

UN MINI SUN-RACER RADIO-GUIDE de A à Z

**Dossier de réalisation d'un modèle simple
mais performant.**

A l'usage de tous ceux qui voudraient se lancer dans l'aventure des défis solaires.

Plus spécialement, aux collègues et lycée dans le cadre des TPE.

Deuxième version

Un appendice est ajouté en fin de dossier, plus destiné aux élèves des IUT et écoles d'ingénieurs, pour défricher des pistes d'études sur des projets d'optimisation complète de véhicule terrestre dont l'énergie motrice serait électrique et dans notre cas d'origine photo-voltaïque.

Fait à Cabannes en 2009 par Jean Deligny

UNE VOITURE SOLAIRE RADIO-GUIDEE de A à Z

Il y a mille et une façon de concevoir un mini sun racer, celui que je vous présente est simple à réaliser, très proche du poids minimum imposé (1kg), très vélocé avec des moteurs convenables et assez robuste pour disputer une course.

Le sun-racer étant destiné à priori, à se mesurer en course sur circuit avec d'autres engins du même type, doit posséder de bonnes performances routières. Donc il a 4 roues. Il doit avoir une « grande vitesse » sur la piste et de bonnes accélérations. Donc il est équipé de micro-moteurs brushless.

La construction ne présente aucune difficulté particulière, elle est à la portée de tout élève de terminale ou de première. Pour des élèves de 3^e ou 4^e, il faudra quelques aménagements d'usinages faits par les professeurs, les fraisages en particulier. Hormis les connexions des cellules photo-voltaïques, toutes les opérations se résument en de la découpe, du perçage, de l'ajustage, du collage et de la peinture.

Le panneau solaire :

Nous avons droit à 2.200 cm² de surface de cellule. Sans tomber dans les excès, il reste 2 choix raisonnables possibles : 14 cellules de 125mm x 125mm ou 22 cellules de 100 x 100mm. Le modèle développé est à 14 cellules de 125x125.

L'encombrement maximum hors tout toléré pour le véhicule est de 800 par 500 mm. On a la place.

Pour approcher au plus près le poids mini, c'est le panneau solaire qui va servir de châssis. Il devra être le plus rigide possible (fragilité des cellules) tout en étant très peu dense. Le panneau supportera les 2 bandeaux « publicitaires » latéraux, et les deux essieux.

La méthode la plus simple et la plus rapide à réaliser est de partir d'une plaque de polystyrène extrudé (celui qui est utilisé en maçonnerie pour isoler les chapes de béton) de 20mm d'épaisseur. C'est très courant, tous les marchands de matériaux en vendent et c'est très bon marché (3 ou 4 €)

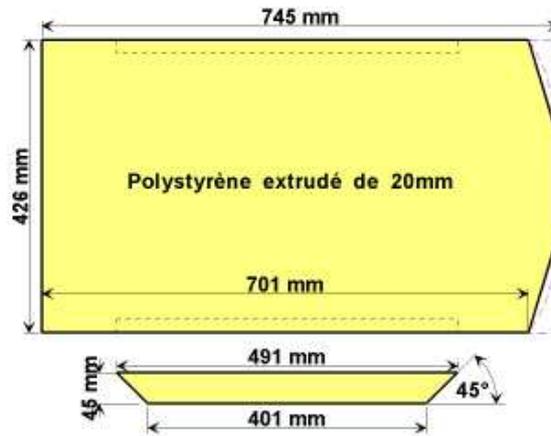
Ce produit se colle avec des colles vinyliques, époxydes, certains cyanoacrylates et les colles thermo-fusibles (probablement d'autres). Il a une faible densité, se façonne très facilement et présente une résistance aux chocs que l'on peut qualifier de moyenne pour un produit de cette densité. Sa résistance à la flexion n'est pas suffisante pour supporter sans risque des cellules photo voltaïques, il est donc nécessaire de le rigidifier par une structure appropriée.

Construction du panneau : Les raidisseurs sont constitués de tube de carbone de 4mm extérieur et de 2mm intérieur encastrés dans des rainures de 4 sur 4mm et collé à la résine époxy (Araldite standard)

Nb : Le carbone est conducteur. Sur la partie supérieure, les cellules seront collées sans préparation particulière, il est nécessaire de s'assurer de l'isolement électrique des tubes carbone. Une solution est de les encastrer de 2 ou 3/10 mm supplémentaires et de combler la rainure avec de la colle. C'est à vérifier avec minutie, sur toute la face supérieure du panneau. En cas d'affleurement de tube, il faudra l'isoler avec du ruban adhésif. **VOUS NE POURREZ PLUS LE FAIRE APRES LA POSE DES CELLULES.**

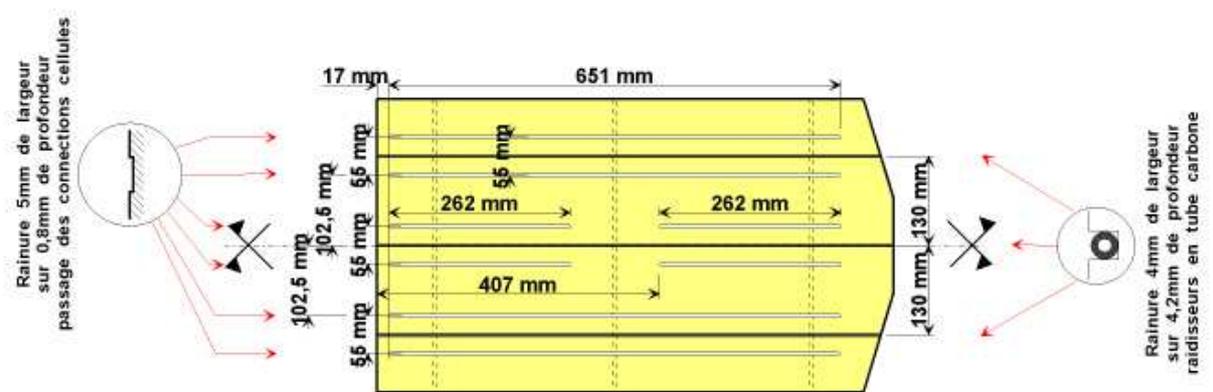
Les éléments de contrôle (batterie, récepteur radio, servomoteur de direction et éventuellement contacteur de marche Av/Ar) sont encastrés sur la face inférieure, dans le panneau, si le fraisage des logement pose problème, fabriquez des logements en contre-plaqué de 5mm (ou plus) aux bonnes dimensions et collez les en place en surépaisseur (à l'Araldite rapide).

Approvisionnement : Tube carbone chez Décathlon, rayon cerf volant. Polystyrène marchands de matériaux de construction. Contre plaqué de 0.8 et 3mm: magasin modéliste.



Façonner l'avant à votre goût

Découpe des 3 pièces de polystyrène
1 plateau + 2 bandeaux latéraux

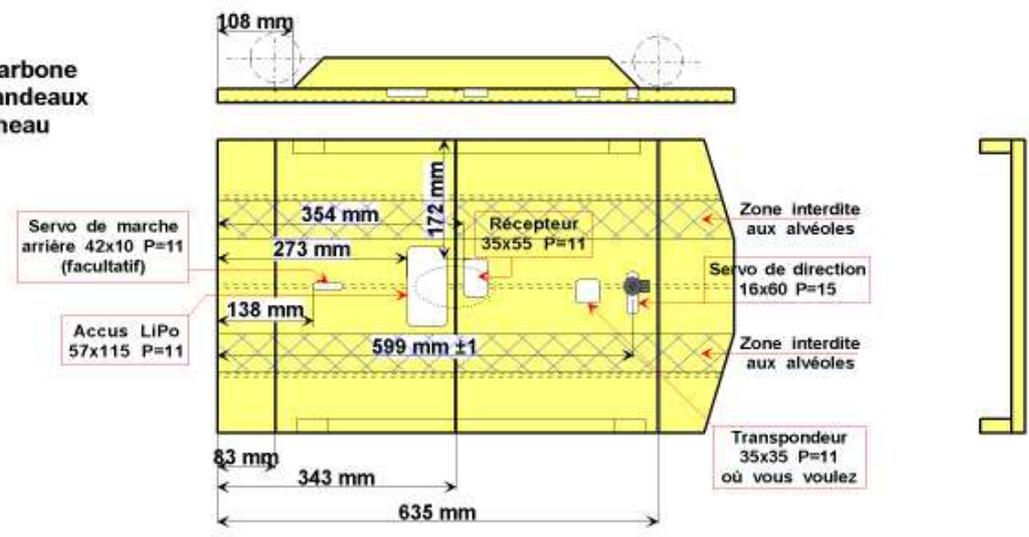


Fraisage des rainures supérieures
et collage des raidisseurs en tube carbone de 4x2mm

Dessus

Dessous

Coller les tubes carbone
puis coller les 2 bandeaux
affleure du panneau



Fraisage
rainures pour tube carbone 4x4
et logement du matériel embarqué

Montage des essieux avant et arrière

L'essieu arrière est constitué de 2 tubes de carbone de 6mm extérieur et 4mm intérieur avec un entre axe de 38mm. Une entretoise de Dépron© de 6mm d'épaisseur, de 32mm de large sur 246mm de long, assure l'assemblage des tubes.

Sur cette bande sont collés, à la résine époxy (Araldite© Rapide) les deux tubes de carbone coupés à 326mm de longueur. Une longueur de 40mm est laissée libre à chaque extrémité pour loger les réducteurs des moteurs.

De la précision des pièces dépendra la facilité du montage. La bande de Dépron doit être façonné à +/- 1/10 mm sur toute sa largeur – Les tubes de carbone : si la longueur n'a pas besoin d'une précision particulière, ils doivent être tous les deux identiques en longueur à 1/10^e près

Comment collé l'ensemble parfaitement d'équerre et que cela soit très solide :

Une des méthodes que j'ai trouvé la plus commode, est de faire un banc de montage très simple à l'aide d'une planche sur laquelle on cloue une baguette de bois bien droite (de 20x20 par exemple) de 500mm de long. Dans l'angle, on pose le film de délamination, pour éviter de coller tout l'ensemble (Les sacs plastiques du rayon fruits et légumes du super marché du coin font merveille pour cet usage). A l'extrémité de la baguette on fixe une équerre de mécanicien, par un serre-joint par exemple.

On fabrique un petit gabarit de 40mm de long sur 25 de large qui sert à définir le logement des réducteurs et on colle l'essieux contre la baguette et l'équerre, avec le petit gabarit de 40mm intercalé. L'essieux sera bien d'équerre et aux bonnes cotes.

On se procure de quoi maintenir en place les éléments pendant la polymérisation de la colle. Il est souhaitable de passer un coup de papier abrasif 220 sur toute la longueur des tubes carbone pour supprimer les traces éventuelles de démoulant. La colle se dépose sur les tranches du Dépron, pas sur les tubes.

S'assurer que le film de délamination ne « plisse pas » dans le joint de collage pendant la mise en place des pièces. Que l'ensemble est bien plaqué sur la planche, éventuellement, intercaler un autre film de délamination et charger le montage avec un poids quelconque.

L'entretoise de l'essieu avant est en 2 parties pour facilité la mise en place des biellettes de direction. Utiliser 2 équerres de mécanicien pour les positionner correctement aux extrémités des tubes.

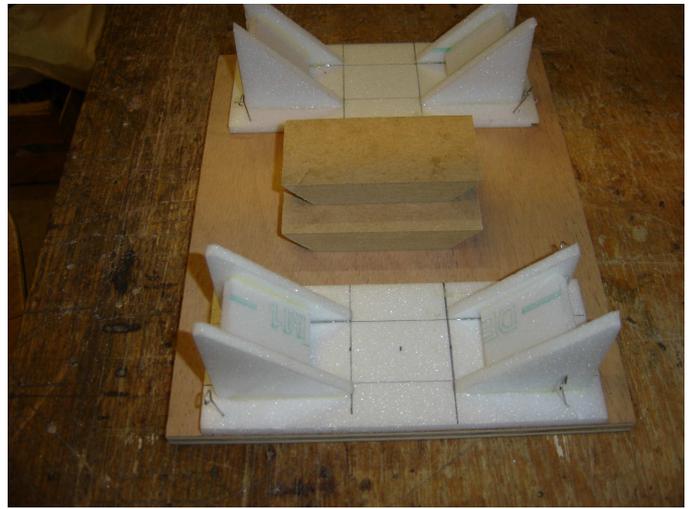
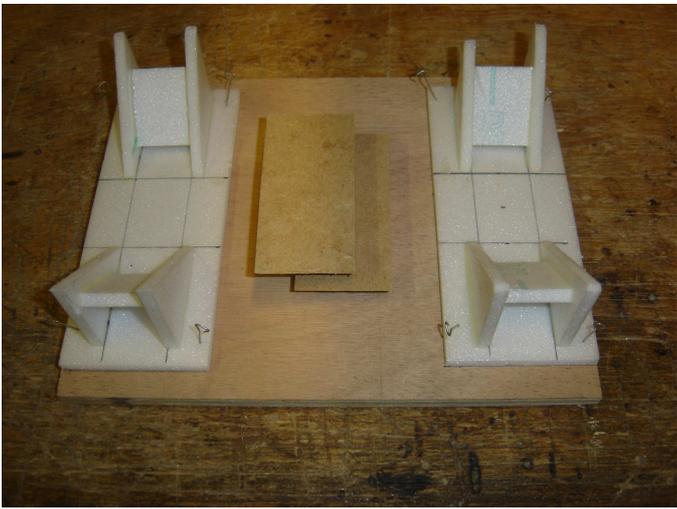
Les supports d'essieux :

Dans un morceau de Dépron de 6mm, préparer une ébauche de 450mm de long sur 70mm de largeur. Biseauter sur toute la longueur, un des cotés à 45° (à la machine ou à la cale à poncer) dans cette bande découper 8 morceaux de 55mm de largeur. Mettre ensuite à longueur les 4 supports avants et les 4 arrières.

Nb : La hauteur d'essieu avant et plus faible de 5mm que celle de l'essieu arrière. Cela contrecarre la tendance de la voiture à « s'envoler » à grande vitesse sur un coup de vent de face et améliore l'écoulement de l'air sur les cellules pour un meilleur refroidissement de celle-ci, sans pénaliser leurs performances photo-voltaïques.

Pour coller les supports sur les essieux, il est fortement conseillé de fabriquer un gabarit de montage (voir photos ci dessous)

L'essieu se pose au fond sur un film de délamination, les supports coupés à la bonne dimension, viennent se coller contre les tubes, au bon écartement, sur les équerres à 45°.



Montage pour le collage des supports d'essieux.

Les deux cales servent à plaquer correctement les supports sur les équerres. Elles sont biseautées à 45° également et se positionnent environ à mi-hauteur des supports d'essieu.

Même méthode de collage : L'araldite (rapide) sur la tranche des supports, pas sur le tube carbone.

Quand les essieux sont terminés et la colle complètement durcie, il faut doubler tout l'intérieur du V avec une bande de tissus de verre (ou mieux : de la mèche de carbone unidirectionnelle) de 50mm de largeur, imprégnée de résine époxy.

Un mot sur les composites pour les novices : Ce qui procure la résistance mécanique du produit fini, c'est la fibre. La résine c'est la « colle » qui la maintient en place à la forme désirée. Chaque qualité (ou grammage) de tissus nécessite une quantité minimum de résine pour assurer la cohérence des fibres. En général, c'est poids de résine = poids de tissus. Tous les tissus n'ont pas la même facilité de mise en œuvre, un tissu « léger » suivra facilement un angle alors qu'un « lourd » demandera un congé de raccordement important à chaque changement de direction.

Pour notre mini sun-racer un tissu de 35 à 50g/m² suffit pour acquérir une résistance à l'arrachement suffisante. Un tissage type jersey est plus commode à manipuler, il s'effiloche moins en bordure que du rowing. Donc prendre du jersey et le plus « léger » que l'on peut se procurer (de 50g jusqu'à 150g, c'est utilisable pour cet usage)

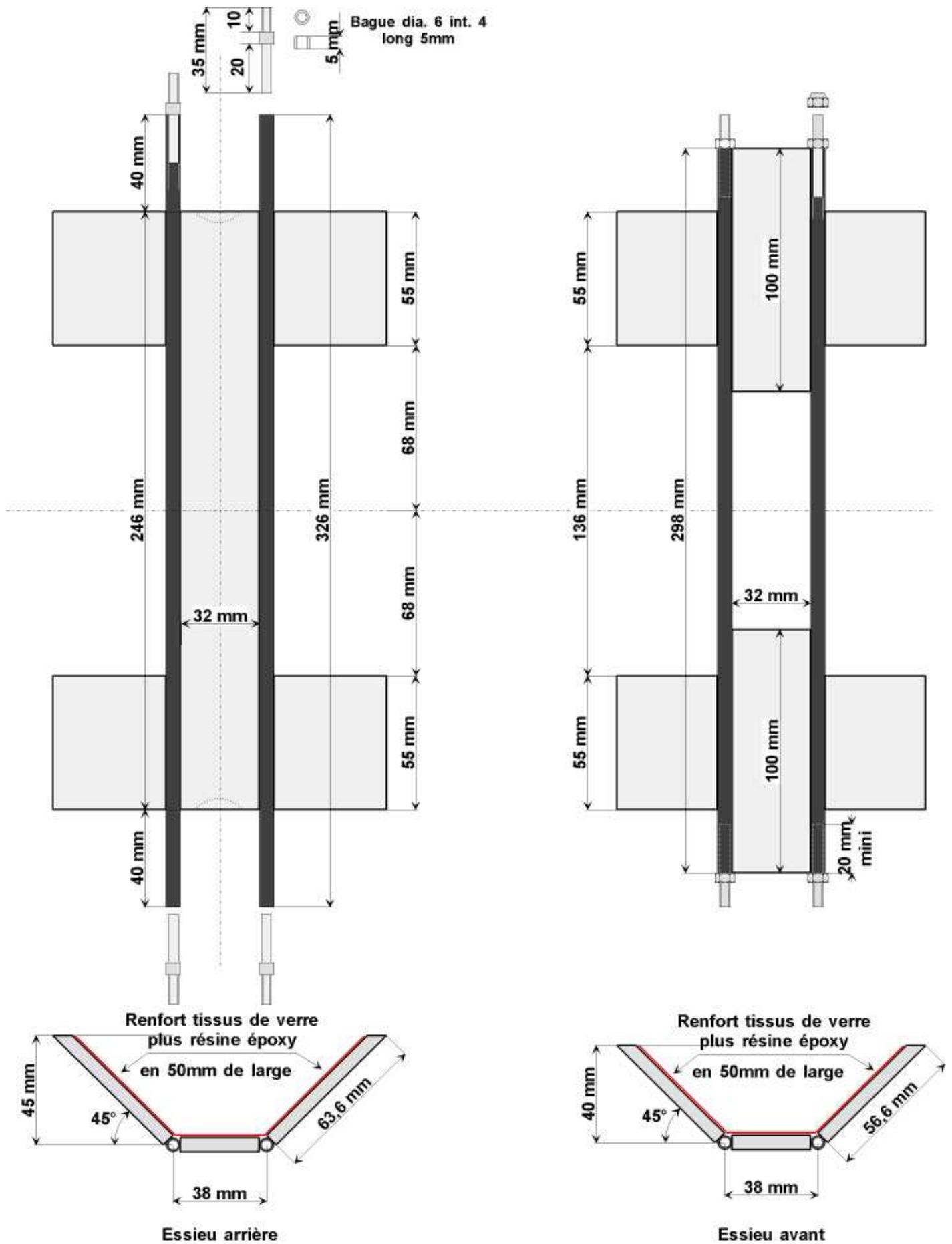
Pour la résine, l'époxy est supérieure au polyester à tout point de vue et il en existe qui se polymérise à la température ambiante. Donc le choix est tout fait.

Les appros : Le tube de carbone : Décathlon rayon cerf-volants (en longueur de 1,5m) – Le Dépron de 6mm Géant bricolage (le Leroy Merlin local en vend à la feuille) – Tissus de verre et résine époxy : Géant bricolage ou magasin de modélisme (ils ont des tissus plus légers) ou magasin spécialisé en composite. Il faut de l'alcool à brûler pour nettoyer le matériel.

La visserie : 8 longueurs de tige filetée acier de 4mm de 35mm minimum (ou pour gagner du poids, du rond d'aluminium de 4mm fileté sur 14mm avec les écrous nylstop en alu également)

Il faut 4 morceaux de tube de 4x6 de 5mm de long sur l'essieu arrière (acier ou alu) pour permettre un changement aisé des réducteurs, j'en reparlerai plus loin à propos des réducteurs. Le tout est collé à l'araldite rapide en bout des tubes.

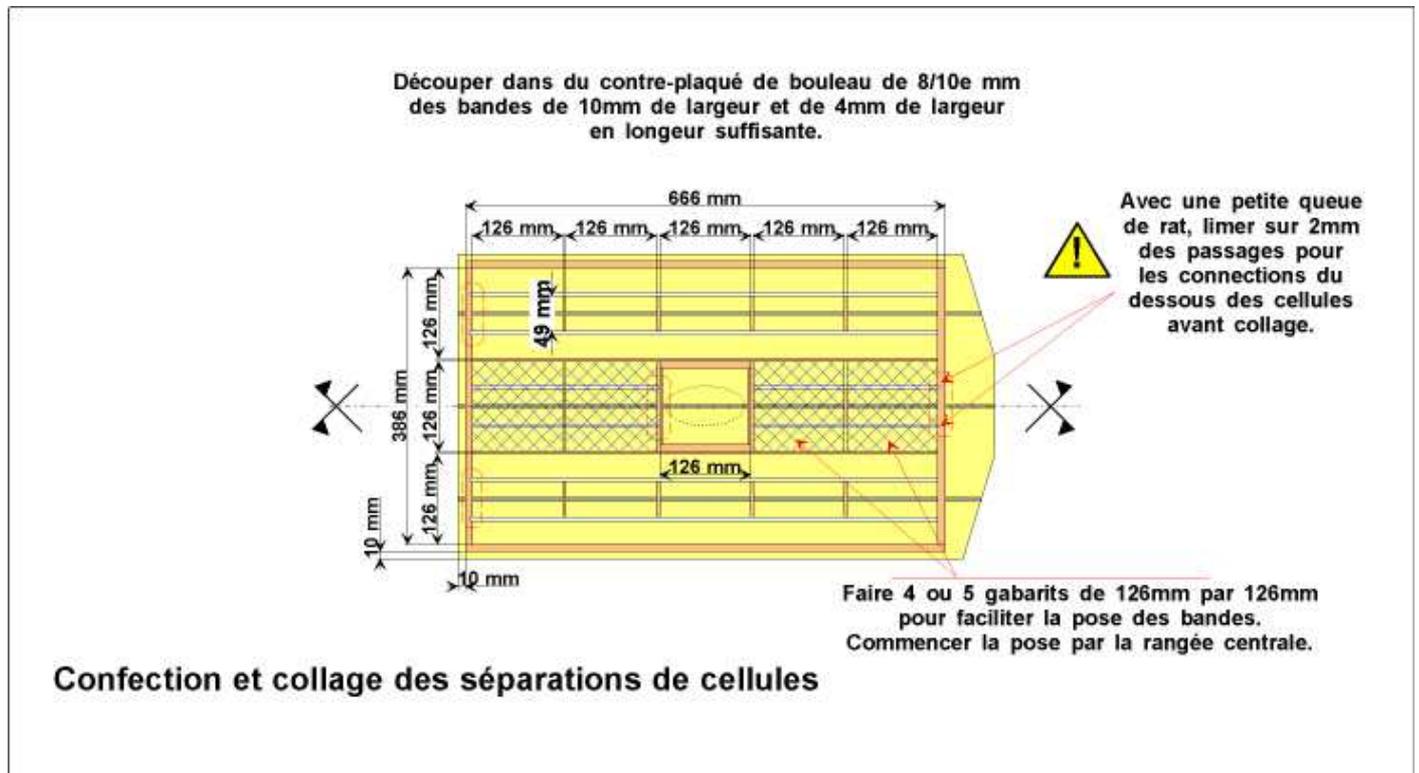
+ 8 écrous nylstop de 4mm (Ils existent en aluminium aussi)



Essieux avant et arrière

Montage des éléments du plateau :

Commencer par les séparateurs des cellules photo-voltaïques sur le dessus.
Préparer dans du contre plaqué de bouleau de 8/10mm (ou 1mm) les bandes de séparation de 4mm de largeur (tolérance entre 4 et 5mm) et les bandes extérieures de 10mm de large. Faire 4 ou 5 gabarits de 126x126 (tolérance +/- 1/10mm) dans ce que vous voulez (Dépron, carton, tôle d'alu... etc)



Comment coller les bande de CTP sur le polystyrène :

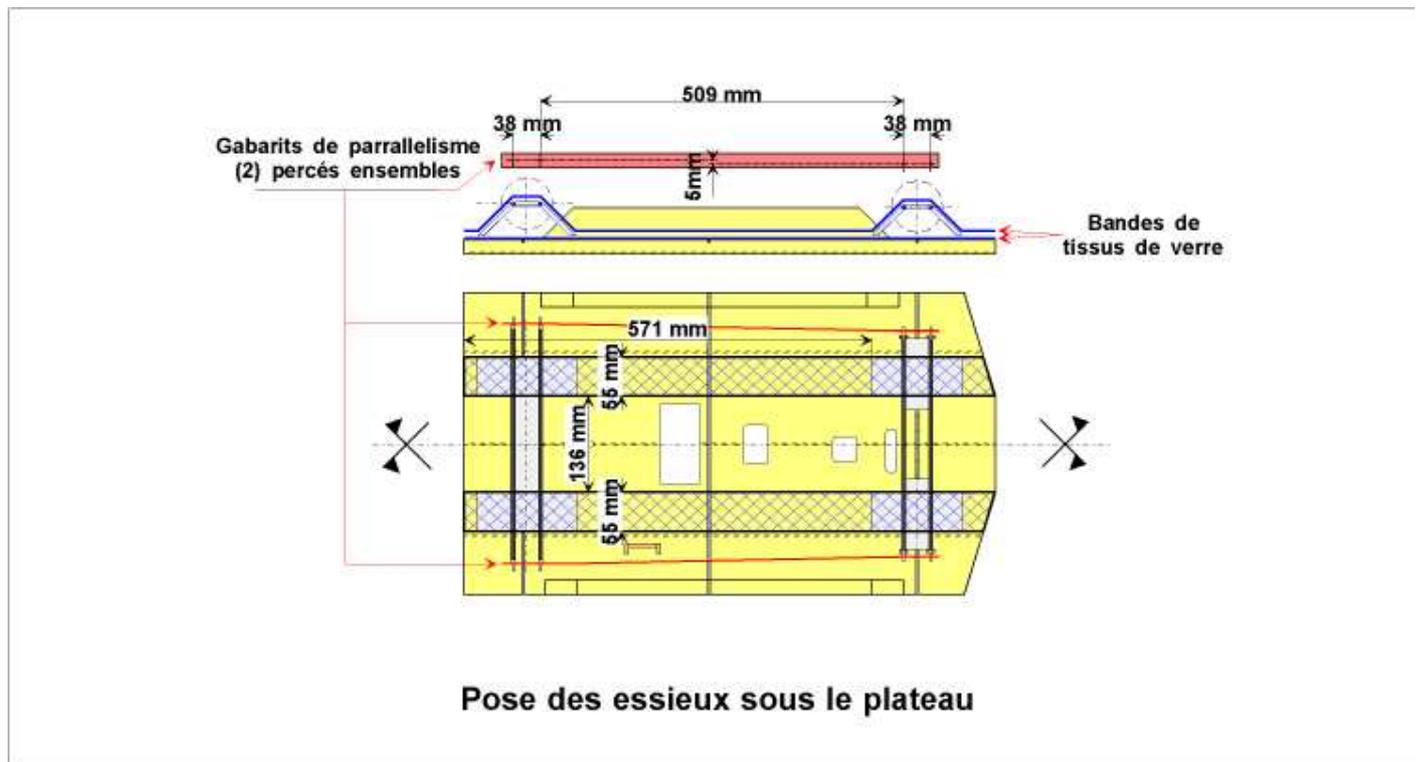
Utiliser de la colle à bois vinylique (La Sader rapide est celle qui va le mieux pour ce travail, les autres colles ont trop d'eau, qui n'est pas reprise par le polystyrène)
Encollé la baguette d'une couche de colle fine, avec le pinceau passer une pellicule de colle, la plus fine possible, sur le polystyrène (il faut qu'il soit à peine humide) attendre 1 ou 2 minutes que la colle « tire » sur la baguette, dès qu'elle devient poisseuse, poser la baguette en place et presser sur toute la longueur pour assurer l'adhérence.
Note : Un fond de pot où la colle est bien épaisse, facilite l'opération, vous posez la baguette dès la fin de l'encollage et ça tient !
Vous pouvez essayer les colles silicone genre : « ni clou ni vis »

Comme il y a 15 emplacements pour 14 cellules, un restera vide. Sur le plan c'est celui du milieu. C'est arbitraire si vous utilisez une radio en 41MHz, ça l'est moins si vous avez une radio moderne en 2.4GHz. Dans la bande 2.4GHz l'antenne mesure quelques cm et ne peut pas être déportée du récepteur. De plus elle doit être verticale et ne doit pas se trouver sous les cellules qui feraient un blindage pour les ondes hertziennes.
Le récepteur est placé sous l'emplacement vide, si votre radio est dans cette bande il suffit de percer le plateau à 3mm et de sortir l'antenne.

Note : *Très accessoirement, vous pouvez mettre sur cet emplacement libre, une bulle transparente et une tête de pilote, pour faire de votre modèle, un vrai sun-racer !*

Dessous, il faut coller les essieux et mettre en place les pièces qui permettent de verrouiller les éléments de la radiocommande et la batterie.

Les essieux avant et arrière sont pris en sandwich entre 4 bandes de tissus de verre (ou mieux de la mèche unidirectionnelle de carbone) de 50mm de largeur, sur toute la longueur du plateau.



Le mode opératoire : Repérer l'axe de symétrie de la voiture et tracer de chaque côté l'emplacement des bandes de tissus de verre (au feutre). Tracer également la position arrière des supports de l'essieu avant, bien d'équerre avec l'axe.

Réaliser le gabarit de parallélisme dans une matière quelconque assez souple pour supporter la différence d'empattement avant et arrière (percer les 2 gabarits en même temps pour s'assurer que leurs longueurs sont identiques). Les monter sur les essieux.

Dans le tissus de verre, découper avec un ciseau NEUF (ou spécialement prévu à cet usage) 2 bandes de 50mm de largeur, en suivant « au mieux » un fil de chaîne, pour éviter les effilochages trop importants des lisières, sur une longueur légèrement supérieure au plateau.

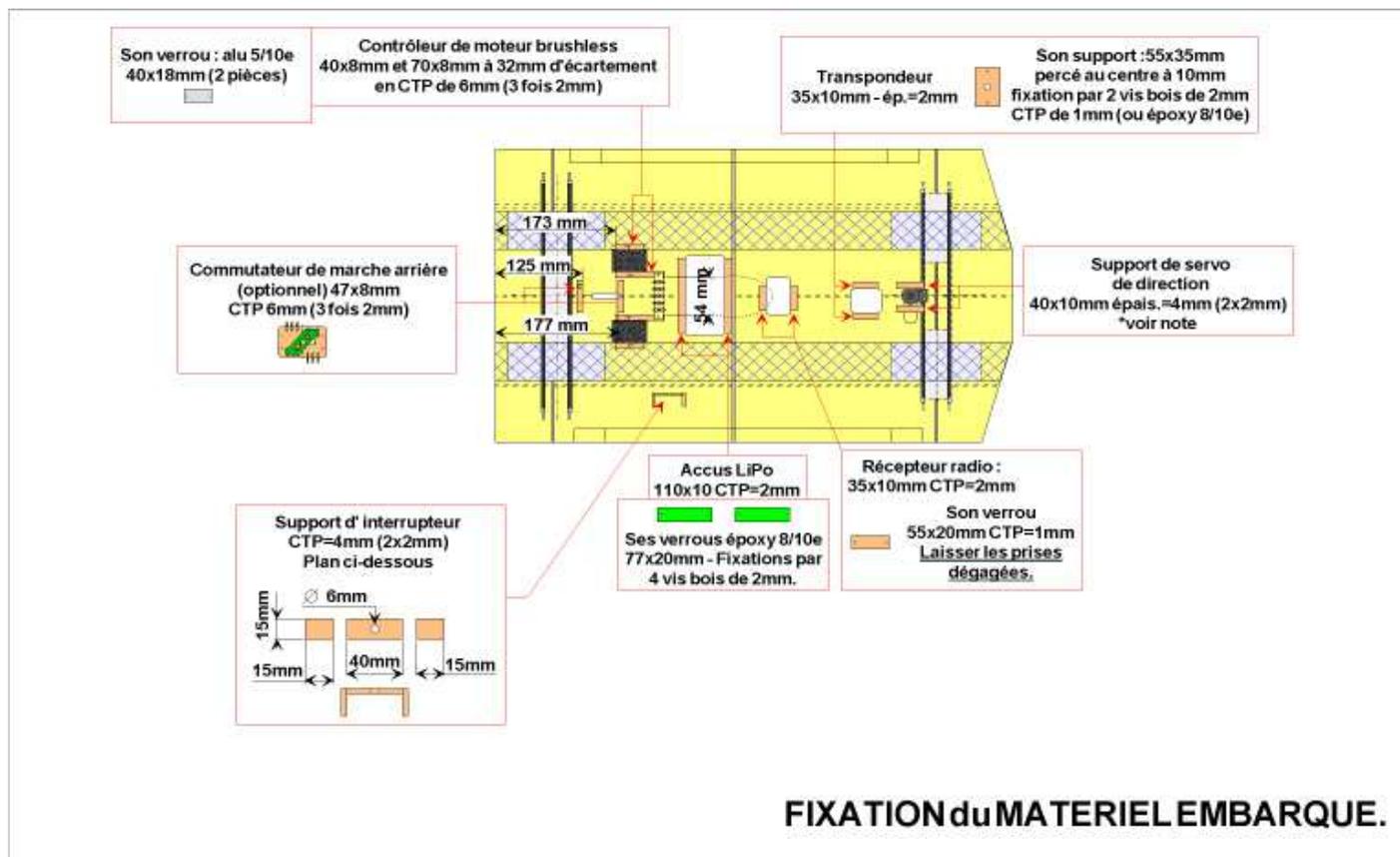
Préparer une petite quantité de résine (au bon dosage). Enduire au pinceau, le plateau sur les tracés des bandes (procéder comme pour de la peinture) Attention aux coulures en limite de plateau qui collerait le tout sur la table ! Poser le tissu de verre bien droit, sur la résine en le tendant légèrement avec les mains. Avec « délicatesse » faite le adhérer sur toute la surface sans ajouter de résine.

Note : Quand le tissus de verre devient transparent il est suffisamment « mouillé » par la résine. Aux endroits où il reste des traces blanches, il manque de la résine, il faut en ajouter un peu. Faites attention aux lisières : à cet endroit, les mouvements du pinceau doivent être faits de l'extérieur vers l'intérieur de la bande.

Quand les 2 bandes sont parfaitement transparentes, mettre un peu de résine au plan de collage des supports d'essieux, côté essieux ET côté plateau. Poser les essieux en place, bien alignés sur les tracés du plateau. Charger légèrement, avec 4 poids quelconques (200 à 300g) les 4 points d'appuis des essieux, pour s'assurer du bon contact essieu-plateau. Caler les tubes carbone à la bonne hauteur avec 2 bouts de polystyrène.

Laisser polymériser la résine 24h. avant de poser la 2^e bande qui prendra les essieux en sandwich. Une fois que tout est fini et sec, couper les excédents de tissus.

Mise en place des éléments de verrouillage du matériel embarqué :



Les renforts d'arrimages sont en 2mm, 4mm et 6mm. Dans du contre plaqué de 2mm (appros : magasin de modélisme) se fabriquer du 4mm en collant deux épaisseurs à la colle vinylique et du 6mm avec 3 épaisseurs de 2mm. Cela évite d'approvisionner 2 feuilles différentes dont on ne saurait que faire des restes.

L'alvéole du récepteur doit être garni de mousse anti-vibratoire. Le fraisage du logement laisse assez de place pour coller sur les 4 côtés 7 à 8mm de mousse souple. Au fond, prendre de la mousse la plus fine possible 3 à 4mm suffisent. Sur la plaque qui vient verrouiller le récepteur dans son logement il faut coller également un petit carré de mousse fine, pour lui interdire tout mouvement pendant la course.

