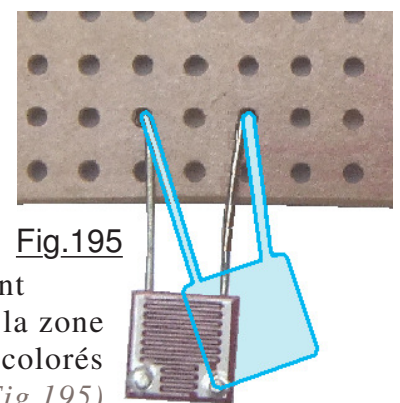


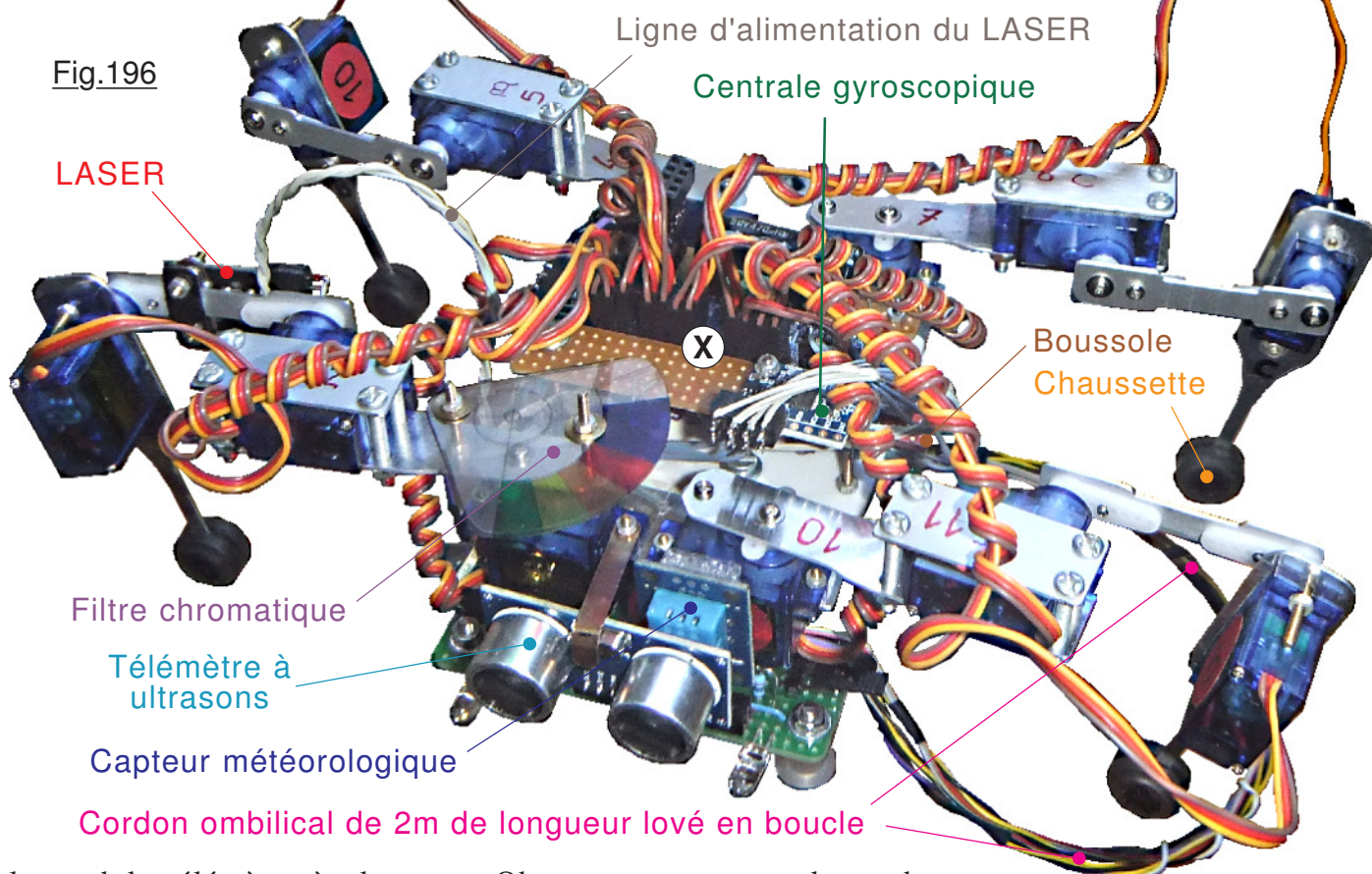
Fig.195

Protocole pour déterminer la position de la cellule photorésistante :

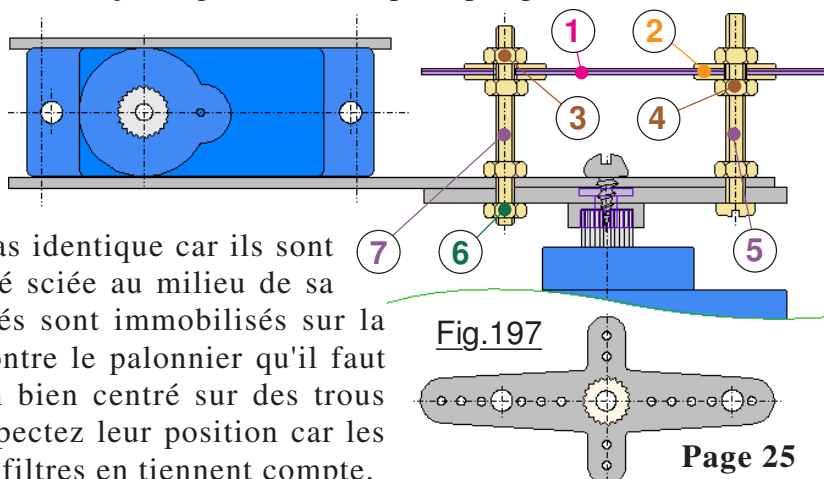
Simplicisme à exprimer on se contente de placer provisoirement le circuit imprimé sur les boulons **4** de la Fig.177 pour avoir sa position exacte. Puis on installe les filtres colorés sur le [Fémur](#) de la [Jambe A](#). On peut alors avec précision repérer la position précise à imposer au petit carré photoélectrique. On plie alors ses deux fils rigides pour qu'ils traversent les deux trous du petit circuit imprimé. Il n'y a plus qu'à tout redémonter et terminer les soudures sur la plaque préperçée. La photographie d'[Image 43.JPG](#) présente le prototype sur lequel on a démonté la [Jambe A](#) pour y fixer le filtre polychrome du spectroscopie colorimétrique. Le circuit imprimé de la photorésistance était à ce stade entièrement terminé et branché sur l'électronique générale du circuit imprimé principal. Pour son compte, [Image 44.JPG](#) présente la sonde terminée, sachant que dans votre cas ce sera exactement pareil mis à part le fil non tordu à angle droit sur la cellule photorésistante.

➤ Installer le filtre coloré du spectrographe.

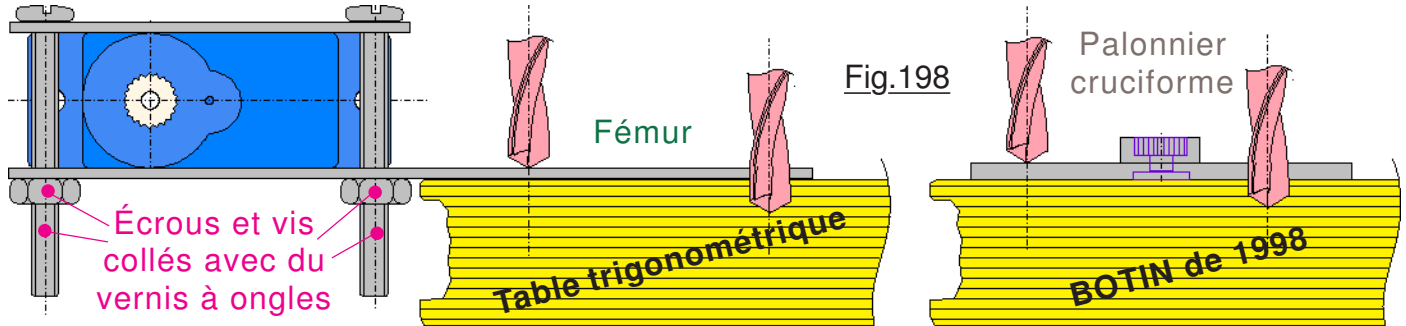
Opération qui suppose que le filtre a été découpé et percé convenablement, travail qui sera décrit dans le prochain chapitre. Toutefois, on comprendra mieux la constitution géométrique du filtre quand son immobilisation sur le **Fémur** de la **Jambe A** sera préparée et les éléments nécessaires disponibles. Sur la Fig.196 JEKERT est entièrement achevée dans sa version ultime et au repos sur ses sabots. Tout à fait sur le dessus on observe facilement la présence du filtre chromatique immobilisé par deux petits boulons ϕ M2 qui dépassent sur le dessus des secteurs colorés. Compte tenu du faible surpoids qu'ils entraînent, inutile de les raccourcir. La boussole cachée par les fils des servomoteurs est à peine visible. On distingue bien le petit bloc de mousse synthétique qui cale le capteur météorologique et



