

Cuisson solaire photovoltaïque sans batteries avec des résistances céramiques

Sommaire général de la documentation:

Sites Web:
[FR Français](#)
[DE Deutsch](#)
[EN English](#)
[ES Español](#)

[Présentation générale du cuiseur solaire photovoltaïque](#)
[Conception générale du cuiseur](#)
[1ère partie Cuiseur à commande manuelle : construction](#)
[2ème partie Cuiseur à commande manuelle : annexes](#)
[3ème partie Cuiseur à commande automatique : construction](#)
[4ème partie Cuiseur à commande automatique : annexes](#)
[5ème partie Renseignements d'ordre général](#)
[6ème partie Eléments de conception](#)
[7ème partie Chauffe eau solaire photovoltaïque](#)
[8ème partie Présentations théoriques et vidéos](#)
[9ème partie Bibliothèque](#) : au sujet des batteries ;
panneau photovoltaïque sur poteau, cuiseur en tôle...

Chaque partie fait l'objet d'un document PDF. Chaque partie a sa pagination propre.
Les pieds de page précisent entre autres le nom de la partie, le numéro de page, la date de dernier accès pour révision, et éventuellement le nom du chapitre à l'intérieur de la partie.

-0-

7ème Partie : **CHAUFFE-EAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE** **SANS BATTERIES, AVEC RÉSISTANCES PTC** **-CONSTRUCTION D'UNE MAQUETTE OPERATIONNELLE-**

Page

2	Chapitre I	Présentation générale
6	Chapitre II	Les résistances céramiques PTC
9	Chapitre III	La platine de régulation
22	Chapitre IV	L'échangeur thermique
26	Chapitre V	Le coffre en contreplaqué
29	Chapitre VI	Quelques calculs prévisionnels dans le cas d'une piscine

La 7ème partie a été rédigée de façon à être lue indépendamment des autres parties du site Web ; il y a donc un certain nombre de répétitions (sauf au sujet de l'informatique), que le lecteur voudra bien excuser.

Chapitre I PRESENTATION GÉNÉRALE

Page

2	Section 1	Pourquoi un chauffe-eau solaire photovoltaïque ?
3	Section 2	Pourquoi des résistances céramiques PTC ?
5	Section 3	Vue d'ensemble de la maquette opérationnelle

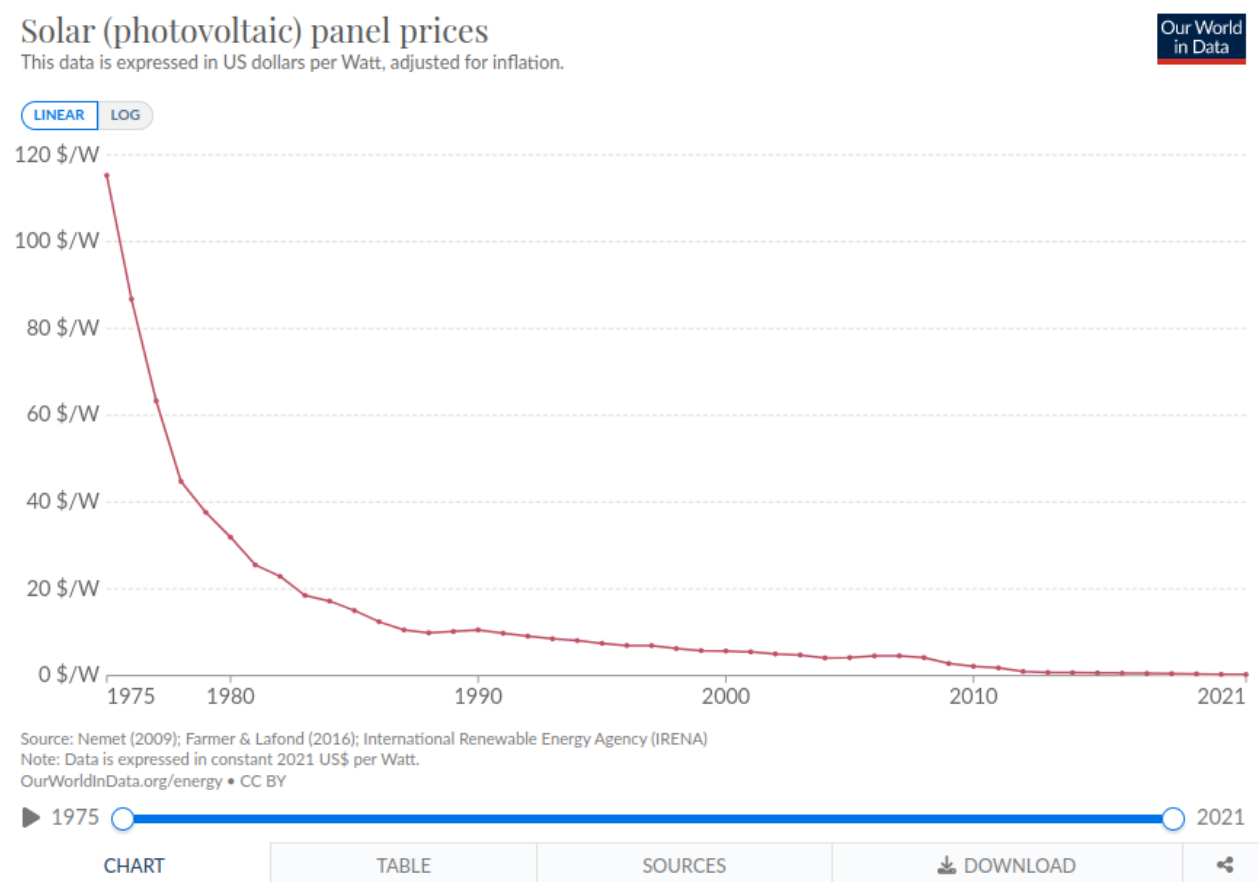
Section I – POURQUOI UN CHAUFFE EAU PHOTOVOLTAÏQUE ?