Pour l'accumulateur : il faut sur l'avant et l'arrière du logement, une bande de mousse dense qui servira d'amortisseur en cas de choc (il y a de la place pour en coller 10mm environ) au fond et sur les coté latéraux, de la mousse souple suffit. Les plaques de verrouillages, sont en verre époxy de 8/10, elles se vissent près des extrémités de l'accus et doivent elles aussi être doublées de 2 petits carrés de mousse mince (à collé à l'époxy). N'oubliez pas de ménager un espace dans la mousse de l'alvéole, pour les sorties des fils de la batterie.

Pour les contrôleurs des moteurs brushless : coller un petit morceau de mousse souple de 6 à 8mm d'épaisseur, sur le plateau entre les 2 supports, qui permet de plaquer le dissipateur sur l'aluminium du verrou.

Note : Le servomoteur de direction est un servo miniature à pignons **IMPERATIVEMENT** métalliques (Robbe FS500 MG ou Futaba S3150 ... etc) L'écartement des 2 supports dépend de la marque du servo utilisé. De plus pour les servos Robbe ou Futaba, la sortie des fils de commande se fait par un passe fil qu'il faut supprimer (délicatement). Sans cela vous ne pourriez pas monter le servo sans plaque intermédiaire. La prise et le fil de commande passent sous le support de droite, n'oubliez pas dans l'écartement que le fil doit passer avec le servo (il reste peu de place pour les vis de fixation)

Tous les éléments collés sur le plateau se font à l'Araldite rapide, y compris le collage des montants de support de l'interrupteur en CTP de 4mm.

N'oubliez pas de faire des avants-trous appropriés pour toutes les vis de fixation.

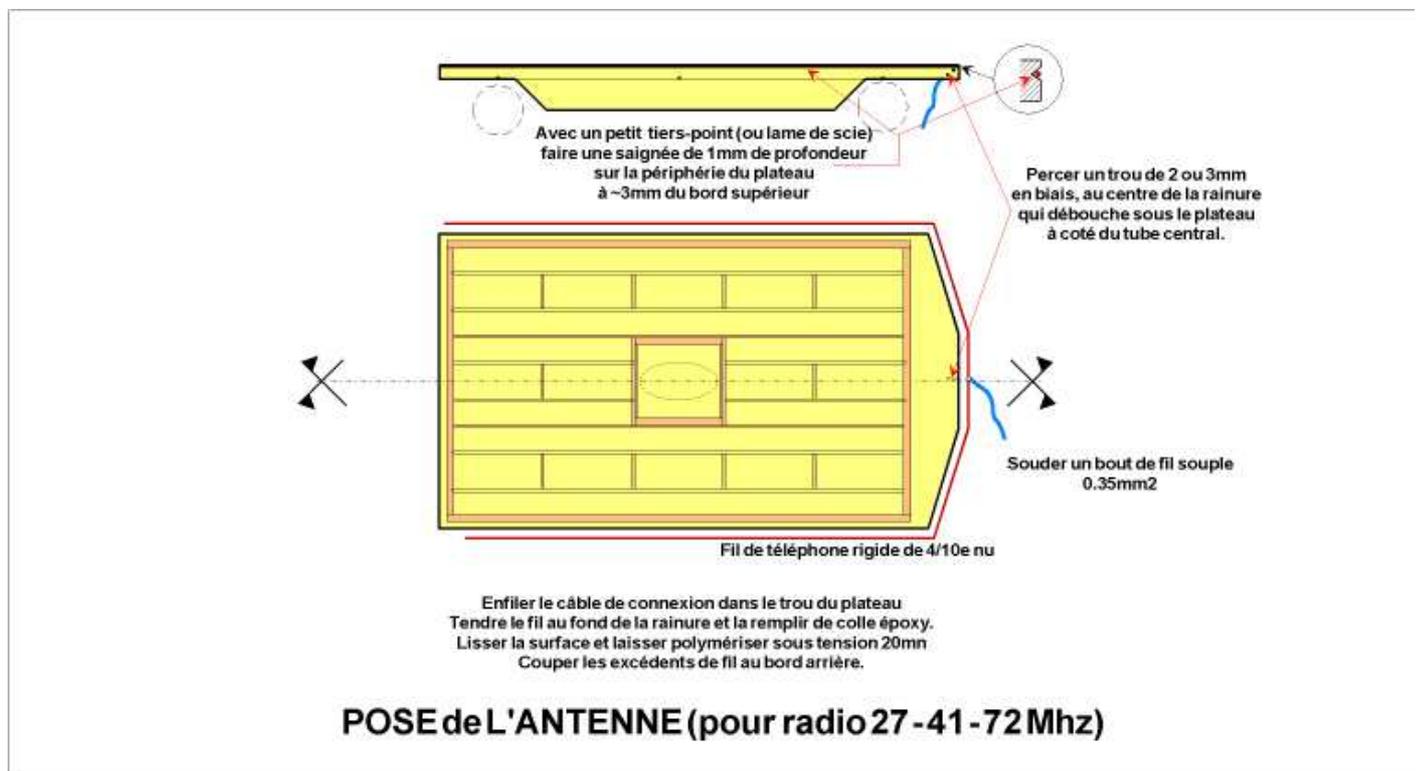
Le support de l'interrupteur n'a pas de place critique, mettez le à peu près où il est représenté sur le dessin pour limiter la longueur du câblage.

Une diode anti-retour n'a pas de nécessité sur ce montage : Elle évite à la batterie de se vider dans le panneau (qui se comporte comme une diode dans l'obscurité) quand celui-ci a une tension inférieure à la tension de la batterie. Cela ne peut arriver que lorsque le véhicule est dans sa boîte. Un passage à l'ombre en plein jour ne supprime pas le rayonnement diffus et si le panneau ne peut plus débiter qu'un courant ridicule, sa tension à vide est néanmoins suffisante pour éviter à la batterie de lui fournir du courant.

Pensez malgré tout que dans sa boîte, l'interrupteur doit être sur arrêt, ou la batterie doit être débranchée. Avec un accu Lithium vous risqueriez des surprises « désagréables »

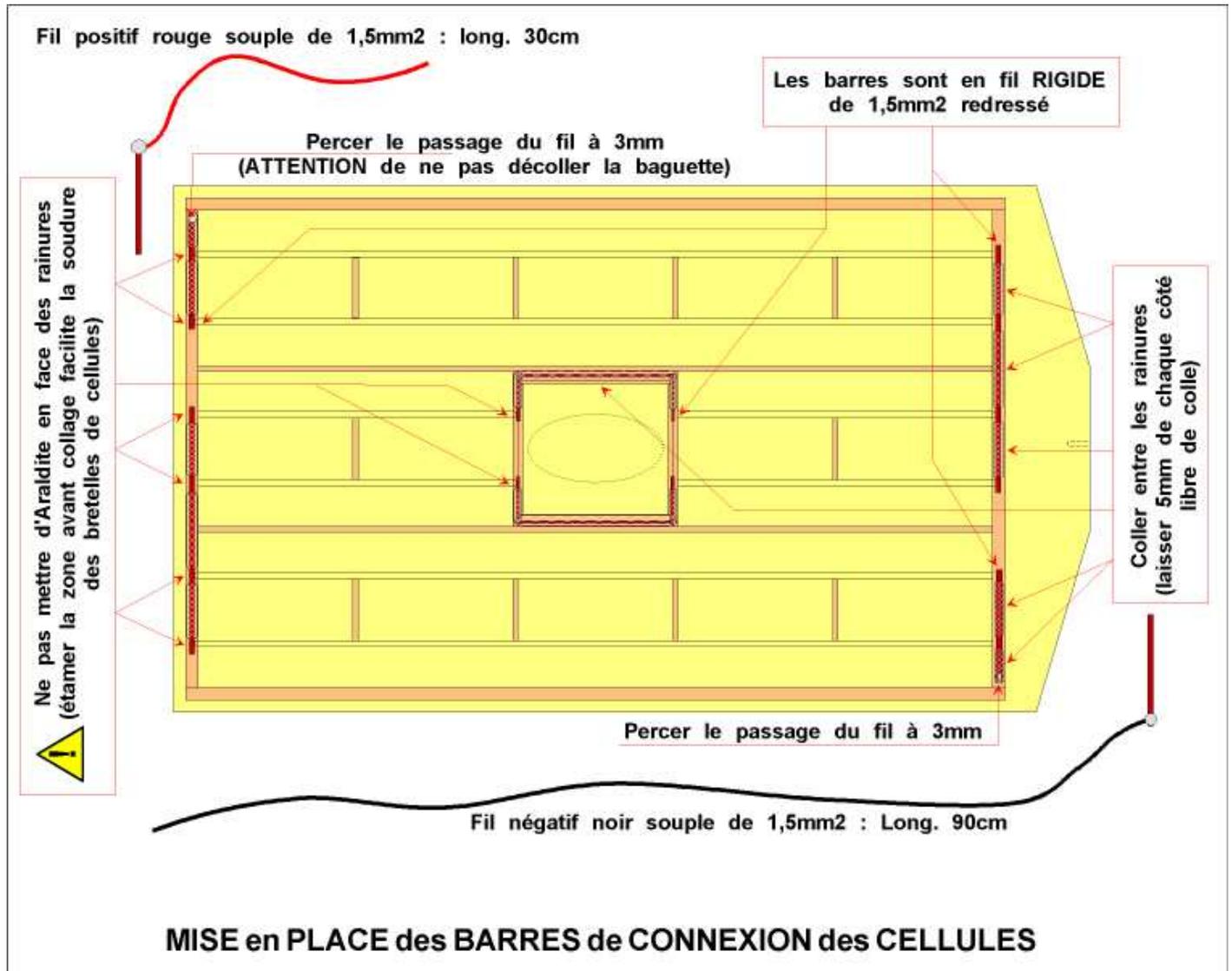
L'antenne : Le récepteur étant sous le panneau solaire, qui est en silicium, son antenne doit être dégagée pour éviter les pertes de contrôle. Si on met 20 ou 30cm d'antenne verticale, elle fera un peu d'ombre sur le panneau dans les bandes 27, 41 ou 72MHz. En 2,4GHz l'antenne ne mesure que quelques centimètres et si elle est judicieusement placée, elle ne fera pas d'ombre sur les cellules.

Un moyen, pour s'affranchir du blindage des plaques de silicium est de coller un fil d'antenne à la périphérie du plateau. Cela fait une antenne en T replié qui a de bonnes performances en réception et vous assure une portée confortable.



Mise en place des connexions pour les cellules photo-voltaïques

Toutes les cellules sont électriquement en série et chaque rangée doit être connectée à la rangée suivante. Pour plus de commodités toutes les soudures des cellules se font sur le dessus du plateau. Il faut coller à l'Araldite des fils rigides à chaque extrémité de rangée.



Souder les fils d'alimentation rouge et noir avant de coller le fil rigide sur le plateau. Dans le logement central, vous pouvez mettre un seul U qui prend les 2 bus de connexions des cellules. Vous gagnerez sans doute 1g ou 2.

Les parties des barres où viennent se souder les connexions ne boivent bien sûr pas être peintes !

Si vous voulez coller une bulle pour le pilote, il faut la coller maintenant.

Votre plateau est fini, prêt à recevoir les cellules, vous pouvez commencer à le peindre. Si vous avez des aspérités à boucher, faites le avec de l'enduit à l'eau et une petite spatule. Une fois sec, poncer au papier abrasif 220 pour avoir une surface bien lisse.

Utiliser de la peinture acrylique à l'eau pour ne pas attaquer le polystyrène. Commencer par le blanc et ménager les surfaces obligatoires de 6cm par 6cm pour le n° concurrent (dessus) et le latéral bâbord de 8cm sur 6cm pour le logo de la course.

Pour le reste... à vos pinceau (ou aérographe) et votre imagination

Si vous voulez fabriquer vos autocollants : Faites le à l'imprimante sur transparent et vaporiser au dos de l'adhésif permanent en bombe. Ca tient très bien.

Appros de l'adhésif en bombe : Fourniture de bureau.

Le train avant :

Pour éviter le « snaking » en sortie de virage la direction doit être auto-centreuse.

2 solutions : soit faire une roue tirée (comme sur les caddies de super-marché)

soit donner un angle de chasse au pivot de roue (comme sur toutes les voitures)

Sur ces modèles réduits les 2 solutions ont des avantages et des inconvénients :

La roue tirée : la bande de roulement reste à plat dans les virages – En début de course ou pour le parcours de slalom, l'adhérence semble meilleure.

Avec des mousses tendres (dureté shore 25 ou 30) le pneu se déforme dans les virages et donne au fil des tours une usure sur l'extérieur de la roue, la roue devient conique et l'adhérence en entrée de virage à tendance à se dégrader.

La roue avec un angle de chasse : La bande de roulement prend le même angle que la chasse – En début de course ou pour le parcours de slalom, seule une partie de la bande de roulement est en contact avec le sol, l'adhérence semblerait moins bonne ?

Par contre en course et à grande vitesse, l'usure du pneu est plus favorable SI l'angle de chasse est égal à l'angle de déformation du pneu. (Théoriquement il faudrait qu'il soit différent avec des mousses de 25 et des mousses de 35 shore) sur le plan il y a un angle de 19° c'est vraiment le maximum pour des mousses très moles. Pour des duretés shore de 35 ou 40, 10° à 12° suffisent.

Conclusion : A vous de choisir !

La réalisation demande l'usinage de 4 pièces : les plaques de fixation à l'essieu (droites et gauche si vous mettez les raidisseurs verticaux collés à l'Araldite Rapide) et les étriers porte roue (un droit et un gauche évidemment)

Le matériel : 2 ébauches en époxy pour circuit imprimé de 16/10 mm (dont le cuivre est supprimé au perchlorure de fer) de 50mm par 35mm

2 bandes de renfort en époxy pour circuit imprimé (sans cuivre) de 8/10 mm de 35mm par 10mm

Appros : Magasin d'électronique.

72mm de U en aluminium de 15mm de largeur sur 20mm de hauteur d'ailes

Appros : Magasin de bricolage (vendu au mètre)

4 rotules plastiques pour rotor d'hélicoptère modèle réduit de 3mm – Marque Kavan, ref. Maxi nylon ball link 4 - 40 (visserie de 3mm)

Pour la fixation sur la plaque, mettre une vis C-3-40 dans les chapes et scier la tête.

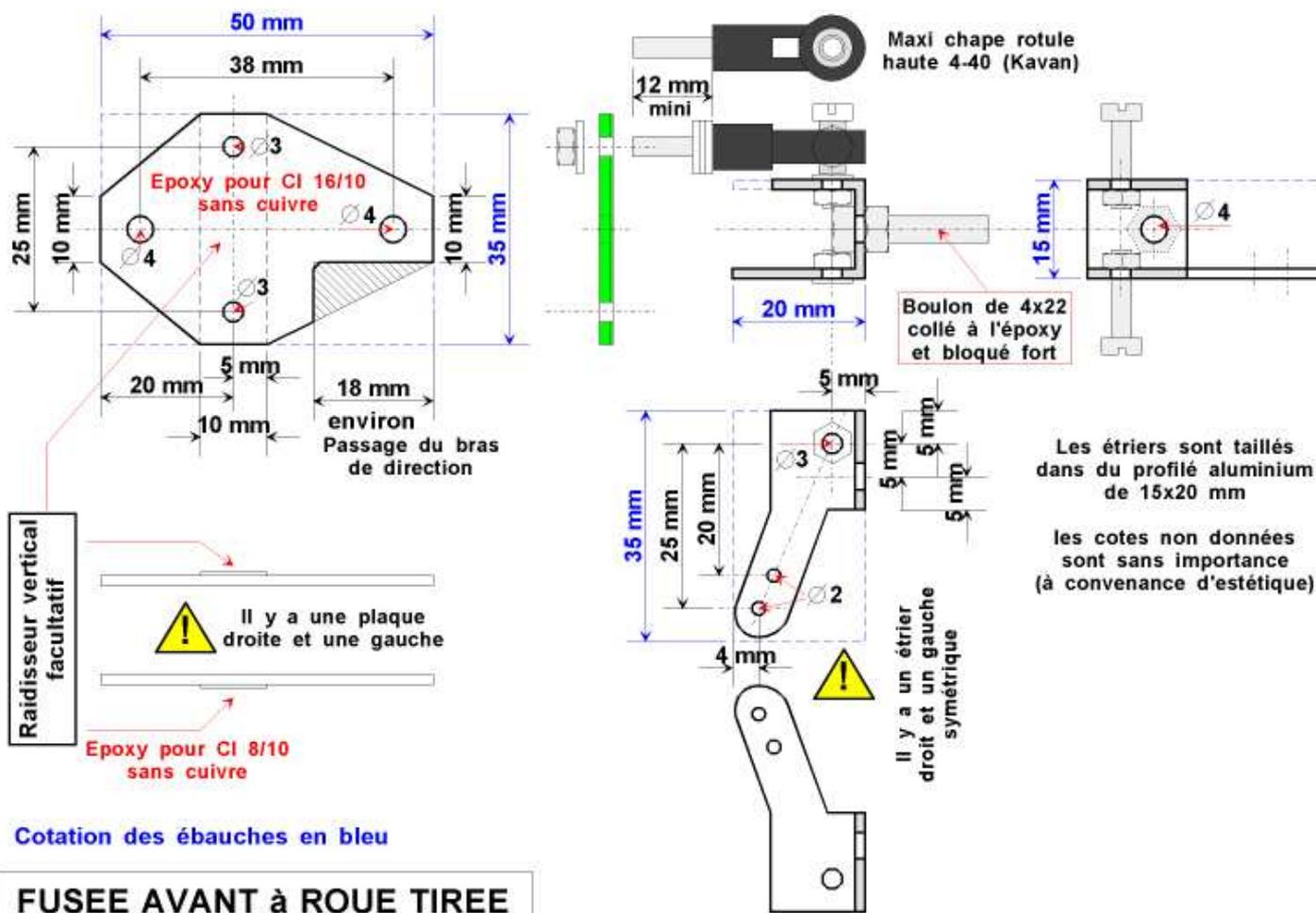
Appros : Magasin de modelisme.

Nb. : Vous pouvez utiliser également des bras supérieurs de suspension pour voiture miniature RC (c'est le même modèle, sans l'épaulement de rotule) Dans ce cas, mettez 3 rondelles de 3mm étroites entre la rotule et l'étrier, elles sont moins hautes.

Vous pouvez aussi monter des rotules mécaniques (SKF ou autre) de 3mm femelles – Appros : Fournitures industrielles roulement à bille. Adapter l'entre axe à l'épaisseur des rotules.

Visserie : 4 vis C 3.13 (des 3.15 recoupés à 13mm)+ 4 C 3.40 – 4 écrous H3 – 4 rondelles plates étroites de 3-6 – 20 rondelles plates moyennes de 3-8 – 2 écrous nylstop de 3mm – 2 vis H4.25 – 2 écrous H4.

Appros : Magasin de bricolage.



Cotation des ébauches en bleu

FUSEE AVANT à ROUE TIREE

Plan n°1 : la roue est tirée.



Les pièces

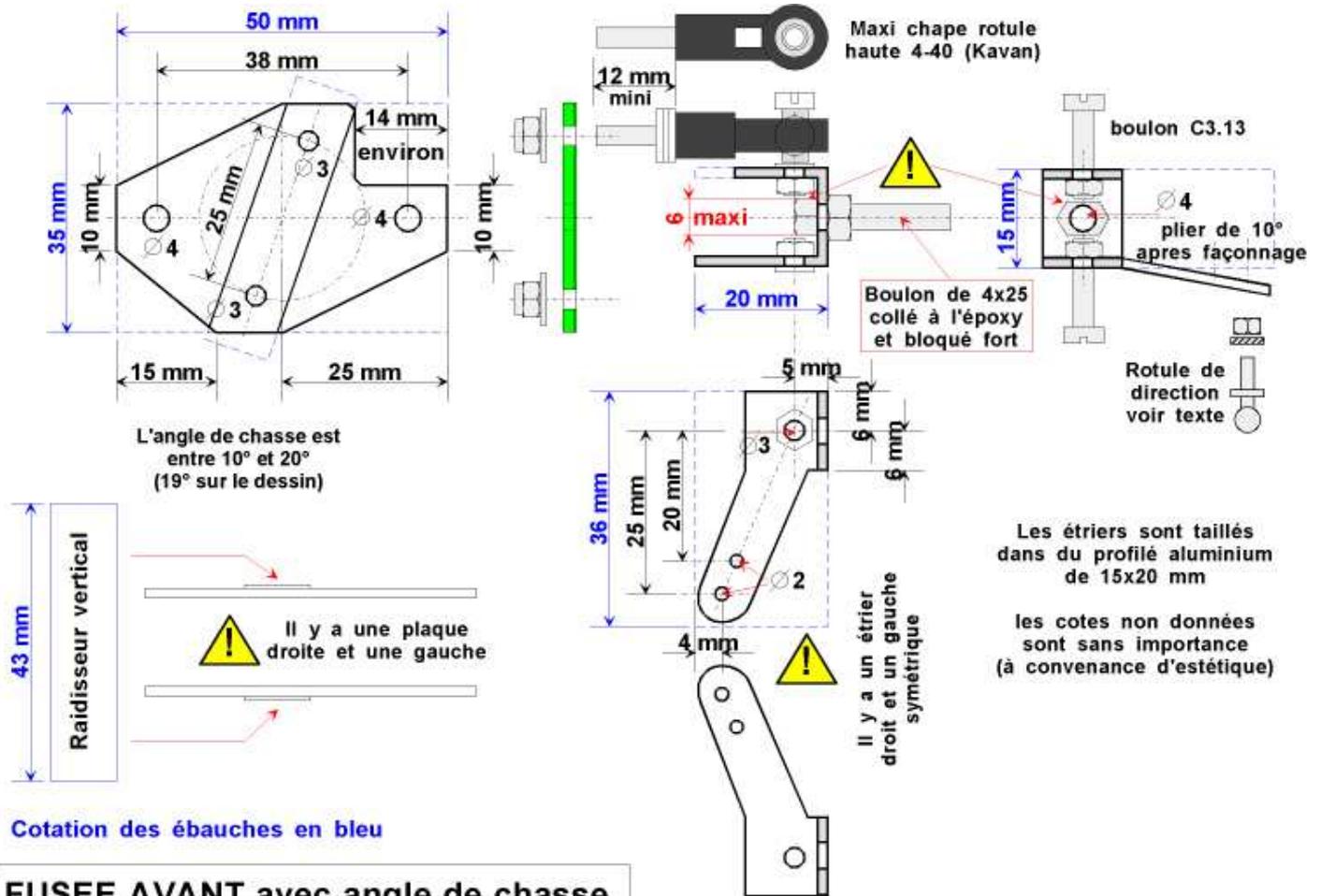


les fusées montées.

Il faut un peu de colle époxy pour coller la vis de 4mm avec son écrou sur l'étrier pour le rendre indémontable.

Monter les écrous de fixation des rotules sur les étriers avec du frein filet (bleu ou vert)

Les bras sont un peu courts, ajouter de 3 à 5 rondelles de 3 par 8 pour améliorer l'angle de braquage maxi ou mieux, fabriquer 4 entretoises en aluminium de 5mm de long.



Plan n°2 : l'axe de la direction passe sur l'axe de la roue.



Les pièces (Supports à 10°)



Les fusées montées

Même remarques que pour le montage à roue tirée.

Pour le montage des rotules de commande, voir à montage de la direction.

Les moteurs et les réducteurs :

La puissance disponible sur le panneau solaire est environ de 25 watts maxi. (La radio-commande à besoin de 1 ou 2w)

Les moteurs devront absorber une puissance de 12,5w chacun. Les rendements réalistes pour ce genre de micro-moteur sont d'environ 65% à 70% pour les meilleurs. L'énergie thermique perdue sera (à la louche) inférieure à 3w. Ces moteurs sont très bien ventilés, les aimants néodyme supportent plus de 80°, cela conduit au choix de moteur très petit en taille.

Le plus « réputé » dans la taille qui nous convient, serait le moteur Axi 2204-54 Gold line. Vous trouverez sa fiche caractéristique ici :

<http://www.modelmotors.cz/index.php?page=61&product=2204&serie=54&line=GOLD>

Son rendement est supérieur à 67% de 2 à 6A et il supporte 7,5A pendant 30s. Son KV à vide = 1.400 t/volt – Son courant à vide est de 350mA – Il a 12 « dents » (c'est un moteur au pas de 30°)

Il fait 27,5mm de diamètre pour 23mm de long et pèse 26g.

Vous l'avez en apros chez Flash RC à 59€.

Ceux que j'utilise : Le 300XT de RC System – Sa fiche caractéristique est « rudimentaire » il supporte 4,8A – son KV = 1300 il fonctionne de 7 à 12v – Il pèse 25g – Il a 9 « dents » (c'est un moteur au pas de 40°)

Pourquoi celui-là : Ses aimants sont les plus puissants que j'ai trouvé (dans ceux que j'ai eu dans les mains) son arbre fait 3mm (c'est du métrique) il fait 25mm de diamètre. Je n'ai pas d'outillage aux normes US, son diamètre externe permet d'utiliser les couronnes en Delrin de 50 dents avec un pignon moteur de (+)18 dents jusqu'à 12 dents (au module de 0,5) – Il ne coûte que 40€

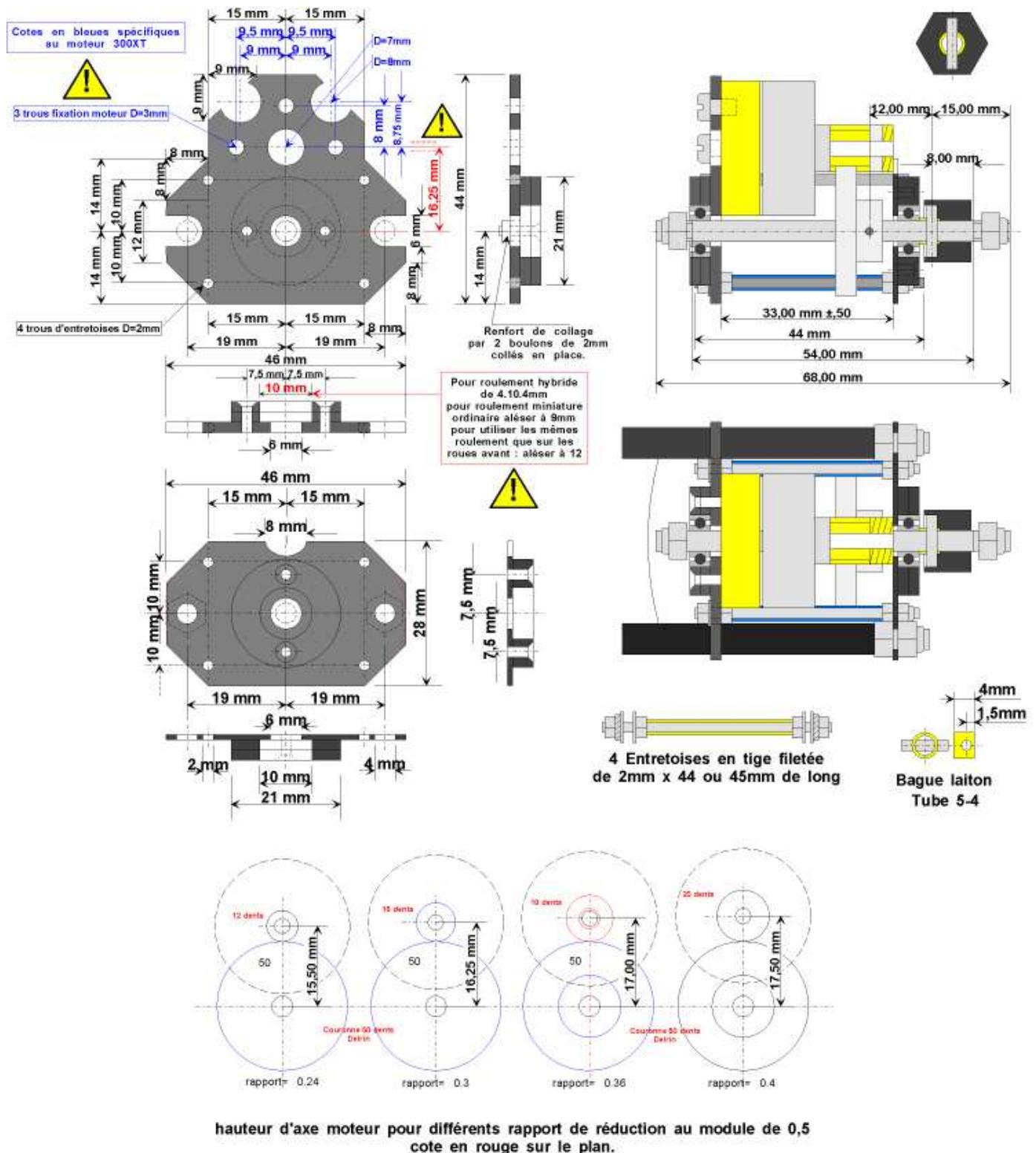
D'autres motorisations conviennent aussi, Dualsky propose 1 ou 2 modèles qui sont utilisables : le XM2226CA qui a un KV de 1450t/v pour un poids de 30g et le XM2812CA-27 qui a un KV=1780 et qui ne pèse que 19g. Pour ces moteurs il faut se procurer des axes de 3,17mm plus longs (les vendeurs de ces moteurs en ont)

Tous ces moteurs (il y en a beaucoup d'autres) sont dans la plage d'utilisation du panneau solaire utilisé sur ce sun-racer que ce soit en 14 cellules ou en 22 cellules. (voir la propulsion en annexe pour plus d'informations)

Les réducteurs : La seule machine-outil que j'ai à disposition est une perceuse à colonne. Le plan proposé permet de les fabriquer sans tour ni fraiseuse. Il serait plus judicieux pour des élèves de leur faire concevoir et fabriquer des réducteurs... on va dire « moins bricolés ». Il faut néanmoins garder à l'esprit qu'ils doivent être le plus léger possible avec le meilleur rendement possible.

Le plan proposé comporte des flasques support de moteur en plaque de carbone de 2mm. C'est moins lourd que le verre époxy de circuit imprimé. Les bagues porte roulements sont constituées de 2 plaques collées l'une sur l'autre à l'époxy. Les roulements sont des modèles hybrides à billes céramiques. Les roues avants de la voiture

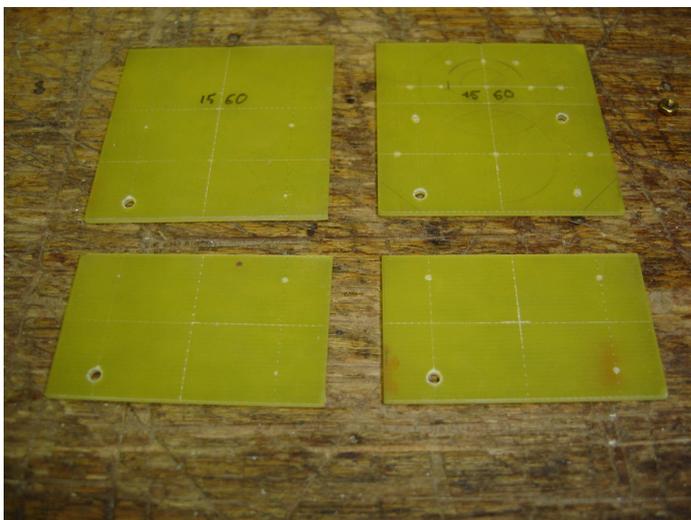
étant équipées de roulement ordinaires de 4x12ZZ, pour des raison de commodité mes premiers réducteurs étaient équipés de ces roulements 4x12, c'est le cas sur les photos. Les roulements hybrides sont moins lourds et donne un rendement un peu supérieur. Pour la flasque avant la plaque de fixation à l'essieu est en carbone de 1mm d'épaisseur, je pense que cela doit suffire. Si vous avez des doutes, utilisez du verre époxy de circuit imprimé en 16/10^e d'épaisseur pour tout. Bien aligné ça marche parfaitement.
 * N'oubliez pas les boulons de 2mm pour sécuriser les collages des portes roulements.



Note : Le plan est donné pour des couronnes de 50 dents. Avec des 60 dents, il faut re-coter l'entre axe pignon moteur- couronne. Le moteur utilisé pour ce plan est un 300XT de 25mm de diamètre. Pour les moteurs de 27.5mm de diamètre il faut utiliser une couronne de 60 dents.

La confection des flasques en images quand on ne possède qu'une perceuse à colonne :

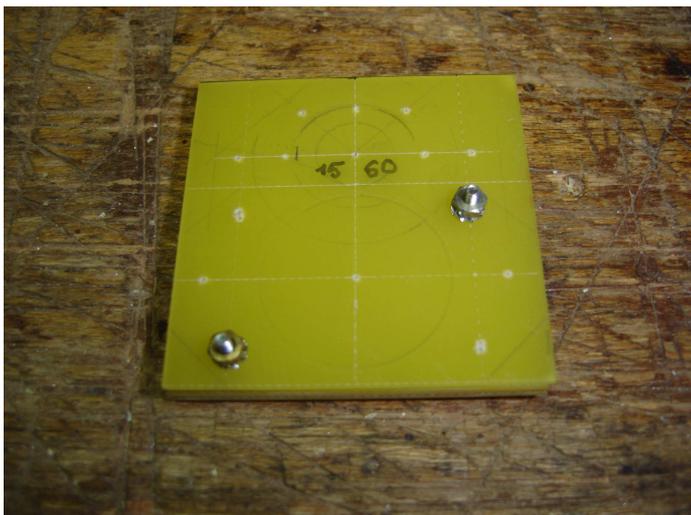
Les trous du réducteur qui supportent l'axe de la roue, les entretoises en tige filetée de 2mm et ceux de la fixation à l'essieu doivent être parfaitement alignés. Quand on ne possède pas de table XY pour les pointer avec exactitude séparément, il faut les percer dans toutes les flasques en même temps. Votre réducteur aura un sens pour le montage (ne retournez pas une des flasques) mais tous vos trous seront parfaitement alignés.



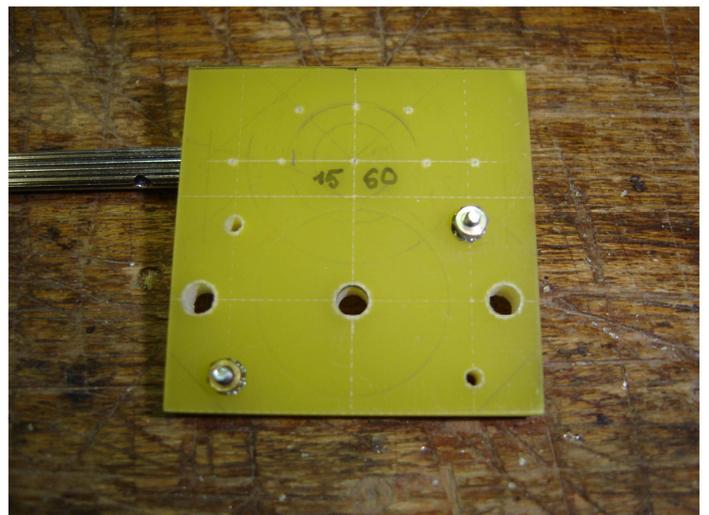
1- Découpe des ébauches et tracé des axes.
Percer 1 trou d'entretoise à 2mm.



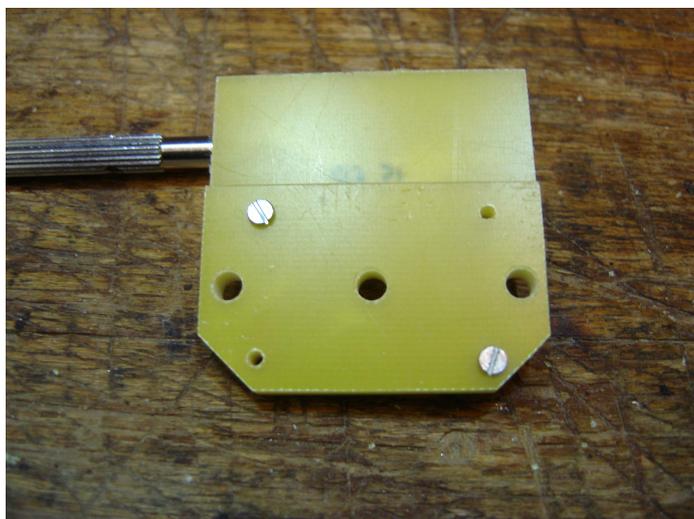
2- Assemblage des 4 plaques ensemble



3- Perçage d'un 2^e trou et assemblage à 2 boulons de 2mm.