le module télémètre à ultrasons. Observez au passage le cordon ombilical lové sagement en une boucle de faible diamètre pour ne pas encombrer l'environnement exigü de l'ordinateur. En **X** on peut repérer la petite plaque marron du circuit imprimé de complément qui supporte le capteur du luxmètre. Il semble bien mal utilisé avec un faible taux d'occupation. En réalité les nombreux fils de liaison sont soudés sur le dessous. Sur la Fig.197 le filtre composé de deux couches de milard **1** est immobilisé de façon rigide dans l'espace par pincement entre deux rondelles plates larges **2**. Ces rondelles sont ajustées à la bonne hauteur et serrées l'une contre l'autre par les écrous **3** et **4**. Les éléments **5** et **7** qui servent de support au filtre participent également à la liaison entre le palonnier et le **Fémur**. Leur dépassement n'est pas identique car ils sont issus d'une vis dont la tige filetée a été sciée au milieu de sa longueur sous tête. Ces éléments filetés sont immobilisés sur la **Jambe** par les écrous **6**. Le dessin montre le palonnier qu'il faut percer à un diamètre d'environ 2,2mm bien centré sur des trous existants pour ne pas le fragiliser. Respectez leur position car les dessins à imprimer pour concrétiser les filtres en tiennent compte.



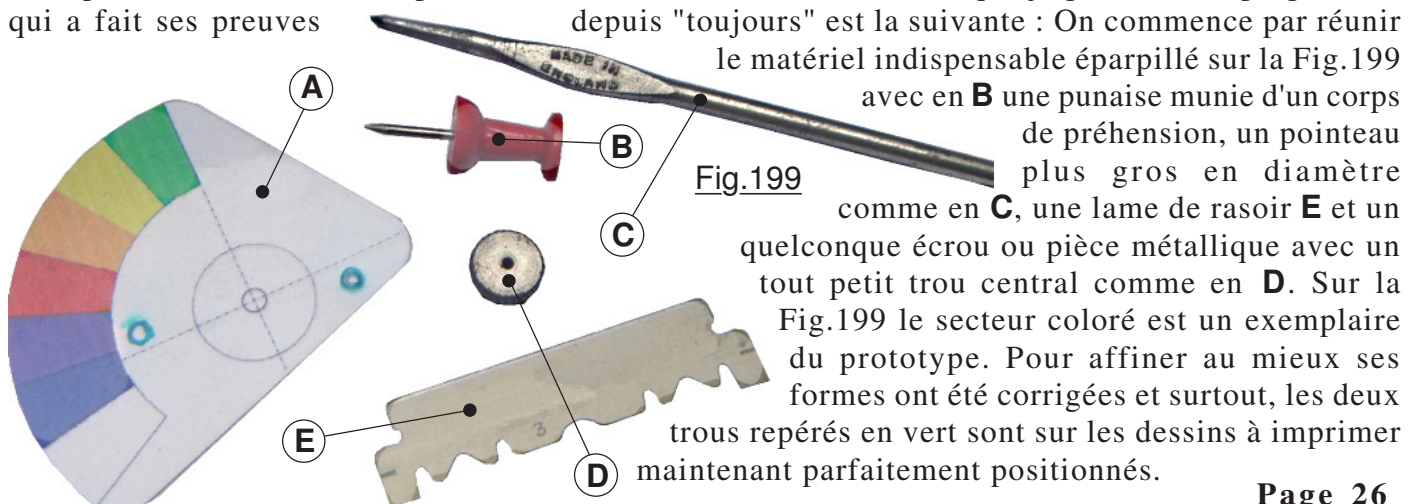
Sur [Image 45.JPG](#) la **Jambe A** a été déposée pour percer les deux trous de passage de la visserie **5** et **7**. Comme à ce stade du développement la sonde était achevée, le module LASER se trouve sur le **Fémur**. On doit percer le trou de gauche et réalésé celui de droite à environ 2,2mm de diamètre. Durant cette opération il sera impératif de prendre toutes les précautions pour évacuer l'intégralité des copeaux d'aluminium conducteurs de l'électricité et avides de créer des courts-circuits à profusion. Comme le perçage est effectué alors que le **Fémur** n'est pas déposé, car les boulons qui brident le servomoteur sont collés au vernis à ongles, caler sous la pièce usinée avec une forte épaisseur de carton. (*Pour ma part je réutilise des vieux manuels scolaires conservés pour cet usage.*)



La présence du vieux recueil de sinus et cosinus maintient le **Fémur** bien à l'horizontale quand on le perce ou que l'on augmente le diamètre de l'alésage initial de droite. N'oublions pas que le foret ϕ M2 est d'une grande fragilité. Il faut y aller très tendrement. Pour le palonnier c'est le risque d'éclatement à la sortie des lèvres coupante que le matériau risque de se fendre. Tout doux, vraiment tout doux il faut mesurer les efforts. Et puis franchement, il vaut mieux percer Dupont et Durand que la belle table vernie du salon ! Un gros paquet de publicités de Noël qui encombraient la boîte aux lettres, bien empilé convient aussi parfaitement. OUF, sur [Image 46.JPG](#) on a terminé cette petite opération chirurgicale, pas un seul copeau métallique n'a été égaré. On peut réassembler la **Jambe A** sur la sonde, les deux petits boulons soutenant le filtre étant alors en place. Sur [Image 47.JPG](#) qui montre le prototype à cette phase de l'intégration, on peut observer que les écrous **4** sont positionnés à la même hauteur que ceux qui sur le dessus immobilisent le circuit imprimé de complément. En ajoutant les rondelles **2** le filtre **1** touchera à peine le haut des vis qui supportent la petite plaque préperçée de la cellule photorésistante. Lorsque le filtre est assemblé correctement, à la bonne hauteur, comme on le voit sur [Image 48.JPG](#), la distance qui sépare la plaque support du multiplexeur au DESSUS du circuit imprimé fait 21mm sur le prototype.

➤ Réaliser le filtre coloré du spectrographe.

Pratiquement ça revient à découper deux contours dans la planche des filtres, puis à percer deux trous bien positionnés pour les immobiliser sur le **Tibia** de la **Jambe A**. Et bien l'expérience montre que ce n'est pas aussi élémentaire que ne le laisse supposer le préambule de ce chapitre. Avec une bonne paire de ciseaux on découpe très facilement le périmètre du secteur coloré. En revanche, percer les deux trous avec précision est "diabolique". Tenter de percer avec la pointe fine des ciseaux se traduit inévitablement par une fente qui ne demandera qu'à s'agrandir. Le cutter n'est pas mieux lotit. Aussi, personnellement la meilleure méthode que je puisse vous proposer et qui a fait ses preuves



depuis "toujours" est la suivante : On commence par réunir le matériel indispensable éparpillé sur la Fig.199 avec en **B** une punaise munie d'un corps de préhension, un pointeau plus gros en diamètre comme en **C**, une lame de rasoir **E** et un quelconque écrou ou pièce métallique avec un tout petit trou central comme en **D**. Sur la Fig.199 le secteur coloré est un exemplaire du prototype. Pour affiner au mieux ses formes ont été corrigées et surtout, les deux trous repérés en vert sont sur les dessins à imprimer maintenant parfaitement positionnés.