Durant les premières années du vingt et unième siècle, accoler les termes " électricité photovoltaïque " et " énergie thermique " eût été provoquant en raison du prix des panneaux. Une quinzaine d'années plus tard, les panneaux photovoltaïques s'imposent comme une source d'énergie tout à fait concurrentielle, entre autres pour la production d'eau chaude. De plus, l'eau chaude est une forme de stockage de l'énergie, et le stockage est indispensable en matière d'énergies renouvelables.

<https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices?yScale=linear>

(pour plus de précisions, charger le fichier .csv sur le site ourworldindata)

Outre leur prix, rappelons que les panneaux photovoltaïques *ne contiennent pas de terres rares*, voir



à ce sujet la publication de l'Adème disponible en téléchargement :

Section II– POURQUOI DES RESISTANCES CERAMIQUES ?

Les installations électro-solaires sont soumises aux mêmes lois rigides de l'électricité que les installations électriques en réseau, Il est donc prudent, dans un premier temps, de parcourir les contraintes en jeu ainsi que leurs conséquences.

Les électriciens voudront bien considérer ces quelques lignes avec mansuétude, et pourraient directement se rendre à la section suivante

Lorsqu'il est question de produire de la chaleur à partir de l'électricité, le moyen le plus communément utilisé est celui des résistances au Nickel-Chrome, que l'on trouve dans de nombreux appareils , du grille pain au four ménager, du convecteur de chauffage à la production d'eau chaude sanitaire.

Il existe d'autres dispositifs : four à micro ondes, plaque à induction... mais ils sont soumis aux mêmes contraintes qui seront développées ci dessous : évitons donc de se disperser inutilement.

Sur tous ces appareils figurent plusieurs indications, notamment une tension U (souvent : U = 230 Volts) , une intensité I, par exemple I = 6 Ampère pour une cafetière électrique ou un fer à repasser, et une puissance P, qui est le produit de la tension multipliée par l'intensité par exemple dans ce cas précis : $P = U * I = 230 * 6 = 1\ 380$ Watt. On peut de plus en déduire que la valeur R de la résistance chauffante à l'intérieur du fer à repasser, c'est à dire sa capacité à s'opposer au passage du courant électrique, est égale à $R = U/I = 230/ 6 = 38,33$ Ohm. L'utilisateur s'intéresse, au mieux, à la puissance en Watt de son appareil ; il suppose qu'il bénéficie d'un courant régulé à 230 V, plus ou moins quelques petites variations quasiment imperceptibles suite aux ajustements constants effectués par le gestionnaire du réseau pour fournir une tension conforme au cahier des charges, et en quantité " infinie " du moins du point de vue du consommateur individuel.

Dans le cas d'une alimentation électrique photovoltaïque, il en va tout autrement. Chacun peut imaginer l'ampleur des variations entre le lever du jour et le midi solaire, Mais de plus, et c'est beaucoup moins intuitif, la production d'énergie électrique d'un panneau solaire dépend aussi de la charge qui lui est appliquée, ce qui amplifie encore les variations initiales. On trouvera des développements sur ce phénomène dans tous les ouvrages traitant des panneaux photovoltaïques.

Or une première loi de l'électricité nous apprend que la puissance varie selon le carré de la tension, par exemple si la tension double, la puissance est multipliée par quatre $P = (U * U) / R$

Soit un fer à repasser prévu pour une puissance $P = 900$ W sous une tension $U = 25$ V; l'intensité consommée est donc $I = P/U = 36$ Ampère, et sa résistance $R = U/I = 0,694$ Ohm.

Supposons que le panneau délivre désormais une tension $U = 35$ Volt. La puissance devient $P = U * U / R = (35 * 35) / 0,694 = 1\ 765$ W. La résistance, qui était prévue pour 900 W, est survoltée, elle s'échauffe , c'est le burn out, elle " claque ".

Inversement, si la tension délivrée par le panneau descend à 15 Volts, la puissance tombe à $P = U * U / R = (15 * 15) / 0,694 = 324$ Watt : mon fer à repasser ne me sert plus à rien.

Une seconde loi de l'électricité nous apprend (voir par exemple [ici](#)) que la puissance varie selon le carré de l'intensité, par exemple si l'intensité double, la puissance est multipliée par quatre :
 $P = R * I * I$.

Si l'intensité initiale passe de 36 à 46 Ampère, la puissance P passe de 900 à 1 468 Watt ;
Si elle passe de 36 à 26 Ampère , P descend à 469 Watt.

On est bien loin du courant régulé de 230 V du réseau électrique.

La solution quasi universellement adoptée consiste à intercaler une batterie entre les panneaux photovoltaïques et l'utilisation.

La batterie assure un rôle de stockage de l'énergie, c'est celui qui intéresse de prime abord l'utilisateur, mais tout autant que le stockage, sa fonction première est aussi d'assurer un courant régulé donc utilisable, sans quoi les panneaux solaires ne servent à rien.

Mais une batterie a aussi ses exigences, très élevées. Il est hors de question de la brancher directement sur les panneaux solaires, il faut intercaler un autre composant d'électronique de puissance, le contrôleur de charge qui joue un multiple rôle, entre autres

- adapter le courant aux besoins de la batterie
- gérer la charge de la batterie
- dans les petites installations, surveiller la décharge de la batterie.

Une abondante documentation est disponible chez les fournisseurs ; les chargeurs solaires utilisent généralement un algorithme dit MPPT, ou bien PWM. Sur ce sujet, consulter notamment [ce document](#)

En aval de la batterie, selon le type d'équipement à alimenter, il faut également installer un inverter chargé de convertir le courant de la batterie en 230 V alternatif.

Noter ici que tous ces composants électroniques qui entourent la batterie sont des dispositifs *d'électronique de puissance* : c'est l'ensemble du flux électrique qui est manipulé, transformé, adapté.