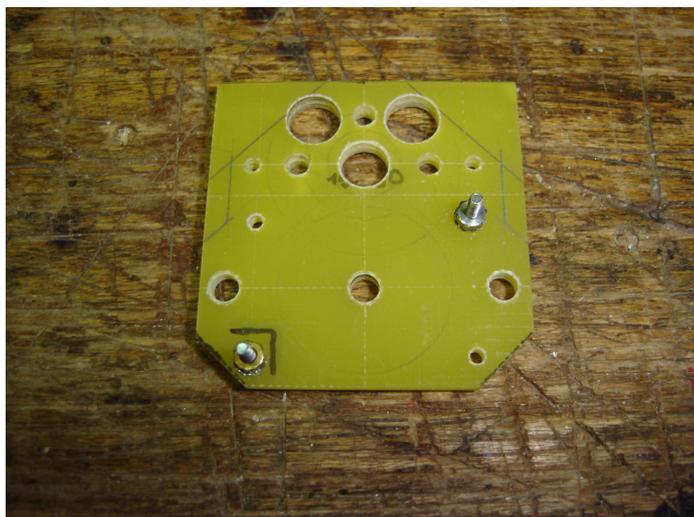
4- Percer ensemble tous les trous côté Couronne. L'axe de roue à 4mm.



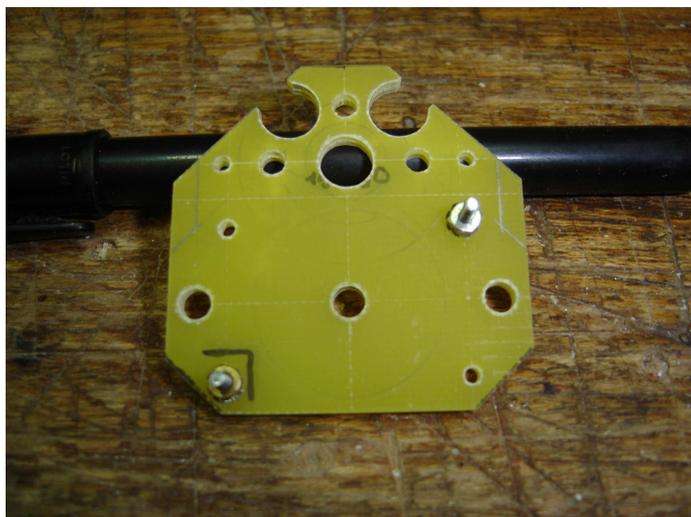
5- Usinage aux cotes du bas et des côtés.



6- Le réducteur aura un sens de montage mais tous ses trous seront alignés.



7- Perçage des 2 plaques côté moteur



8- Usinage aux cotes extérieures



9- Coller ensemble 2 plaques de 16/10^e de 50 par 50mm pour les porte roulements.
Sur la photo il y a 8 paliers pour 4 réducteurs.



10- Tracer et pointer les centres à 3mm



11- percer à 11,5mm et aléser à 12mm.
Pour des roulements hybrides 4.10 il faut aléser à 10mm.



12- Découper les paliers et les empiler entre 2 rondelles sur un boulon. Scier et limer tout ce qui dépasse des rondelles.



13- Coller les paliers sur les flasques.
(voir notes)



14- Repercer à 6mm le passage des tubes et les ouvrir, sur la plaque porte moteur. Coller les boulons de sécurité de 2mm.
(voir notes)

Sans machine à pointer ou table XY, on peut réaliser des réducteurs parfaitement alignés, avec cette méthode.

Notes : Tous les collages des plaques de verre époxy (ou de carbone) sont fait à l'Araldite rapide, elle met 20mn pour polymériser à température ambiante.

Il faut passer au papier abrasif fin, tous les plans de collage du verre époxy (ou du carbone) pour dépolir les surfaces. Sans cette précaution, la colle à une mauvaise adhérence de surface probablement due à des résidus de démoulant.

Quand on perce des plaques collés ensemble (paliers) il faut percer avec une toute petite vitesse de coupe. Regardez bien la photo n°11 : autour du trou du haut à droite, on voit une zone plus claire. Pour ce trou là, j'ai voulu percer trop vite et le collage a cédé.

Pour que les paliers soient bien centrés sur l'axe des roues, il faut se servir du roulement à bille comme centreur. Sur une vis de 4mm (mesurez les, elles ne font pas toutes 4mm avec du filetage roulé, sinon prenez un morceau de tige fileté usinée) il faut

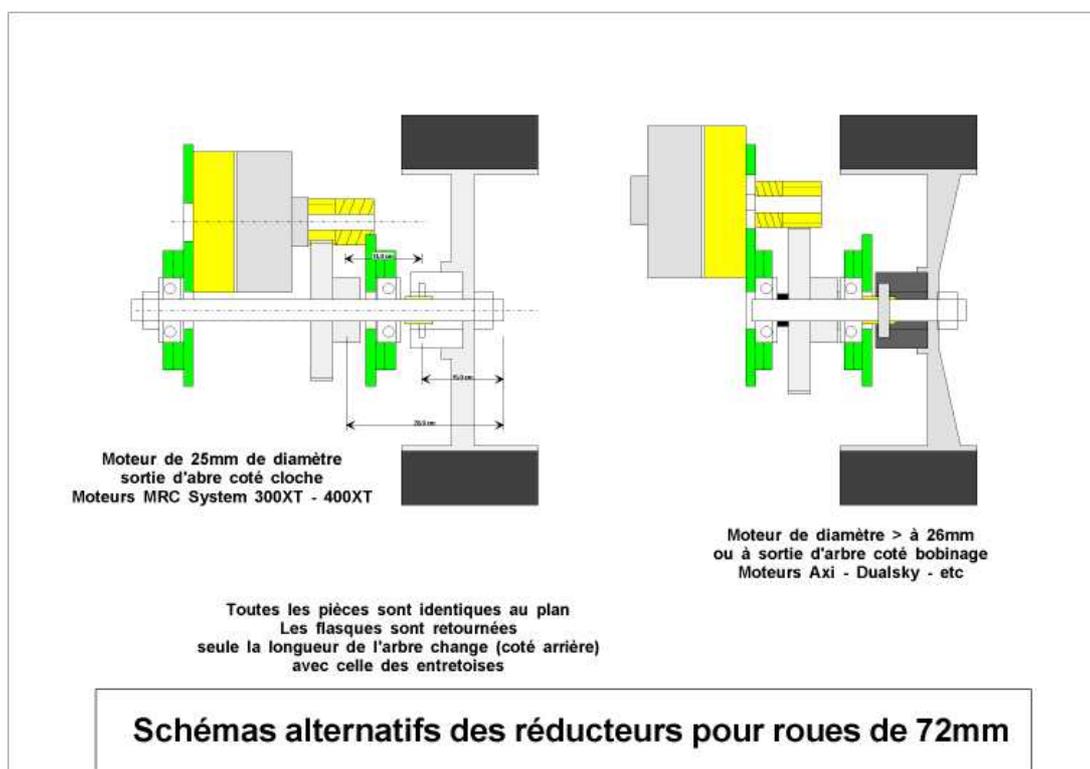
empiler le roulement avec 2 rondelles étroites de 4mm (pour ne pas coller le roulement avec le palier sur la flasque) engager le roulement dans son logement sur 2mm. Passer la colle sur le palier, sans en mettre plus que nécessaire (un bon joint de collage ne fait que 1 ou 2/10^e de mm). Passer la vis dans le trou de la flasque et serrer le roulement et les 2 rondelles avec un écrou. Pour uniformiser l'épaisseur de résine, il faut faire tourner le palier sur la flasque en pressant très légèrement le joint de collage. La viscosité de la résine fera un joint parfait. Le joint de collage se voit très bien coté flasque qui est plus mince. Laisser polymériser 20 ou 30mn et démonter le roulement (prendre une pince pour l'extraire, en tournant, sans solliciter le joint de collage). Si vous n'avez pas mis trop de colle, le congé intérieur doit être très petit. Si ce n'était pas le cas, vous pouvez nettoyer l'angle intérieur avec une pointe à tracer ou un petit tourne vis d'horloger. Pendant 1 heure environ, la colle se « pèle » assez facilement. Ne touchez pas au congé externe.

Attendre 24h après le collage des paliers pour percer et mettre en place les 2 boulons de sécurité. Ce sont des F2.10 qui sont collés en place à l'Araldite rapide, la vis + l'écrou. Une fois collés et secs il faudra limer l'excédent de vis qui dépasse de l'écrou.

ATTENTION : Sur le plan, les écrous des boulons de 2mm qui sécurisent le collage des paliers, sont contre la flasque à l'intérieur du réducteur. C'est le cas si vous avez choisi les moteurs de MRC Système (ou tout autre de 25mm de diamètre avec l'arbre sorti coté cloche tournante) – Si vous avez choisi des moteurs Axi ou Dualsky à 12 dents de 27,5mm de diamètre avec la sortie d'arbre coté bobinage (partie fixe) les écrous doivent se trouver coté intérieur sur la bague porte roulement. Ne vous trompez pas de sens pour le fraisage de la tête (au moins pour le palier avant). Sans cela vous ne pourriez pas monter le moyeu hexagonal de la roue.

Les plaques du réducteur présentées sur la photo, sont faite pour un sun-racer avec une suspension à 4 roues indépendantes. L'axe des boulons de 2mm est décalé de 90°

Re-percer à 6mm le passage de l'axe de roue, pour dégager la bague du roulement et sur les plaques qui portent les moteurs, le passage des tubes de carbone. Une fois re-percé à 6mm ouvrir le trou avec une lime pour en faciliter le montage (voir photo)



L'entraînement de la roue se fait par un moyeu hexagonal de modèle réduit de voiture au 1/10^e. Il en existe 2 modèles, des larges (de 9mm) et des étroits (de 4mm). Prenez les larges, ils sont livrés par 4 avec leurs goupilles.

Appros : magasin modelisme. Ref. Avioracing : Hexagone large. 4600V21071L

Les pignons du réducteur au module de 0,5 : Le pignon moteur est en laiton de 15 dents en 8v (vous pouvez essayer 18 dents) ou 12 dents en 12v. La couronne a 50 dents en Delrin.

Les réducteurs acceptent des couronnes jusqu'à 60 dents au module de 0,5 et 36 dents au module de 0,8. (Vous avez 32mm entre les tubes)

Appros : HPC Engrenage (voir tous les modèles qui se montent et/ou les usinages spéciaux sur demande)

Pour ne pas avoir de surprise aux essais, prendre des rapports de réduction autour de 1/4 avec un panneau 12v et autour de 1/3 avec un panneau en 8v

Les rapports possibles utilisables avec ces réducteurs :

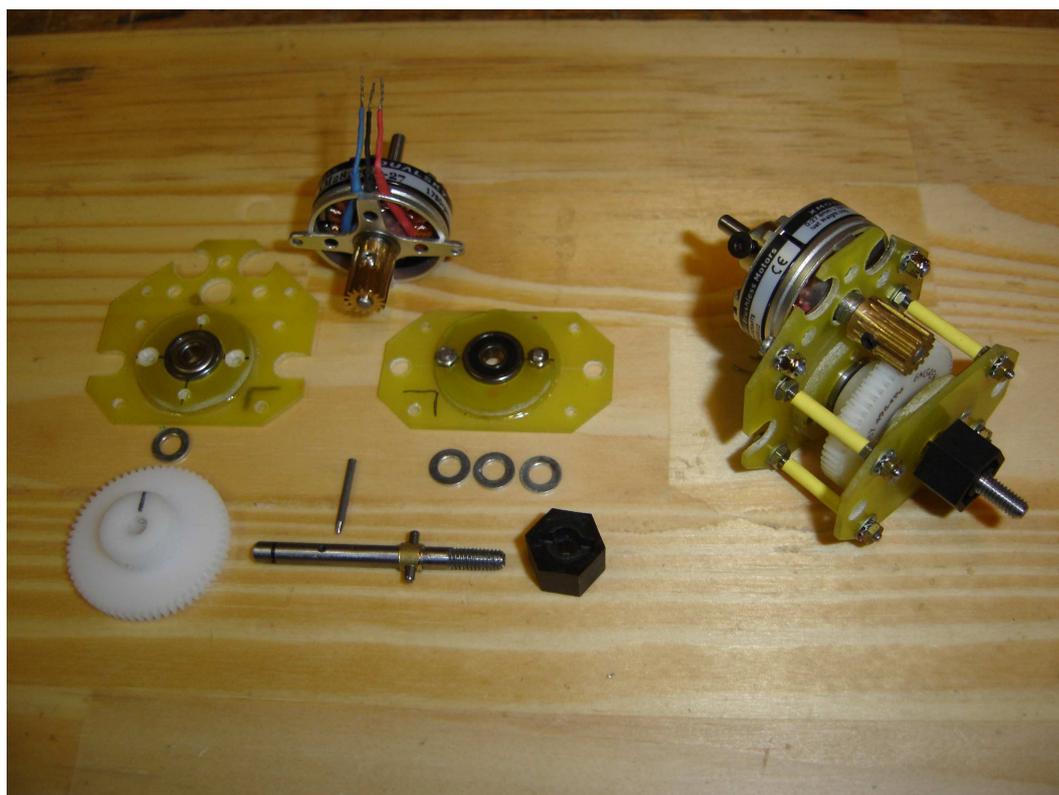
12/60 (?) – Il faut un moteur qui tourne très vite, 12.000 t/mn (monté sur son essieu).

12/50 : Avec un 300XT en 22 cellules c'est très rapide et très nerveux (aux limites du panneau... et des pignons en Delrin au module de 0.5)

15/60 : Idem ci-dessus, la couronne supporte mieux... un grand soleil.

15/50 ou 18/60 : pour un panneau en 14 cellules.

18/50 : En 14 cellules pour un moteur avec un couple important et un KV faible ou une piste très rapide.



A gauche : les pièces (il manque les entretoises de 2mm). A droite le réducteur monté.

Le rapport de réduction est de 15/60, les moteurs sont des Dualsky XM2812CA-27.

A noter : La goupille de la couronne Delrin – en corde à piano de 15/10.

La petite bague en laiton qui permet de passer du diamètre 4mm à 5mm sur l'entrée de l'hexagone d'entraînement de la roue. (La goupille de 2mm est livrée avec l'hexagone)

L'ensemble monté pèse 58g

Les roues

J'ai choisi des roues avants de voiture RC au 1/8^e, elles font 72mm de diamètre et 37mm de largeur mais il en faut 2 modèles.



A gauche sur les photos, le modèle utilisé pour les roues avants. A droite, pour les arrières.

Commençons par les roues avants qui vont équiper le sun-racer : Il faut monter dans le moyeu, 2 roulements à billes de 4mm. Le trou dans la roue d'origine fait 12mm, les roulements 4x12 (604 ZZ C) se montent sans modification. Mais pour bloquer en place les roulements, un seul type de jante convient.



Voilà les 3 types de jantes que j'ai trouvés dans le commerce.
SEUL le modèle de gauche convient pour notre usage. (Le dessin de la flasque de roue est différent)

Les 2 autres modèles (de droite) n'ont pas assez de plastique autour du moyeu pour mettre en place les boulons de 2mm qui empêcheront les roulements de sortir de leur logement.

1^{ere} opération : Les roues du commerce pèsent 33g, il faut les faire sérieusement « maigrir » ! Elles font 37mm de largeur, c'est inutile pour notre usage, 18 à 20mm donne une adhérence suffisante sur la piste.
Pour la couper : monter la roue sur un boulon de 12mm, monter le tout sur une perceuse (ou un tour) et avec un cutter très solidement fixé (dans un étau machine ou sur la tourelle du tour) vous en tranchez 17 ou 18mm. Faites les 2 roues à la même largeur.

2^e opération : monter 2 roulements dans le logement (intercaler une rondelle étroite de 4 entre les deux bagues, collée avec un adhésif quelconque) et percer 2 trous de 2mm tangent à la cage des roulements (côté intérieur de la roue). Monter en place 2 boulons de 2mm et coller l'écrou au vernis à ongle **SANS LES BLOQUER** pour ne pas désaligner les roulements.

3^e opération : Avec une scie à chantourner, supprimer 3x2 rayons pour alléger la roue.

Finie et équipée de sa quincaillerie, elle ne pèse plus que 26g.



Trancher la roue à 20mm de large



mettre en place les roulements, percer à 2mm dans le moyeu pour les boulons.



Coller les écrous au vernis sans les serrer



Supprimer une paire de rayon sur 2.

Note : La rondelle intercalaire entre les 2 roulements n'est pas indispensable. Elle doit être collée sur une des bagues intérieures pour ne pas se balader entre les roulements. Ce collage est plutôt délicat : Il faut mettre le cyanoacrylate avec une pointe de cure-dent sur la rondelle et posé le roulement dessus en essayant de ne pas coller la flasque d'étanchéité sur le roulement avec une bavure de colle. La supprimer ne change rien au fonctionnement. Avec les 2 roulements seulement montés l'un contre l'autre, le montage revient à un roulement unique à 2 rangées de bille, ce qui est tout à fait satisfaisant du point de vue mécanique, pour cet usage là. On peut dans ce cas utiliser des roulements 604 Z C. Le seul inconvénient de ce système est lié à la tolérance de fabrication sur la largeur des bagues

intérieures et extérieures du roulement. Si l'intérieure est moins large que l'extérieure les roulements vont « serrer » un peu.

Les roues arrières : Trancher la roue à 24 ou 25mm (faire les 2 arrières de même largeur) et supprimer 1 rayon sur 2 comme pour les roues avant.



Trancher la roue à 25mm de largeur.



Supprimer 1 rayon sur deux.

Pour couper les roues arrières, utiliser un des axes de réducteur comme support, monté sur une perceuse ou un tour et trancher au cutter comme pour l'avant.

Appros : Magasin modélisme ref . roue arrière : AVIORRACING – 4600CB-385 Jante+pneu mousse collé.

Ref. roue avant : N'importe quel fournisseur qui monte ses roues avec le même type de jante que sur la photo. Les miennes sont des GRP Gandini.

A propos des roues : La dureté shore de la mousse du pneu influe beaucoup sur l'adhérence de la voiture. Pour les roues arrières, vous n'avez pas le choix, AvioRacing ne commercialise sous ce modèle qu'un seul type de mousse. Au pif ce doit être du 35 shore. Pour les roues avant vous avez un large choix de 25 à 60 shore. Prenez pour « équilibrer » la voiture des 30 ou 35. Si la piste n'est pas trop « abrasive », elles feront toute une course de 4h.

Il est tout de même conseillé d'avoir un train complet de roue de rechange au cas ou... Vous montez des gommes neuves au départ de la course et vos roues d'essais serviront de rechange éventuel.

Les largeurs de roue influent un peu sur la consommation des moteurs et beaucoup sur la tenue de route. Ne pensez pas que des roues très larges donneront forcément de meilleurs résultats que des roues très étroites. Si la pression au sol x par la surface au contact est théoriquement constante, les essais montrent que les meilleurs temps sur 10 tours de piste sont obtenus avec des roues arrières de 23 à 25mm pour leur dureté shore et des roues avant de 19 à 20mm pour des duretés shore de 30. Les écarts sont significatifs. Mais cela dépend beaucoup du pilote et du tracé de la piste.

Le problème des pare-chocs :

Il faut trouver une matière de densité la plus faible possible qui présente une très grande résistance à l'écrasement, qui soit « collable » avec le polystyrène, qui reprenne ses dimensions d'origine après un choc et qui ne se déchire pas. Rien que ça !

Je n'ai pas trouvé le produit « miracle ».

Voir : <http://www.raja.fr/produits/calage-et-protection/plaques/produit/plaque-mousse-polyethylene-haute-densite.htm>

J'ai l'impression que ce produit ressemble assez à ce que l'on cherche, mais je n'ai pas accès à ce marché, ils vendent des conditionnements de 40 plaques ! (Avec une seule, il y aurait de quoi équiper 5 voitures) Je ne sais pas si ce produit peut se coller sur le polystyrène.

J'ai trouvé dans des « poubelles », une mousse bleue qui sert dans l'industrie de la micro-électronique pour emballer je ne quoi, qui se colle très facilement mais se déchire aux chocs.

Une mousse grise (en U) qui sert dans l'emballage des meubles de bureau, qui a de très bonnes propriétés mécaniques mais présente une « allergie chronique » à un grand nombre de colles.

J'avais dans un vieux fond de tiroir un produit de nom et de marque inconnus qui a d'excellentes propriétés mécaniques et qui se colle parfaitement à la résine époxy... mais je n'ai trouvé personne pour me dire avec précision ce que c'est. Cette mousse présente une résistance à la compression phénoménale pour une densité ridicule ! Elle est vaguement beige. (Il y a une trentaine d'années, un produit similaire était commercialisé par Graupner sous l'appellation Gpad je crois. Il servait d'amortisseur anti-crash dans les avions, pour les premières radio-commandes.)



Photo de droite : Mousse anti-choc utilisée dans l'emballage de meuble. Doit pouvoir se trouver dans les « poubelles » du commerce de mobilier de bureau. (D'origine c'est un U qui protège les tranches des bureaux, dont j'ai supprimé un côté à la scie et réduit à 25mm l'autre aile, celle qui se trouve en dessous sur la photo) La meilleure colle que j'ai trouvée pour cette mousse est de marque Bostik et elle s'appelle : colle fixation étanchéité. (probablement équivalente à celle qui se nomme : sans clou ni vis).

Ne prenez surtout pas une mousse mole qui ne servirait à rien ou une rigide qui casserait au premier choc. Aller voir les tapis de sol de sport... ? Ou de camping ?

Le matériel radio :

En fait, n'importe quelle radio-commande convient, on va dire que certaines conviennent mieux que d'autres. Avant tout, il faut une radio en modulation de fréquence, les modèles en modulation d'amplitude, conviennent peut être aux jouets de Noël, mais pas pour cette application.

Le problème de la fréquence : Sur la piste il y a plusieurs concurrents, si vous avez une radio à quartz, il vous faudra plusieurs quartz. Une radio à synthèse de fréquence vous affranchi de l'approvisionnement des quartz et vous permet de prendre la dernière fréquence de libre, sans courir après un jeu de quartz qui, comme par hasard, sera hors stock pour 6 semaines !

2^e point : Le jour de la course, vous n'êtes pas assurer qu'il y aura un grand soleil et que vous pourrez roulez plein gaz tout le temps. Le ciel peut être « laiteux », « nuageux » voir franchement « gris ». Votre panneau ne vous délivrera pas 5A si le temps est couvert. Vous aurez à disposition : 4A ou 3A ou 2A voir moins de 1A. Si vous donnez à votre pilote comme consigne de rouler à 60% des gaz ou 30% des gaz, il va avoir un mal fou pour régler la position de sa gâchette de gaz à la bonne valeur.

- Une radio programmable vous permet de programmer la course des servos, dont celui des gaz. Si le temps ce jour là ne vous permet que 50% de la puissance des moteurs, vous programmer l'émetteur pour que la course des gaz soit à 50% et votre pilote n'a plus d'autre souci que de garder la voiture sur la piste (ce qui est déjà une tâche ardue !)
- La programmation permet beaucoup d'autres fonctions, dont celle de bien régler le freinage, ce qui n'est pas sans importance sur une voiture !

Dans la bande des 2,4GHz vous n'avez aucun soucis, elles sont toutes programmables et elles trouvent toutes seules, une fréquence de libre dans la bande.

Une 3^e voie sur la radio permet 2 actions importantes : Elle permet de monter un inverseur de marche ou de court-circuiter la diode anti-retour quand cette dernière ne sert à rien !

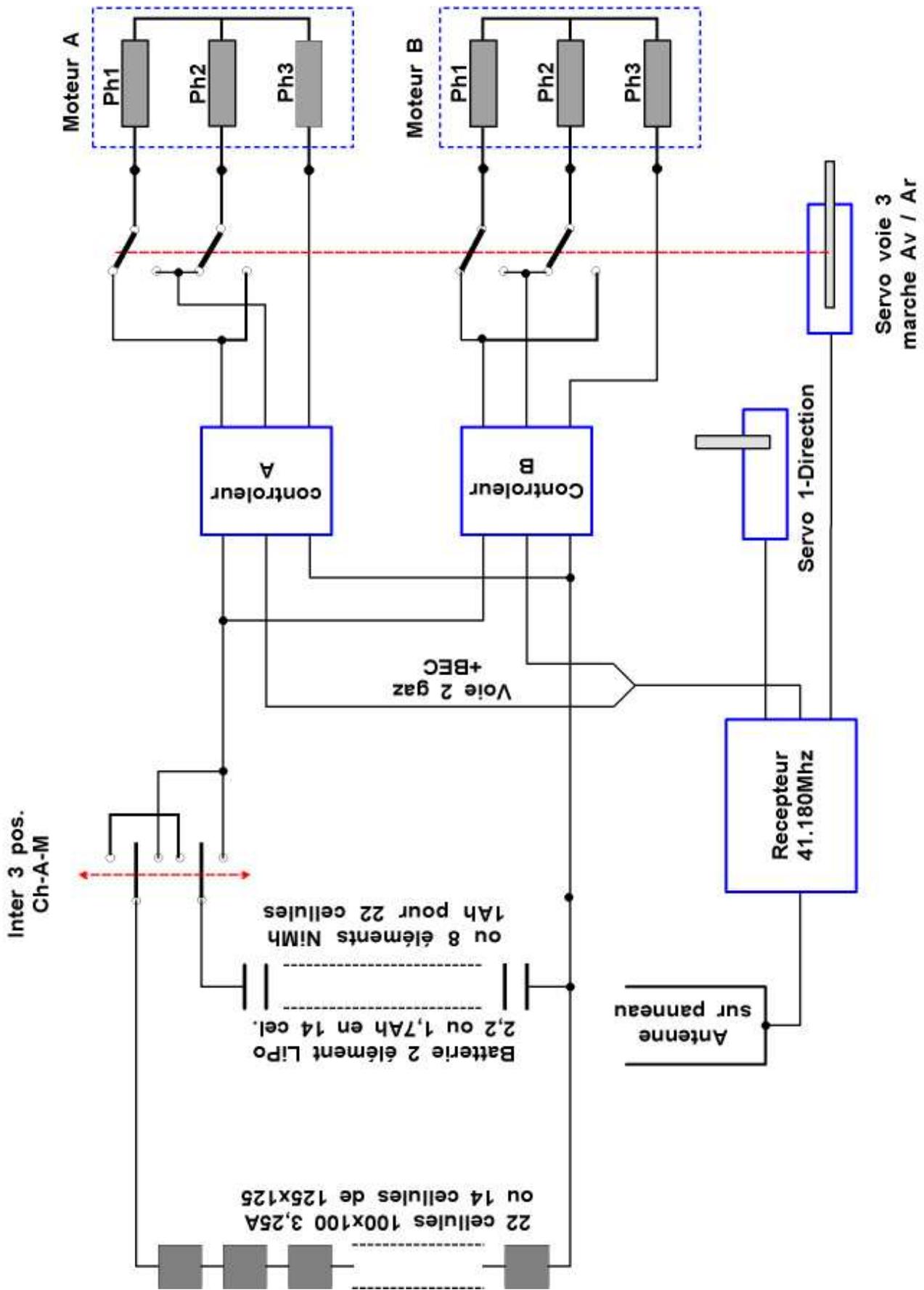
Note : Il existe des contrôleurs qui font les 2 sens de marche pour les moteurs brushless. Je ne les jamais essayé, mais je ne suis pas certain qu'ils représentent un bon choix. La marche arrière est très peu utilisée : En course, elle ne sert pratiquement à rien, les commissaires de piste remettent votre voiture en piste en cas de sortie de route. Pour le parcours de slalom, si vous faites une grosse faute de pilotage et que votre voiture se retrouve coincée, la marche arrière peut vous permettre de sauver les meubles au lieu d'avoir zéro point sur la manche. Les contrôleurs qui font les 2 sens de marche, placent la marche arrière à la place de la commande de frein et celle-là est quasi indispensable en course.

La mise en court-circuit de la diode anti-retour vous fait gagner 9% sur la tension du panneau en 14 cellules, si vous en montez une, s'en priver serait stupide. Ne pas mettre de diode est bien plus simple. Voir dans l'annexe diode ou pas diode.

Le servomoteur de direction : Il doit être léger, il doit être solide et résister aux chocs inévitables sur les roues directrices. Une seule solution : un mini servo (fixation par 2 vis) avec une pignonerie entièrement métallique. Monter un sauve servo sur son axe augmente sérieusement la fiabilité de la direction (c'est un amortisseur de chocs)

Les contrôleurs des moteurs brushless : J'en ai essayé 5 marques différentes, les seuls qui permettent de commander correctement les moteurs sont les contrôleurs Dualsky. C'est élémentaire pour les programmer avec leur petite carte spécifique. Les mettre en parallèle ne pose aucun problème. Les modèles 12A ou 18A assure un freinage très efficace. Il faut une rallonge en Y à 2 prises, pour connecter les deux contrôleurs au récepteur.

Le schémas électrique :



Shémas électrique

Le problème de l'accumulateur :

Que vous construisiez un panneau en 14 ou en 22 cellules aucun accumulateur ne peut se brancher directement sur le panneau solaire sans quelques concessions vis à vis de sa tension et de son courant de charge.

La puissance disponible doit être utilisée au mieux, il est donc hors de question d'en perdre 15 ou 20% en embarquant un chargeur qui maintiendrait l'accu dans sa stricte plage d'utilisation. Tout au plus il serait envisageable un petit montage sécurisant le courant de charge ou la tension maxi admissible.

Les constructeurs d'accus donnent des courbes de charge et d'utilisation qui sont données pour une marche, on va dire « normale ». Dans notre cas, la question qu'il faut se poser est : Quelles sont les conditions limites que peut supporter l'accus que l'on va monter sur la voiture avec une bonne chance de « survie ».

Les conditions limites du panneau sont ses courbes U et I au maxi d'ensoleillement. Nous avons une tension à vide, qui va correspondre au maxi de tension que peut supporter la batterie en charge (puisque par définition, elle ne doit jamais être en floating).

Un courant au maxi de puissance du panneau, qui va correspondre au courant de crête que peut supporter l'accus « vide » et pendant un temps x.

Un exemple avec des cellules Sunway de 125x125 :

Dans les fiches caractéristiques on s'aperçoit que la tension à vide dépend du modèle !

La : AH805100 a une tension à vide de 623mV – Avec 14 cellules = 8,72 Volts

La : AH804600 n'a que 611mV à vide – Pour nos 14 cellules = 8,55V Volts

Ce sont ces tensions que vous mesurerez aux bornes du panneau quand il ne débitera plus et si vous avez un accu de branché à ses bornes, quand il aura un état de charge qui lui donnera une tension égale à celle du panneau.

Avec un accumulateur Nickel Métal hybride, la tension de charge est de 1,34v par élément. La tension du panneau n'est pas divisible par 1,34. Il faudrait 6,5 éléments !

Un accu Lithium Polymère se charge jusqu'à 4,2V et supporte au maximum 4,25V par élément en fin de charge. A première vue 2 éléments LiPo semblent l'idéal pour 14 cellules de ce type, le panneau ne montera jamais au dessus de 8,4V.

Avant le début de l'épreuve votre accu doit être complètement déchargé, puisque toute l'énergie fournie à la voiture doit être d'origine solaire.

- Pour un NiMh cela donne une tension de 0,9V par élément sur une décharge à C/10. Mais dans la voiture, l'accu est à vide et même déchargé, l'effet mémoire va remonter sa tension vers 1,15v.

- Pour un LiPo qui sur une décharge à C/10 devrait descendre à 2,5V il n'y a pas d'effet mémoire et il va rester autour de 2,5 à 2,7V à vide.

Au début de la course vous avez 30mn de recharge batterie. Le courant débité sera sur la courbe : courant f(ensoleillement) du panneau.

Par grand soleil, que soit sur 2 LiPo ou 6 NiMh le courant va grimper allègrement à plus de 4A. Si vous avez choisi des LiPo de 0,5A/h, ils ne vont pas « apprécier »... du tout ! Le courant de charge maxi ne devrait pas dépasser la capacité de l'accu (à peu près).

Comment se comporte le panneau pendant la charge : En première approximation, c'est un générateur de courant jusqu'aux environ de 7,1V au-delà, c'est presque un générateur de tension. Pour charger correctement un accu LiPo il faut lui appliquer un courant constant jusqu'à 4,2V par élément et ensuite une tension constante jusqu'à ce que le courant de charge soit tombé vers 50mA. Là, votre accu est chargé.

On voit tout de suite que cela ne sera pas possible avec le panneau, à 8,4V le panneau ne délivre rien du tout. En fouillant au plus près ce qui se passe dans la réalité, on

s'aperçoit qu'au bout de 30mn de charge on ne peut récupérer que 20 à 30% de la capacité de l'accu. (Au lieu des 40 ou 50% espérés)

Alors quoi choisir : 2 LiPo de 1,7 A/h vous donneront « un poil » de plus d'A/h qu'un 2,2A/h, mais il sera plus malmené ! Il faudra particulièrement soigner l'équilibrage en décharge d'avant course. Un 2,2A/h ne vous rendra rien de plus, sera plus lourd, mais probablement nettement plus résistant à la surcharge du départ.

En course le panneau à Pmax va se situer entre 6,2 et 6,4 volts, la plage d'utilisation de 2 LiPo serait de 7,4v, cela signifie que vous serez toujours très faible en charge pour l'accu et que l'autonomie en cas de temps couvert restera très très faible voir nulle.

Avec 5 éléments NiMh la plage d'utilisation est à 6V ce qui correspond à la tension du panneau aux faibles ensoleillements. La tension de charge de 6,7V est possible avec le panneau, mais lui ne s'arrêtera pas de charger, il va continuer de charger jusqu'à plus de 8v et votre accu à toutes les chances de gonfler "grave" ! Si vous laissez la voiture immobile en plein soleil pendant une heure ou 2 !

Le courant maxi de charge est moins important que pour du LiPo, s'il n'est pas extravagant en regard de la capacité choisie. Revers de la médaille, vous allez embarquer 190g (au format AA en 2,5A/h) au lieu de 95g en LiPo 1,7Ah et la résistance interne étant plus grande les accélérations seront un peu moins « vigoureuses ».

6 éléments NiMh vous replace dans le cas du LiPo vous n'avez presque plus de charge pour rouler en marche on va dire normale. Vers 6v l'accu sera complètement vide.

Un autre accus est utilisable, le lithium ion nanophosphate de fer (A123). Cet accus à une tension nominale de 3,2V ce qui est très proche des tensions du panneau 14 cellules au points de puissance maximum, pour 2 éléments et pour les forts ensoleillements (600 à 950W/m2).

Cet accu à une résistance interne minuscule, sa courbe de décharge est très proche de celle d'un accu au plomb (6,5V – 6,25V de 80% de charge à 20% de charge) il supporte sans "broncher" des surcharges en courant invraisemblables ! Sa tension de fin de charge est de 7,2V à 7,4V ce qui est plus bas que la tension maxi du panneau (à 7,4V le panneau peut encore délivrer 3A par grand soleil). Le constructeur de l'accus nous assure que la tension maxi d'explosion est supérieure à 4V par élément, mais restons prudent et là non plus, n'abandonnez pas votre modèle 2 ou 3h en plein soleil au mois de juin si vous choisissez ce type d'accus.

Pour les faibles ensoleillements vous vous retrouverez dans le même cas qu'avec un LiPo vous n'aurez que très peu ou pas du tout d'énergie dans votre accu.

Attention : Dans le plan du panneau, le logement de l'accus est prévu pour les 3 type d'accus (2 LiPo de 1,7Ah ou 5 NiMh au format AAA ou ½ AA ou 2 Li-ion A123 1Ah). Mettre les mousses d'amortissement dans le logement en accord avec l'accu que vous choisirez.