Si vous regardez attentivement l'échantillon **A** de la Fig.199 vous constaterez que les deux trous sont percés, la pièce translucide est terminée et propre à l'emploi. Vous pouvez vérifier que les deux orifices sont propres, bien circulaires et surtout qu'il n'y a aucune amorce de fente partant vers l'extérieur. La technique consiste à disposer l'emplacement du trou exactement au dessus de celui de faible diamètre

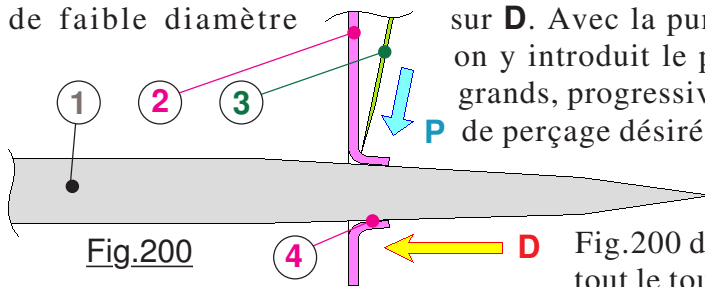


Fig.200

sur **D**. Avec la punaise **B** on perce un premier trou d'amorce. Puis, on y introduit le poinçon **C** et sur des "écrous" de diamètres plus grands, progressivement on "poinçonne" jusqu'à aboutir au diamètre **P** de perçage désiré. Lorsque l'on effectue ce déplacement réciproque

D le poinçon 1 provoque sur le filtre 2 un bossage 4. Il suffit alors, comme montré sur la

Fig.200 de presser en **P** la lame de rasoir 3 sur 1 et de couper tout le tour la matière déformée. Il résulte de cette opération

un trou sans amorce de fente et parfaitement rond. l'Image 49.JPG montre l'un des deux trous presque achevé. Enfin sur Image 50.JPG le secteur coloré est terminé. Vous pouvez constater qu'il n'a pas été découpé sur le profil issu des dessins d'études, mais corrigé pour adopter un contour optimisé. C'est ce contour avec la position des trous corrigée qui est représenté sur la Fiche n°21.

41) 08/12/2017 : Installer la centrale gyroscopique (MJD 58095)

Impitoyable le planning, pas de répit. La cellule photosensible n'est pas encore soudée sur la plaque à trous que Norbert est en train de déballer avec des précautions infinies la centrale gyroscopique qui s'intègre dans les entrailles de JEKERT simultanément avec la cellule photorésistance. Il faut mener les deux installations simultanément.

➤ **Terminer le circuit imprimé du luxmètre.**

Presque oublié ce chapitre, avec ces développements sur le filtre chromatique, on avait abandonné la petite électronique sur l'établi. Il est grand temps d'y revenir et d'en terminer avec le circuit imprimé de complément. Vous avez repéré avec précision la position exacte de la cellule et plié ses deux connections pour pouvoir la souder. Le faisceau de fils qui amène la ligne

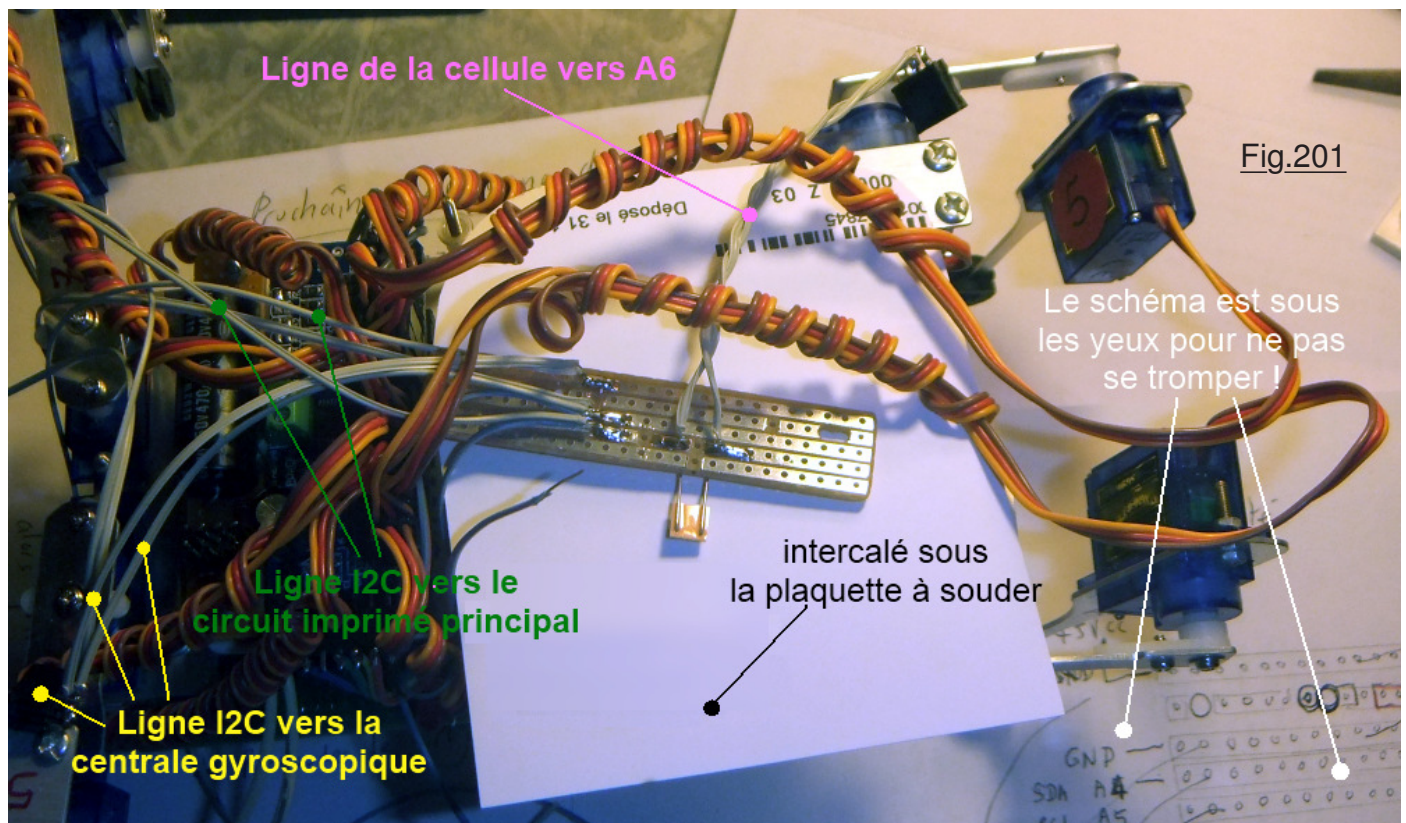


Fig.201

I2C du circuit imprimé principal ainsi que celui qui va à la centrale gyroscopique placée sur le dessus sont soudés coté pistes cuivrées. En ce qui vous concerne, il suffit de souder les petits conducteurs en nombre suffisant et en prévoyant une longueur généreuse. Puis, quand le module sera installé sur la sonde, vous torsaderez les fils d'un même faisceau, en ajusterez la

longueur et soudez le connecteur HE14 à l'extrémité. Prévoir une longueur suffisante, ce qui obligera à loger la réserve inutilisée vers l'intérieur de la petite machine, plus ou moins coincée sous les divers modules. Le surcroît de longueur facile "à cacher dans le petit robot" sera appréciable quand on voudra intervenir pour des raisons de maintenance ou de modifications. Pouvoir soulever, écarter, brancher ou débrancher sans jamais tendre les fils est un impératif.