Malgré une notable baisse des prix, ces composants grèvent le budget d'une installation photovoltaïque. Leur durée de vie est nettement inférieure à celle des panneaux. Quant à la batterie, il faut bien reconnaître que

- elle est chère, notamment au regard des panneaux photovoltaïques ;
- elle est fragile ;
- sa durée de vie est limitée ;
- enfin c'est l'élément le plus polluant du système.

On propose ici, comme élément de solution, d'utiliser des résistances céramiques PTC. Ces résistances sont soumises aux mêmes lois de l'électricité, mais leur souplesse de fonctionnement s'adapte bien aux variations de l'énergie solaire. Elles font l'objet du chapitre II.

Section III– VUE D’ENSEMBLE DE LA MAQUETTE OPERATIONNELLE

Qu’il s’agisse d’un chauffe eau domestique, ou d’un chauffe-eau pour piscine, ou autre, le principe reste le même :

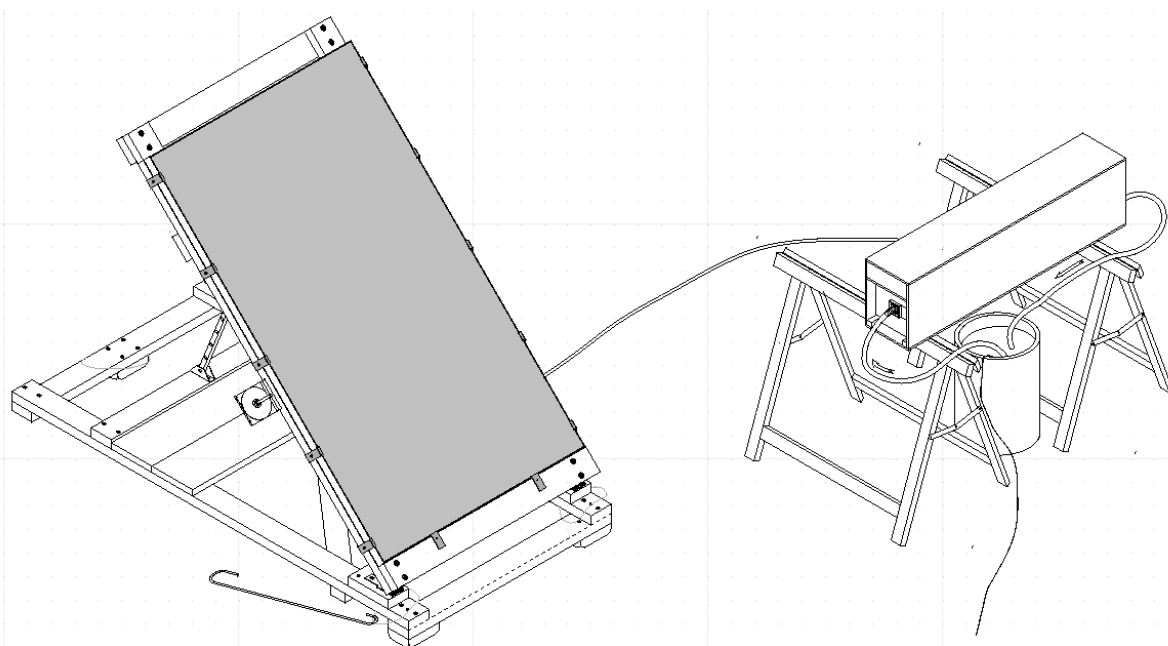
L’ échangeur thermique est constitué d’un tube métallique carré autour duquel sont disposées les résistances céramiques ; un pilotage par micro-contrôleur optimise en permanence l’installation, en fonction des variations de l’ensoleillement. Noter ici qu’il ne s’agit que d’une *électronique de commande*, sans aucune commune mesure avec l’électronique de puissance évoquée ci dessus.

Dans le cas d’un chauffe-eau domestique, l’échangeur peut être installé verticalement sous le ballon de stockage, afin de profiter de l’effet de thermo-siphon.

S’il est question de chauffer une piscine, l’échangeur peut être installé horizontalement, la circulation étant assurée par la pompe de recyclage de la piscine.

Dans notre cas d’une maquette opérationnelle, un coffre en contre-plaqué sera largement suffisant pour maintenir l’isolation, et une réserve d’eau de quelques dizaines de litres permettra de faire des premières mesures.

C’est une installation foraine, transportable facilement n’importe où au pied d’un ou plusieurs capteur solaires, par exemple à proximité de capteurs pré-existants sur une toiture, et mis gracieusement à disposition pendant quelques jours pour le temps des essais (sans avoir à les déposer, bien sûr...)



Chauffage de piscine avec des résistances PTC - Pilote N° 1 -vue d'ensemble - Février 2023

Chapitre II LES RESISTANCES CERAMIQUES PTC

Description et propriétés.

Il existe une multitude de résistances céramiques. Pour ne pas se disperser, il ne sera question ici que d'une seule sorte de résistance, il sera ensuite possible d'adapter autant que besoin.

Voici ci contre une résistance 35 * 21 * 5 mm composée de

- une galette de céramique (non visible)
- deux électrodes en tôle d'aluminium très fin, non visibles
- deux fils soudés aux électrodes ; la soudure est la partie la plus fragile : ne pas manipuler inconsidérément les résistances .
- une enveloppe de couleur orange en feuille de silicone (?) très fine, assurant l'isolation électrique
- une coque en aluminium, assurant la tenue mécanique de l'ensemble.