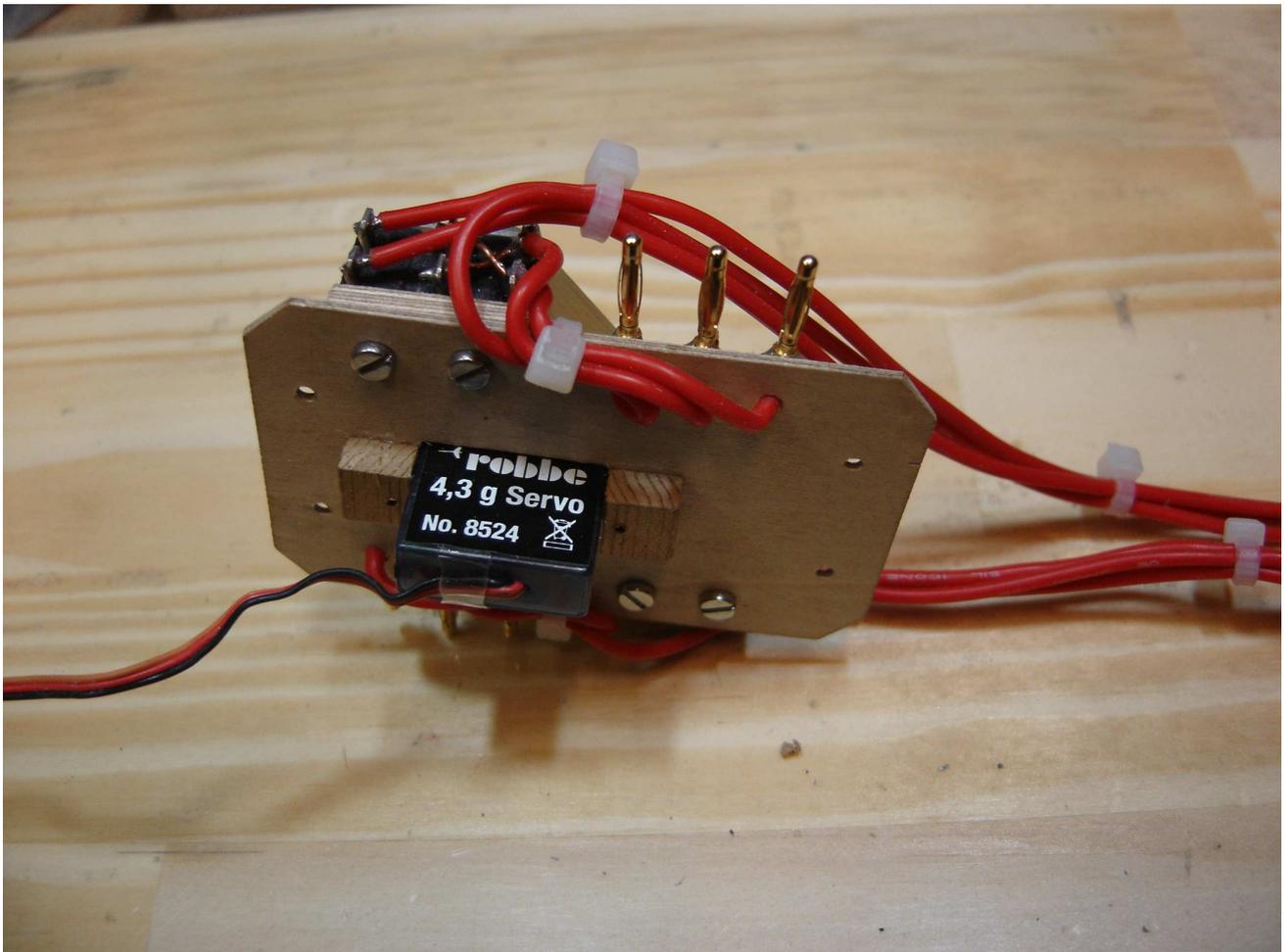
Monter sur l'accus 2 prises PK de 2mm femelles TRES SOIGNEUSEMENT isolées. Utiliser de la gaine thermo-rétractable.

Je vous laisse le loisir de faire le même raisonnement avec un panneau en 22 cellules de 100x100mm.

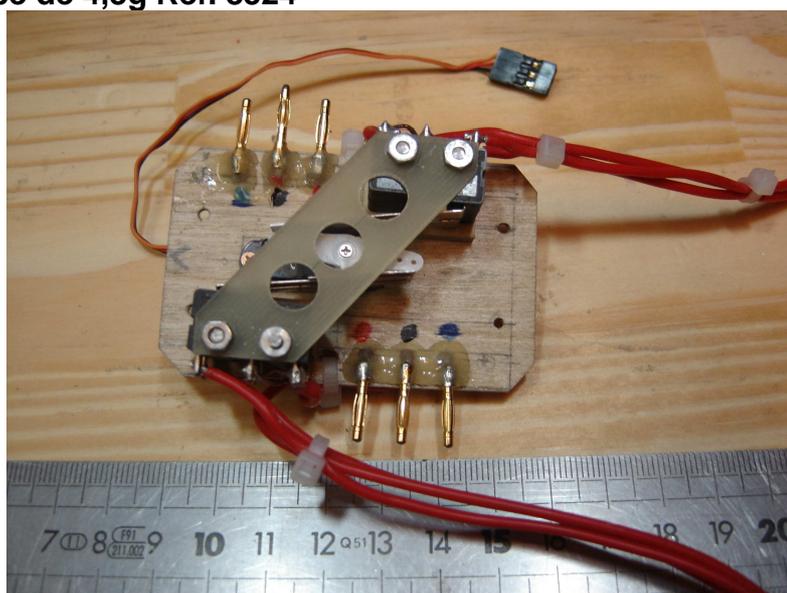
Vous savez tout, votre réalisation est presque terminée, il ne reste plus qu'à poser les cellules photo-voltaïques sur votre voiture. Avant de vous lancer dans les grands travaux de soudure je vous conseille de faire les essais sans les cellules ! C'est plus prudent !

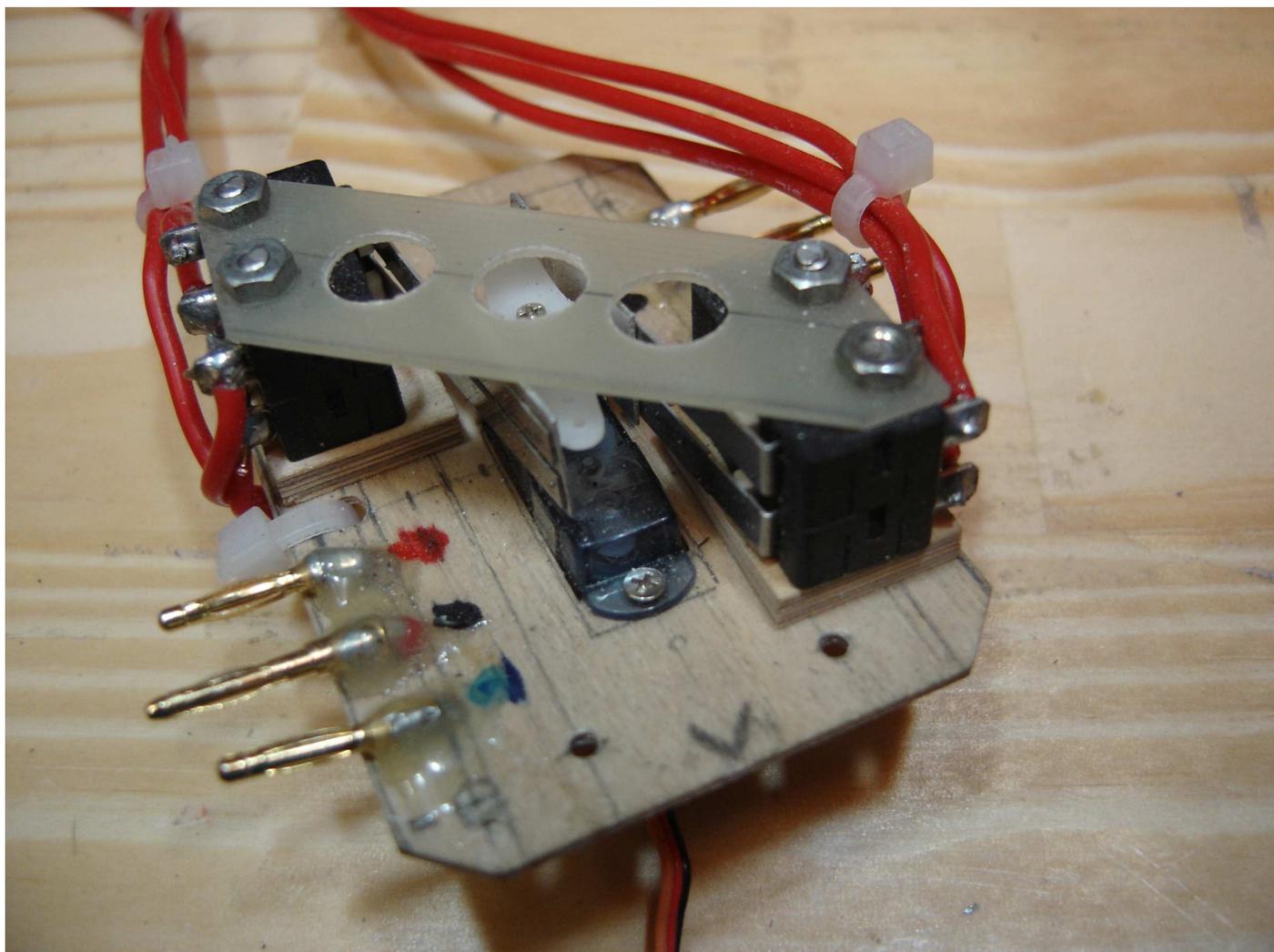
Pour les éléments optionnels :

L'inverseur de marche et éventuellement le shunt de la diode anti-retour.



L'inverseur marche avant / marche arrière. Utiliser pour la commande le plus petit servo possible. Ici un Robbe de 4,3g Ref. 8524





Les bras des 2 switches sont solidarités avec une petite languette d'aluminium de 5/10° d'épaisseur collée au cyanoacrylate. C'est sur cette languette que vient s'appuyer le palonnier du servomoteur pour enclencher les 2 switches simultanément.

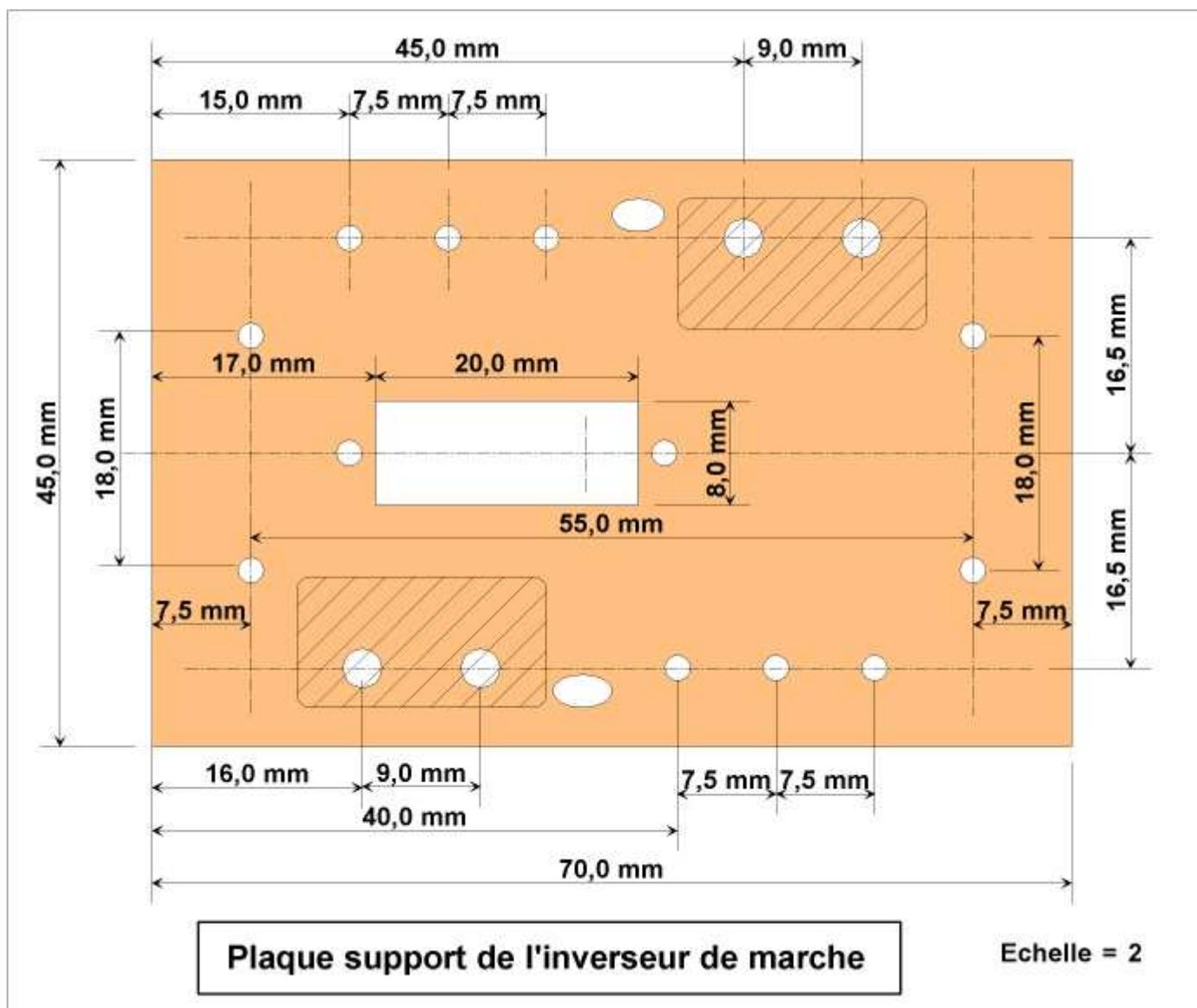
Noter : Les prises PK de 2mm qui rendent le montage facilement démontable (Attention aux bavures de colle ! N'en mettez pas sur la partie enfichable des prises !). Les cales sous les switches pour les amener à hauteur du palonnier du servo.

Les sorties des contrôleurs se branchent sur les 3 prises au premier plan. Les moteurs, au bout des fils rouges. Quand le montage est supprimé, les moteurs sont branchés directement sur les sorties des contrôleurs.

Pour shunter la diode réaliser un montage du même type avec seulement 2 switches pour symétriser l'effort sur le palonnier du servo.

La plaque support est en contre plaqué de bouleau de 1mm. Il faut coller 2 petites cales derrière les vis de fixation du servomoteur. (Sa fixation se fait par 2 vis bois de 1,5mm)
Les trous pour les fils des prises PK et ceux de fixation de l'ensemble, font 2mm
Les trous de fixation des microswitchs font 2,5mm
Les trous ovalisés servent au passage des serre-cables rilsan. (Ca passe à 3mm)

Monter des prises PK femelles au bout des fils de l'inverseur – vers moteur. Des femelles aux fils de sorties des contrôleurs des moteurs. Des mâles aux fils des moteurs et sur la plaque (attention au collage de ces prises). Soigner les isolements des prises PK.



La commande de direction

Pour faire les 2 tringles de commande utiliser du rond de carbone de 2mm. 4 rotules d'hélicoptères MR de 3mm avec fixation de 2mm. 4 manchons de 2mm femelle/vis de 2mm.

Avant de confectionner les tringles, assurez-vous de la « position zéro » du servo de direction : Brancher la radio, vérifier sur l'émetteur que le trim de direction est réglé sur 0
 Monter le servo (ref. : Kyosho KK.FM317C) avec ses 2 rotules (il faut un petit bout de tube alu de 3ext/ 2int pour mettre le trou au bon diamètre) bien dans l'axe de la voiture.
 C'est une galère de monter la bague cannelée intermédiaire dans le moyeu du servo !
 Ne vous trompez pas de bague, une seule conviendra à votre servo !
 Montez les rotules sur les bras de commandes de direction et refaites le zéro du servo, il sera sûrement un peu décalé.

Monter les 4 chapes plastiques à rotule de 2mm dans les manchons filetés à mi-profondeur de filetage et couper une longueur de rond de carbone un peu plus long que nécessaire. Le coller dans un des 2 manchons à l'Araldite.

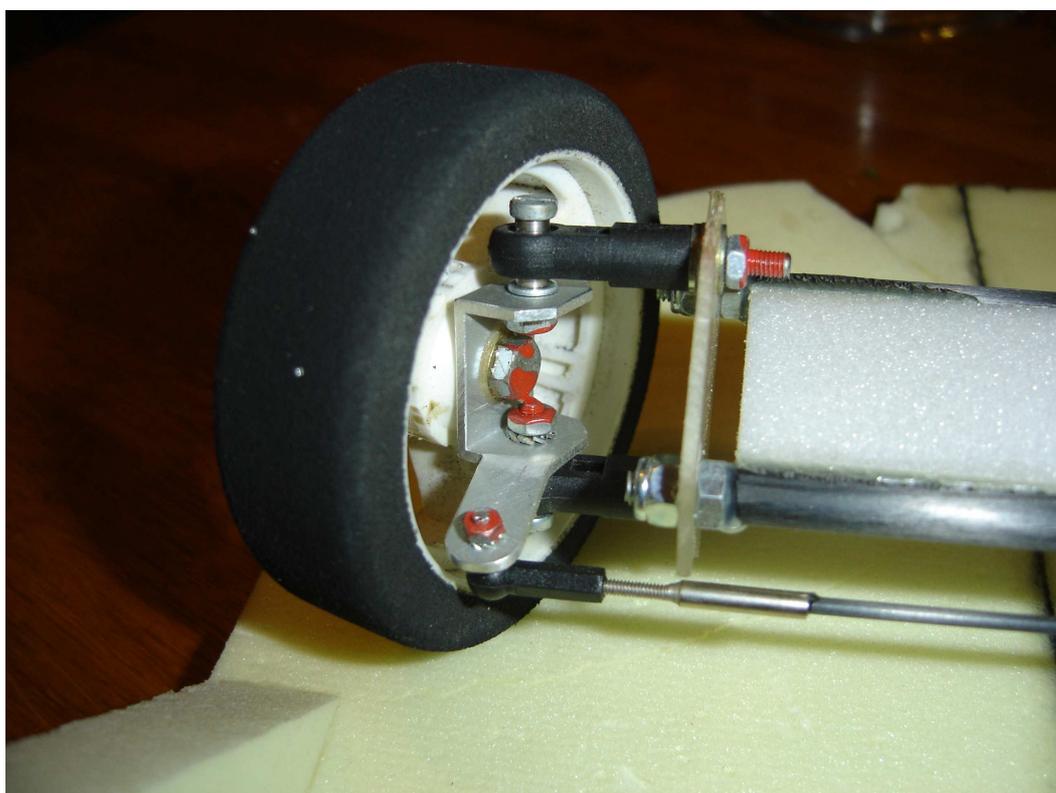
Monter la chape avec la tige, côté servo et prendre le plus précisément possible la cote de la tringle. Couper à longueur et la coller dans le manchon.



Les pièces et une tringle montée



le sauve servo et ses rotules



Le montage sur le bras de commande de direction.

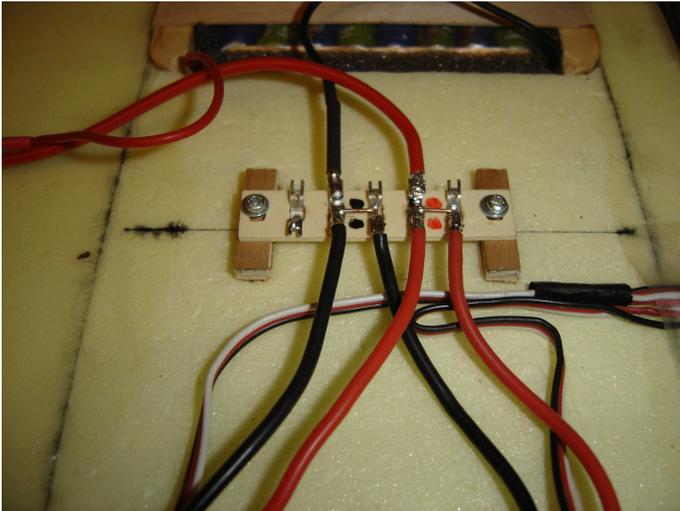
Sur les bras de commande de direction, vous avez le choix entre 2 bras de levier différent : Le trou le plus près de l'axe correspond à un angle de braquage égal au déplacement angulaire du servo. Ca risque de faire beaucoup !

Si vous devez programmer la course du servo de direction en dessous de 50% utilisez le second trou, la précision de la direction en souffrirait.

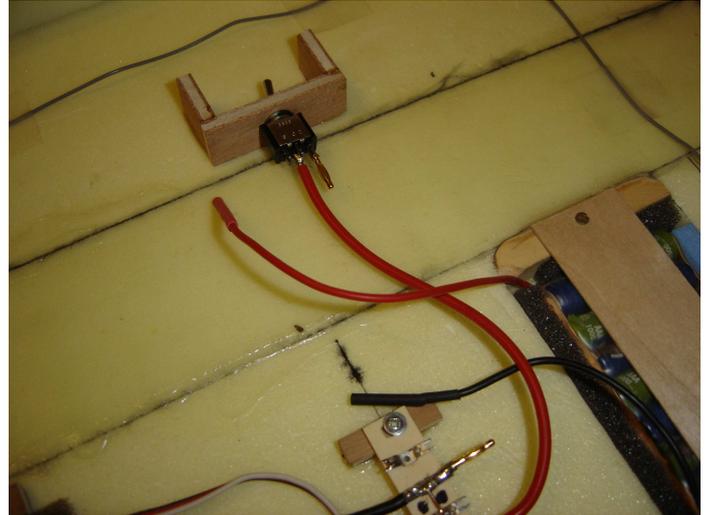
Le rayon mini de braquage pour passer sans encombre le parcours de slalom doit être entre 1m et 1,50m. Aucun des organes de direction ne doit entrer en butée avec quoi que soit. Si vous ne descendez pas à cette valeur écarter la roue de son support en augmentant la cote des entretoises des rotules support (rondelles de 3mm ou bague alu).

Que dire de plus :

Il vous faudra une barrette à 5 cosses doubles pour faciliter les jonctions de câblage. Je n'en ai trouvé que chez Conrad.



La barrette à cosses



Détails du branchement de la batterie sur 2 prises PK mâles.

Soignez votre câblage en mettant le minimum de fils.

Du 1,5mm² souple suffit. A défaut de trouver une mini goulotte, scotez vos fils avec de l'adhésif médical (Blenderm en pharmacie) il est beaucoup plus tenace que le Scotch pour papier.

Avant de lancer la voiture sur la piste d'essais. Programmez vos contrôleurs avec un démarrage normal, les freins sur ON et l'accu qui correspond à votre choix (LiPo ou NiMh).

Vérifier que vos moteurs tournent tous les 2 dans le bon sens (inversez 2 phases, si ce n'était pas le cas)

Vérifier que la direction n'est pas inversée, autrement inverser la commande sur l'émetteur (programmation voie 1 sur reverse) Au pif essayer de mettre les roues avant bien parallèles et en ligne droite et en avant pour les premiers tours de roue !

En premier lieu il faut régler la direction pour que la voiture roule en ligne droite : Utiliser d'abord les réglages des chapes. Quand vous êtes au plus près à 1 tour de vis près avec les chapes, utilisez le trim de direction sur l'émetteur. Mettre 70% d'exponentiel sur la voie pour débiter. C'est plus « confortable » pour éviter les zigzags non désirés !

Pour plus de commodités de pilotage la voiture doit être en roue libre lorsque la gâchette de gaz est relâchée. Pour ce réglage utiliser la programmation de l'émetteur :

Programmer la voie n°2 : côté frein – régler la course maxi à 30% -- Coté plein gaz régler la course maxi à 100%.

Avant d'initialiser les contrôleurs des moteurs assurez-vous que le trim des gaz est à 0 - Enclencher la gâchette des gaz à fond côté freinage – Mettre la voiture sur marche – Après le bip des contrôleurs, enclencher la gâchette de gaz à fond côté plein gaz – Attendre le bip d'initialisation des contrôleurs – Repousser la gâchette des gaz à fond coté frein. Attendre le bip de confirmation – Relâcher la gâchette en position 0. Régler le trim des gaz pour que les roues commencent juste à tourner à petite vitesse.

Votre voiture est prête à rouler. Posée sur la piste la voiture doit être à la limite du roulage. Vous pouvez faire quelques tours de piste sans rentrer dans les murs !

Une manip intéressante à faire, est d'estimer l'autonomie de la batterie : Vous rechargez votre batterie et vous roulez le plus vite que vous pouvez (sans la casser !) en mesurant le temps qu'elle met pour s'arrêter faute de courant. L'autonomie en course sera environ 1/3 de ce temps en cas de passage nuageux.

Vos essais finis, vous pourrez monter les cellules sur le plateau.

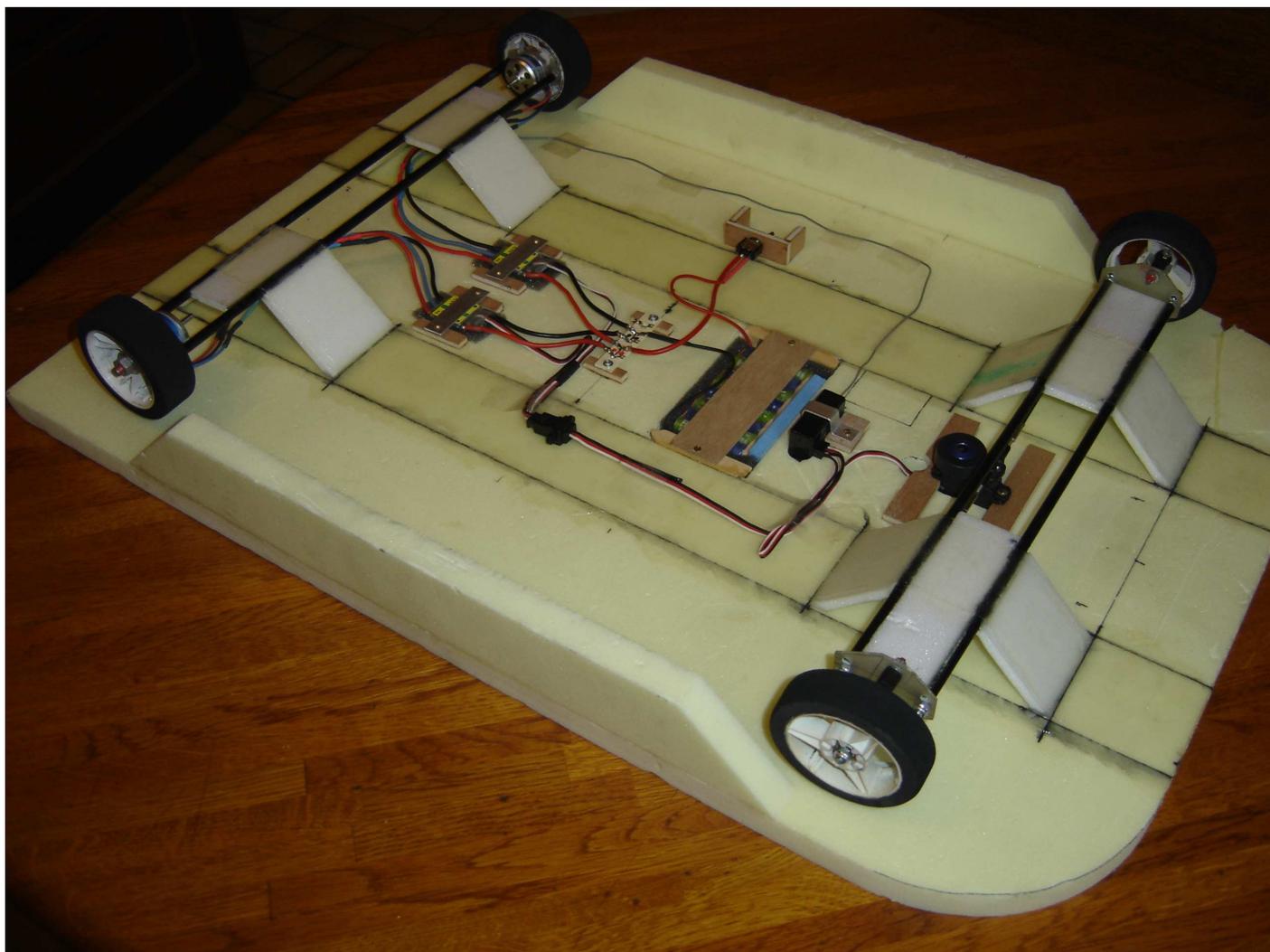
Le prototype qui a servi à valider ce dossier.

Pour donner une raison d'être à un projet il faut le réaliser. Mes voitures ne sont pas sur ce modèle d'architecture et elles sont trop lourdes 1,430kg en ordre de marche au lieu de 1,130kg. C'est en cherchant où enlever 300g que j'ai conçu ce prototype.



Le proto qui a servi de modèle pour ce dossier. Le plateau est en polystyrène extrudé. Dimensionné pour 22 cellules de 10cm x 10cm. Objectif : Poids sans l'accus = 1kg

- Les 2 tubes renfort de 4mm ne sont pas suffisants (il n'y en a pas dessous)- le plateau n'est pas assez rigide
- La feuille de plomb scotchée à l'arrière représente le poids des cellules. (Elle est à l'arrière car les essais ont montré un défaut de centrage important sans les réducteurs)
- Un crash-test à pleine vitesse contre un mur, sans aucune protection, a montré une solidité suffisante de l'ensemble. (Une seule cellule aurait été brisée) Mais si le poids le permet, un renfort d'angle en CTP de 0,8mm collé sous le plateau améliorerait encore ce point.
- Sur une piste le comportement routier est satisfaisant. Sur un parking en état « moyen » la voiture saute un peu à pleine vitesse. (Mais les autres aussi).



L'équipement en place et le câblage. Il est au plus simple (pas de marche arrière, c'est inutile pour ce type d'essais).

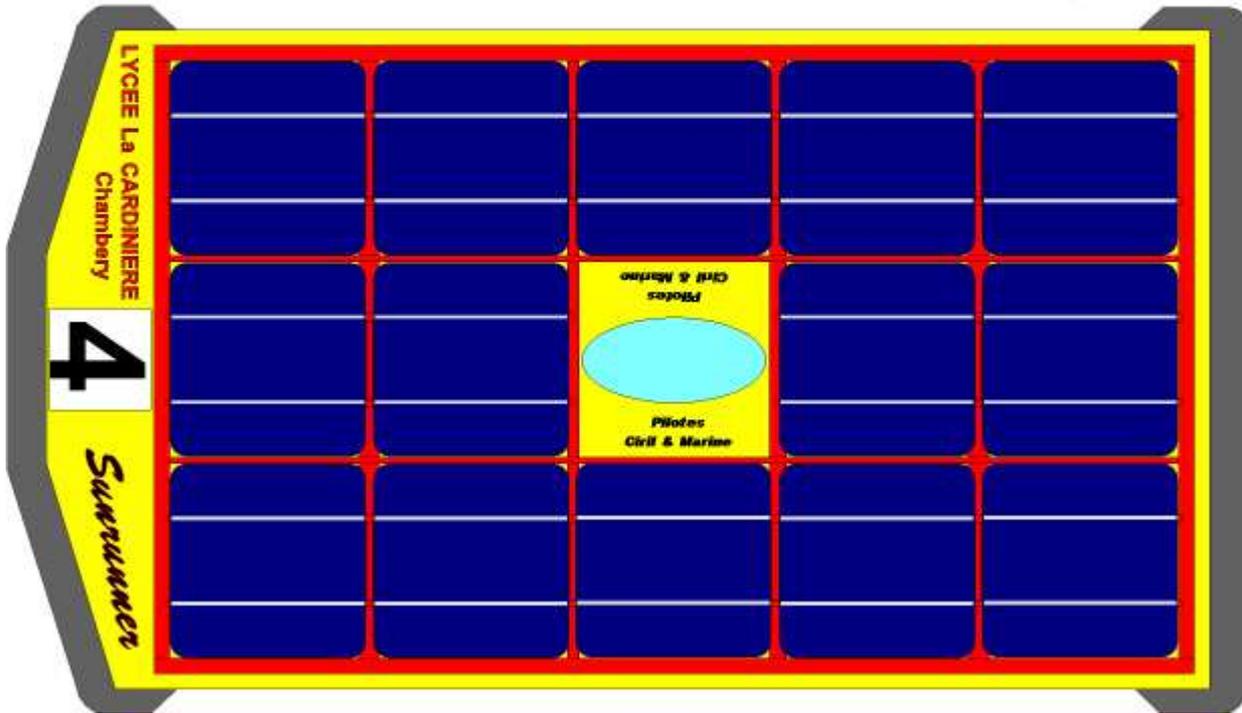
J'ai mis une journée pour réaliser ce prototype, une autre journée pour l'équiper et la régler. Hormis les voitures à 3 roues, c'est le modèle le plus simple que j'ai trouvé et le plus léger. Equipée de ses cellules, de l'inverseur de marche et de ses réducteurs son poids serait de 940g. Il reste 60g pour la peinture et les pare-chocs.

A noter : Les essieux pris en sandwich entre 2 bandes de tissus de verre. Cette disposition s'est avérée très résistante aux sorties de route, aucun dégât après 10 heures d'essais intensifs.

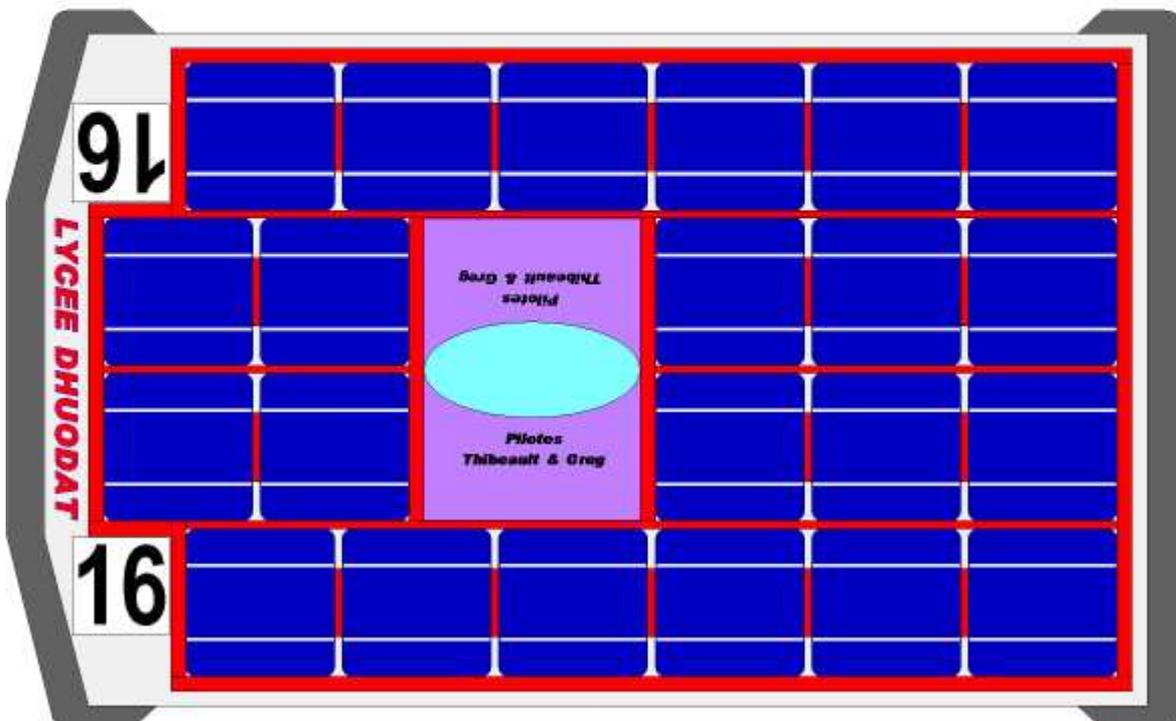
Les moteurs en prise directe sans réducteur (pour cette photo) Ca va très vite... avec des « reprises de tracteur » et des freinages de « train de marchandises » ! Equipé de réducteurs au $\frac{1}{4}$, les reprises sont impressionnantes ! Avec des réducteurs au $\frac{1}{3}$ c'est la vitesse maxi qui est impressionnante !

L'antenne radio scotchée sous le panneau uniquement parce qu'il n'y a pas les cellules. Autrement cela ne marcherait pas. Elle doit être posée en dehors du blindage créé par les cellules.