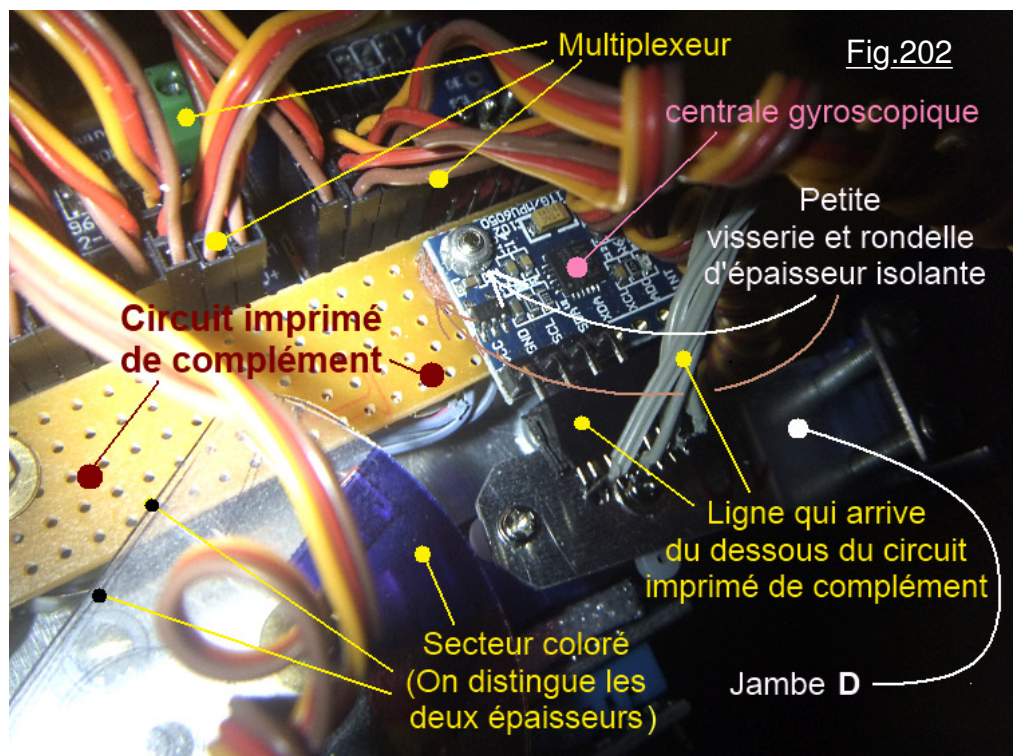
Historiquement, pour souder les liaisons filaires le circuit imprimé était un peu prisonnier sur le prototype. Si à un moment donné vous vous trouvez dans une telle situation, comme montré sur la Fig.201 il suffit d'intercaler un carton rigide sous le module à souder. Ce dernier permet de stabiliser la plaquette à souder, mais surtout, on peut à tout moment laisser choir une goutte de soudure. Vous imaginez le problème si elle va se coller exactement où il ne faut pas, voir former une petite bille conductrice qui roulera pile entre deux lignes électriques qui seront en tension contradictoires. [l'Image 51.JPG](#) a été photographiés quand les soudures étaient terminées et que le carton de protection a été enlevé. Fausse "bonne idée", pour ne pas égarer la rondelle large qui se place sur le circuit imprimé, elle a été laissée sur la vis et posée sur l'entretoise isolante. Puis, pour procéder aux essais le circuit imprimé a été retourné et posé proprement sur les deux vis. Oubliée la rondelle en bronze. Le petit dessin ajouté en rouge sur l'image montre que cette rondelle en matériau conducteur réalise un court-circuit entre les deux pistes cuivrées situées de part et d'autre du trou oblong. Arduino étant en surcharge totale sur son régulateur est passé de vie à trépas ... dommage !

Prudence est mère de sûreté, un pépin est si rapidement arrivé. C'est la raison pour laquelle quand on développe un projet aussi "laborieux" que celui-ci, il est fortement conseillé d'approvisionner en double les circuits importants dont il dépend et qui sont commercialisés à des prix de vente qui frisent le dérisoire. Pour le prototype, quelques heures pour tout déposer, remplacer la petite carte Arduino et tout remonter et vogue la galère. Si une deuxième carte n'avait pas été disponible, c'est plusieurs jours qui auraient été rayés du planning ... et nous savons que la fenêtre de lancement n'attendra pas !

➤ Installer la centrale gyroskopique.

Étant réunie au reste de l'électronique de bord au moyen d'un connecteur, lorsque le circuit imprimé de complément est achevé, ce n'est plus qu'une petite opération mécanique. Comme

pour tous ces modules du commerce dont les trous de fixation sont prévus pour de toutes petites vis, le problème consiste à réunir l'accastillage de visserie. À chacun de se débrouiller avec ses ressources locales. Pour ma part, au cours de ma vie de bricoleur, aucun appareil quel qu'il soit n'a été mis au rebut sans qu'au préalable je prélève des petits ressorts, de la visserie de toute petite dimension ou avec des filetages non métriques etc. Toute une boîte bien garnie contient ce genre de denrées, il suffit alors



de trier pour en extraire les composants si recherchés. Outre la Fig.202, je vous invite fortement à regarder à nouveau [Image 42.JPG](#), [Image 43.JPG](#) et [Image 47.JPG](#) sur lesquelles on voit assez bien la fixation du module gyroskopique sur le circuit imprimé. Il s'agit d'une petite visserie ϕ M1,5 avec interposition de rondelle isolante assez épaisse pour que les queues des composant coté cuivre ne forcent pas sur le circuit imprimé prépercé. (*Des rondelles ISOLANTES !*)

➤ Installer le module LASER sur la Jambe A.

Finalement les deux opérations précédentes ont été moins longues à conduire que ne le prévoyait le planning. Aussi, le module LASER étant déballé sur l'établi, dans la foulée l'équipe de techniciens décide de prendre un peu d'avance et d'en effectuer l'intégration sur la petite machine. Coté branchement on donne dans de la brouille. Une petite ligne à deux fils torsadés, terminée à ses extrémités par deux petites fiches HE14 femelles à trois broches coté LASER (Voir Image 13.JPG) et à deux lyres coté circuit imprimé principal. (Voir 9 sur la Fig.190) La longueur de cette petite ligne électrique sera suffisante pour qu'elle matérialise une boucle assez importante, assurant