Les résistances céramiques sont des composants dont la résistance varie de façon importante en fonction de leur température, voir par exemple la courbe ci-contre . En première approche, on peut dire que la résistance diminue dans la proportion de 3 à 1, lorsque

la température augmente de l'ambiante à 200 ° C. La puissance thermique délivrée par la résistance est donc multipliée par trois (sous réserve d'une alimentation électrique suffisante)

- une fois atteint la température d'environ 200 ° C, la résistance augmente très fortement, donc la production de chaleur entre en stagnation : contrairement aux dispositifs usuels du type Nickel Chrome ou autre, *il ne peut pas y avoir de burn out.*

Bibliographie :

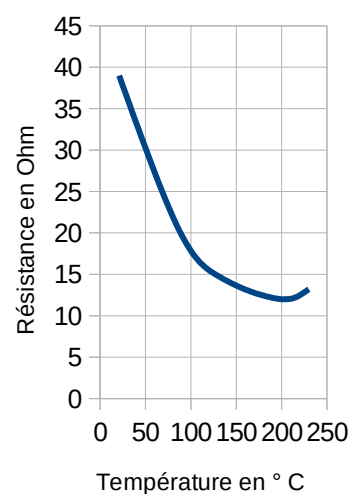
la société TDK / EPCOS, filiale de Siemens et Matsuhita, spécialisée dans la fabrication de composants électroniques passifs, publie une documentation très fournie sur les [céramiques PTC](#) " à coefficient de température positif " et sur les [céramiques NTC](#) " à coefficient de température négatif ". Seules les céramiques PTC nous intéressent ici. Elles sont peu connues, mais néanmoins omniprésentes dans notre vie quotidienne, cf les exemples fournis en introduction dans le document EPCOS.

On peut également consulter

- l'article thermistor sur Wikipedia en Anglais
- resistorguide.com
- [Yongli Electronic](#) Ceramics Co., Ltd Manufacturer & Supplier
- la documentation de [Tiancheng Co](#)

Les céramiques sont couramment utilisées en électronique, présentées parfois comme "thermostat réarmable"

Pour illustration:
résistance en fonction
de la température



Comment déterminer les caractéristiques d'une résistance céramique PTC ?

Il ne semble pas y avoir, pour le moment, de réponse magistrale à cette question. Les résistances qui nous intéressent sont disponibles en Asie, et les fournisseurs sont très avares de renseignements. Ils indiquent une tension d'utilisation, par exemple : 36 Volts ; et ce n'est qu'une inscription manuscrite sur les sachets plastiques contenant les résistances.

Mais "une résistance [par exemple : une céramique] ne fonctionne pas sous une Tension nominale ; elle ne peut donc pas avoir de puissance nominale. Par contre, lorsque la Puissance augmente [par exemple, si la Tension augmente, ou si la Résistance diminue], la quantité de chaleur s'accroît, ce qui peut échauffer dangereusement et détruire le composant. Le fabricant indique une puissance maximale à ne pas dépasser : c'est la Puissance Maximale Admissible." ([académie Bordeaux](#))

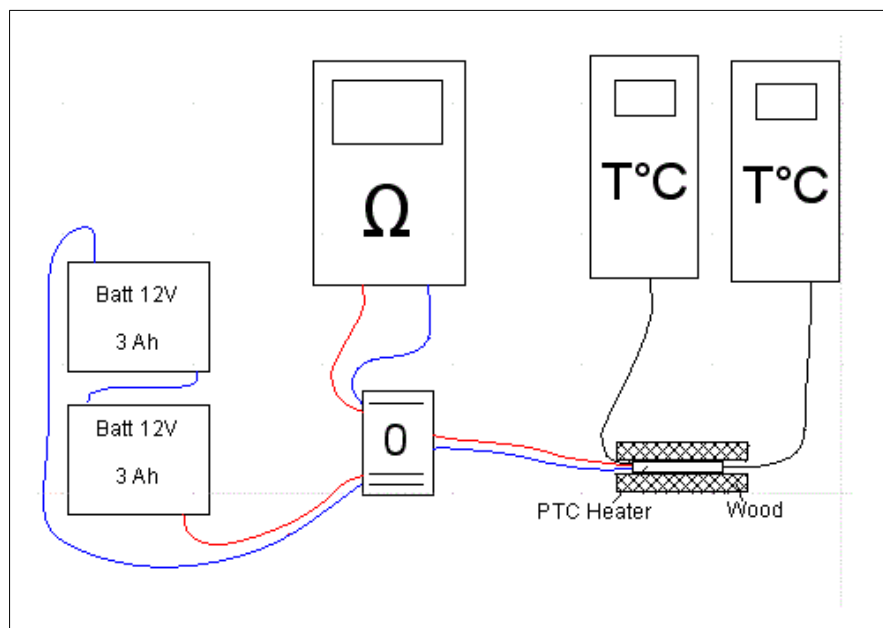
La solution retenue a été

- de fixer une tension de fonctionnement du système photovoltaïque, à savoir : **40 Volt** (en circuit ouvert) qui est une tension de sécurité légale pour éviter les accidents électriques.
- d'approvisionner des résistances dites " 36 Volts " (mais on constate que les résistances estampillées " 48 Volt " conviennent aussi.)
- de passer systématiquement les résistances sur un banc de test, au moins par échantillonnage, de façon à disposer de lots quelque peu homogènes.

Malgré toutes ces réserves, il faut bien reconnaître que les résistances PTC sous coque en aluminium sont l'élément-clé du dispositif de production de chaleur proposé ici ; il n'est que de les utiliser à leur optimum.

Le banc de test des résistances

La céramique "PTC heater" est maintenue entre deux petites pièces de bois ou de liège. L'interrupteur -bascule permet soit de la chauffer, soit de mesurer sa résistance en même temps que sa température. 7 à 8 relevés par céramique sont suffisants.



Caractéristiques typiques d'une résistance PTC 35 * 21* 5 mm, estampillée 36 Volts

Les deux premières colonnes présentent les résultats obtenus sur le banc de test.

"36V" 35*21 "65W" @150°		
Température (° C)	Résistance (Ω)	P=U*U/R si U = 30V (W)
21	39	23
85	20,8	43
127	15	60
164	13	69
193	12,1	74
204	12	75
215	12,2	74
230	13,2	68

La troisième colonne est le résultat de calculs et non de mesures : la puissance est calculée selon la formule $P = U*U/R$, pour chacune des puissances relevées, et pour une tension de 30 Volt.