En 14 cellules, l'accus serait : 2 éléments de lithium-polymère, à la place du 8 éléments NiMh de la photo.



En 14 ou 22 cellules la voiture pourrait ressembler à ça.

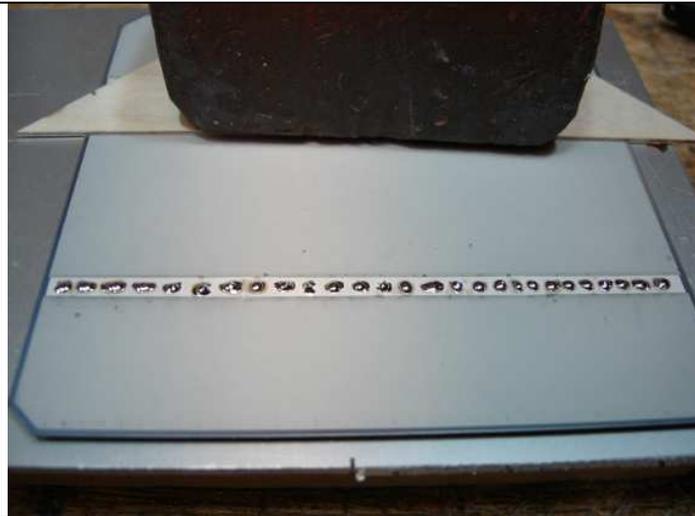


J'ai utilisé avec succès de la soudure 60%Sn 40%Pb de 1mm AVEC flux décapant. Je n'ai pas réussi à souder sans flux décapant.

La soudure « moderne » à l'antimoine fond à trop haute température, je n'ai pas réussi à poser un seul point de soudure sans vaporiser le bus.

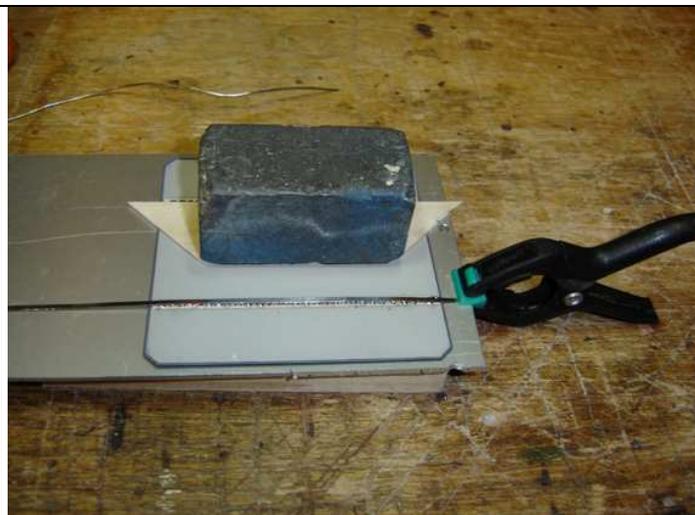


Pour réussir la connexion il faut poser des points d'étain tous les 4 ou 5mm.
Poser la cellule sur la planche et la bloquer en place avec un poids. Commencer par la face arrière.
Mode opératoire : Le fer en température, nettoyer la panne sur une éponge humide. Poser le fil de soudure sur le bus. « Ecraser » la soudure avec la pointe du fer en bougeant très légèrement la panne de 1mm maxi pour favoriser la traversée de l'apprêt et lever le fer.
CETTE OPERATION NE DOIT PAS DUREE PLUS D'UNE SECONDE
Nettoyer la panne tous les 4 ou 5 points.
Répéter les points sur toute la longueur du bus.

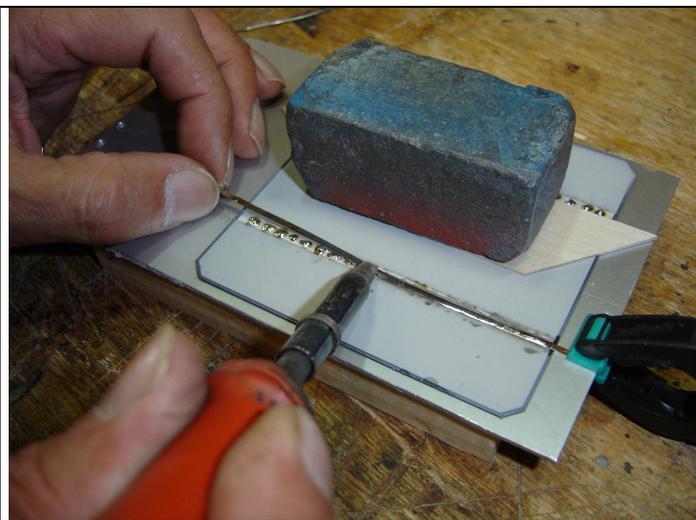


Voilà le résultat à obtenir.
Mettez le moins de soudure possible sur le bus. Plus les points seront petits, meilleure sera la soudure.
- Si au bout de 1 seconde la soudure ne s'est pas déposée sur la cellule abandonnez ce point, laissez refroidir la cellule, nettoyez la panne.
Reprendre le point de soudure en « grattant » un peu plus fort avec la pointe du fer mais surtout pas plus longtemps.

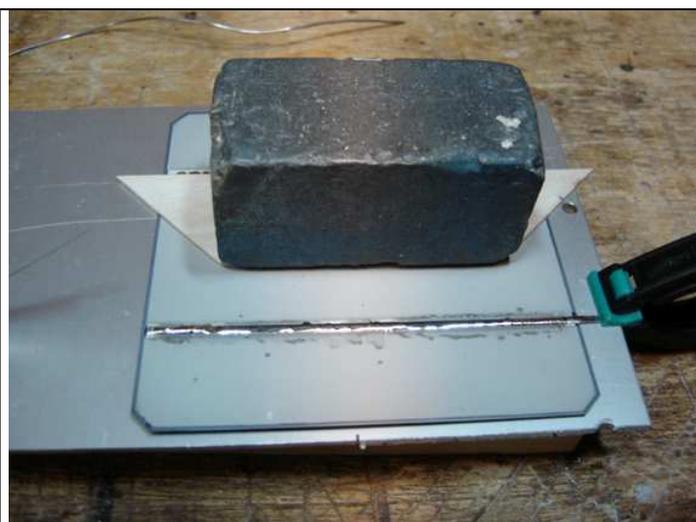
2^e opération : pose du ruban de connexion.



Poser la plaque d'aluminium sur la planchette – Poser la cellule sur la plaque d'aluminium en retrait du bord de 1cm environ – La bloquer en place avec un poids.
Dérouler du ruban et le positionner bien droit sur les points de soudure, il doit dépasser de la cellule de 10 à 15mm, le bloquer en place avec la pince à linge.
Aligner au mieux le ruban et le bus de la cellule.

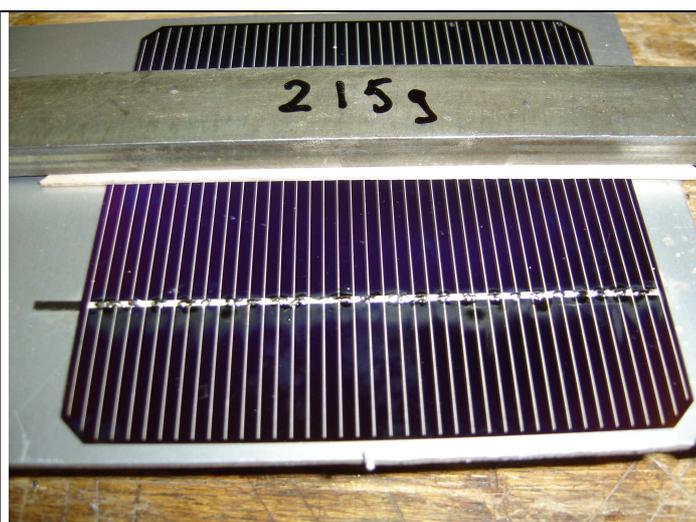


Avec le fer à panne large :
 Passer le fer sur le ruban, en commençant côté pince à linge, d'un mouvement régulier et ininterrompu, jusqu'à 1cm environ du bord opposé. Maintenez le ruban en légère tension et bien en ligne sur le bus.
 Quand vous posez le fer sur le ruban, la soudure fond dans la seconde qui suit, faire glisser la panne sur le ruban sans vous arrêter et sans revenir en arrière.
 N'allez pas trop vite pour laisser le temps à l'étain de fondre mais le plus vite possible pour préserver la métallisation de la cellule !



Couper le ruban à ~2mm du bord.
 Finir la soudure en passant le fer sur le dernier cm.
 Vous pouvez éventuellement utiliser un cure-dent en bois pour forcer l'extrémité libre du ruban au contact de la cellule pour éviter qu'il ne se relève.
 Voilà le résultat fini.
 Vous faites la même chose sur l'autre bus, de la face arrière en veillant bien à faire sortir le ruban du même côté sur les 2 bus.

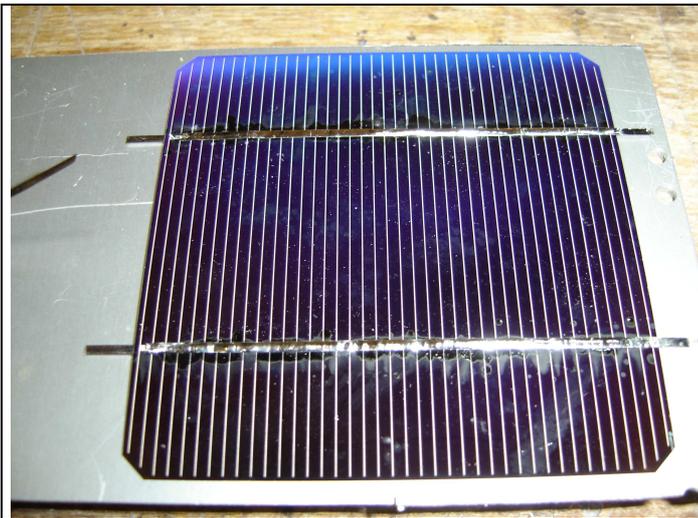
3^e opération : Il faut refaire la même chose sur la face sensible de la cellule. Le bus est moitié moins large que sur la face arrière. La soudure déjà réalisée dessous donne un porte à faux à la cellule, utiliser un poids juste suffisant pour plaquer la cellule sur la plaque d'aluminium sans la briser. 300 à 500g pour des cellules de 125mm me semble raisonnable.



Pose des points de soudure sur le côté sensible. Même mode opératoire que pour l'autre face. Nettoyer la panne tous les 4 ou 5 points sur l'éponge humide (plus souvent si nécessaire) – Si vous êtes obligé de « gratter » légèrement l'apprêt avec la pointe du fer, faites le dans le sens longitudinal. Ne jamais laisser le fer plus de 1 seconde sur le bus.

Quand vous soudez le ruban veillez à le centrer au mieux sur le bus. Le faire dépasser de 1cm sur le côté opposé de l'autre face.

Note : La plaque d'aluminium sert de volant thermique pour limiter, autant que faire se peut, de dessouder la connexion sur la face opposée. Le poids permet le maintien en place du ruban même si la soudure fond en dessous. Il faut évidemment une plaque métallique **NON SOUDABLE** à l'étain, ne remplacez pas l'aluminium par du cuivre !



Vous devez obtenir ce résultat.
Si votre soudure n'a pas un bel aspect bien régulier, tant pis, vous ne pouvez pas la reprendre.
Ne tirer jamais sur le ruban pour vérifier si elle est ou non réussie, ELLE EST REUSSIE.

Noter : l'arrêt du ruban à 2mm des bords.
Les sorties face inférieure (+ du générateur) et face supérieure (- du générateur) à l'opposé l'une de l'autre.

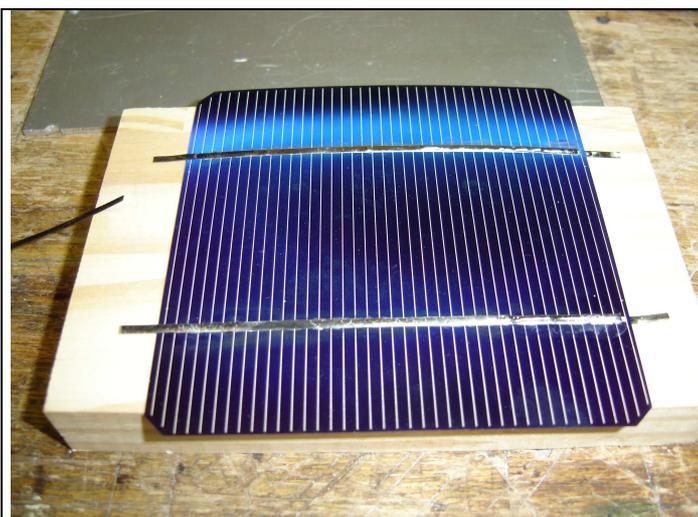
Il ne vous reste plus qu'à recommencer 14 fois en 125x125 ou 22 fois en 100x100mm.

4^e opération : Les résidus de flux décapant nuisent au rendement global de la cellule, il faut les éliminer. En général, c'est là que l'on a le plus de chances de briser la cellule !



Le bac de verre doit être assez large pour que la cellule repose librement sur le fond.
Mettre 1cm d'acétone dans le bac – Immerger complètement la cellule.
Poser un doigt sur un des rubans pour limiter la déformation de la cellule et l'immobiliser – avec un pinceau (genre pochoir) frotter légèrement l'autre soudure dans le sens longitudinal ET transversal.
Poser votre doigt sur la soudure nettoyée et nettoyer la seconde soudure.

Changer l'acétone toutes les 5 cellules.



Ca donne ça !

Vous serez au minimum possible de la résistance interne de votre panneau.
Si une cellule se brise en course entre les 2 rubans, vous ne perdrez rien sur le courant débité (à condition de ne pas en perdre un morceau)
Si la cassure se produit à l'extérieur des rubans, vous ne perdrez que la partie des photo-diodes qui ne sont plus connectées aux rubans.

Note : La cellule est cintrée par la tension des soudures, cela ne gêne en rien le fonctionnement, mais facilite la pose sur le plateau avant son immobilisation par l'adhésif double face.

Vous trouverez du ruban Had-Hoc en Allemagne chez : lemo-solar (Ils n'acceptent que les virement bancaire) C'est très supérieur à la tresse à dessouder du point de vue de la souplesse, il est étamé à chaud ce qui lui confère une excellente soudabilité.

Toutes les photos ont été prises sur des cellules 100x100mm de chez eux

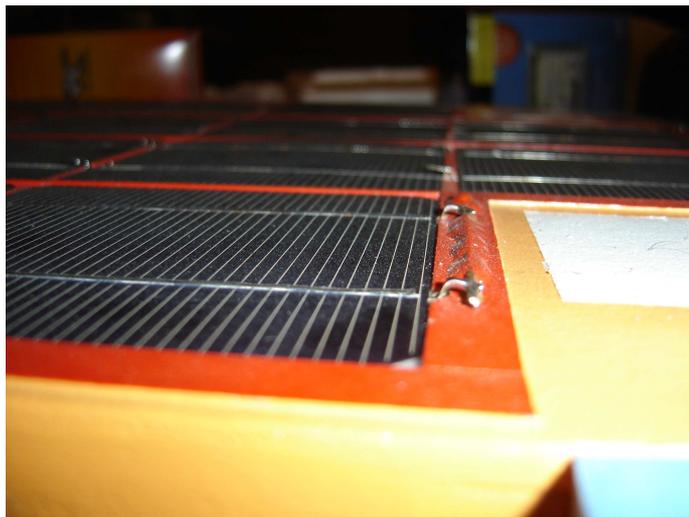
Le montage sur le plateau

Le fait de monter les cellules séparément sur le plateau à l'énorme avantage de pouvoir en changer une (si elle se brise en course ou aux essais) sans avoir à changer une rangée complète.

Pour solliciter mécaniquement au minimum les soudures inter-cellule pendant les manipulations faites des liaisons conformes aux photos : C'est le ruban du dessus qui est replié sur lui-même et celui du dessous vient se souder par dessus



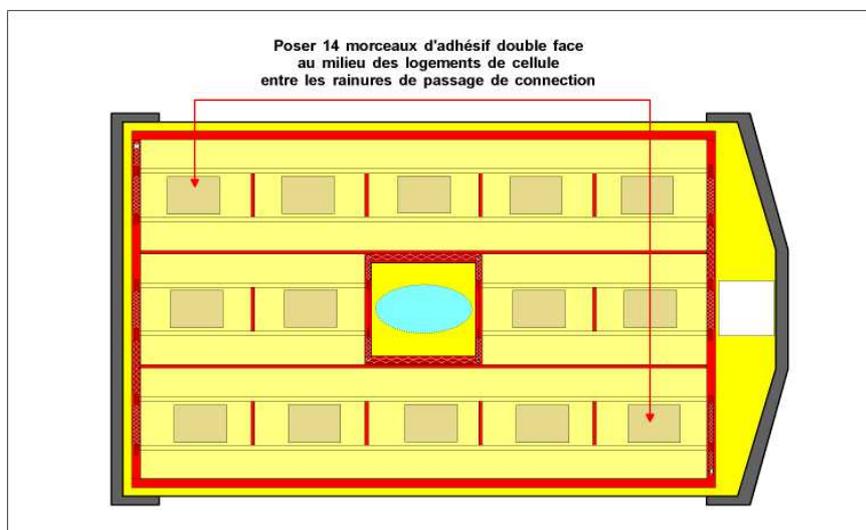
La connexion inter-cellules



La connexion aux barres du plateau

Mode opératoire : Vous devez avant de placé vos cellules sur le plateau, enrouler sur un cure-dent en bois tous les bouts des rubans supérieurs sur 180° (**ATTENTION qu'il n'y ait pas de soudure à la pliure, vous casseriez la cellule. Si c'est le cas, faites refondre au fer l'excès de soudure et « tirez-le » vers l'extrémité libre du ruban**)

Pour les bouts de ruban inférieurs, pliez-les à 90° vers le haut en intercallant la tranche d'un réglet pour que le ruban ne touche pas la tranche de la cellule vous risqueriez un court-circuit entre les 2 faces. (**Mêmes précaution pour les excès de soudure, le ruban doit se plier sans effort**)



Utiliser du double face pour tapis MINCE. Si vous avez des doutes, intercaler une très légère couche de colle à bois sur le polystyrène et laissez la complètement sécher.

Mettre en place vos cellules le plus délicatement possible dans leurs logements. Elles devraient être un peu cintrées, cela facilite le positionnement. Vous avez normalement 1mm de jeu pour laisser la place à la dilatation. Appuyer légèrement avec un doigt au centre de la cellule pour la faire entrer au contact de l'adhésif. C'EST SUFFISANT pour la faire tenir. Ne frottez pas toute la cellule pour la faire coller partout, elle fera cela toute seule à la première utilisation au soleil.

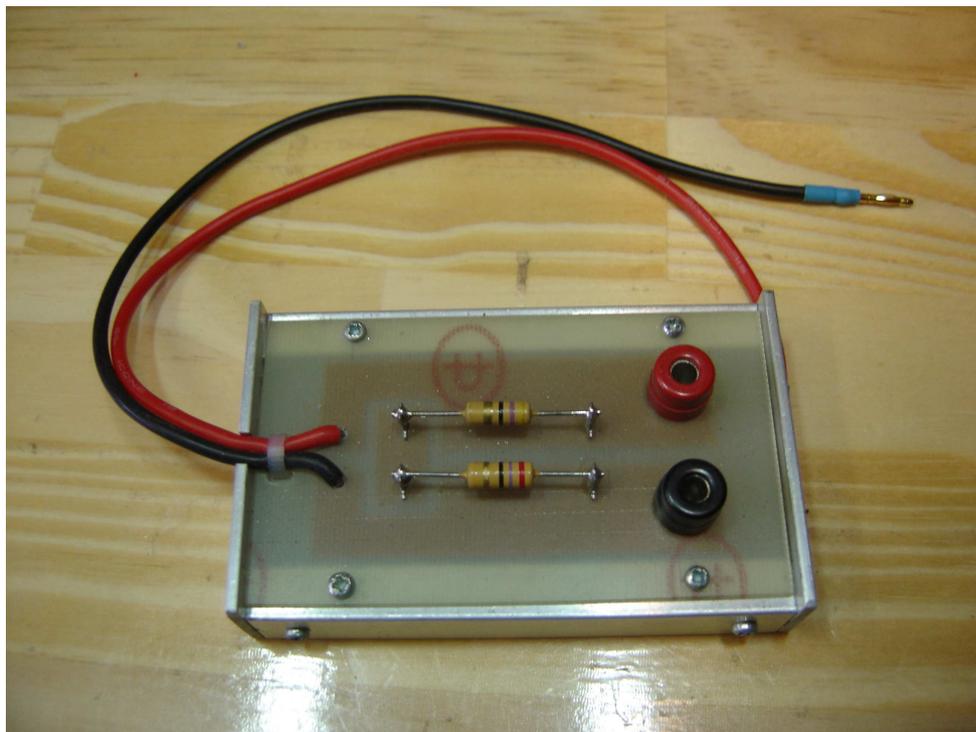
NE VOUS TROMPEZ PAS DE SENS POUR LES METTRE EN PLACE. Le Côté positif de la cellule est dessous et mettez le, en face de la barre de sortie + de votre panneau. Elles doivent toutes être en série : un plus avec un moins...etc.
Les cellules sont irrécupérables une fois collées en place.

Rabattre les connexions + sur la connexion retournée et faites la soudure. Eventuellement appuyer légèrement avec la pointe d'un cure-dent le ruban pour le maintenir au contact le temps de la soudure.

C'est presque fini.

Il vous manque une boîte bien capitonnée, pour le transport et la mise à l'ombre. Coller sur le couvercle une plaque de mousse de 5 ou 6cm d'épaisseur, bien mole, (avec un évidement au centre pour laisser la place à la bulle ou à l'antenne en 2,4GHz). Ca permet d'intervenir sous la voiture sans casser la moitié des cellules !

Fabriquer le petit circuit de contrôle de batterie avec 2 résistances de 1w en série.



Mon petit module de contrôle de décharge de la batterie.

Et maintenant... rendez-vous sur la piste. Je serais là, avec la même voiture (enfin, presque)

Annexes.

La Motorisation

Le choix va au moteur brushless, c'est le moteur qui le meilleur rapport poids/puissance de tous les moteurs électriques. Il supporte des surcharges très importantes en technologie « outrunner » et les seules pièces d'usure sont des roulements à bille !

Parler de la motorisation (électrique) n'a aucun sens si l'on ne connaît pas sa source d'alimentation. Dans ce genre de véhicule la seule source électrique autorisée est solaire. Que peut-on attendre d'un panneau solaire de 2.200 cm² ? De rien du tout, en pleine nuit à quelque chose entre de 25 et 30 watts, en plein soleil le 21 juin à midi.

Le choix de la motorisation devrait prendre en compte ses extrêmes ! Mais imaginer une course de véhicules solaire en pleine nuit, c'est idiot, donc on oublie la nuit. Le jour, le temps peut être très nuageux et dans ce cas la puissance disponible sera très faible (quelques watts) voir nulle ! Il faut donc se fixer une échelle de fonctionnement raisonnable, qui prendra en compte la valeur maximum de ce que peut fournir le panneau solaire, et pas plus. Et une puissance minimum qui permet au moteur de démarrer.

Ce modèle est bi-moteur, donc chaque moteur devra être capable d'absorber une quinzaine de watts (sans prendre feu) pendant plusieurs heures et pouvoir malgré tout démarrer avec seulement quelques watts disponibles.

Comment fonctionne ce sun-racer : En vitesse établie, les moteurs absorbent un courant nominal, qui ne doit pas être supérieur au courant délivré par le panneau solaire à sa puissance maximum. Mais pour démarrer ou accélérer le véhicule, les moteurs ont besoin d'un courant qui peut aller jusqu'à 5 à 8 fois le courant nominal. Ces pointes de courant sont fournies aux moteurs par : la batterie plus le panneau puisqu'ils sont en parallèles. Sur la piste et sur toute la durée de la course, l'énergie totale absorbée par les moteurs doit être égale à l'énergie fournie par le panneau solaire.

Note : Avant le départ, il y a une recharge batterie de 30mn par le panneau solaire, cela suffit à emmagasiner l'énergie nécessaire au fonctionnement de la radio-commande. (Si le temps est ensoleillé) et laisse un petit bonus pour la course (si tout va bien) !

Première remarque : Un panneau en 12v (24 cellules de 10x10) est capable de délivrer autour de 3A sous 9,5v – Un panneau en 8v (14 cellules de 125x125) va délivrer environ 5A sous un peu moins de 7v. Dans les 2 cas on a la même puissance disponible, un peu moins de 30w au maxi d'ensoleillement. Mais les caractéristiques des moteurs seront différentes.

Les constructeurs de moteur brushless pour les modèles réduits, nous donnent (en général) un coefficient, qui s'appelle kV qui est le nombre de tour/volt. Plus le kV est grand, plus le moteur tourne vite.

Une autre caractéristique (quelque fois communiquée) est le courant absorbé à l'efficacité maximum du moteur.

Dans les autres données que l'on peut avoir à disposition, il y a : le courant maximum admissible pendant 15s ou ... ns, le courant à vide, la puissance maximum disponible et la plage de tension d'alimentation recommandée.

La voiture est équipée de roue de 72mm de diamètre, le développement par tour est de 22cm. Fixons-nous une vitesse maxi raisonnablement rapide sur la piste de 30km/h (si la ligne droite mesure plus de 50m on peut espérer atteindre cette vitesse). A cette vitesse les roues devront tourner à 2270 t/mn.

Avec 7v d'alimentation à Pmax du panneau, le KV en charge du moteur devra être de 975 t/v avec un réducteur au 1/3 – de 1300 t/v avec un réducteur au 1/4 - ... etc.

Quand la voiture est arrivée à Vmax, l'énergie nécessaire pour maintenir la vitesse est plus faible et les tours moteur vont s'approcher des tours/minute « à vide » de tout l'ensemble tournant (moteur + réducteur + roue). Les seules forces à vaincre sont l'adhérence longitudinale des roues au sol, la résistance aérodynamique de la voiture et les frottements mécaniques des roues avant. Ce n'est pas énorme aux vitesses considérées et il est possible d'en faire une estimation avec une mesure simple de résistance au roulement et un calcul de la résistance aérodynamique (même en prenant un Cx au « pif »)

Il est possible, pour un moteur donné, de se faire une idée approximative de la vitesse « optimum » qu'il est possible d'atteindre, en relevant la caractéristique courant/vitesse du moteur. De mettre tout ça en accord avec le générateur photo-voltaïque et d'en déduire un rapport de réduction.

2^e remarque : Le rapport de réduction permet d'ajuster le courant moyen en course pour ne pas dépasser l'énergie maximum que peut fournir le panneau solaire MOINS l'énergie nécessaire à la batterie pour accélérer les moteurs (multiplié par le coefficient de performance de la batterie).

La puissance minimum de démarrage sur l'arbre moteur : Je ne sais pas s'il est possible de la calculer, mais on peut la mesurer. Elle dépend beaucoup du type de moteur, un moteur à 12 pôles démarre plus facilement qu'un 9 pôles (pour une force donnée appliquée au rotor le déplacement angulaire est plus faible) * A contrario, pour toutes autres conditions identiques, il tournera moins vite. Cette puissance va dépendre de la surface magnétique du moteur, de l'inertie de tout l'ensemble tournant et de l'inertie de la voiture.

L'énergie minimum nécessaire au roulage à Vmin : C'est compliqué à calculer, mais on peut la mesurer. Cette donnée permet de connaître l'ensoleillement minimum avec lequel la voiture peut avancer... quand les autres concurrents sont cloués aux stands dans l'incapacité de faire démarrer leur voiture !

Pour rigoler : Il n'est pas unimaginable d'envisager un 24 pôles (avec 2 moteurs 12 pôles accouplés sur le même arbre) ou de faire tourner l'ensemble en hexa-phasé ... En se grattant un peu la tête il est même possible de le faire tourner en pseudo 24 pôles par recouvrement de 50% des phases ! Et je ne sais pas tout... loin de là !



A gauche : 2 XM2812 accouplés – 2x12 pôles 42g - A droite : Moteur 400XT – 9 pôles 50g
Vous voyez qu'avec un simple « jouet » il y a du grain à moudre !

La prise directe sur la roue :

L'économie sur le rendement n'est pas négligeable en supprimant le réducteur, la puissance motrice moyenne est améliorée et la voiture va plus vite. Sur des pistes très « rapides » l'avantage sera substantiel, sur des pistes sinueuses c'est à voir ! Cela dépendra beaucoup de la tenue en virage de la voiture

Le moteur prend de plein fouet toute l'inertie de la roue, dont l'essentiel de la masse est situé en périphérie ! Avec un réducteur il voit l'inertie de la roue divisée par le rapport de réduction. Pour la vitesse maximum il faut des KV faibles ou des tensions très basses avec des courants énormes. Les pertes joules sont directement proportionnelles au courant. Limiter le KV en augmentant le nombre de tour de fil par pôle n'augmente pas sensiblement le couple maxi parce qu'il n'augmente pas le nombre d'ampère/tour par pôle.

Les solutions seraient de changer les aimants pour augmenter le flux ou d'augmenter le nombre de pôle. Dans les 2 cas, il faut refaire le moteur.

Pour les moteurs brushless que l'on trouve dans le commerce modéliste, ils sont tous conçu pour des avions, il n'en existe pas de spécifique aux voitures dans ces tailles. Si vous envisagez un montage en prise directe, vous serez quasiment obligé de re-bobiner le moteur et vous n'aurez jamais des accélérations comparables à un montage sur réducteur.

La courbe de rendement $f(i)$ passe par 0 tant que l'on a pas atteint le courant de démarrage croit jusqu'au courant qui correspond à l'efficacité maximum (qui dépend de la surface magnétique du moteur) puis redescend au delà. Toute action sur le bobinage pour abaisser le KV va « promener » le point de fonctionnement sur cette courbe et vous risquez de perdre assez vite les 10 ou 12% que vous coûte un réducteur intelligemment conçu.

Mais un 45 ou 54 pôles avec les aimants collés directement dans la jante de la roue, doit donner des résultats étonnants en terme de couple et de rendement. Trouver un tel moteur en 45 ou 50mm de diamètre pesant 35g, est une toute autre affaire !

Diode anti-retour or not diode anti-retour ?

La réponse est simple, mettons la en service quand cela est nécessaire !

Les professionnels du panneau solaire en production d'électricité montent tous une diode anti-retour sur leur panneau.

Mais quelle sont leurs utilisations comparées aux nôtres ? Leurs panneaux solaires sont posé sur un toit. Personne ne va s'amuser à le démonter tous les soirs pour le remonter le matin. La batterie qui est connectée aux bornes verra toutes les nuits une impédance plutôt petite qui va lui soustraire tout ou partie de sa charge.

Pour nous, la nuit, le véhicule est dans sa boîte et il ne roule pas ! Quand il passe à l'ombre d'un arbre ou d'un bâtiment, le rayonnement direct du soleil tombe à 0, mais il ne fait pas nuit à l'ombre, car il reste le rayonnement diffus du à l'atmosphère qui est suffisant pour maintenir dans les cellules un petit courant de polarisation qui maintient la tension du panneau à celui de la batterie et évite à celle-ci de se décharger.

Pour notre utilisation à nous il n'y a que dans sa boîte de transport que l'on aurait besoin d'une diode anti-retour. Dans sa boîte, la voiture est sur « arrêt » !

Pensez seulement qu'il ne faut pas laisser le véhicule en marche quand vous le mettez dans le noir.

Panneau en 12 volts ou panneau en 8 volts .

Théoriquement il n'y a pas de différence, en pratique c'est peut-être moins vrai ! Economiquement, 14 cellules 125x125mm valent moins cher que 22 de 100x100mm bien que les surfaces sensibles soient les mêmes. Le prix des cellules n'étant pas du tout proportionnel à leur surface (au moins dans le commerce qui m'est accessible).

Les 22 cellules de 100 par 100mm font exactement les 2.200cm² autorisés. Les 14 de 125x125... il en manque un petit bout. Si le but est l'optimisation maxi, on gagne un peu en 22 cellules.

Sous 3A les pertes fer et cuivre des moteurs seront un peu plus facile à maîtriser que sous 5A puisque par définition les moteurs seront de même tailles. La aussi 22 cellules sont plus favorables. Mais pour un moteur déterminé, il peut avoir un meilleur rendement sous 4A que sous 2A. Par contre pour un KV déterminé il tournera plus vite avec 3V de plus...

Pour « pinailler » un peu, le bus en 14 cellules est plus court qu'en 22, c'est mieux pour l'impédance du générateur, si on réussit à bien maîtriser les connections.

... etc.

Disons pour simplifier qu'en 14 cellules il sera plus facile d'avoir une voiture nerveuse et en 22 cellules c'est la vitesse qui sera le plus facile à obtenir.

Deux moteurs sur une commande unique, en virage... ?

Ca c'est une bonne question ! Les moteurs sont commandés en vitesse. La commande étant commune, les contrôleurs vont leur demander toujours, de tourner à la même vitesse. En virage ils ne tournent pas à la même vitesse.

Alors petit exercice : en modifiant la commande droite et gauche en fonction de l'angle de braquage on devrait pouvoir faire un différentiel électronique.

En fait, le couple maxi est appliqué sur la roue intérieure alors que c'est la roue extérieure qui devrait le fournir. Mon système marche à l'envers !

Que sait-on de la commande : En sortie de récepteur on est en commande par largeur d'impulsion.

1ms = minimum de la commande

1,5ms = zéro de la commande

2ms = maxi de la commande

(Pour la commande de gaz, la plage 'mini – zéro' correspond au freinage et la plage 'zéro – maxi' à la vitesse. Attention ce peut-être le contraire pour certains contrôleurs et par simple programmation)

Avec l'angle de braquage maxi on peut très facilement calculer l'écart de vitesse maxi 'roue extérieure – roue intérieure' puisque la voie des roues arrière est fixe. On se fixe une bande morte et on calcule la correction sur la commande droite et gauche pour que les moteurs tournent à la bonne vitesse en virage.

Un petit micro-contrôleur irait très bien pour cette tâche. On rentre le programme de correction, on initialise à la valeur zéro de la direction, on mesure le braquage de la direction, on fait la correction sur les impulsions droite et gauche des moteurs et on sert le tout aux contrôleurs des brushless.

Vérifier tout le fonctionnement serait très intéressant.

Il existe de minuscules enregistreurs embarqués (45g) Ils possèdent 7 ou 8 voies d'enregistrement et ont assez de mémoire pour tenir 60mn à 10 mesures/sec.

Intéressant ? Avec un engin de la sorte (85€ je crois) vous aurez toutes les courbes de consommation, de vitesse et même de température, si vous le désirez. Déterminer une courbe ensoleillement performances devient un jeu d'enfant.

Avec un petit panneau solaire de test (2 ou 4 cellules suffisent) vous mesurez l'ensoleillement en temps réel pendant la course et comme le fonctionnement de votre sun-racer n'a plus aucun secret pour vous, vous dites à votre pilote à quelle valeur il doit régler sa commande de gaz pour : Consommer toute l'énergie produite par le panneau solaire, pas plus... ni moins.

Sur les structures : Un bloc de mousse plein n'est pas une solution optimum ! Il faudrait peut-être voir du côté des structures cellulaires si on ne peut pas faire mieux en poids, rigidité et résistance ?

Sur l'architecture : 4 roues sans suspension ! C'est archaïque comme voiture ! Un modèle avec une suspension à 4 roues indépendantes est peut-être réalisable dans le poids visé ?

Qui sait ? ... Celui qui essayera.

Ce ne sont là que des pistes de réflexion pour ceux qui seraient tentés par l'optimisation complète d'un tel véhicule. Mais il y a un sujet d'étude quasi inépuisable !

Bonne chance.

Les choses sont impossibles à faire... tant que l'on a pas essayé de les réaliser.

Jean Deligny.

Aditifs au dossier d'un mini sun-racer radio-guidé

Plus spécialement destiné aux étudiants de l'enseignement supérieur

Quelques mesures et parfois comment les faire.

Je n'ai pas parlé dans le dossier ni de résistance mécanique, ni de résistance thermique, ni de mesure de courant, tension ou puissance et encore moins de rayonnement solaire.

J'ai proposé quelques choix, mais globalement ce dossier est un peu du « à prendre ou à laisser » ! Il est très facile de se trouver toutes les raisons du monde pour démontrer que l'on a fait les bons choix. Mais après la mise en service (ou sur le marché) il arrive que l'utilisateur ne soit pas du même avis !