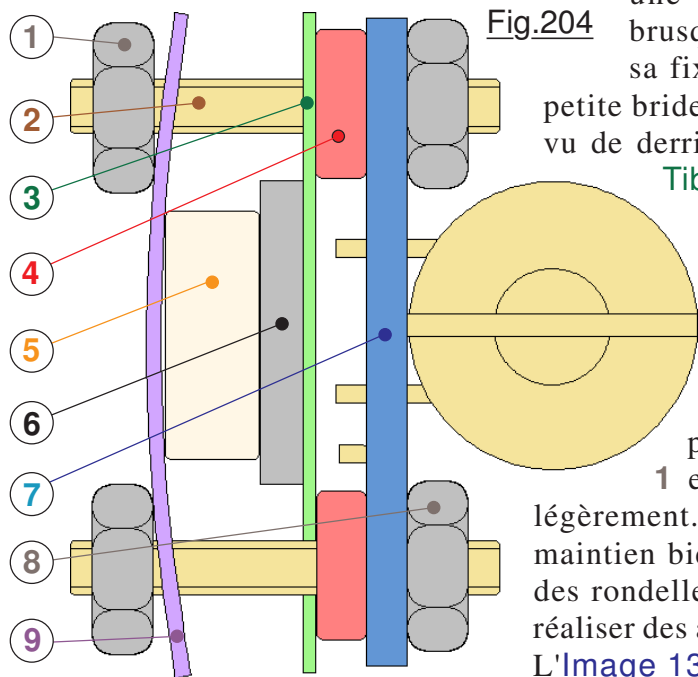


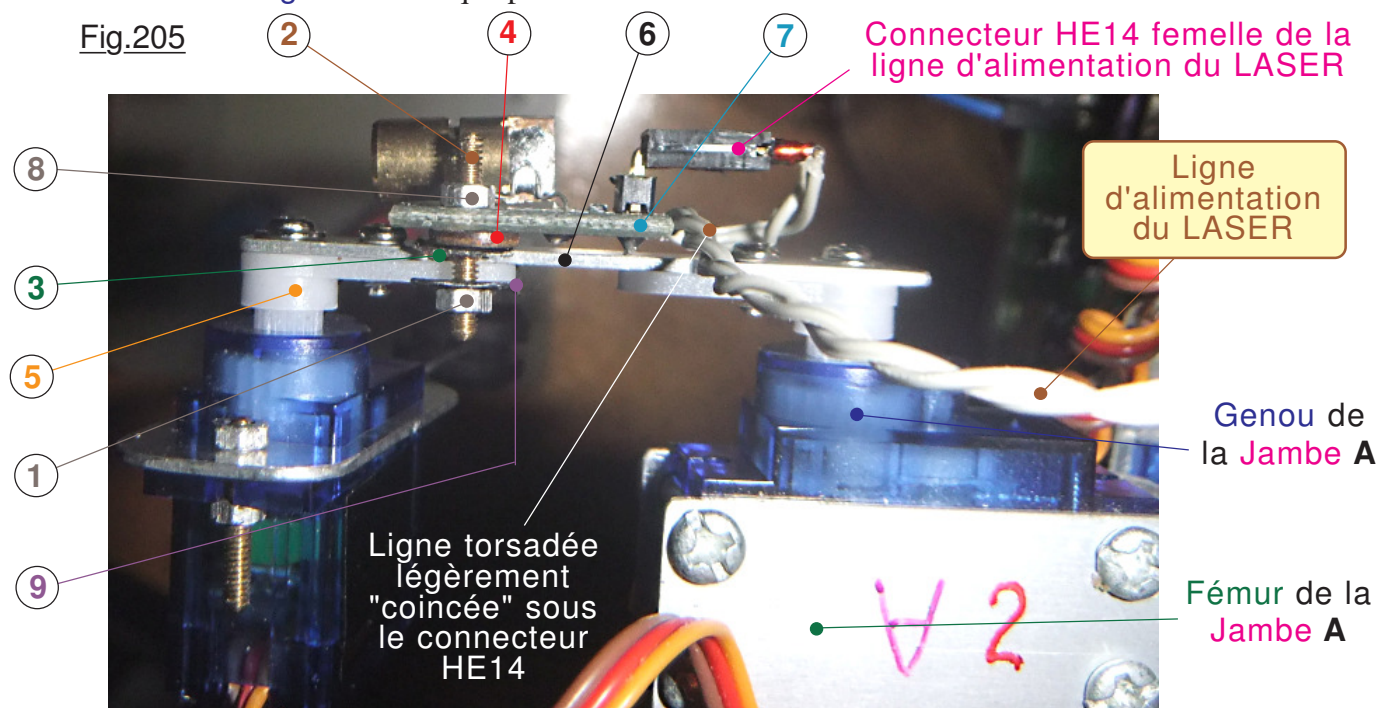
Fig.204

une souplesse indispensable lors des mouvements brusques de la **Jambe** ou lors du pointage LASER. Pour sa fixation sur le **Tibia** de la **Jambe A** on utilise une petite bride double. Sur le dessin de la Fig.204 le LASER est vu de derrière. En 6 nous avons la section transversale du **Tibia** avec en 5 le palonnier de l'articulation du **Pied**.

Le petit circuit imprimé du LASER 7 repose sur deux rondelles isolantes 4 assez épaisses pour ne pas que les tiges des composants qui dépassent ne touchent la première bride d'appui 3. On met en place les deux petites tiges filetées 2 et l'on enfle la deuxième bride 9. Au départ cette petite pièce métallique est plane. On serre le deux écrous 1 et 8 le juste ce qu'il faut pour que 9 cinte légèrement. C'est suffisant pour engendrer une adhérence qui maintient bien en place 7 sur 6. Pour ceux qui n'auraient pas des rondelles isolantes 4 d'épaisseur suffisante, vous pouvez réaliser des adaptations en cartons rigide découpé à la demande.

L'Image 13.JPG fournie avec le **TOME 3** montre clairement la zone du LASER vue coté module. Sur la Fig.205 la photographie a été prise en orientation plongeante le **Tibia 6** étant vu par la tranche. Pour pouvoir comparer avec la Fig.204 elle reprend les mêmes repères. Cette photographie est réalisée sur la sonde entièrement terminée. Le module LASER est branché, sa ligne est légèrement immobilisée sous le connecteur pour ne pas que les mouvements de la **Jambe** ne soient directement propagés au ras des soudures du connecteur HE14. Observez bien Image 52.JPG qui présente une foule de détails.

Fig.205



Implantation du LASER sur la Jambe A.

42) 09/12/2017 : Enfiler les "chaussettes" (MJD 58096)

T rompeuses au possible, ces "chaussettes" donnent vraiment à JEKERT l'apparence d'un mobile se déplaçant sur des roues. Nous savons qu'il n'en est strictement rien, que ces éléments ont pour but d'augmenter l'adhérence entre les **Griffes** et le sol. On peut leur donner une forme et une apparence quelconque, leur mission sera correctement remplie si le matériau utilisé est souple et que son coefficient d'adhérence avec des

supports ordinaires est élevé. Si pour l'automobile on adopte du caoutchouc, ce n'est pas du tout le hasard. Aussi, c'est ce qu'il faut utiliser pour la petite sonde. Peu importe

l'adaptation locale qui sera improvisée pour cette opération. Faisant un bilan de ce qui était à ma disposition, la sélection s'est portée sur des "**passes fils**" en caoutchouc dont j'avais un grand choix dans mes "récupérations". C'est le magasin que je visite le plus ! Sur les dessins proposés dans ce chapitre, le **pass**

fils est colorié en jaune, bien que la couleur naturelle du caoutchouc soit noire. Vous connaissez tous ces composants qui permettent à un conducteur électrique de traverser une cloison sans risque de voir l'isolant détérioré. Si la paroi est peu épaisse et métallique, souvent les orifices sont obtenus par poinçonnage. Les arêtes du trou sont tranchantes mettant en danger le conducteur. On interpose un **pass**

fils et le problème est résolu. Pour immobiliser de tels dispositifs particulièrement faciles à se procurer dans les enseignes d'électronique, il suffit de percer radialement le noyau intérieur, et comme montré sur la Fig.207 d'introduire à force la griffe **G**. Cette solution fort simple n'est pas suffisante. En effet,

quand l'exploratrice martienne se déplace les frottements **F** (Voir la Fig.208) de glissement engendrent des efforts de basculement **B** et l'élément caoutchouté se met en biais.

Pour remédier à cette petite difficulté il suffit d'emplir le noyau, zone coloriée en rose sur la Fig.207, de colle Araldite ce qui oblige à déposer les quatre **Griffes**. Sur la Fig.209 le moulage est préparé. Les quatre membres ont été entièrement démontés et sont posés à plat. On va couler la colle Araldite qui avant de polymériser est relativement "liquide".

Le dessous des patins en caoutchouc est bouché par du ruban adhésif **R**. On mélange les deux composants et on remplit **à refus** le trou central. Avec un cure dents on "titille" la colle pour évacuer les bulles d'air. Quand on démoule, la colle mélangée étant avant durcissement relativement visqueuse, le noyau n'est pas entièrement rempli. En **C** c'est presque parfait, en **A** pas terrible et en **B** franchement mauvais. Il suffit de refaire un peu de colle et de boucher les orifices. Quand l'ensemble est bien solidifié, on coupe la colle qui dépasse, on teinte en noir le milieu et il ne reste plus qu'à remonter les **Griffe**. (Sur les éléments utilisés le noyau est dentelé. C'est rare, en général l'orifice central est cylindrique. Ce détail de forme est strictement sans importance.)

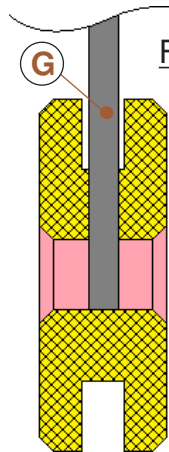
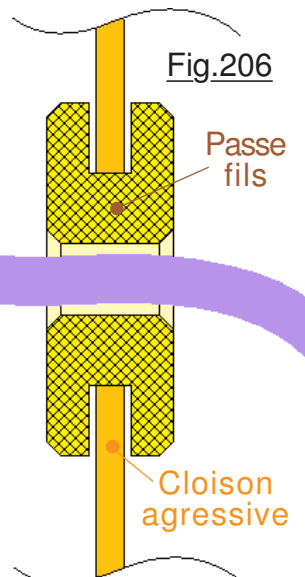