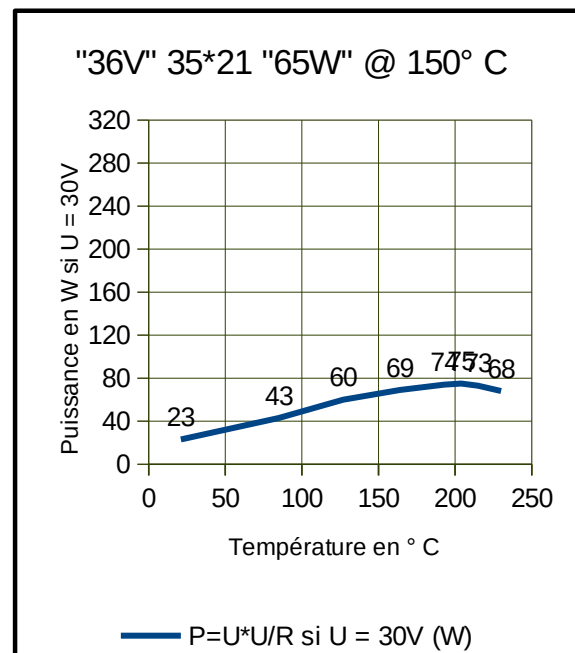
La tension de 30 Volt a été retenue parce que c'est une tension usuelle de fonctionnement d'un panneau dit " 40 Volt en open circuit ", par beau temps bien établi.

On peut tracer la courbe de la puissance sous une tension de 30 Volt

Enfin , on relève *graphiquement* la puissance à une température de 150°C de la résistance. On considère, après expérience, que 150° C est une température " moyenne " de fonctionnement de la résistance, avec toutefois de grandes variations par exemple s'il s'agit de chauffer un récipient d'eau froide, ou de maintenir à 95 ° un récipient d'eau chaude. Les 150° C ne sont qu'un repère.

Une fois toutes ces réserves formulées, on peut maintenant indiquer les caractéristiques de la résistance céramique PTC :

- Dimensions 35 * 21 *5 mm (c'est le seul élément établi avec certitude)
- tension de fonctionnement 36 V, aux dires du fournisseur
- puissance 65 W à 150°C, d'après les mesures sur le banc de test.



Mais bien sûr, le concepteur peut utiliser toute autre résistance à sa convenance.

L'approvisionnement

Les sources d'approvisionnement ont varié au fil des années. On peut distinguer Aliexpress.com , orienté vers le particulier, et Alibaba.com, plus professionnel. Les prix peuvent varier de un à huit. Chez Alibaba, ce [fournisseur](#) a donné satisfaction. Le prix est de l'ordre de 1 \$ pièce, hors transport.

On peut aussi consulter les deux fabricants cités dans la bibliographie ci dessus.

Effectuer les recherches sous les mots clé " PTC heaters " ou bien " ceramic PTC heaters ".

Chapitre III LA PLATINE DE REGULATION

Page		
9	Section I	Vue d'ensemble de la platine
10	Section II	Préparation de la platine
13	Section III	Cablage de la face supérieure de la platine
17	Section IV	Cablage de la face inférieure de la platine
20	Section V	Cablage de la platine d'alimentation
21	Section VI	Programme et fonctionnement attention debut et fin e journée

Section I– VUE D'ENSEMBLE DE LA PLATINE

La platine proposée ci dessous est du niveau " apprenti électronicien supervisé par un électronicien confirmé " ; on n'a pas non plus cherché à optimiser l'espace.

La platine est présentée à titre didactique uniquement, ou alors pour une construction à l'unité : son coût en main d'oeuvre serait rédhibitoire. Pour une construction dans un cadre commercial, il conviendrait d'utiliser un circuit imprimé, mais c'est en dehors de notre propos immédiat.

On se retrouve avec un nombre élevé de variables, que l'on maîtrise difficilement, et pourtant le challenge est de tirer le meilleur parti de l'installation.

La solution retenue consiste

- à utiliser des résistances du type de celles proposées ci dessus (mais le concepteur pourra très bien effectuer d'autres choix)
- à disposer d'un nombre plus que suffisant de résistances au vu de la puissance maximale de l'installation.
- à commander la mise en fonctionnement des résistances à l'aide d'un petit micro-contrôleur dans lequel est implanté un algorithme du type " Perturbe et Observe " : à l'aide deux capteurs, le micro contrôleur connaît la tension et l'intensité du système à un moment donné, et peut donc calculer la puissance instantanée ; puis il perturbe le système, par exemple en mettant en œuvre une résistance supplémentaire, puis observe le résultat obtenu : s'il y a amélioration de la puissance, alors le microcontrôleur poursuit dans cette direction ; sinon, il va dans la direction inverse. La boucle se répète indéfiniment, plusieurs fois par minute.

Les éléments principaux de la platine sont :

- **les capteurs** de Tension de d'Intensité, d'une valeur de quelques € pièce.
- **le micro-contrôleur**, en l' occurrence un Arduino Nano à 20 € en version originale, (conseillée) ou à 8 € en version clône. Un micro-contôleur comporte un (très petit) micro processeur, une (petite) mémoire permettant d'y implanter un programme, mais aussi et surtout des entrées et sorties, permettant par exemple de recevoir des informations via des capteurs (Tension, Intensité), et après les avoir traitées, de commander des interrupteurs électroniques mettant en œuvre les résistances PTC.

- **les interrupteurs électroniques**, dit MOSFETS, qui désormais remplacent les antiques relais électro-magnétiques.

Les éléments secondaires de l'installation concernent l'alimentation électrique des éléments ci dessus, qui nécessitent, pour fonctionner correctement, ... une alimentation régulée en courant continu de 5 Volt.