Pour les étudiants de l'enseignement supérieur, s'ils se présentent devant un examinateur en lui disant : « Avec mes copains, on a fait une petite voiture solaire, elle fonctionne et on s'est bien marré à Toulouse. » Je ne suis pas certain que cela l'incite beaucoup à vous mettre une bonne note à l'examen !

Essayons de pousser plus loin la démarche : Mon panneau aura-t-il une fiabilité thermique suffisante pour l'usage envisagé ?

Une plaque de « styrodur » n'est pas du tout conçue, au départ, pour se balader en plein soleil avec un gros radiateur sur le dos !

Quelles sont ses limites d'utilisation ?

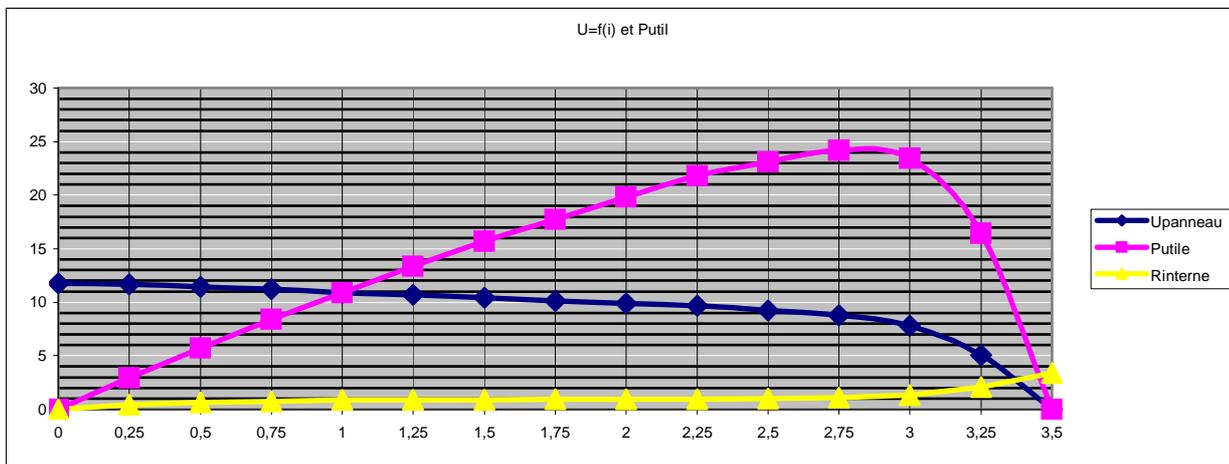
Le fabricant ne s'est pas soucié outre mesure de ce problème, son produit est essentiellement destiné à être enfouis sous du béton. Il donne néanmoins une température limite de mise en œuvre de 75°.

La première chose qui vient à l'esprit : C'est d'essayer d'estimer quelle serait la température des cellules aux conditions limites, c'est à dire au solstice d'été, à 12 heures TLU, par un temps exceptionnellement clair.

Les cellules photo-voltaïques comme tous les générateurs ont une résistance interne et quand elle délivre du courant, elles ont des pertes joules qui ne sont pas négligeables. Calculons ses pertes : Je ne sais pas mesurer la résistance interne avec un ohmmètre, les diodes ne sont pas un système linéaire, mais je peux la mesurer autrement.

Je mesure la tension à vide = 11,77V – Je fais débiter mon panneau dans une charge résistive de 0A jusqu'au courant de court-circuit, avec un pas de 250mA et je trace la courbe $U_{\text{util}} = f(I)$

Avec cette courbe je peux déterminer mon générateur : Il a une fem (C'est sa tension à vide) et une résistance interne = $[E(\text{à vide}) - U(\text{util})] : i$. Evidemment elle n'est pas linéaire mais un point m'intéresse particulièrement, c'est celui où mon générateur sera à sa puissance maximum.



Pour mon panneau solaire : A sa puissance maximum (ce jour là) il débite 2,75A et j'ai 8,8V aux bornes de ma charge. Sa résistance interne est de 1,08 ohm

Mes pertes joule sont $R \times I^2 = 8,16$ Watts !

On ne va en « faire un fromage » Dissiper 8W avec 22 dm² de surface plane ! Même par 40° au-dessus de zéro... c'est pas grand chose !

Mais ce n'est pas tout : Elles sont grossièrement apparentées à un corps noir (leur réflectivité est la plus faible possible) et elles sont soumises au rayonnement solaire. Chez moi, à Avignon, le 21 juin à 12h TLU, par un temps merveilleusement ensoleillé, posée à plat au sol, elles vont recevoir (*) 1000w x sin 70° = 936 W/m², j'en ai 0,22m² - Ca fait tout de même 205 Watts.

(*) : pour les nuls en astronomie : La latitude d'Avignon est de 43,5° - l'inclinaison de l'axe polaire est de 23,5° - Le soleil au zénith et au solstice d'été est à : 90 - (43,5 - 23,5) = 70° au-dessus de l'horizon. Le panneau étant horizontal la correction de surface est sinusoïdale en prenant l'axe des pôles comme référence.)

Là dessus elles vont me convertir 24w en électricité(*). Malgré tous les efforts du constructeur, une part du rayonnement va repartir dans la nature par réflexion. Il en reste tout de même une bonne part qu'il va falloir évacuer d'une manière ou d'une autre. A partir de là on rentre dans le système « d'unité pifométrique » ! Il nous reste quelque chose autour de 150 ou 160 watts à dissiper. (Si vous préparez une thèse de doctorat, il faudra faire mieux ! L'énergie thermique n'est pas constante sur toute la largeur du spectre reçu.)

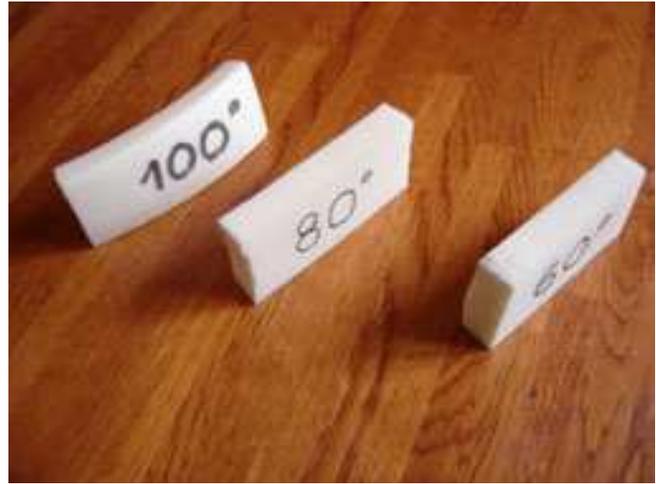
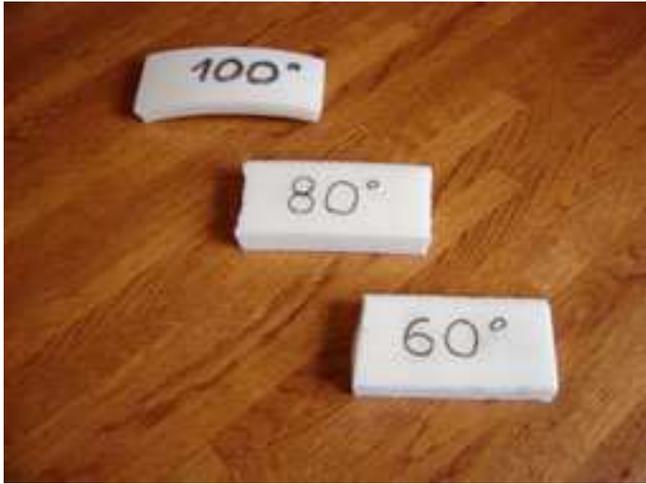
La surface est plane et il est raisonnable de penser que sa température sera uniforme, l'épaisseur des bords est extrêmement faible. Comme c'est un « ersatz » de corps noir sa résistance thermique va être très faible de par sa faible épaisseur et de sa surface. Quand la voiture va rouler, les cellules seront balayées par un courant d'air à 7 ou 8m/s sur la face supérieure et la face inférieure va rayonner au travers du styrodur qui possède une certaine transparence au rayonnement infra-rouge. Ma vieille expérience des dissipateurs en électronique m'incite à penser que la résistance thermique du panneau va se situer vers 0,1 ou 0,2°W.

On obtient (au pif) quelque chose entre 15 et 30° au-dessus de l'ambiance comme température de cellule. L'air en été se situe entre 30 et 40° (à la louche) donc nos cellules atteindront probablement des températures de 50 à 70°

La mesure de température peut se faire au pyromètre optique. Pour utiliser une sonde, il faudrait la mettre sous une cellule. (En mesures pifométriques : <40° c'est chaud - 40 à 60° c'est brûlant - >60° ça fait des cloques !)

Maintenant que j'ai une estimation de la température maximum de service de mes cellules, je peux en déduire que mon panneau de « styrodur » va s'approcher de la valeur limite de sa température d'utilisation. Comme les conditions météorologiques seront toujours moins favorables au cours de l'année, j'ai de grande chance que mon panneau en « styrodur » soit utilisable pour cet usage là.

Je vais tout de même vérifier. Petit passage au four de 3 échantillons à des températures d'utilisations présumées réalistes et on regarde le résultat.



Les morceaux du panneau faisaient 20mm d'épaisseur. Ils sont restés 30mn dans le four.

On peut vérifier qu'à 60° l'échantillon n'a subi aucune déformation.

A 80° son épaisseur est de 19,8mm au lieu de 20mm et l'échantillon s'est très légèrement cintré de 0,3mm

A 100° l'échantillon s'est cintré de 1cm et vrillé de 5mm et son épaisseur n'est plus que de 16,8mm.

Conclusion : Ce produit là est utilisable jusqu'à 80° et pas plus. Comme je n'ai aucune idée de la résistance thermique du panneau, immobile et sans vent, il est tout de même plus prudent de ne pas l'abandonner toute une journée de juin, en plein soleil, sur le campus de la fac !

(*) – La courbe en exemple a été relevée le 16-04-2008 aux conditions suivantes :
Visibilité au sol 60km – Ciel bleu profond – A 11h15 TLU – Avec une correction angulaire du panneau pour se trouver à l'élévation solaire du 5 juin et une correction en site qui correspondait environ à 12h TLU. Lieu de la mesure Avignon.

Les cellules utilisées sont présumées caractérisées à un rendement de 16%. Cela signifie qu'avec ces conditions météo reportées au 5 juin, le rayonnement au sol aurait été de 688 W/m². Cette valeur a une probabilité de véracité très grande. La différence de l'épaisseur atmosphérique traversée, entre avril et juin, n'a pas été prise en compte. Le résultat est légèrement minoré. Mais la compensation de température non plus, ce qui corrige une partie de l'erreur.

Note : Pour la course de Chambéry le 30 juin 2008, par temps exceptionnel, j'ai mesuré à 12h TLU, sur le site, un rayonnement de 875 W/m². La valeur théorique maximum de 936 W/m² doit être rarissime sous nos latitudes. (Ou alors il faut aller planter le panneau, au sommet du Ventoux !)

Avec ces données thermiques, vous pouvez calculer les pertes de rendement probables qui sont liées à l'élévation de température des cellules.

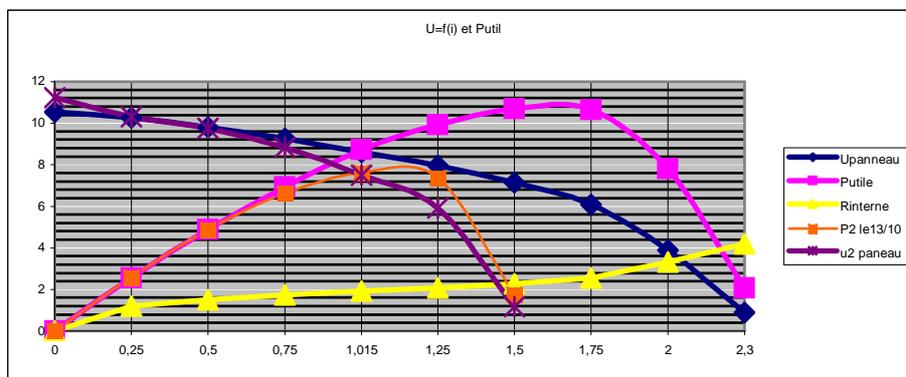
A vérifier dans les spécifications constructeur. (J'ai les valeurs de Sunway pour des cellules de 125x125)

On aura une perte de puissance de $-0,34\% / K^\circ$ (à 70°... ! -15% !)

Un recul de la tension à vide de $-2,2 \text{ mV} / \text{K}^\circ$

Une augmentation du courant de court-circuit de $+1,6 \text{ mA} / \text{K}^\circ$

Les caractéristiques des cellules sont données (en principe) pour 25° . Vous pourrez caractériser votre panneau pour 3 ou 4 valeurs de rayonnement incident. Vous ne pourrez pas le vérifier aisément, mais 2 ou 3 relevés des courbes du panneau vous indiqueront si vos mesures sont en cohérences avec vos estimations.



Voilà un exemple de relevé pour 2 valeurs de rayonnement (moins favorables).

Petite aparté personnelle : En poussant un peu les investigations, on s'aperçoit assez vite que les performances des panneaux photo-voltaïques sont assez éloignées de ce que l'on pourrait en espérer, sans approfondir la question ! En gros, vous espérez 30w... une fois fini et en piste, si vous en avez 20 vous pourrez être satisfait ! Et nous sommes dans la région la plus ensoleillée de France, les Bretons ont du soucis à se faire !

On voit que la résistance interne du panneau nous fait perdre près de 30% de l'énergie disponible autour de Pmax (L'équation est de la forme : $y = A - Bx^2$) comme il est impossible d'agir sur la résistance dynamique de la cellule, il va falloir soigner au maximum possible les connections inter cellule.

Un autre point qui n'est pas sans intérêt :

J'ai un générateur qui va me délivrer une certaine énergie Q pendant un temps déterminé, comment je peux m'assurer que je vais l'utiliser en totalité, sans la dépasser ?

Je suis désolé mais moi je ne sais pas calculer ce truc là et encore moins, le modéliser sur mon ordinateur !

Je peux peut-être mesurer ce que consomme l'utilisation. Si je connais à l'instant t ce que mon panneau est capable de me fournir en puissance, j'ai des chances de pouvoir utiliser au mieux toute mon énergie disponible.

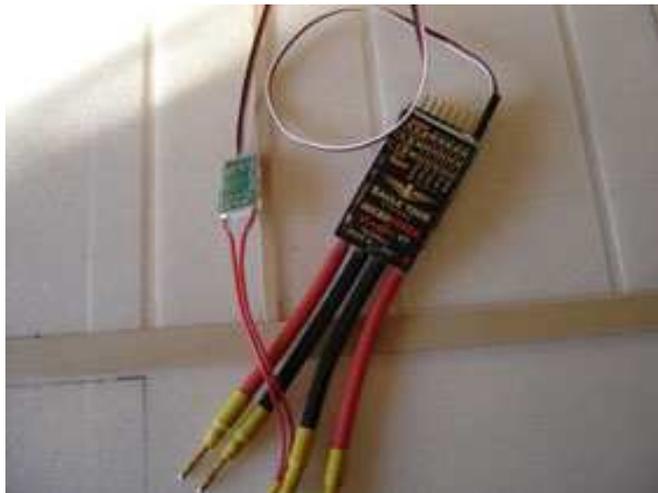
On l'a vu au-dessus, relever une caractéristique de panneau est très simple. Pour mesurer l'utilisation, il faut un enregistreur embarqué sur la voiture. Parce que si la tension

est un temps soit peu fixe, le courant est très fortement variable. Il existe des enregistreurs minuscules et qui ne nécessitent aucune source annexe d'alimentation.

Le matériel nécessaire :



Le petit panneau de test



L'enregistreur embarqué. Ici un Eagle Tree.

Nb : Le panneau de test est monter sur un support orientable avec un rapporteur d'angle. Il sert également à faire les relevés de caractéristique en se mettant aux conditions d'élévation solaire de juin, quelle que soit la date des mesures. C'est plus pratique que d'essayer de caler la voiture au bon angle !

L'enregistreur a 5 voies, celles qui nous intéressent sont les voies U et I, j'ai ajouté une petite sonde de vitesse, histoire de vérifier que mes estimations de motorisation ne sont pas stupides.

Le premier point à mesurer est la consommation de la voiture. En regardant de près les courbes $U = f(i)$ du panneau solaire on s'aperçoit que la tension à Pmax ne varie que très peu. Ce qui est logique puisqu'elle se situe sur un coude de diode dont la valeur dépend peu du courant mais seulement de sa température. Il faut monter sur la voiture, une batterie dont la tension d'utilisation est au plus près de la tension du panneau à Pmax. On branche l'enregistreur entre la source (panneau + batterie en //) et l'utilisation (tout le reste de la voiture). Pour les modalités d'utilisation de l'enregistreur, voir sa notice.

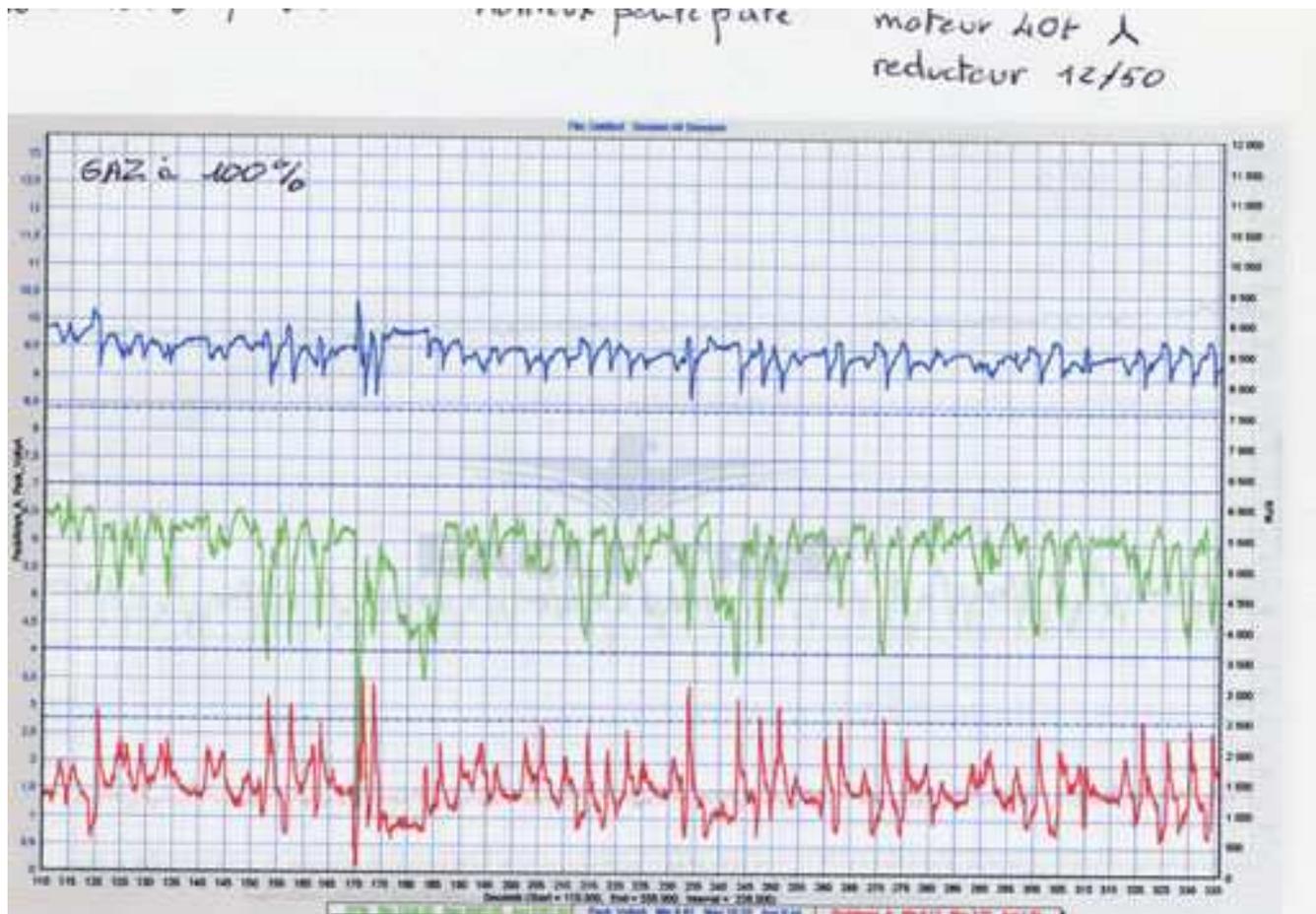
Pour que la mesure ait un sens, il faut se mettre dans les conditions de la course. Donc il faut tracer une piste dans la cours et rouler dessus au plus vite que vous permet la commande des gaz de la radio.

Prévoyez 5 ou 6 virages et une ligne droite de plus de 25 mètres si possible. La piste de Toulouse est un peu plus longue que celle de Chambéry. Pour un modèle déterminé les consommations dépendent en grande partie du tracé et aussi du pilote. Vous le verrez aux enregistrements.

Si personne dans le groupe n'a piloté de voiture radio-guidée, je vous conseille fortement de vous entraîner un peu à suivre un tracé (n'importe lequel) sur une surface goudronnée libre de tout obstacle. Avec ce genre d'engin, la grosse faute de pilotage entraîne souvent la casse de la voiture. Commencez par rouler lentement, c'est plus sage !

Tracez à la craie n'importe quoi et essayez de ne pas sortir du tracé. Vous vous rendrez compte très vite que certains sont plus doués que d'autres à ce genre d'exercice.

Vous lancez l'acquisition des données sur au moins 10 tours de piste pour lisser le plus possible les aléas de conduite.



Après dépouillement vous obtenez quelque chose qui va ressembler à ça.

- en bleu la tension d'utilisation
- en rouge le courant débite
- en vert la vitesse d'un (ou du) moteur

Vous notez soigneusement toutes les conditions de la mesure.

Le programme est sympa ! Il fait tous les calculs à votre place. Il vous indique (pour cette piste là et la dextérité du pilote que vous avez choisi) le courant maxi, le courant mini et surtout le courant moyen, (c'est celui là qui nous intéresse le plus) absorbé par votre motorisation à 100% de la commande de gaz. Il vous donne aussi la vitesse min, la vitesse max et la moyenne (ça vous permet accessoirement de trouver le meilleur pilote de l'équipe !) et idem pour la tension.

Vous pouvez avoir aussi la courbe en puissance ou en énergie. Il est sympa cet enregistreur !

Vous rechargez la batterie sur un chargeur normal et vous refaites le même enregistrement (sur la même piste, avec le même pilote) pour diverses commandes de gaz. (Cette valeur se programme sur l'émetteur) par ex. pour 80% - 60% - 40% - 20% - et même 0% puisque le zéro des gaz doit correspondre à la vitesse minimum possible de la voiture. ()**

Vous tracez la courbe $I_{moyen} = f(\text{Gaz})$ et partir du moment où vous connaissez le courant de votre panneau à P_{max} vous pouvez donner à votre pilote quelle consigne de gaz il doit appliquer sur son émetteur.

Pour le fun, vous tracer la courbe $V = f(I_{\text{moyen}})$ et vous aurez une idée de l'efficacité de votre voiture.

En reportant les consommations de courant sur les caractéristiques de votre panneau solaire, vous allez définir la limite basse d'ensoleillement (à I_{moyen} minimum) qui permet à votre voiture de rouler et à quelle vitesse elle peut le faire.

Avec la valeur du I_{max} maximum vous pouvez déterminer avec une précision suffisante quelle capacité optimum doit posséder votre batterie en connaissant sa résistance interne et son rendement énergétique (I absorbé / I restitué)

Si le I moyen maximum est plus petit que le i du panneau à P_{max} maximum C'est que votre rapport du réducteur est trop faible. S'il le dépasse de trop c'est que le rapport du réducteur est trop fort. Vous allez pouvoir caler très précisément votre propulsion sur les possibilités de votre panneau. N'oubliez pas dans votre bilan énergétique qu'une batterie ne restitue que 80% environ de l'énergie que vous lui avez fournie.

Le jour de la course, vous utiliserez votre panneau test pour mesurer le rayonnement utile et avec un simple ampèremètre vous pouvez suivre en temps réel, l'évolution du courant de court-circuit qui est en relation directe avec le I à P_{max} du panneau. Et faire appliquer au pilote la meilleure valeur possible de sa commande de gaz.

(**) Il y a une procédure particulière pour initialiser les contrôleurs des moteurs brushless. Elle doit toujours se faire gaz à 100% et trim de gaz à 0. C'est seulement après l'initialisation que vous pouvez régler la course coté gaz à 60%... 40%... etc → puis le trim des gaz, pour avoir au 0 de la gâchette de gaz, la plus petite vitesse possible. A chaque mise sous tension de la voiture vous serez obligé d'utiliser cette procédure.

Il n'y a pas de roue libre sur les contrôleurs si la programmation du frein est sur « on » -- et si elle est sur « off » il n'y a plus de freinage possible.

La meilleure motorisation possible :

Faire le bilan de toutes les puissances :

Coté utilisation, on a la radio, elle consomme 150mA quand le servo-moteur de direction est en marche. Environ 100mA en ligne droite. Avec 120mA en moyenne on est pas loin de la réalité, étant donné que l'on corrige souvent la trajectoire de la voiture.

L'accumulateur va fournir toutes les pointes de courant et comme on ne récupère pas l'énergie au freinage, il devra fournir en moyenne sur 1 tour ($I_{\text{maxi}} - I_{\text{moyen}}) \times K_x$.

K_x va dépendre du nombre d'accélération sur 1 tour de piste et de leurs durées. On le déduit du graphique de l'enregistrement de i en traçant le I_{moyen} et en essayant d'apprécier la « valeur efficace » des crêtes de courant (C'est la somme des hauteurs de crête divisée par leur nombre, sur un intervalle de temps significatif et à cette valeur là : la

la somme des largeurs divisée par l'intervalle de temps considéré.)

Sur le graphique donné en exemple, j'ai trouvé ~ 0,2A.

On doit fournir à l'accumulateur 120% de l'énergie restituée : Pour recharger l'accu il lui faut 0,240A. Toujours dans mon exemple, la propulsion à besoin de 1,42A. Le rapport du courant de propulsion sur le courant du panneau (sans radio) serait de : $1,42 : 1,66 = 0,85$

La motorisation idéale sera :

Le courant du panneau à P_{max} (2,75A) – la consommation de la radio (0,12A) = 2,63A

La motorisation devra consommer sur 1 tour de piste : $2,63 \times 0,85 = 2,24A$

C'est le courant moyen du graphique – 0,12A (pour la radio). On voit dans mon exemple, que la voiture est sous-motorisée, les moteurs n'utilisent que 1,42A sur les 2,24A potentiels. La commande de gaz étant à 100%, je ne pourrais pas faire rouler cette voiture à sa performance maximum.

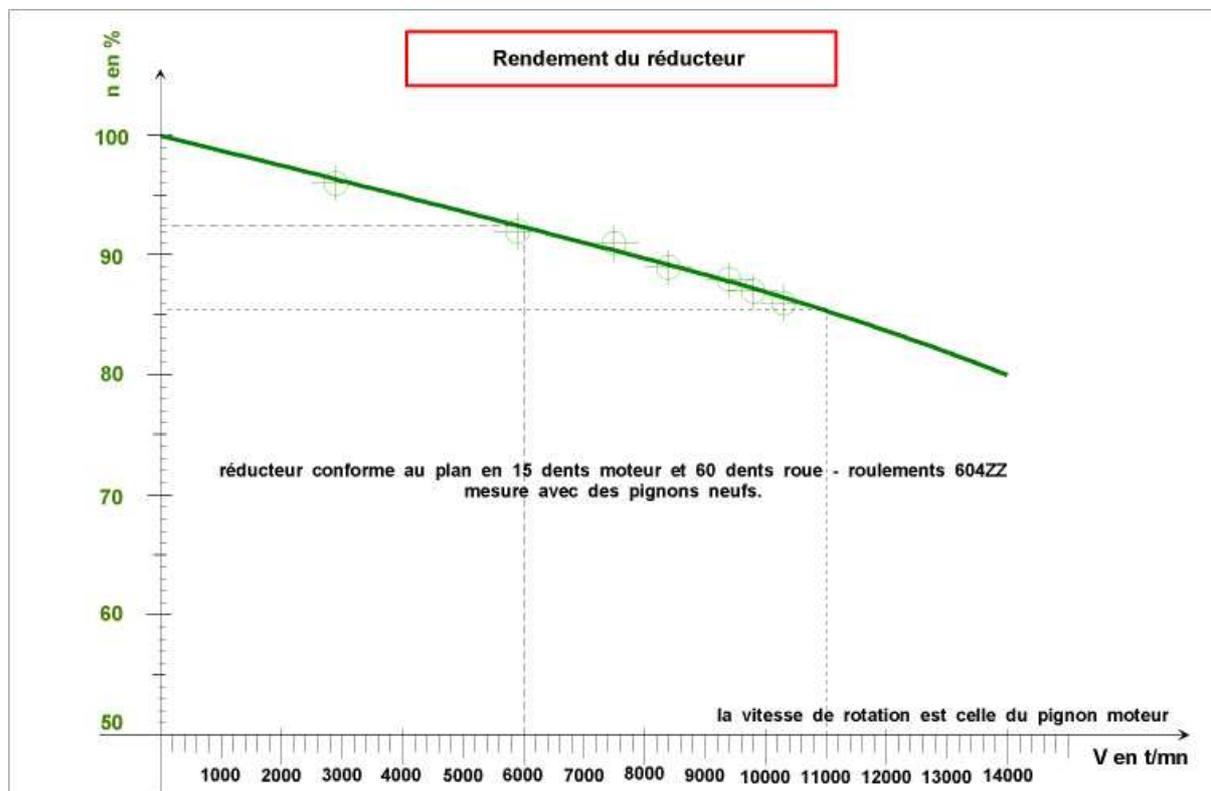
A opposer à la motricité, il y a la résistance de la voiture à l'avancement. C'est difficile de s'en faire une idée simplement, par contre à l'aide de l'enregistreur embarqué il est possible d'en avoir une idée plus précise. On a la tension et le courant d'alimentation plus la vitesse des moteurs.

On en déduit la vitesse des roues donc celle de la voiture.

La puissance consommée = $(I_{\text{total}} - I_{\text{radio}}) \times U_{\text{batterie}} = P_{\text{motricité}}$.

La voiture pour avancer aura besoin de : $P_{\text{motricité}} \times (\text{rendement du réducteur}) \times (\text{rendement moteur})$

Les pertes du réducteur sont faciles à trouver : On mesure le courant à vide d'un moteur à toutes les allures (commande des gaz) et on refait la même manip. Avec le réducteur.



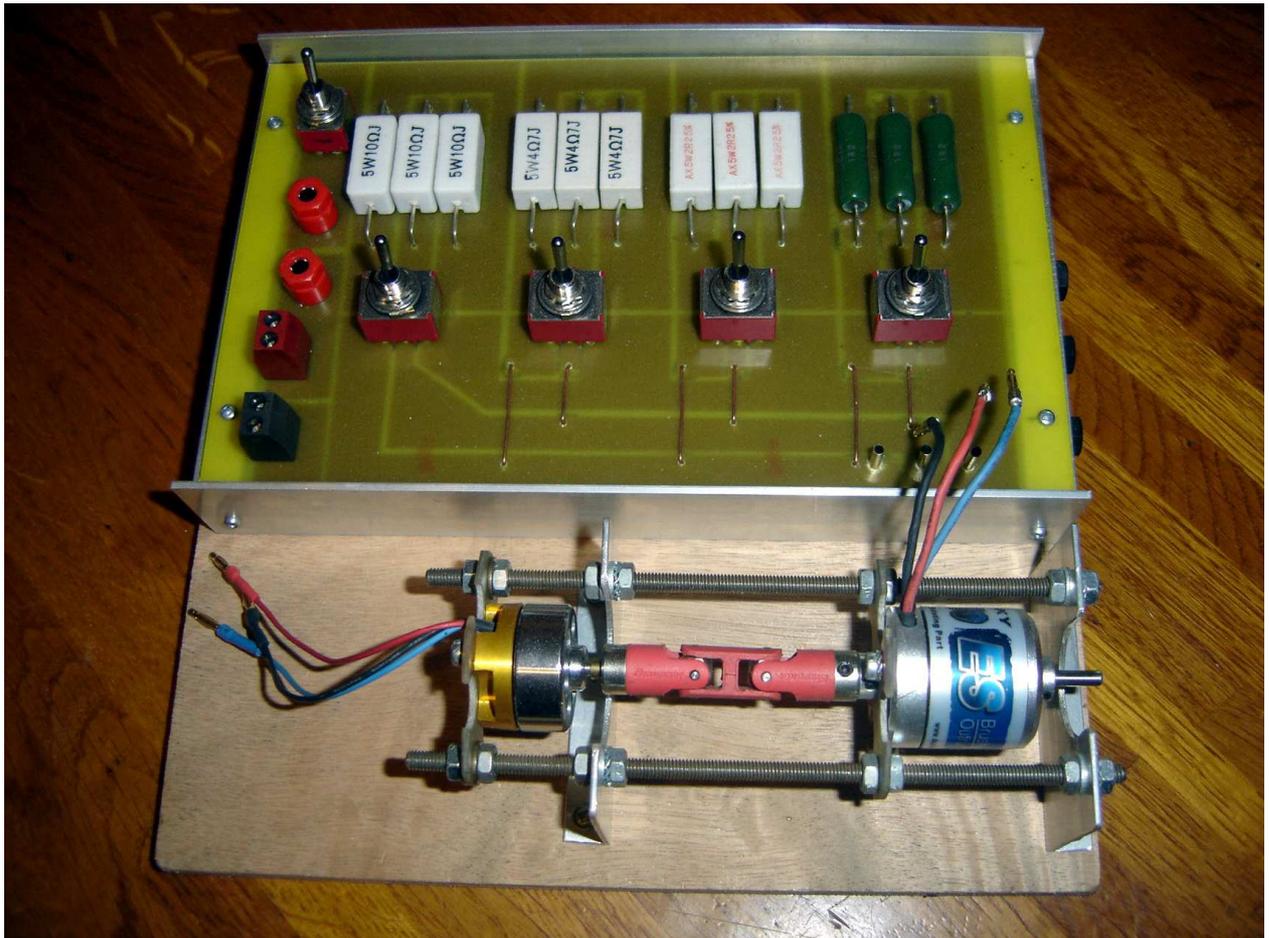
Voilà la courbe de rendement d'un réducteur conforme au plan donné et correctement réglé.

Pour les moteurs, c'est moins simple ! Il faut se fabriquer un petit banc de mesure. Les constructeurs ne donnent que des indications vagues sur les performances de leurs moteurs.

Plusieurs solutions : j'ai choisi celle que l'on m'a appris à l'école, on accouple le moteur sur une génératrice et on fait tourner ! Cela donne des résultats bien assez précis pour notre usage avec des appareils de mesure courants.

Je pourrais mesurer tension – courant et vitesse (avec l'enregistreur ou un tachymètre optique) à tous les régimes et sous toutes les charges que j'aurais choisies.

En génératrice de charge le plus simple est d'utiliser le 2^e moteur, c'est l'idéal !
Sur le mien, j'ai monté un brushless Dualsky ES450 (ça me permet de faire des mesures pour des propulsions à un seul moteur (voitures à 3 roues) qui vont consommer +4.5A en pointe.



C'est très simple à réaliser, 2 tôles d'aluminium pliées, 2 tiges filetées de 4mm et une poignée d'écrous et rondelles. Le châssis est un peu plus élaboré mais chacun peut faire à sa guise, des connexions sur dominos font très bien l'affaire ! Il possède 4 charges possibles de la génératrice : 10ohms, 4.7ohms, 2.2ohms et 1.2ohm.

L'accouplement est un cardan de modèle réduit de bateau de 4 et 3.2 d'alésage de chez Graupner. J'ai confectionné 2 petites bagues de réduction pour être au diamètre de l'arbre moteur.

Avec cet engin là, vos moteurs vous livreront tous leurs secrets cachés ! ... Et éventuellement, il vous donnera de furieuses démangeaisons du cuir chevelu... si vous voulez faire mieux que les autres !