Fig.207

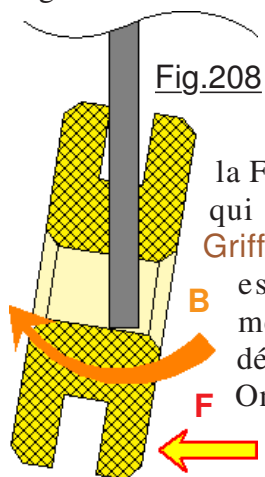


Fig.208

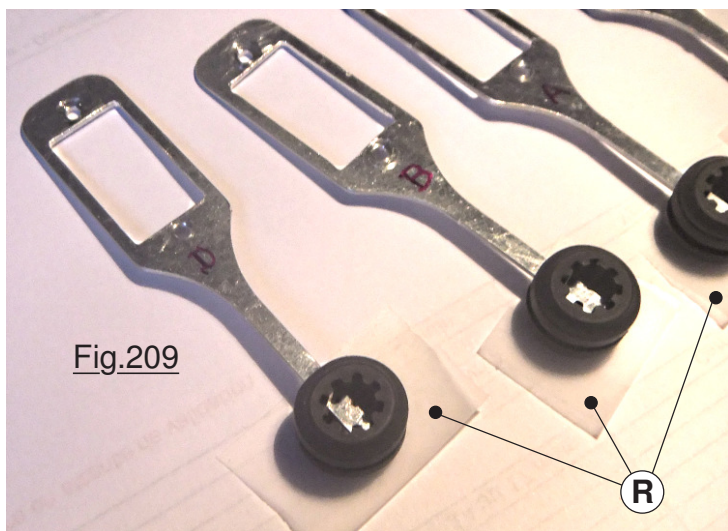


Fig.209

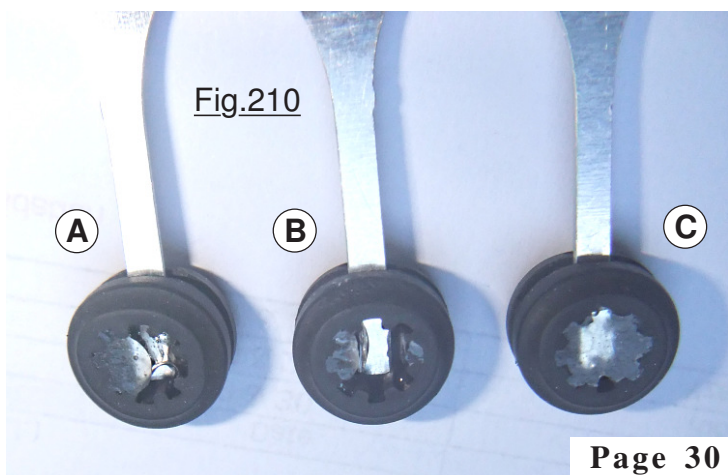


Fig.210

43) 10/12/2017 : Réalisation du cordon ombilical (MJD 58097)

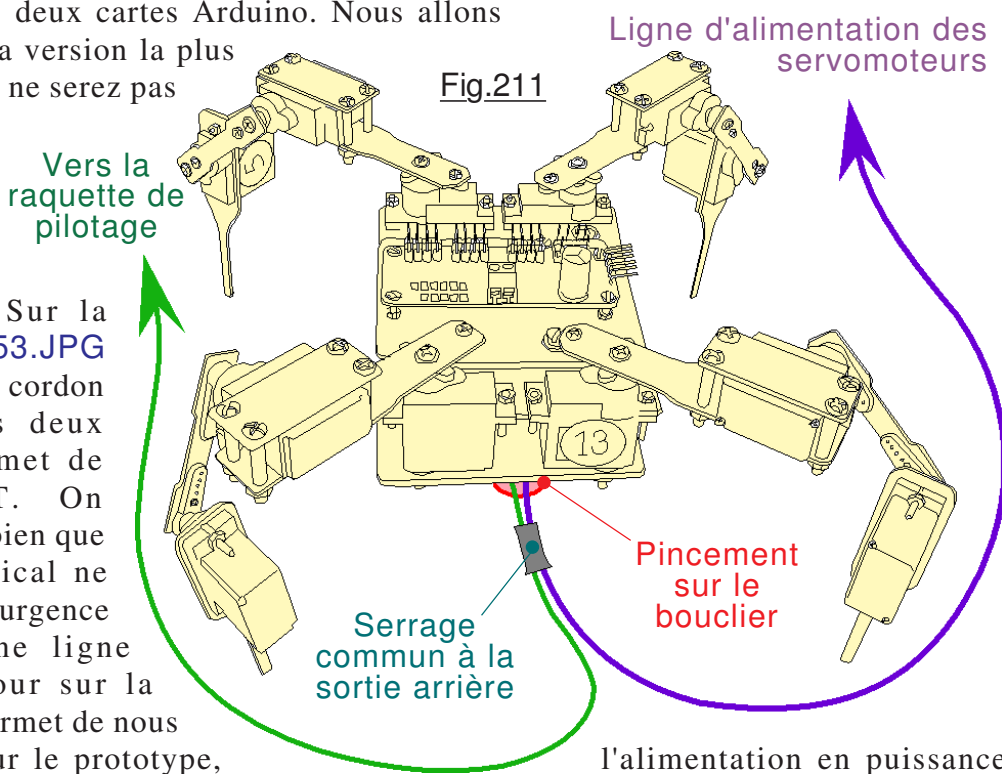
Retour en S8 la salle des énergies. JEKERT est entièrement assemblée, l'intégralité des systèmes a été vérifiée. Tout fonctionne, les expériences scientifiques sont fiables. Les moteurs ont prouvé leur endurance. Le robot est confortablement installé sur le berceau qui sous peu sera intégré tout en haut d'un lanceur Ariane. Il reste encore à vérifier une dernière fois les énergies ainsi que les télémesures et les transmissions pour le pilotage depuis les stations de poursuite réparties tout le tour de la Terre. Les techniciens s'activent, alors que le robot bardé de systèmes techniques se repose sagement les jambes rétractées dans la configuration de lancement. La machine est en sommeil.

➤ Le cordon ombilical.

Version autonome avec Raquette de commande, ou version simplifiée pilotée directement par le moniteur de l'IDE via la ligne série USB, dans les deux cas vu de la sonde il y a deux lignes indépendantes. La première utilisant deux fils conducteurs de section idoine apporte le +5Vcc qui alimente en énergie les servomoteurs. Le branchement se fait sur le dessus de la machine à côté du multiplexeur. Si vous optez pour la version de base, la sonde étant pilotée par le P.C, la deuxième ligne est constituée d'un simple cordon USB qui se branche sur la carte Arduino NANO et qui alimente cette dernière. Il réalise le dialogue avec le P.C. si on fait appel au moniteur de l'IDE ou il permet de reprogrammer l'ATmega328. Les protocoles sont listés sur la [Fiche n°12](#) pour l'exploitation générale de l'explorateur, et dans la [Fiche n°26](#) relative aux expériences embarquées. Si vous optez pour la version "étendue" avec pilotage autonome, la ligne USB ne sera pas branchée. (Sauf pour reprogrammer naturellement.) Un deuxième cordon ombilical qui comporte deux fils assez petits pour le +5Vcc et GND du calculateur de bord, (De section suffisante pour conduire 100mA.) et deux fils de faible section pour les deux lignes de dialogue série TX et RX allant au microcontrôleur gérant la raquette. Si ce projet arrive à terme, c'est l'accumulateur contenu dans la raquette qui alimentera les deux cartes Arduino. Nous allons

dans ce chapitre détailler la version la plus complète, sachant que vous ne serez pas obligés d'assembler les deux cordons. Si vous choisissez la version simplifiée, seul le cordon de puissance sera intégré sur la petite machine. Sur la photographie de l'Image 53.JPG on distingue parfaitement le cordon USB branché entre les deux moteurs arrière qui permet de reprogrammer JEKERT. On comprend aussi pourquoi, bien que les fils du cordon ombilical ne soient pas nombreux, il y a urgence à les rassembler en une ligne compacte. Un petit retour sur la Fig.184 et sur la Fig.186 permet de nous