Deux composants sont nécessaires :

- un convertisseur DC-DC 48-8 Volt / 5 Volt . A partir d'un courant variable en permanence entre 48 V et 8 V, ce composant produit un courant régulé en 5 V – 1 à 2 Ampère.
- et une batterie, du type " batterie de secours pour smartphones ", d'une capacité de 5 000 milliAmpèreHeure sous 5 Volt.

La consommation électrique de l'automatisme est de l'ordre de celle d'un smartphone.

Une caractéristique majeure de la régulation est sa sécurité

- en cas de sur-alimentation pour une raison quelconque, les résistances céramiques entrent en stagnation, leur température se stabilise autour de 200 ° C.
- en cas de sous-alimentation pour une raison quelconque, l'isolation thermique permet de conserver la chaleur précédemment accumulée.

Section II– PREPARATION DE LA PLATINE

Approvisionner une plaque de PVC blanc épaisseur 3 mm, par exemple chez polydis.fr à couper avec par exemple une scie égoïne à denture très fine ; largeur : 190 mm; longueur 300mm environ, la coupe de longueur pourrait être effectuée plus tard, une fois tous les composants installés sur la plaque.

Préparer également la petite platine pour l'alimentation électrique, 190 x 180 mm

Disposer les éléments sans les fixer, ou alors avec quelques petites boulettes de pâte adhésive, afin d'avoir une vue d'ensemble. Le schéma ne propose aucune cote précise, ce serait tout à fait inutile ; et en cas d'insatisfaction, il est toujours facile de percer à nouveau le PVC pour déplacer un composant. Mais veiller à toujours installer les composants et les faisceaux de câbles parallèlement aux bords de la plaque, afin que l'ensemble aie de la tenue au premier coup d'oeil : un percement supplémentaire n'est pas rédhibitoire, mais un composant installé de travers dessert l'installation.

Décider de la longueur définitive de la plaque, sans chercher à compacter inutilement l'ensemble, et effectuer la coupe de longueur.

Repères 1: Capteurs de tension et d'intensité

Pour l'approvisionnement, consulter ce [site](#), 4ème partie Chapitre II, Section IV.

Une bonne solution : coller les deux capteurs sur une petite platine de PVC, qui sera ensuite à boulonner sur la platine générale.

Repère 2 : Le micro contrôleur repose sur un support permettant le câblage avec des vis. Pour le moment, présenter uniquement le support, en veillant à l'orienter dans le bon sens

Pour l'approvisionnement, consulter le site ci dessus, Chapitre II section IV

Repère 3 : Les interrupteurs électroniques télécommandés Mosfet sont vendus par groupes de quatre, installés sur une platine.

Pour l'approvisionnement, consulter le site ci dessus, Chapitre II section IV

Combien de Mosfets faut-il installer ? La réponse devrait être fournie bien avant de commencer les travaux ; mais ce n'est pas si simple :

- Le nombre de céramiques dépend de la puissance crête de l'installation ;
- la puissance instantanée des céramiques dépend... de la température de l'eau
- la régulation sera d'autant plus fine que les mosfets seront nombreux.
- un seul mosfet peut commander plusieurs résistances.

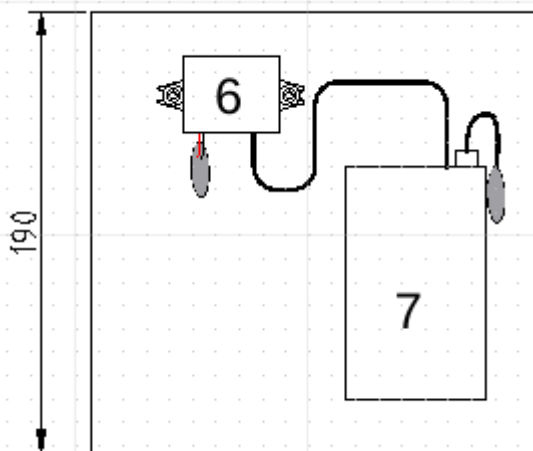
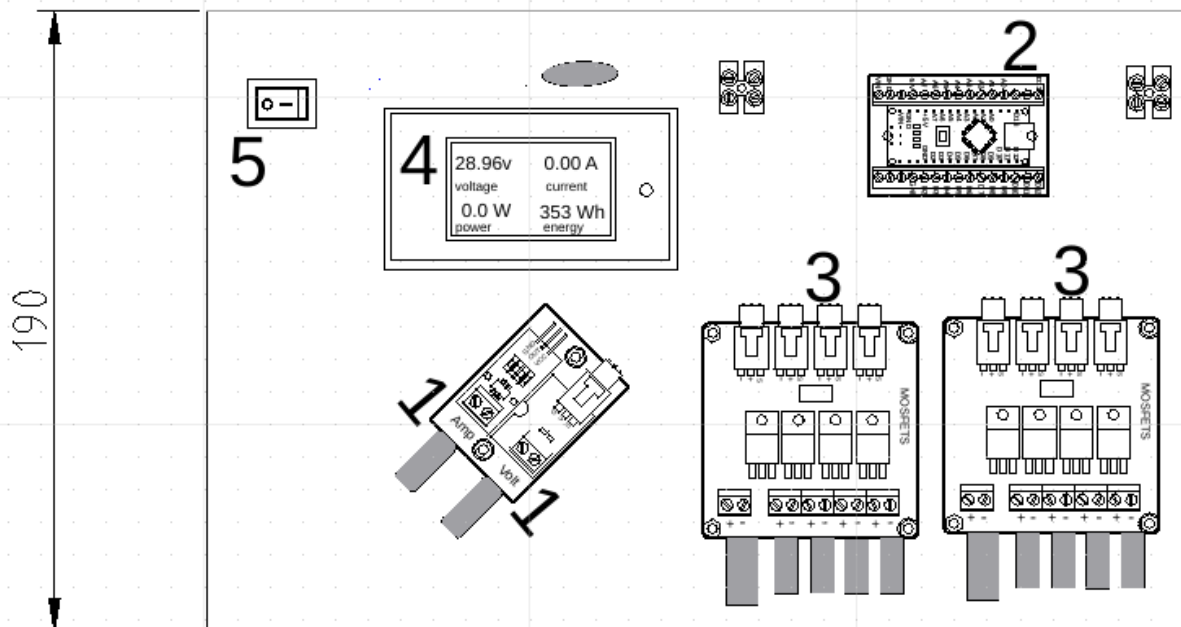
C'est au concepteur d'effectuer son choix, après expérimentations.