Quelles sont les grandeurs d'entrées et de mesure :

En entrée il n'y en a qu'une qui soit à la disposition du pilote, c'est sa commande de gaz. Donc il faut utiliser la radio-commande et la programmer pour avoir 10%, 20% ... 100% des gaz. Cela fait 10 mesures possibles pour chaque charge du moteur. Sera-t-il possible de caractériser le moteur avec une précision acceptable avec ce montage ? Je serais tenté de dire oui,

On peut mesurer : Les pertes à vide à tous les régimes utiles. La puissance absorbée pour faire tourner la génératrice, à vide et à tous les régimes utiles (et sa fem). La puissance absorbée et restituée sous (au moins) 4 charges différentes. 2 mesures annexes sont nécessaires : les résistances internes par phase du moteur (et de la génératrice, à la rigueur).

D'abord mesurer la résistance ohmique d'une phase sur le moteur (et sur la génératrice).

Il faut un générateur de courant continu réglé vaguement à 0,5A que l'on injecte entre 2 fils du moteur. On mesure la tension aux enroulements moteur et on a $r = U/I$. On note les 2 valeurs dans les cases correspondantes d'Excel (c'est plus pratique pour faire tous les calculs) pour le moteur et la génératrice.

Il faut tout brancher coté moteur : La radio, le contrôleur, le moteur avec sa sonde de vitesse si vous en avez une (ou un compte tour) et pour alimenter le tout, une alim régulée capable de débiter au moins 10A, réglée à la VALEUR de la TENSION de SERVICE de votre panneau. En 14 cellules, ce n'est pas 7V, vos cellules seront à 50° ou 55° et vous n'aurez autour de 6,2V (voir 6V). La perte de tension type est de $-2,2\text{mV} / ^\circ$ (au dessus de 25°) par cellule, ça fait $30,8\text{mV} / ^\circ$ pour le panneau. A 55° vous avez perdu 1V mais vous gagnez un tout petit peu sur le courant. 6.2 ou 6.4V sont très réaliste en 14 cellules.

Comment estimer le bilan puissance du moteur ? N'oublions jamais que la puissance mesurée est sur le continu, le moteur et son contrôleur ne faisant qu'une seule entité motrice.

On a d'abord la puissance nécessaire pour le faire tourner à vide (désaccouplé de la génératrice). Celle là, quoi que l'on fasse elle est perdue. Pour chaque valeur de commande de gaz (10%... 100%) vous notez le courant moteur et sa vitesse.

A 100% des gaz vous avez le courant à vide vrai et le Kv vrai (en divisant la vitesse par la tension d'alim) de votre moteur. Vous saurez tout de suite si les performances annoncées sont vraies ou fantaisistes !

On accouple le moteur à la génératrice sans aucune charge. Même manip et on relève I_{moteur} , V_{moteur} et $U_{\text{génératrice}}$.

Le courant est plus fort, la vitesse est plus faible. La différence de puissance : P_m (avec géné à vide) - P_m (moteur à vide) vous donne la puissance mécanique absorbée dans la génératrice et l'accouplement.

Dans la foulée vous tracez sa courbe $F_{em} = f(V)$ de la génératrice.

Maintenant on charge la génératrice par les résistances et on refait la même manip.

Coté génératrice la puissance électrique par phase est $(U_g)^2 / R_{\text{charge}}$

La puissance fournie par le moteur est : P_g (à vide) + [P_g (en charge) + pertes (joule et fer)] de la génératrice.

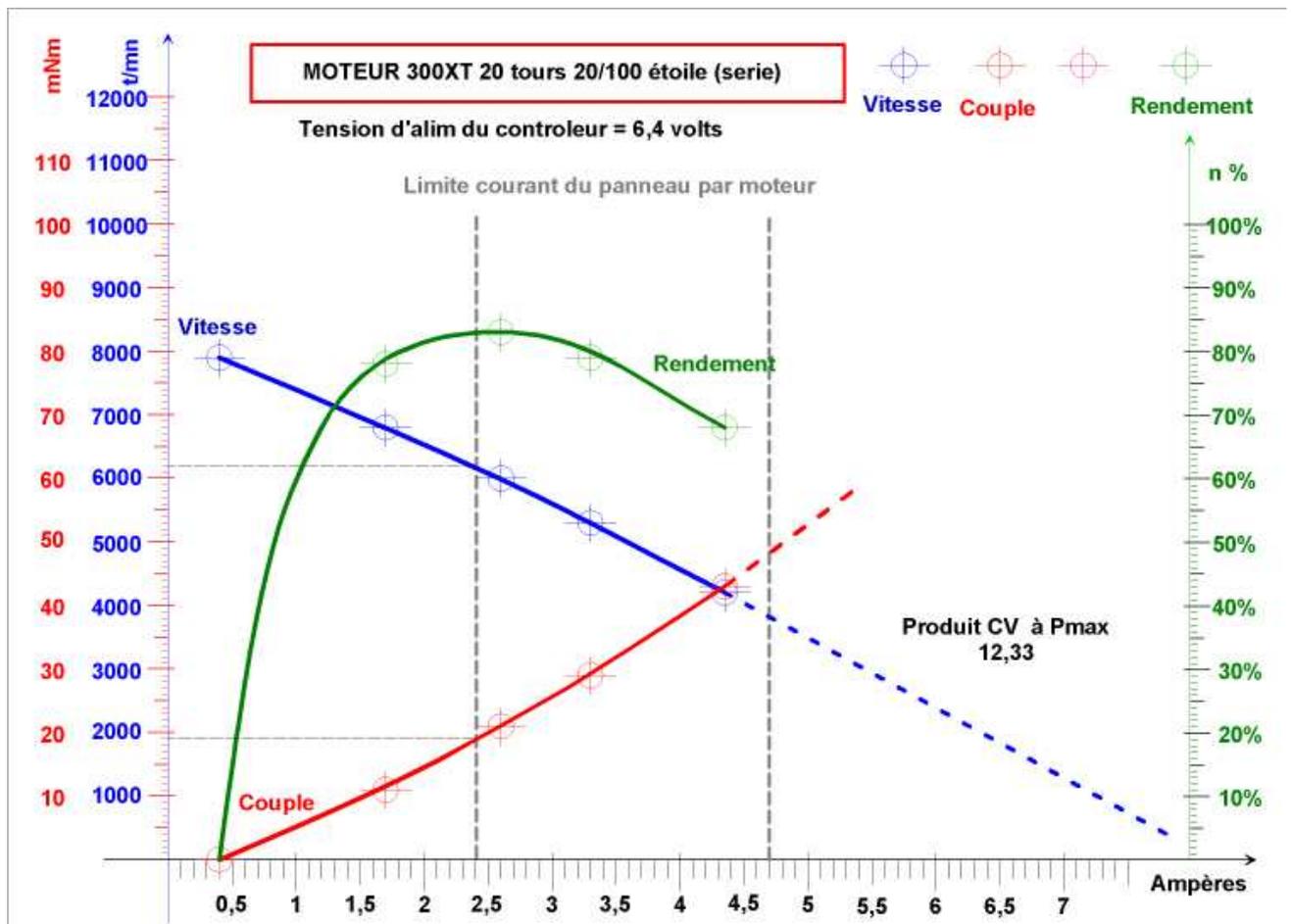
Note : [] C'est $E_{\text{géné}} \times I_{\text{géné}}$ avec la force électromotrice à la vitesse de mesure.

NB : Le moteur et son contrôleur sont considéré comme une seule et même entité. C'est l'équivalent pour notre usage, d'un moteur continu.

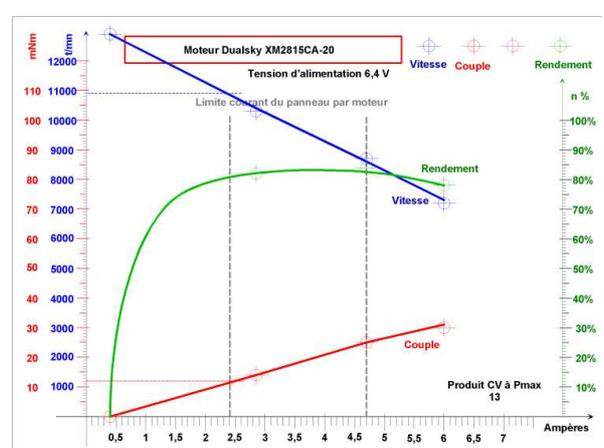
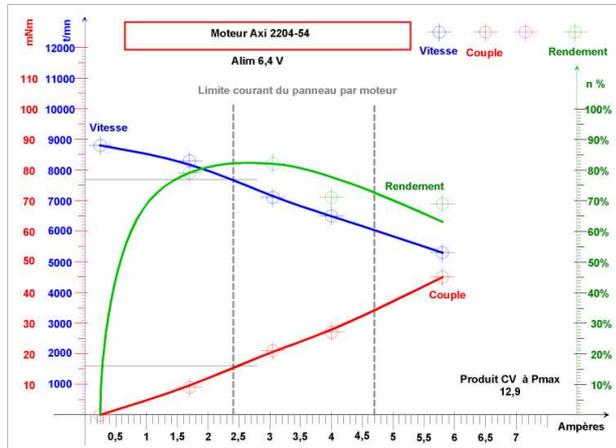
De ça vous en tirez toutes les courbes qui vous font plaisir et en particulier celle du rendement pour estimer où se trouve le rendement maxi.

Sans arriver aux performances de Nuna3, je pense qu'il est possible de faire un mini sun-racer très performant.

Voilà ce que l'on en tire :



D'autres moteurs :



On voit que pour un usage présumé identique (propulsion d'un avion modèle réduit) les courbes peuvent être très différentes ! Ces 3 moteurs sont de même taille.

Si l'on regarde le produit Couple Vitesse au courant maximum du panneau (c'est la puissance mécanique que l'on pourra tirer du moteur) les écarts sont mesurables, le meilleur serait celui qui tourne le plus vite ! Mais les pertes du réducteur augmente avec la vitesse de rotation du pignon moteur ! ... Alors ??? Faites le meilleur choix possible.

Maintenant que le panneau solaire n'a plus de secret pour vous (enfin presque plus) que vous connaissez parfaitement la motorisation et sa transmission, il est possible de se faire une idée assez précise des performances de la voiture et si possible d'en tirer toute la quintessence !

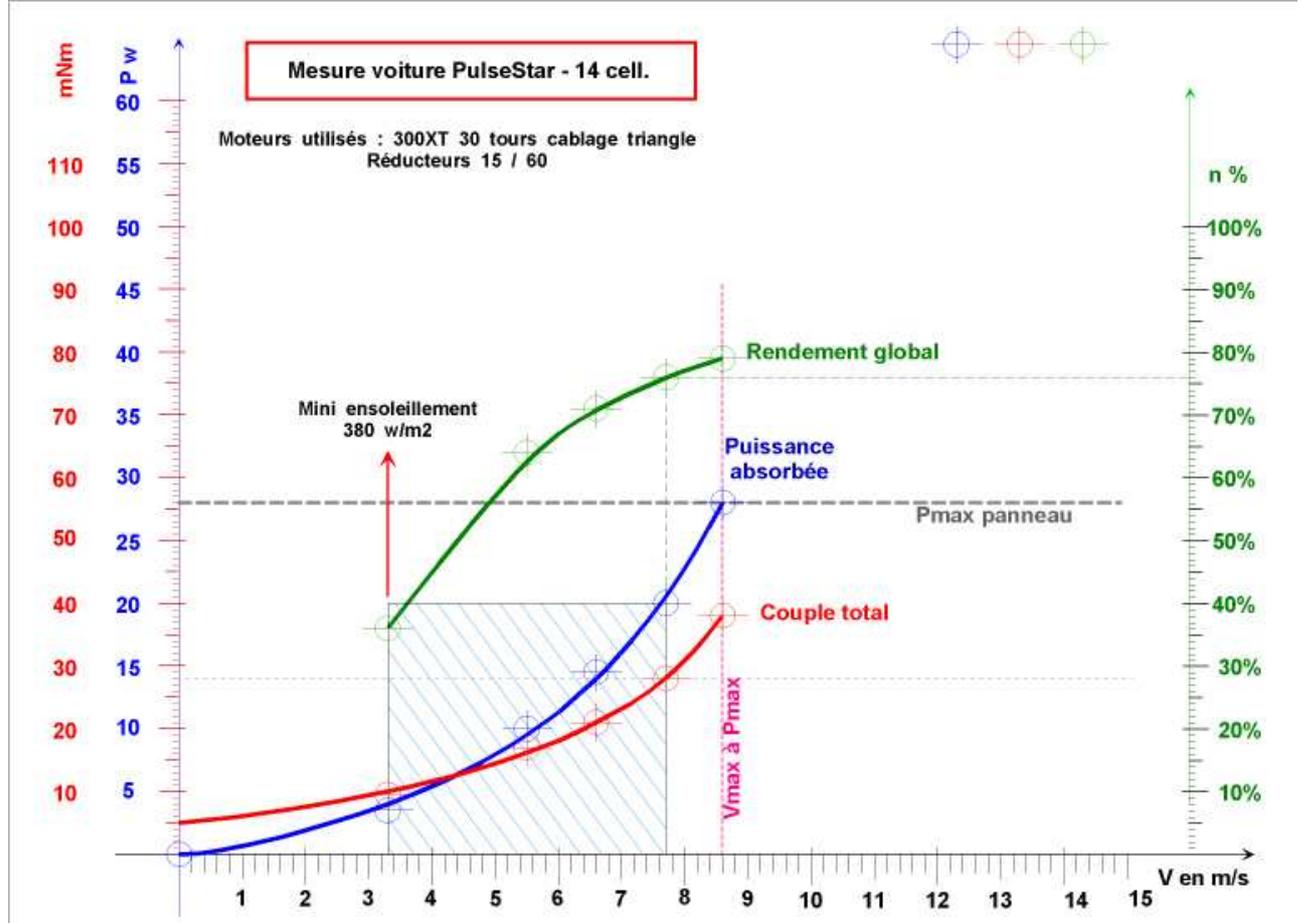
A l'aide de votre enregistreur embarqué vous relevez : sa vitesse, le courant utilisé et la tension de service de votre ensemble panneau solaire + batterie.

Vous faites toutes les corrections d'usage :

Le courant de propulsion = I total – I radio (120 à 150mA)

La puissance mécanique utilisée = U utile x I propulse x n% du réducteur (à sa vitesse de rotation) x n% du moteur (au I considéré). Et vous en tirez les courbes de Puissance et de Couple en fonction de sa vitesse.

En voilà une des miennes en 14 cellules 2 moteurs:



On voit là-dessus l'aire de fonctionnement possible de la voiture : Elle démarre et roule de façon continue à partir de 380 W/m² et peut rouler à 8.6ms en continu avec 925 W/m² (ensoleillement maximum panneau horizontal)

Sur un circuit (début juin par beau temps) elle est capable de tenir une vitesse moyenne de 24 kmh sur la durée de la course avec un rendement global de +75%. La vitesse moyenne maxi pourra atteindre 31kmh au début de la course et une vitesse moyenne mini de 17kmh en fin de course (si le temps ne change pas durant toute la durée de l'épreuve)

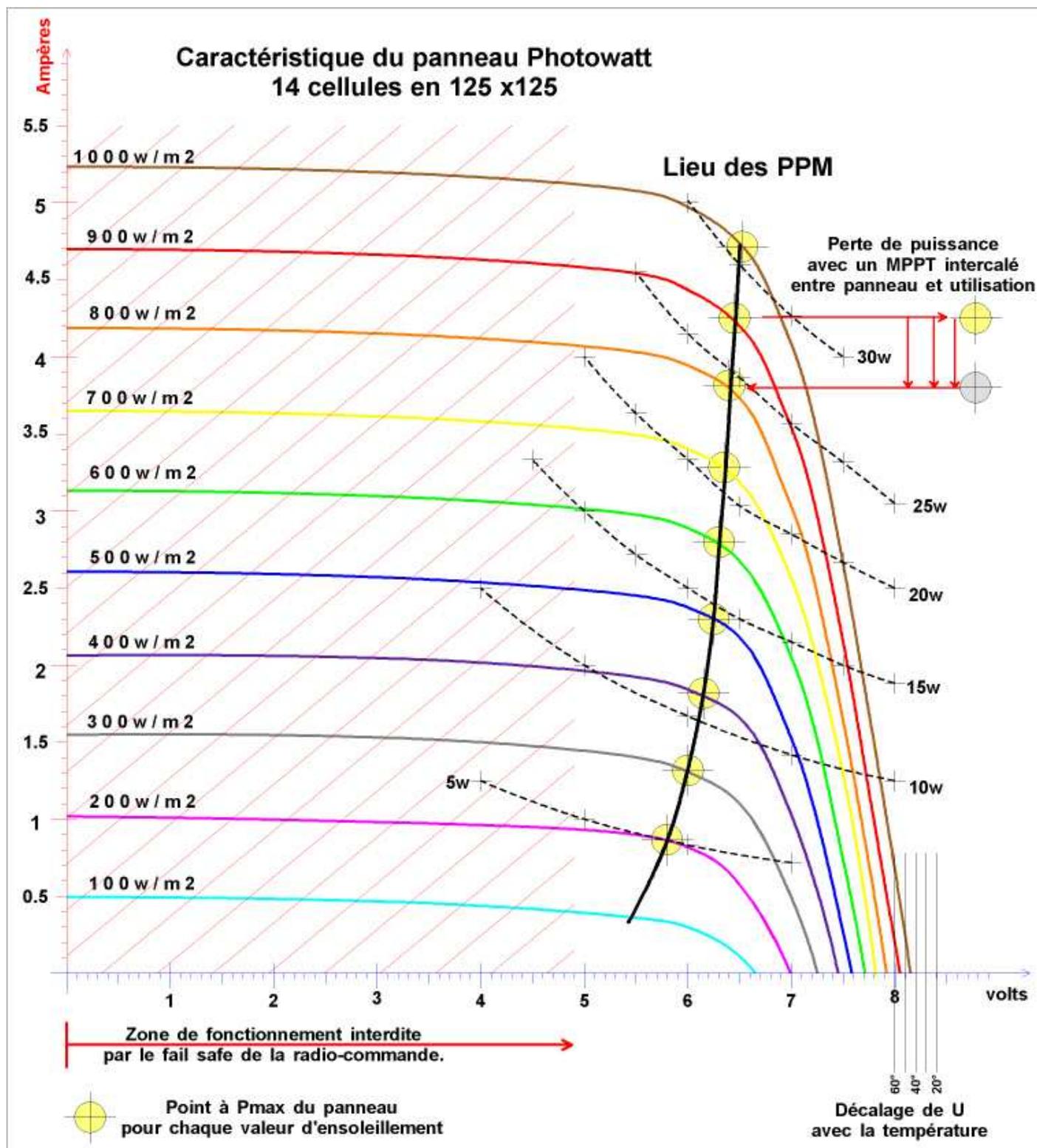
Note : Pour vous faire "saliver" Nuna2 (3 etc.), les sun-racers Hollandais de l'université de Rotterdam ont un rendement moteur de 98% à 100 kmh ! Elles gagnent le World Solar Challenge régulièrement ! Elles sont toutes équipées du MPPT.

J'ai à peu près tout dit ce que je savais sur les voitures solaires à un point près : Comment rester au point de puissance maximum du panneau durant toute la course ?

Ne nous berçons pas d'illusion pour des tensions et des courants de la grandeur qui nous préoccupent nous n'atteindrons jamais des rendements de + de 90%. Un FET qui a 100mV de tension de saturation sous 2A c'est négligeable si vous avez 24 ou 48V à commuter, ça l'est beaucoup moins si vous avez 6V ! Alors (pour l'instant) moins on en met mieux on se porte !

Alors le MPPT ! (Maximum power point tracking) S'il permet de gagner quelques % sur le point de fonctionnement de notre panneau va vous coûter ~12% de la puissance disponible (en le supposant très bon à notre niveau d'installation) !

Un petit exemple sur un réseau de courbe photovoltaïque :



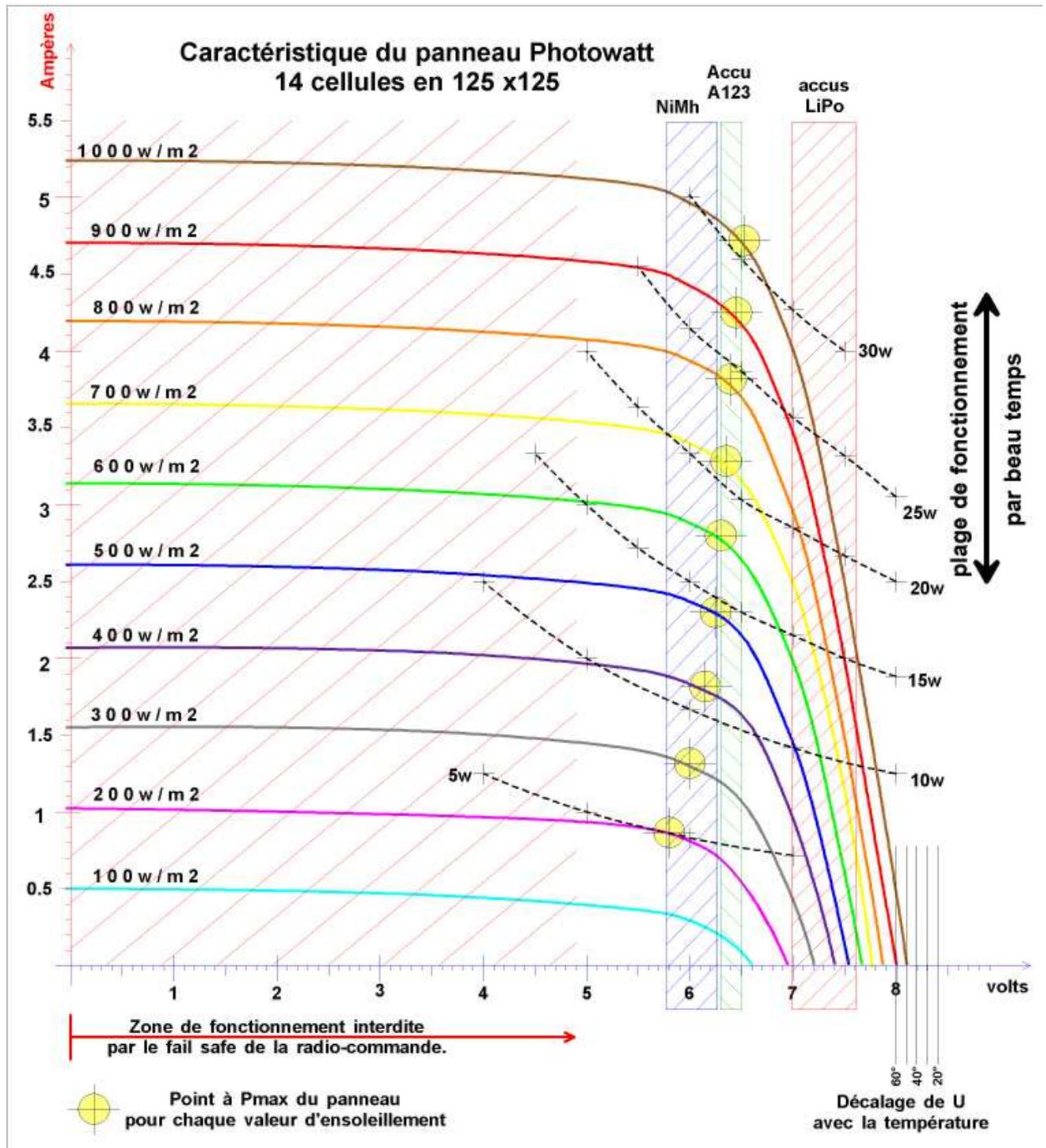
Nb. Les courbes sont données pour une température de cellule de 45°C

On voit que l'insertion d'un module MPPT entre le panneau et l'accumulateur fait perdre l'équivalent de 100w/m² sur le rayonnement incident ! Dans les basses valeurs de rayonnement cela semblerait plus favorable mais je serais très étonné que son rendement ne diminue pas avec la tension du panneau !

Faire un convertisseur CC qui à un excellent rendement à 3 ou 4A et qui pèse 1kg c'est très facile, mais le notre doit peser 20 ou 30g ! 100g c'est réhibitoire quand on en est à remplacer les vis acier par des vis alu pour gagner quelques grammes !

Comment obtenir un résultat acceptable sans se pénaliser sur la puissance du panneau ? En choisissant bien son point de fonctionnement.

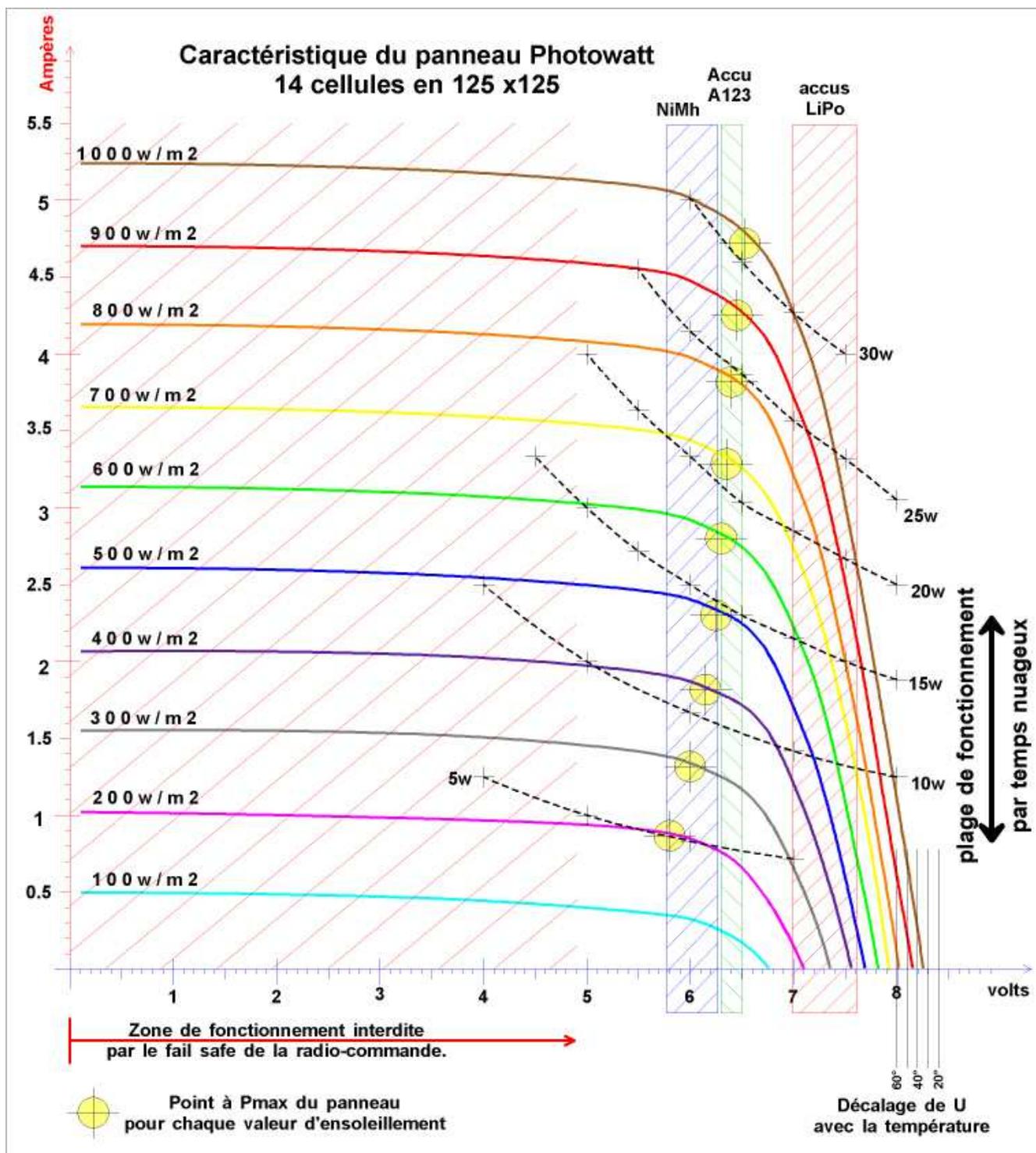
La tension du panneau sera fixée par la tension de la batterie c'est elle qui va fixer le point de fonctionnement. Il faut choisir la bonne batterie.



Toujours dans mon réseau de caractéristiques je place les 3 principaux type d'accus facilement disponibles.

En bleu 5 éléments NiMh, en vert 2 éléments Li nanophosphates Fe (A123) et en rouge 2 éléments LiPo. (Le coté gauche du rectangle représente la tension pour 20% de la charge de l'accu. Le coté droit la tension pour 80% de la charge)

Ce jour là, il fait beau temps, à la rigueur avec quelques nuages d'altitude mes cellules sont à 50° environ ... pas besoin d'explication ! Ni de MPPT, de 925W/m² jusqu'à 600W/m² de rayonnement incident. Que je sois en haut ou en bas de la charge, je ne pers au maximum que 2% de ma puissance avec un accu LiFe A123.



Le temps est maussade voir nuageux "gris foncé", les cellules sont à 35° environ, bien sûr il faut ralentir l'allure, il ne reste que 2A de disponible, mais mon accu A123 va très

rapidement se trouver complètement vide et je ne pourrais plus rien lui demander. Ce n'est plus possible de démarrer la voiture, ni de lui demander la moindre accélération ! Mais si je monte un NiMh j'ai une capacité substantielle disponible et je peux toujours rouler, lentement certes, mais rouler... si la motorisation permet de rouler avec 3 ou 4W !

Cette réflexion sur les accus entraîne une autre : La diode anti retour est-elle utile ou inutile ?

Tout se passe sur l'axe $I=0$: Lorsque la voiture passe à l'ombre le rayonnement direct tombe brutalement à 0, mais à l'ombre il ne fait pas nuit, il reste le rayonnement diffus qui provient des innombrables diffractions et réflexions de l'atmosphère, C'est loin d'être nul ! Par temps clair en juin c'est de l'ordre de 100 à 150W/m². (J'ai fait une mesure fin février par beau temps à 14h solaire : Le panneau délivre encore un courant de court-circuit de 0,38A cela donne un rayonnement diffus d'environ 80W/m²). Si on est au maximum de la tension batterie (pour 80% de charge en NiMh ou LiFe) on voit sur le réseau de courbe que la tension pour un courant panneau nul est un peu supérieure à 6,5V aucune de ces 2 batteries ne pourra débité dans les diodes photo-voltaïques. Ce n'est pas le cas pour du LiPo à moins qu'il soit complètement vide. La diode n'a donc aucune utilité... si vous n'êtes pas obligé de mettre la voiture sous la table du commissaire de course !

Mais ne laissez surtout pas votre accu branché sur le panneau quand la voiture sera dans le noir, il débiterait plusieurs ampères jusqu'à ... sa destruction certaine !

+++++

J'ai voulu approfondir un peu ces points particuliers, parce qu'à mon sens, quantifier le mieux possible sa source d'énergie et en faire le meilleur usage pour l'application envisagée, sont tout de même des choses essentielles sur un véhicule électrique. Qu'il soit solaire ou non.

Il y aurait beaucoup d'autres points à approfondir, l'optimisation du poids, la répartition des masses, l'amélioration du Cx, les résistances mécaniques, la recherche du meilleur moteur possible pour votre voiture... etc. Mais je doute fort que vous ayez le temps matériel de re-bobiner 4 ou 5 fois votre moteur pour trouver le meilleur rendement possible ou de faire des essais mécaniques sur votre structure.

A la fin je vous donne une démarche possible de projet pour optimiser au mieux votre voiture dans le but de disputer une épreuve du type de Solar Event ou Défis solaire.

Une amélioration possible

Pour les « moustachus » du PIC maintenant :

Je n'ai pas encore développé le différentiel électronique, la voiture bi-moteur roule très bien sans cet artifice. Elle n'a pas un comportement d'essieu rigide où une des roues serait en dérapage. Néanmoins, vous le verrez sur les enregistrements, elle perd naturellement de la vitesse en virage (un seul des 2 moteurs fournit la puissance motrice et c'est le moteur intérieur du virage).

A grande vitesse, c'est peu important puisqu'il faut ralentir pour passer les virages, mais la tenue de route est moins bonne. A vitesse modérée ou faible, on perd du temps sur 1 tour de piste et d'autant plus que la piste est sinueuse.

Pour récupérer la motricité des 2 moteurs, il n'y a qu'une solution : Monter un différentiel électronique qui va augmenter la consigne de vitesse sur le moteur extérieur et diminuer celle du moteur intérieur.

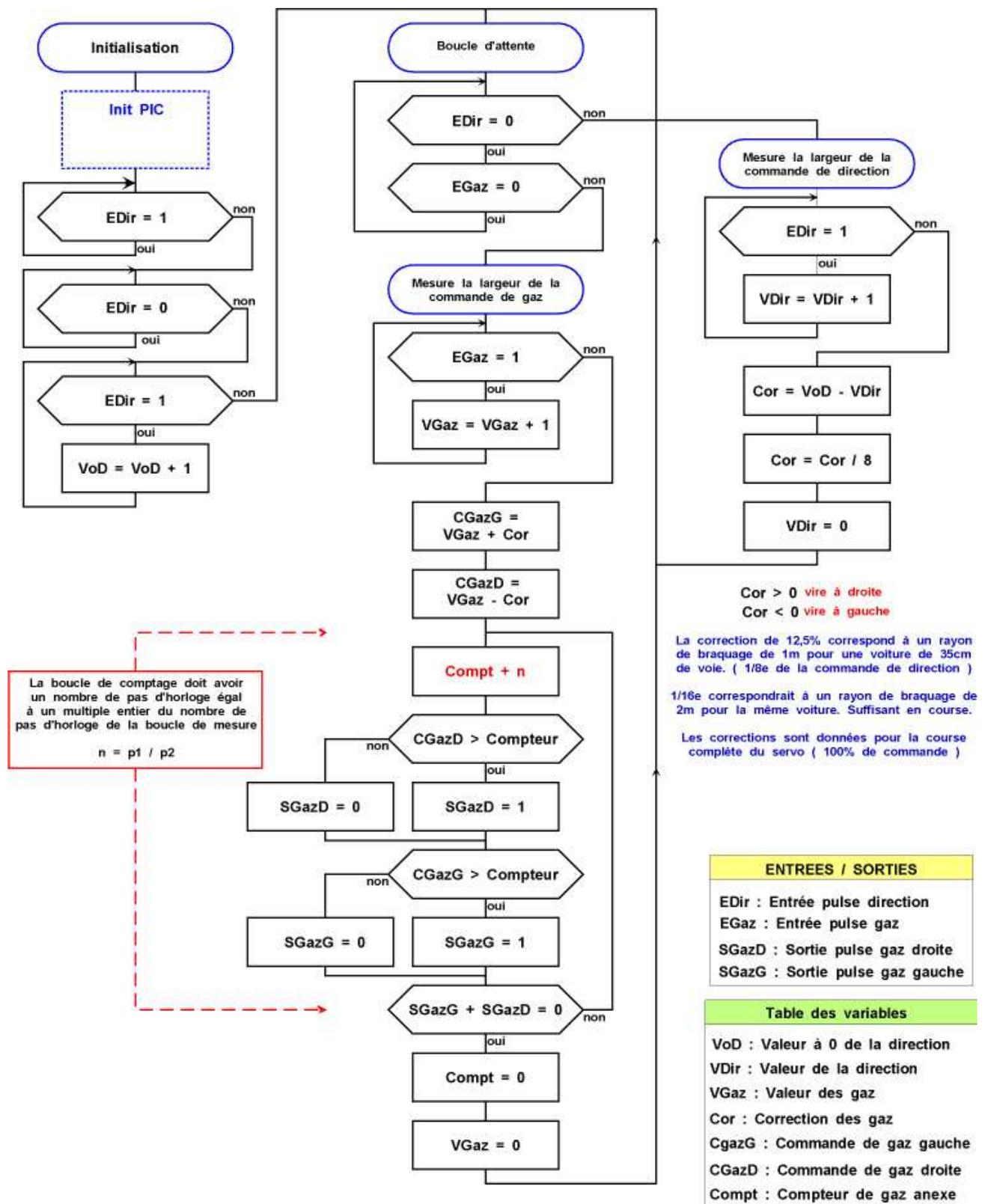
La commande au niveau des sorties récepteur est en largeur d'impulsion. 1ms = commande au mini, 1,5ms = commande à zéro – 2ms = commande au maxi.