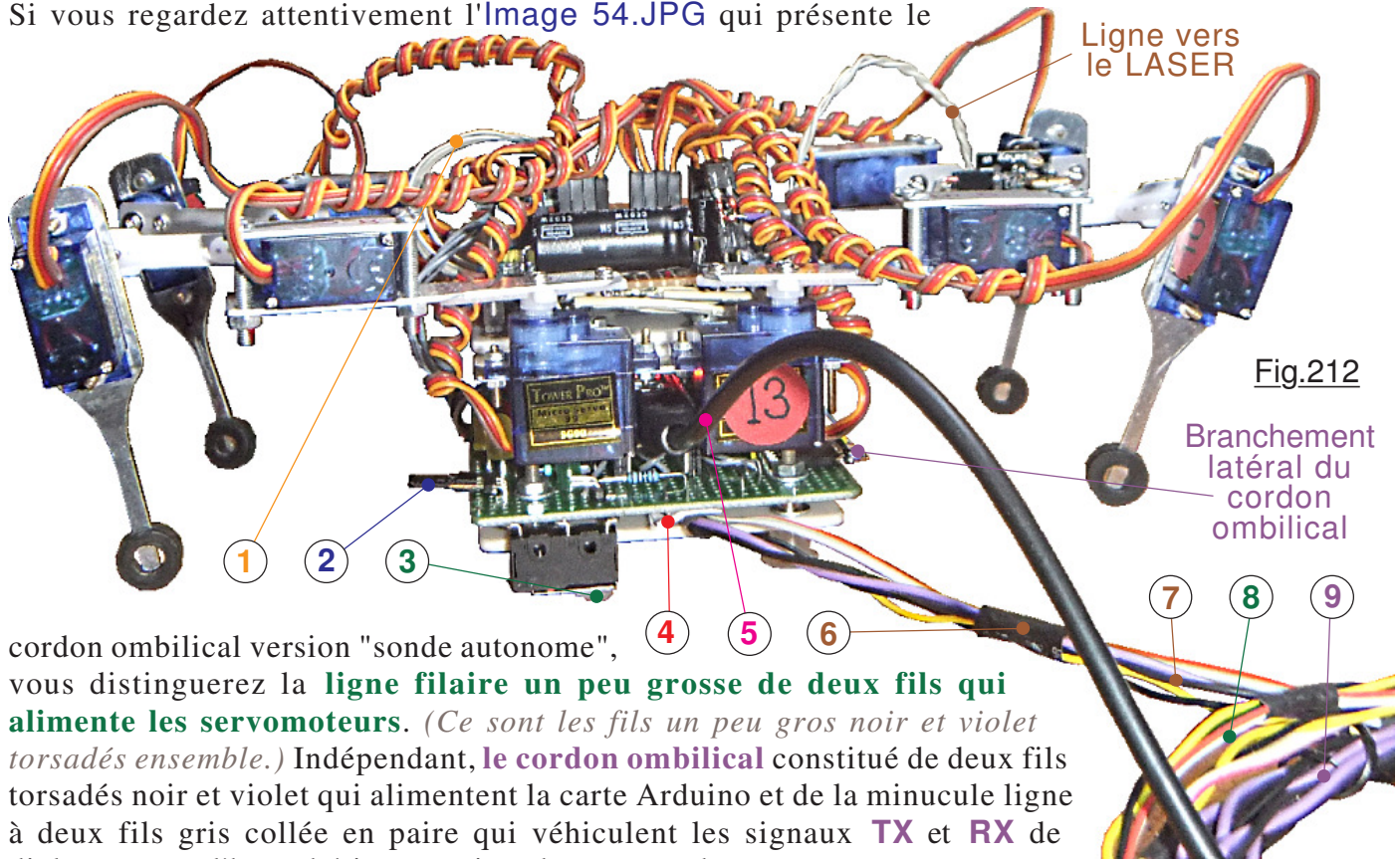
remémorer le fait que pour le prototype, sera celle branchée sur le secteur et décrite dans le TOME 1. Ayant servi à développer le projet elle a fait ses preuves. Il suffit de la relier par une ligne suffisamment longue pour laisser à la sonde une liberté suffisante. Toutefois, *d'expérimentale la ligne devient un câble d'exploitation*. La nuance réside dans le fait qu'en usage on sera logiquement amené à la brancher ou la débrancher relativement souvent. Le risque de connecter à l'envers augmente, car en "démonstration ludique" on perd l'étiquette d'électronicien, on oublie les contraintes et la rigueur. Je n'ai pas fait le test d'une inversion de tension, mais je présume que *le risque de détruire du matériel est important*. Aussi, pour parer définitivement un tel incident, il suffit d'insérer un diode en série dans le +Alimentation par exemple. Prendre un composant qui peut "tenir" 5A nominal bien que le courant moyen restera



l'alimentation en puissance

très sobre. La diode génère une chute de tension quand elle est conductrice. Il faudra par conséquent ajuster le bloc alimentation pour obtenir 5Vcc sur le multiplexeur en aval de la diode et en bout de ligne où les pertes sont maximales. La ligne est coincée entre le bouclier et le circuit imprimé principal. Sur la Fig.211 on notera qu'elle sort à l'arrière. Proche de la sonde une gaine thermorétractable relie les deux faisceaux, mais immédiatement ils se séparent pour des raisons de commodité. À l'usage, l'alimentation secteur pourra en effet se trouver en une position différente de la raquette de commande; Les deux lignes sont donc indépendantes.

Si vous regardez attentivement l'[Image 54.JPG](#) qui présente le



cordon ombilical version "sonde autonome", vous distinguerez la **ligne filaire un peu grosse de deux fils qui alimente les servomoteurs**. (Ce sont les fils un peu gros noir et violet torsadés ensemble.) Indépendant, le **cordon ombilical** constitué de deux fils torsadés noir et violet qui alimentent la carte Arduino et de la minucule ligne à deux fils gris collée en paire qui véhiculent les signaux **TX** et **RX** de dialogue avec l'hypothétique pupitre de commande.

L'expérience montre que torsader plusieurs fils n'est pas une solution suffisante pour réaliser une ligne qui au cours du temps reste compacte, surtout si pour la ranger on la love en boucle comme sur la Fig.212 montrant le prototype. Aussi, tout le long des deux lignes on reserre les divers conducteurs par des petites bagues régulièrement espacées constituées de gaine thermorétractable. Ces éléments de liaison sont de couleur noire sur la photographie. Sur [Image 54.JPG](#) la douille rouge de la fiche banane du +5Vcc a été enlevée car nous sommes sur le démonstrateur en cours d'élaboration. Pour pouvoir la revisser sur la fiche il faut la raccourcir, ce qui n'était pas encore fait.

Considérons la Fig.212 sur laquelle le filtre coloré n'est pas encore réalisé. On voit en **1** la ligne qui va à la centrale gyroscopique et en **2** la languette qui permet d'éteindre la LED verte clignotante. (LED qui témoigne de l'activité de la boucle de base dans le programme résident.) En **3** se trouve le microcontacteur qui détecte "la présence du sol". En **5** la ligne USB va au P.C. pour une éventuelle reprogrammation, ou pour le pilotage dans la version simplifiée avec le miniteur de l'IDE. En **4** on peut observer le morceau de carton (Carton ou matière synthétique souple.) qui bloque la ligne électrique à la sortie vers l'arrière du bouclier. En **6** se trouve, bien visible, le morceau de gaine thermorétractable qui serre les deux lignes avant qu'elles ne se séparent en **7**, chacune partant dans la direction imposée par l'utilisation de la sonde et la proximité d'une prise secteur pour brancher l'alimentation des servomoteurs. Enfin en **8** on repère le cordon ombilical de dialogue avec le pupitre de commande hypothétique, et en **9** la ligne de puissance. En **8** et **9** les deux lignes sont lovées en boucle et maintenues ensemble par un petit fil rigide noir pour ne pas trop encombrer le bureau de l'ordinateur au cours du développement. Il n'est pas difficile de se rendre compte sur [Image 54.JPG](#) à quel point l'entropie peut dégénérer si les deux longues lignes ne sont pas correctement enroulées quand on procède aux essais et que le bureau est encombré d'appareils de mesures et de divers plaques à essais occupées par des électroniques ébouriffées ...

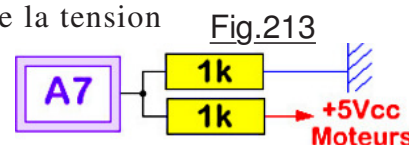
44) 13/12/2017 : Ultime ajustements des programmes embarqués (MJD 58100)

Journée qui va compter dans la vie de la petite sonde qui vient d'être réveillée. Lorsque nous arrivons en S4 la salle informatique, Crouzet est tellement absorbé par son ordinateur qu'il ne nous a pas entendu approcher. Les reflets de l'écran renvoient un visage serein mais très concentré. Il est évident que nous allons le tirer de sa rêverie intense, mais nous tenons chaque jour à faire le tour des personnels histoire de détendre l'atmosphère et maintenir une bonne ambiance.