Le principe est de surdimensionner quelque peu le nombre de résistances

Dans le cas présent l'installation est prévue pour fonctionner avec un capteur de 300 W crête, et une température de l'eau l'ordre de 25° C

Repère 4 Le Wattmètre permet d'effectuer des mesures électriques, mais il n'est d'aucune utilité pour le fonctionnement proprement dit du chauffe-eau.

Repère 5 interrupteur on/off de mise en route de l'automatisme



Repères 6 et 7 de la platine d'alimentation : convertisseur DC-DC et batterie

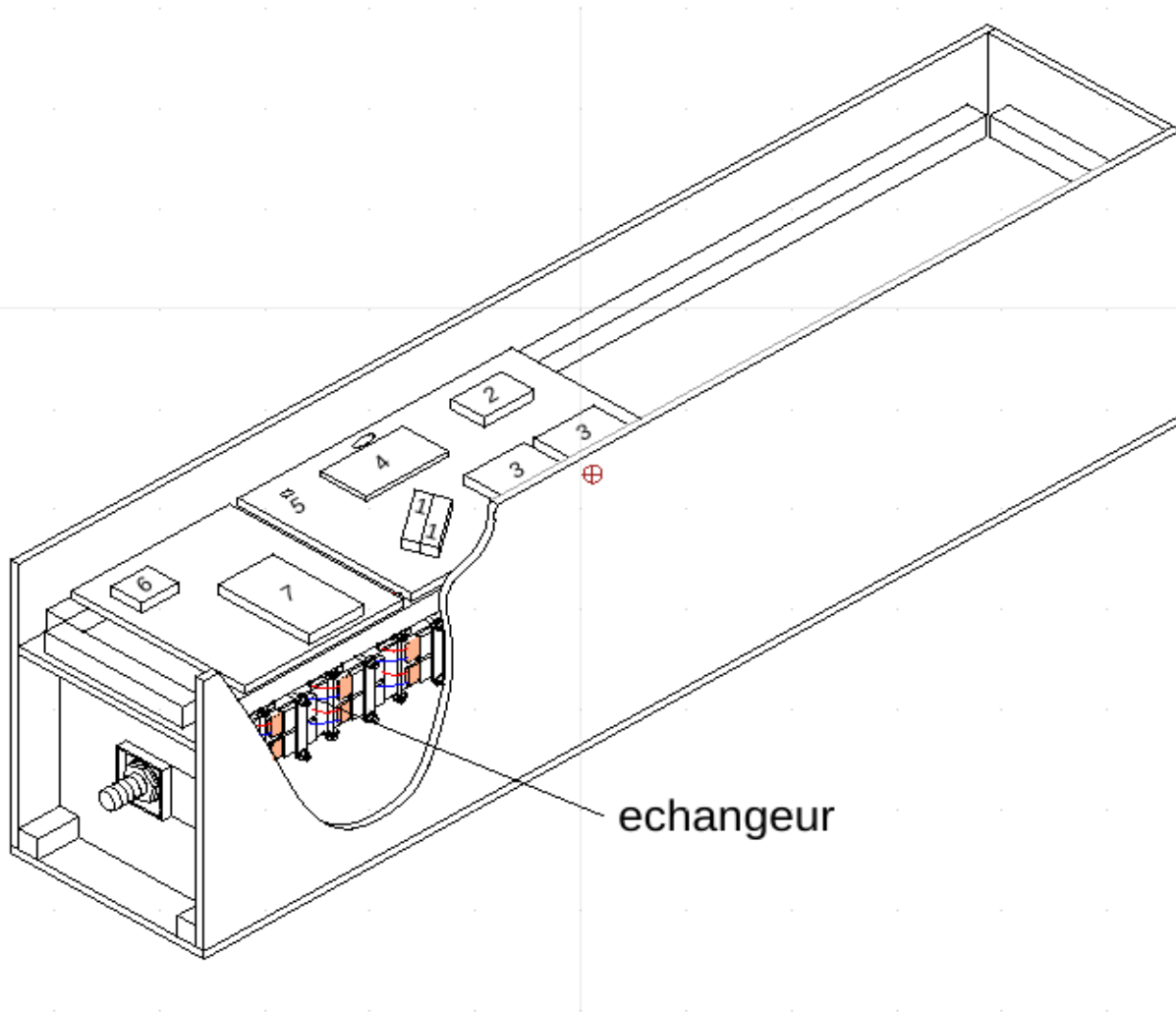
Nota : le petit convertisseur évoqué ci dessus, dit " convertisseurs DC-DC " est un petit appareil électronique d'un prix inférieur à 10 euros, utilisable pour charger directement les batteries de smartphone ou les lampes portables sur batterie. Leur utilisation permet de s'affranchir à bon

compte du régulateur de tension et surtout des batteries solaires traditionnelles, quand il n'est question que d'éclairage ou de téléphonie.

Tracer et effectuer les percements et les échancrures pour passages de câbles
Prévoir des sections de passage assez confortables, pour ne pas avoir à contorsionner les câbles de puissance lors du montage, en bas des Mosfets.

Dans le coffre de l'échangeur, les platines reposeront sur deux petits tasseaux, en haut et en bas ; éviter les interférences avec les percements et les passages de câbles.

Ci dessous : installation des platines sur l'étage intermédiaire du coffre de l'échangeur.



Le petit Wattmètre totalisateur permet de connaître avec précision l'énergie électrique fournie à l'élément de chauffage, donc la quantité d'énergie thermique transmise à l'eau, les deux étant strictement égales hormis les pertes à travers l'isolation de l'échangeur.