La commande est séquentielle : Voie n°1, puis voie n°2, puis voie n°3... etc.

Il faut donc récupérer la largeur de la voie n°1, attendre l'arrivée de la voie n°2 et en corriger la valeur pour en faire 2 sorties : 2a vers moteur A et 2b vers moteur B.

Ma réflexion sur le sujet est en cours mais je peux vous donner un ordinogramme qui a des chances de nous donner le résultat escompté. (A vérifier par simulation sur l'assembleur et aux essais)

Je suis parti des données suivantes : La voie de la voiture est de 350mm son rayon de braquage minimum est de 1m. L'écart de vitesse sur la trajectoire moyenne idéale est de -12% sur le moteur intérieur et de +12% sur l'extérieur, au braquage maximum des roues à 100% de la commande de direction. La relation est proportionnelle au rayon de braquage.



Ordinogramme du différentiel électronique

Le PIC doit être revenu sur la boucle d'attente avant l'arrivée du pulse de direction suivant. Il a environ 2ms pour parcourir toute la boucle de comptage (en rouge).

Bon courage à tous ceux qui seraient tentés par la réalisation. Je ne connais rien à la programmation des PICs, j'ai 3 mois pour apprendre l'assembleur et comment on peut mettre en œuvre « ces bêtes là » !

+++++

Je vous souhaite bonne chance à tous, pour faire accepter à vos examinateurs, le bien fondé et la pertinence de votre projet.

Jean Deligny

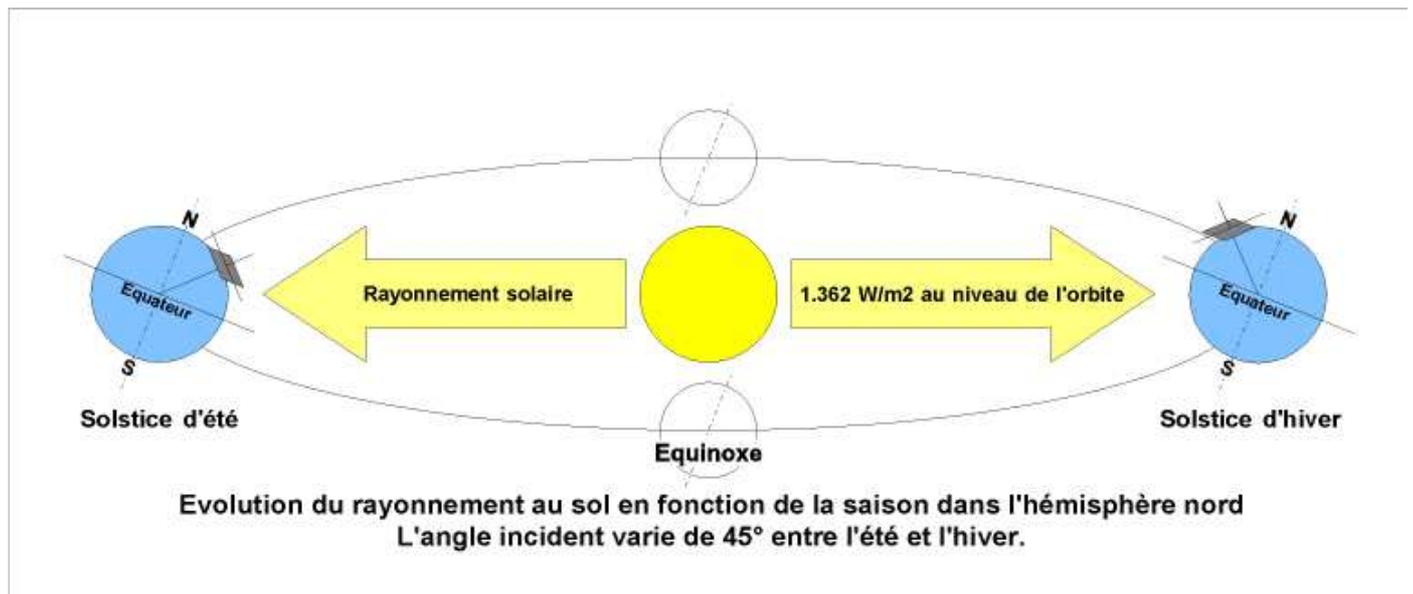
Ps : si vous voulez me contacter : deligny.jean@orange.fr

Une démarche possible d'optimisation des performances pour des élèves de l'enseignement supérieur

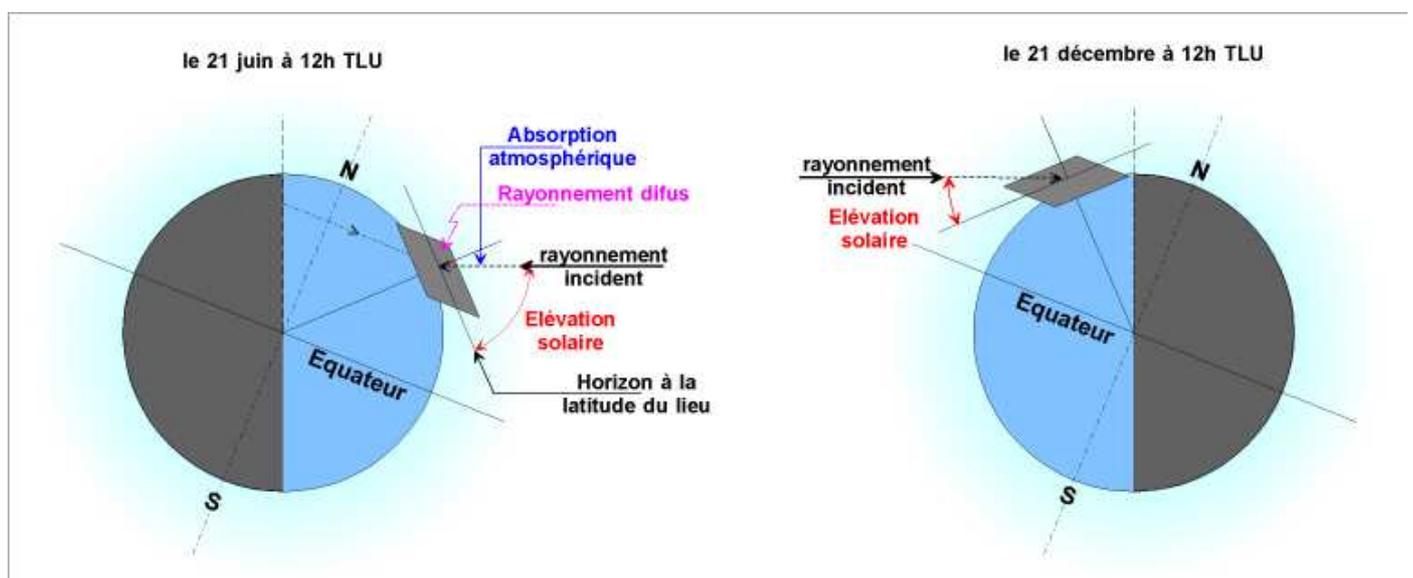
L'énergie solaire : Le pourquoi et le comment, la puissance potentielle.

Petit rappel d'astronomie : Le soleil est une source gigantesque d'énergie, par la fusion de son hydrogène et 150.000.000 de km plus loin, où nous sommes, il en reste suffisamment pour nous permettre de vivre ! Ca tout le monde le sait.

Ce que l'on sait peut-être moins, c'est comment et surtout pourquoi il varie dans des proportions importantes.



Le rayonnement incident étant toujours donné pour une surface de 1m² perpendiculaire à l'axe terre soleil, le rayonnement arrivant sur un sol horizontal (indépendamment de l'absorption atmosphérique) sera donc toujours minoré du sinus de l'élévation solaire sur l'horizon, qui de toute évidence dépend de la saison. L'axe de rotation de la terre étant incliné de 22°5 sur le p lan de l'orbite cela donne 45° d'écart entre l'été et l'hiver.

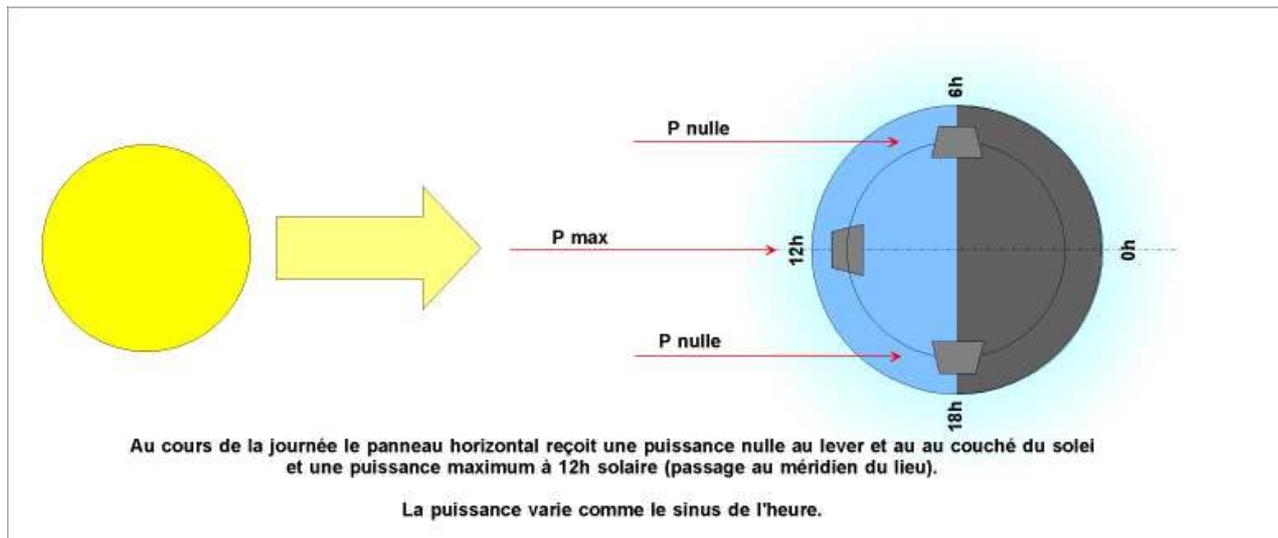


Un panneau photo-voltaïque posé horizontal au niveau du 45^e parallèle nord reçoit le 21 juin à 12h solaire : (le rayonnement solaire – l'absorption atmosphérique du moment) x $\sin(67,5^\circ)$ + le rayonnement diffus du moment.

Le 21 décembre au même endroit et toujours à 12h solaire : (le rayonnement solaire – l'absorption atmosphérique du moment) x $\sin(22,5^\circ)$ + le rayonnement diffus du moment.

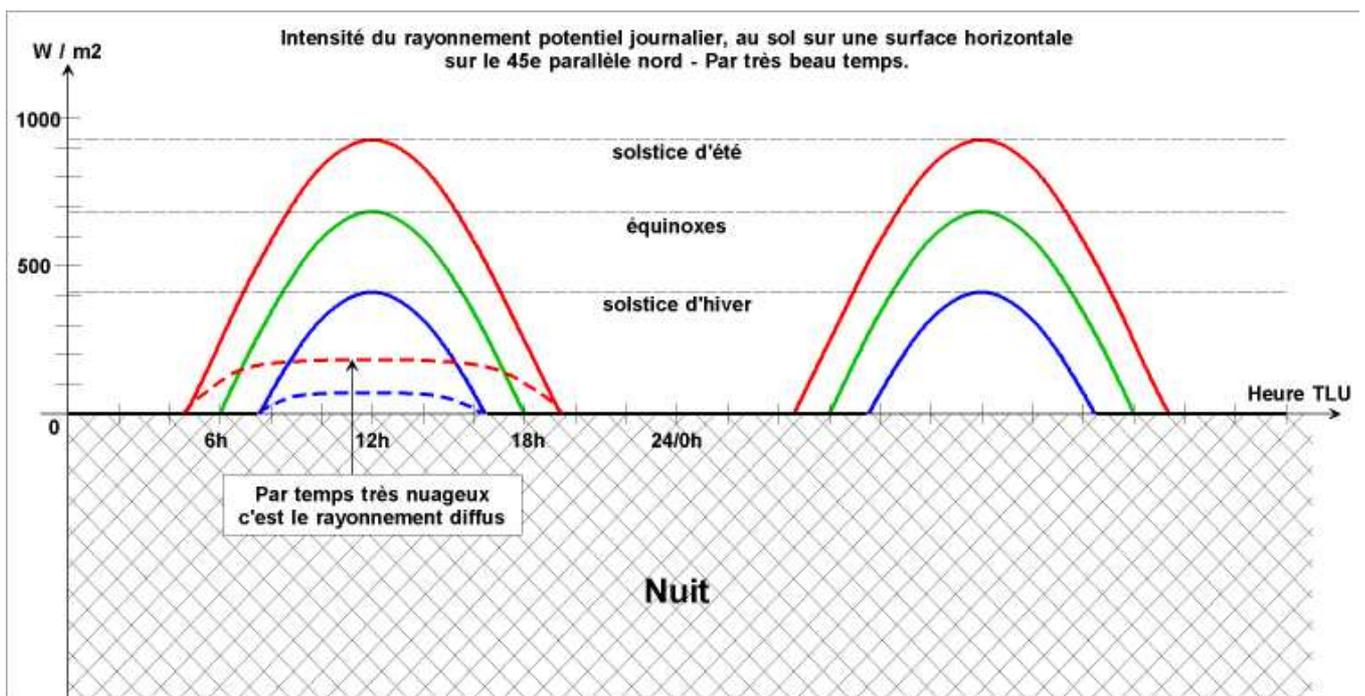
Note : Dans l'absorption atmosphérique il y a une partie du rayonnement qui est réfléchié dans l'espace sans atteindre le sol et surtout la transparence au rayonnement qui dépend de la couverture nuageuse et de tous les aérosols en suspension (gaz divers, poussières, vapeur d'eau pour l'essentiel)

(Pour ceux qui n'ont pas bien suivi leur cours de physique : ne confondez pas nuage qui est constitué de fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'air et vapeur d'eau qui elle est invisible, puisque gazeuse)



Au cours de la journée maintenant, il faut minorer le calcul du dessus par le sinus de l'heure entre le lever et le coucher du soleil.

Au final on obtient les courbes ci dessous qui donnent le maximum d'ensoleillement par m2 de surface posée au sol et suivant la saison.



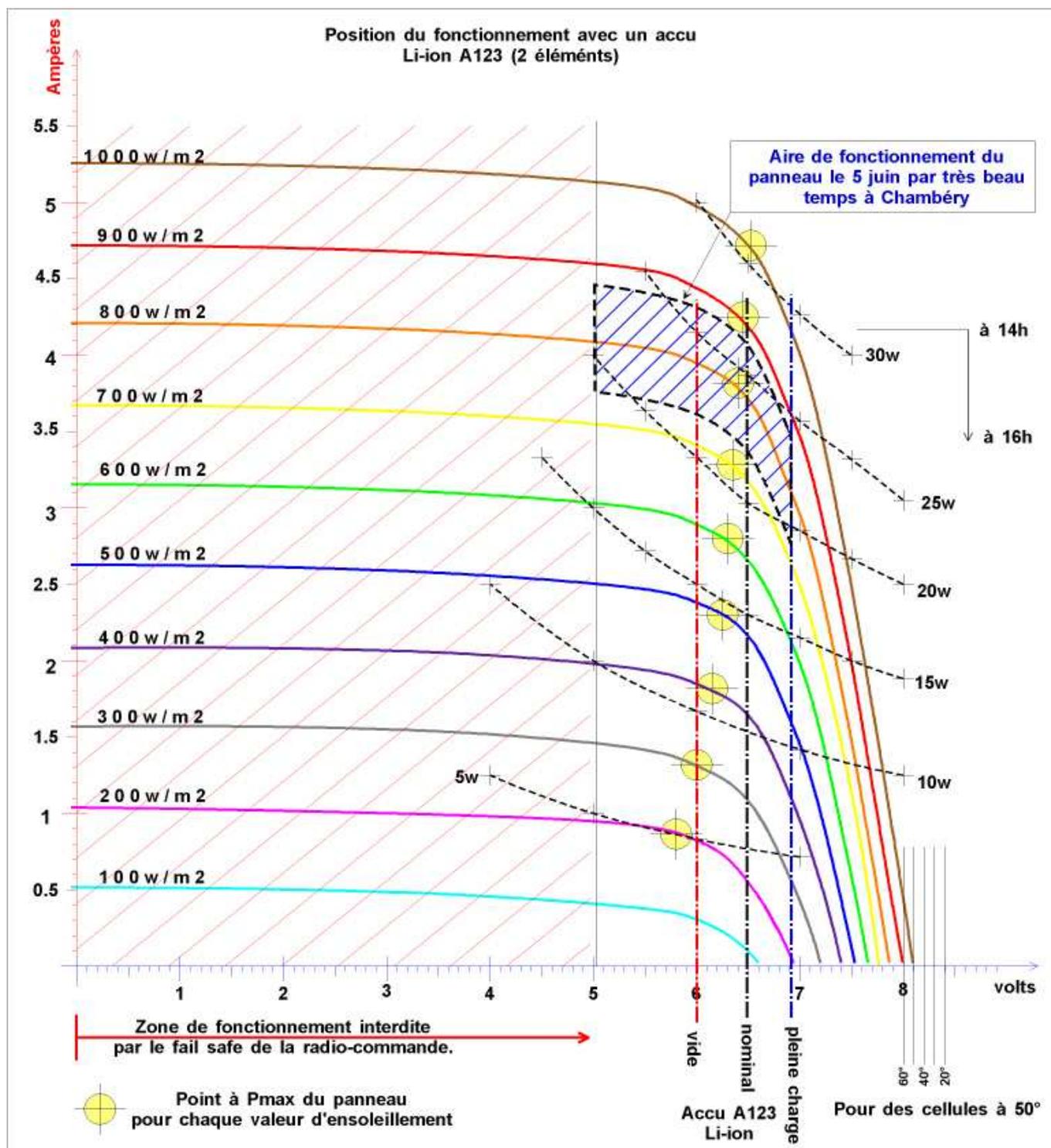
Voilà ma source d'énergie : J'ai 0,22m² de surface de cellules, elles ont un rendement de 16% (en mono cristalline) ou 15% (en poly cristalline)

Autour du 21 mars (ou septembre) à 12h solaire (14h locale chez nous) j'aurai ~700 x 0,22 x 0,16 = 24,6 W de disponible si le temps est au beau fixe. Ou en juin si le temps est moyennement nuageux.

Entre le 10 juin et le 1^{er} juillet j'aurai environ : 900 x 0,22 x 0,16 = 31,6 W de disponible. Cette valeur est la limite de ce que je pourrai obtenir de mon panneau posé sur ma voiture.

En gardant l'objectif : ma voiture doit pouvoir disputer une course avec de bonnes chances de succès, essayons de trouver les meilleurs choix possibles.

La stratégie :



Autour du 5 juin à Toulouse : Début de la course 14h (12h solaire) durée 4h.

Les données de départ :

Hauteur du soleil à 14h : 62,5°

Hauteur du soleil à 18h : 28,3°

Rayonnement maximum possible : $1000 \times \sin(62,5) = 887\text{W/m}^2$ au départ de la course

Et : $1000 \times \sin(28,3) = 474\text{W/m}^2$ en fin de course

En reportant ces valeurs dans le réseau de courbes d'un panneau en 14 cellules, j'aurai en début de course AU MAXIMUM : 4,2A sous 6,4V au point de puissance maximum et en fin de course : 2,2A sous 6,25V

C'est l'aire de fonctionnement de ma voiture pour un défi solaire à Toulouse.

Note : Sans éphémérides qui vous donne la hauteur vrai du soleil, un calcul approximatif : Pour le point au zénith, 12 heures solaire, en prenant le complément à 90° de la latitude du lieu (Toulouse 43°37' → en prenant l'origine au pôle : $90 - 43,5 = 46,5$) dans ce cas diminué d'un peu moins que l'inclinaison polaire de solstice, puisque nous seront début juin et non le 21 (au pif 20° au lieu de 22°30'. La variation est sinusoidale de -22,5° à +22,5° en 182,6 jours) on obtiendrait : $46,5 - 20 = 26,5$ et dans ce cas là on en prend le cos et $\cos(26,5) = 0,894$ l'erreur est très acceptable $\sin(62,5) = 0,887$!

Pour Solar Event à Chambéry : la course dure 2h, départ 14h, arrivée 16h.

Hauteur du soleil à 14h : 60,5°

Hauteur du soleil à 16h : 47,4°

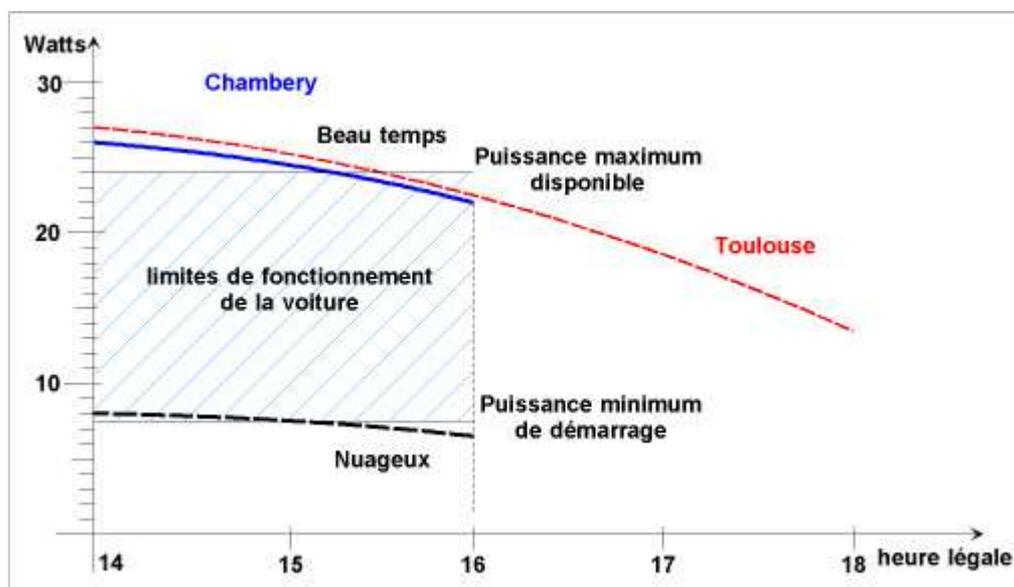
Le rayonnement maxi possible : $1000 \times \sin(60,5) = 870\text{W/m}^2$ au début de la course

Et en fin d'épreuve : $1000 \times \sin(47,4) = 736\text{W/m}^2$

On place dans le réseau de courbe du panneau l'aire de fonctionnement pour la durée de la course. On ne peut pas descendre en dessous de 5v, le fail-safe de la radio couperait la propulsion en détectant mini U batterie. La puissance disponible se déduit des courbes : début de course 4,1A --- fin de course 3,45A la tension varie très peu autour de 6,4v soit 26,24w et 22.1W.

La consommation moyenne sera de 24Wh et mon accu devra emmagasiner 2Wh x 1,2 pendant la première heure de course pour m'en restituer 2Wh pendant la 2^e heure. La capacité de la batterie sera au minimum de : $2 : 6,4 = 315\text{mAh}$ (Dans la technologie LiFe la plus petite valeur est de 850mAh)

Le bilan puissance sera "nickel" Toute la puissance du panneau sera consommée par la voiture



Ce calcul à Pmax induit celui à Pmin et on peut déduire l'aire de fonctionnement de la voiture pendant la course. Plus vous ferez léger et efficace plus vous baisserez la puissance mini de démarrage. Plus le rendement maximum de votre motorisation sera proche de la valeur moyenne de la puissance disponible plus l'efficacité globale de votre voiture en course sera proche de l'idéal.

Une amélioration évidente, c'est le pilote qui tient la commande de gaz, c'est lui qui va déterminer la consommation de la voiture et lui seul ! Il serait utile de l'avertir s'il s'écarte trop de 6,4V : Télémessures ? ... Relais à seuil simple ou double qui pilote 1 ou 2 Leds haute luminosité rouge et bleue ? ... D'autres idées ? ...

Le dernier point : Les accus doivent être complètement vide au moment du départ, pour pouvoir démarrer la voiture normalement il est en général accordé 30mn de recharge avant de rouler. Que puis-je espérer comme énergie dans mon accu ?

Ultime TP : On décharge complètement l'accu dans une résistance de forte puissance en surveillant la tension pour ne pas descendre à la valeur de destruction et on recharge avec le panneau en notant le temps t, la tension d'accu et son courant de charge.

Cela va permettre de dimensionner au mieux la capacité de l'accus. J'ai montré plus haut la capacité minimum qu'il doit posséder pour disputer une course, mais il faut se soucier également de l'énergie que va lui fournir le panneau pendant le temps de recharge. Si le panneau rentre 2 ou 3Ah dans un accu qui est dimensionné pour 850mAh, j'ai de grande chance de le surcharger au delà de ce qu'il peut accepter ! Surtout en technologie lithium qui n'accepte pas de "bonne grâce" des fortes surcharges.

Il faut 1 ampèremètre, un voltmètre et un chrono (ou une montre)

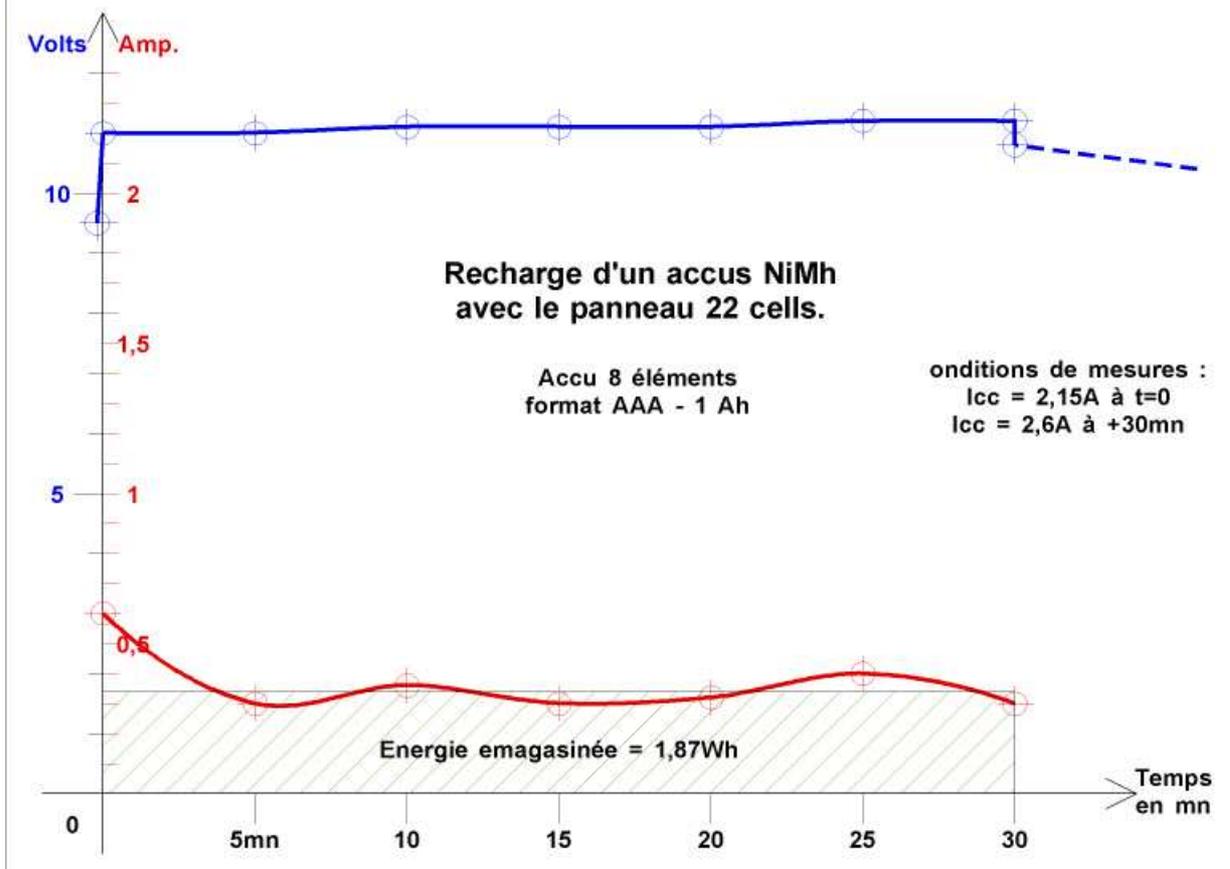
Je vous donne les courbes obtenues pour 2 types d'accus et des panneaux en 14 et 22 cellules. On voit qu'un accu NiMh emmagasine moins de la moitié d'un LiFe ! Cela est dû pour l'essentiel à l'ensoleillement qui était différent et à la tension de charge du NiMh qui est trop élevée, malgré ses 9,6V de tension nominale. Le point de fonctionnement du panneau était trop loin du PPM qui se situait autour de 10V alors que l'accus demande environ 11,2V.

Pour le LiFe le PPM du panneau est entre 6,5 et 7V et l'accus en fin de charge est à 6,9V ce qui est beaucoup plus favorable.

Pour une potentialité de charge équivalente Le NiMh de 1Ah se charge à C/3 environ alors que le LiFe de 1,1Ah se charge à 1,5C (Au début de la charge l'accus encaisse un courant de 2 fois sa capacité, mais il est possible, d'après le constructeur, de le recharger à au moins 4 fois sa capacité. Donc il ne sort pas de son domaine utilisable.)

On peut apprécier la résistance interne (accu vide) en charge de l'accu à t=0 :

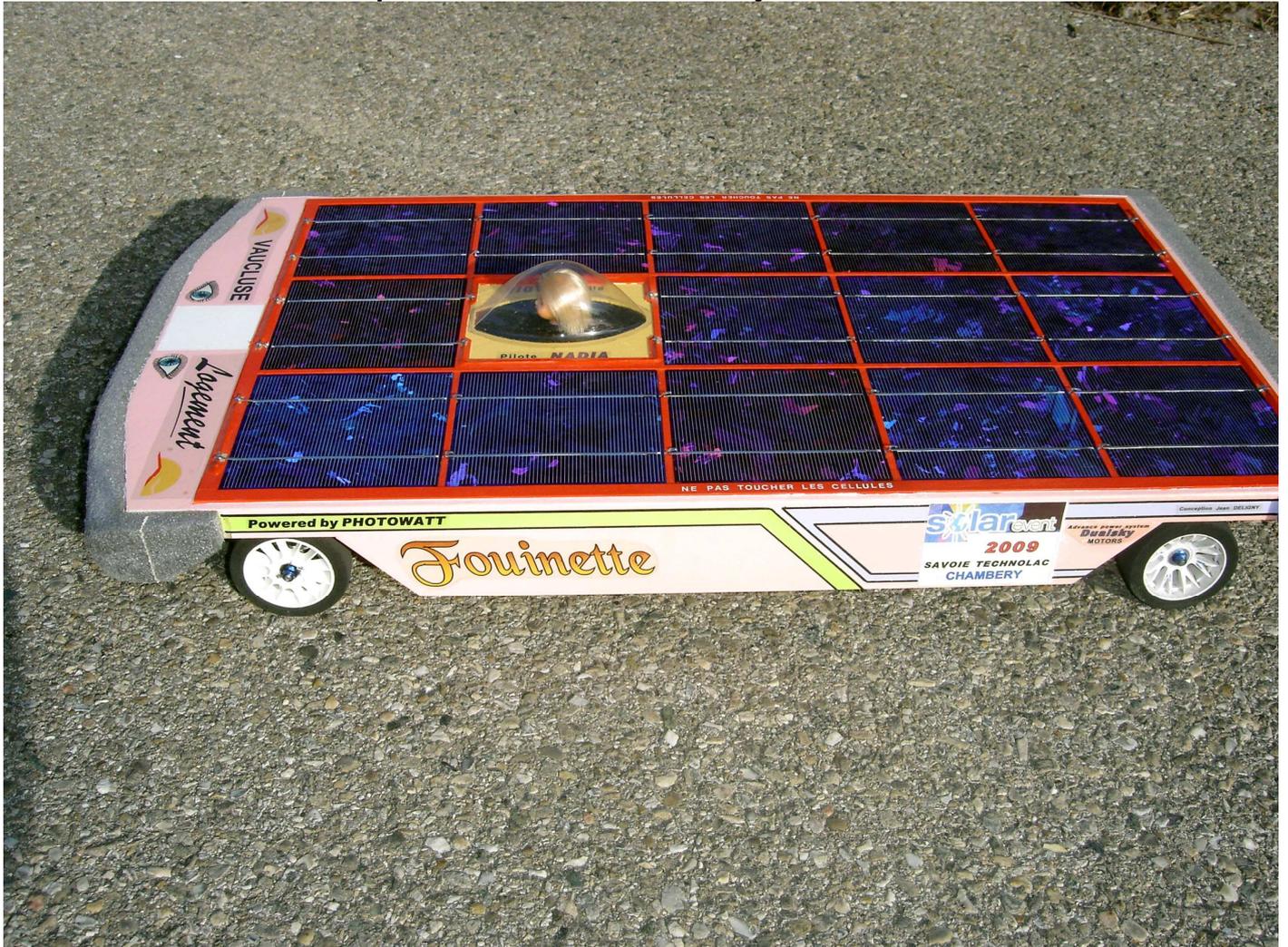
Pour le lithium c'est ~0,175 ohm et pour le nickel c'est environ ~2,4 ohms. Ramener à l'élément ça donne un peu moins de 0,08 ohm pour le LiFe et 0,3 ohm pour le NiMh pour des capacités similaires. L'écart est conséquent !



Vous n'avez plus qu'à la construire et cette fois vous savez tout. (Enfin moi je n'en connais pas plus !)

Galerie de photos :

Une réalisation du modèle pour la course de Chambéry en 2009.



Cette voiture est équipée de cellules Photowatt poly cristalline à haut rendement. Le panneau est de structure cellulaire en Dépron de 3mm et elle est équipée de moteurs Dualsky XM2812CA 27 du commerce, les réducteurs sont des 15 / 60. Le poids en ordre de marche est de 1,180kg.

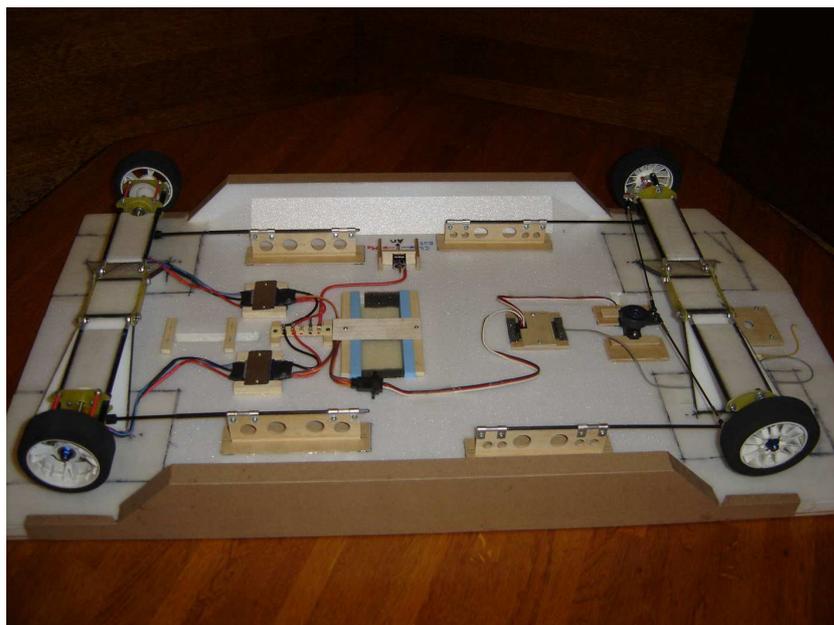
Sa vitesse maxi est de 47kmh et à la puissance maxi du panneau elle a une vitesse moyenne de 22kmh sur un circuit rapide a 5 virages avec la commande de gaz à 85%.

Sa sœur presque jumelle pour Toulouse.



PulseStar est équipée de suspensions à 4 roues indépendantes pour passer plus aisément les obstacles de la piste de Toulouse.

Cette voiture est un développement possible du modèle de ce dossier. Il y en aurait beaucoup d'autres.



Et les valises de transport.



Les couvercles servent de chantier pour la course et permettent de travailler sous la voiture sans casser les cellules !

Bon soleil à tous.