- *Jour Julien, tu m'as l'air bien dubitatif.*
- *Oulp, je ne t'ai pas entendu venir GC.*
- *C'est quoi tous ces chiffres alignés, ta déclaration de revenus ?*
- *Heureusement que non, vu l'emplacement de la virgule, sauterait au plafond le perceuteur. Non, ce sont les mesures de tension de l'alim des moteurs.*
- *Ya un truc qui cloche ?*
- *Non, pas vraiment, juste la précision qui n'est pas au top. Les électroniciens ont préféré adopter des composants costauds au détriment de la précision, faut qu'on ajuste les calibrages.*

➤ Ajustements logiciels et précision luxueuse.

Avouons qu'il serait tout à fait acceptable d'oublier ce chapitre. Ce n'est que dans le cadre d'un pinaillage justifié par une approche la plus rigoureuse possible que l'on peut raisonnablement présenter ce thème. D'un point de vue opérationnel, chercher à obtenir la valeur de la tension disponible sur les servomoteurs avec trois chiffres significatifs n'est pas très logique, vu que nous savons que durant les appels de courant cette tension peut facilement chuter de 2V. Toutefois, si un jour vous désirez réaliser une mesure précise avec Arduino, la démarche proposée ici vous sera certainement bien utile. Pour mémoire, montré sur la Fig.213, comme la tension d'alimentation des servomoteurs peut aller jusqu'à 6 ou 7Vcc, on a réalisé un diviseur de tension par deux. (Car le CAN ne peut convertir que des tensions allant jusqu'à +5Vcc.) Si les résistances de 1kΩ sont de médiocre précision, la valeur retournée par le programme sera imprécise dans des proportions équivalentes. Hors il est ultra facile d'ajuster leur calibrage finement par logiciel. Allez consulter le listage de [P30_Programme_COMPLET.ino](#) et recherchez les lignes contenant des remarques caractéristiques du genre `//@@`. Comme déjà signalé dans le didacticiel, ce sont des constantes qui dans le programme sont faciles à repérer et à personnaliser. Tout particulièrement pour le cas analysé nous avons :



```
//----- Constantes du programme -----  
#define Calibre_U_moteurs 6.67 // Calibrage du diviseur potentiométrique d'entrée.
```

Comme pour le calibrage de n'importe quel instrument de mesure, il faut disposer d'un étalon fiable. En ce qui nous concerne un multimètre de qualité sera indispensable. Soit vous en possédez un, soit un ami vous en prêtera avec plaisir. (Si vous ne pouvez utiliser un tel appareil de mesure, contentez-vous d'utiliser deux résistances à 5% c'est largement suffisant, et l'affaire sera entendue.)

La constante `Calibre_U_moteurs` est spécifiquement créée pour réaliser un ajustage précis.

Voici comment procéder :

Vous utilisez une alimentation à tension variable et en ajustez sa tension de sortie à la plus forte valeur autorisée sur le multiplexeur, soit 6,5V mesurée avec précision.

Vous frappez "i*" dans le moniteur de l'IDE et vous prenez en compte la valeur qui est retournée par le programme d'exploitation de JEKERT.

Vous recalculez la valeur de calibrage avec la formule :

$$\text{Coef corrigé} = \frac{\text{Coef actuel} \times U \text{ Affichée}}{U \text{ réelle}}$$

Prenons un exemple : Avec le multimètre vous avez ajusté précisément la tension à +6,5Vcc. La valeur retournée par le programme est de 6,34V. La nouvelle valeur à indiquer dans la ligne de calibration pour la constante est donc de :

`Calibre_U_moteurs` = 6,67 x 6,5 / 6,34 = 6,84.

L'avantage d'une telle méthode réside dans la faculté de réaliser des mesures d'une

grande précision tout en utilisant pour l'électronique des composants très ordinaires. Si vraiment vous cherchez le "fin du fin", recommencez deux fois ou trois fois la procédure, vous gagnerez un petit fifrelin de précision. Pour vous donner une idée de la fiabilité obtenue, le tableau présenté ci-contre résume les excellents résultats obtenus sur le prototype.

U Réel	U Affiché
6,5	6,51
6	6,01
5,5	5,51
5	4,99
4	3,97
3	2,95
2	1,95
1	0,96

➤ Ajustements précis des postures.

A bordé trop succinctement dans le chapitre 18) 04/10/2017 : *Exploiter toutes les ressources du calculateur* du TOME 2, la gestion des données en EEPROM avait été précisée, toutefois sans proposer un exemple précis. Hors nous savons que les servomoteurs présentent de petites dispersions de caractéristiques relatives à leur neutre opérationnel. Du coup certaines postures ne seront pas parfaites. Par exemple vous constaterez qu'en *Stable Transversal* l'une des *Jambe* ne semble pas totalement posée et exerce une pression limite sur le sol. Il ne sera pas très compliqué en manuel d'équilibrer géométriquement les quatre membres, puis de corriger la table en EEPROM. Nous allons aborder un exemple concret.

Ajouter le petit module LASER sur le Tibia de la *Jambe A* augmente légèrement l'encombrement de ce membre. Quand on passe en *Posture de décollage*, les deux *Jambes A* et *B* viennent en légère collision. Plus insidieux, toujours dans cette configuration la *Griffe* de la *Jambe C* vient en contact avec la languette du "strap" de la LED verte clignotante. Les moteurs ne sont pas réellement forcés, mais on entend nettement le bruit de "grenailage" des servomoteurs qui tentent de se caler avec précision. Il importe donc d'augmenter le jeu entre ces divers éléments en conflits. La *Fiche n°29* détaille avec précision la procédure pour corriger la table de la *Posture de décollage*.

P uisque nous abordons l'aspect logiciel, si certains désirent modifier des fonctions, en enlever ou en ajouter, la procédure de traitement des programmes n'est pas évidente vu le nombre de cas particuliers qu'elle doit gérer. Pour synthétiser son comportement, la *Fiche n°28* propose l'organigramme de *void Traite_Programme()* dans lequel on comprend plus facilement pourquoi dans l'instruction *switch (NOMBRE)* il n'y a pas de *case 9* par exemple. Les commentaires joints à ce diagramme facilitent l'interprétation de la structure logicielle de cette procédure.

J EKERT est terminée, tout au moins la saga relative à sa réalisation. Un peu à l'opposé de ce qu'invite fortement un contexte de loisir, nous avons cherché à développer ce petit robot avec une approche rigoureuse, comme si nous étions dans un contexte professionnel. La motivation de ce didacticiel réside précisément dans ces contraintes méthodiques, au risque parfois de ressembler plus à une obligation scolaire qu'à un plaisir dominical.

H eureusement que l'on peut librement "ne regarder que les images". Et puis, si vous avez envie de réaliser cette petite machine, rien n'interdit de se faire plaisir directement, sans trop se prendre la tête. Une difficulté se présente ? Alors on cherche "rapidos" le chapitre du didacticiel qui en parle. On corrige et on continue son petit bonhomme de chemin. *Alors si vous optez pour l'approche ludique, en premier consultez la Fiche n°29* et tout particulièrement la face de cette dernière intitulée *Pour celles et ceux qui n'ont pas le temps ...* Cette page résume les opérations à conduire pour construire votre petit robot en y englobant le moins de temps de loisir possible. Vous y prendrez plaisir, vous y trouverez l'envie de recommencer. Alors, si le désir de réaliser une machine plus conséquente vous titille, le jour où vous disposerez de plus de temps, probablement que ce didacticiel pourra vous ouvrir la piste de la rigueur dont vous aurez alors forcément besoin.

Chère lectrice, cher lecteur, si ce didacticiel vous procure un peu de plaisir, et surtout l'envie de "robotiser vos loisirs", alors son objectif majeur sera atteint. Je vous dit "au revoir", car si l'avenir ne nous barre pas la route, un TOME 5 serait le bienvenu pour associer à JEKERT un petit pupitre de pilotage autonome.

Je tiens à remercier toutes celles et tout ceux qui d'une façon ou d'une autre m'ont mis sur les rails, et les passionnés qui trainent sur les forums pour partager leur enthousiasme ...