...et pendant la pause, on peut regarder [ceci](#) ...

Section III– CABLAGE DE LA FACE SUPERIEURE DE LA PLATINE

Les cables

Il s'agit ici uniquement de cables de section " courants faibles ", et non pas de cables de puissance

Les Mosfets et les deux capteurs sont à relier avec des raccords femelles dits " raccords Dupont ", dits aussi " BBJ ", ou autres.

La bonne solution : approvisionner un ou plusieurs kits de wires (= cables) femelle-femelle prééquipés de raccords. Par exemple : longueur 300 mm, référence ADA 1949 , section 28 AWG disponibles chez semageek.com ; ou bien, chez Gotronic.fr, ref 12337, ou 12331, ou 12338 (de préférence)

Couper les cables autant que besoin, les chutes sont utilisables pour d'autres raccordements.

Le fait d'approvisionner des cables pré-équipés a un inconvénient : on n'a pas vraiment le choix des couleurs ; on peut y remédier en repérant les cables avec des manchons de couleur découpés dans de la gaine thermo-rétractable.

Eviter d'approvisionner des cordons à bas prix, qui sont impossibles à dénuder ou à souder.

Petits détails

Pour faciliter le travail, coller sur la table de travail un double-décimètre afin d'évaluer la longueur de chaque câble.

Pour regrouper les différents faisceaux de cables, on peut utiliser des petits bracelets découpés dans de la gaine thermo-rétractable.

Chaque composant est relié par une petite nappe de trois cables. La tenue mécanique des raccords Dupont sur les composants est grandement améliorée lorsque les trois boitiers noirs isolants d'une même nappe sont solidarités en un seul bloc, par exemple en les reliant avec du ruban adhésif d'électricien. Une autre solution consisterait à utiliser des boitiers à trois broches, par exemple NSR-03 chez Gotronic.fr ref 49024

Les trois sortes de cables

Pour fonctionner, tout composant électronique y compris l'Arduino a besoin d'être alimenté en électricité. Il est donc relié d'une part par un cable d'alimentation (le " + ", généralement de couleur rouge) et par un cable de masse (le " - ", de couleur bleue ou noire).

Par ailleurs, le composant fournit une information (capteurs de tension, ou d'intensité), ou reçoit un ordre (Mosfet) par un cable de signal, d'une autre couleur.

Le cablage va être effectué dans l'ordre suivant : masse, alimentation, signal.

Enfin rappelons que ce travail manuel de cablage n'a de sens que dans le cas d'un prototype ou d'une construction à l'unité à titre pédagogique, et que dans l'industrie il est depuis longtemps remplacé par les circuits imprimés.

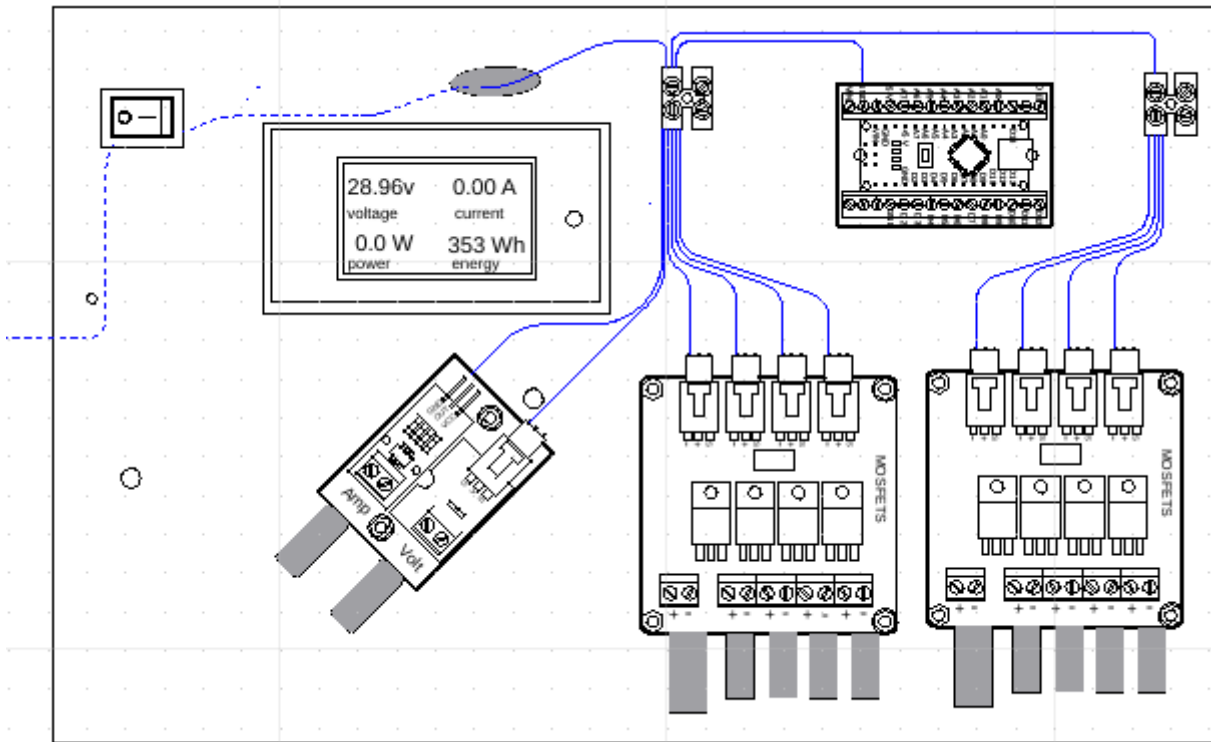
Cablage des fils de masse

Le cable en provenance de la platine auxiliaire via le petit interrupteur et le percement ovale est connecté aux deux dominos.

Le domino de gauche est connecté au micro-contrôleur, aux deux capteurs, et à un groupe de Mosfets

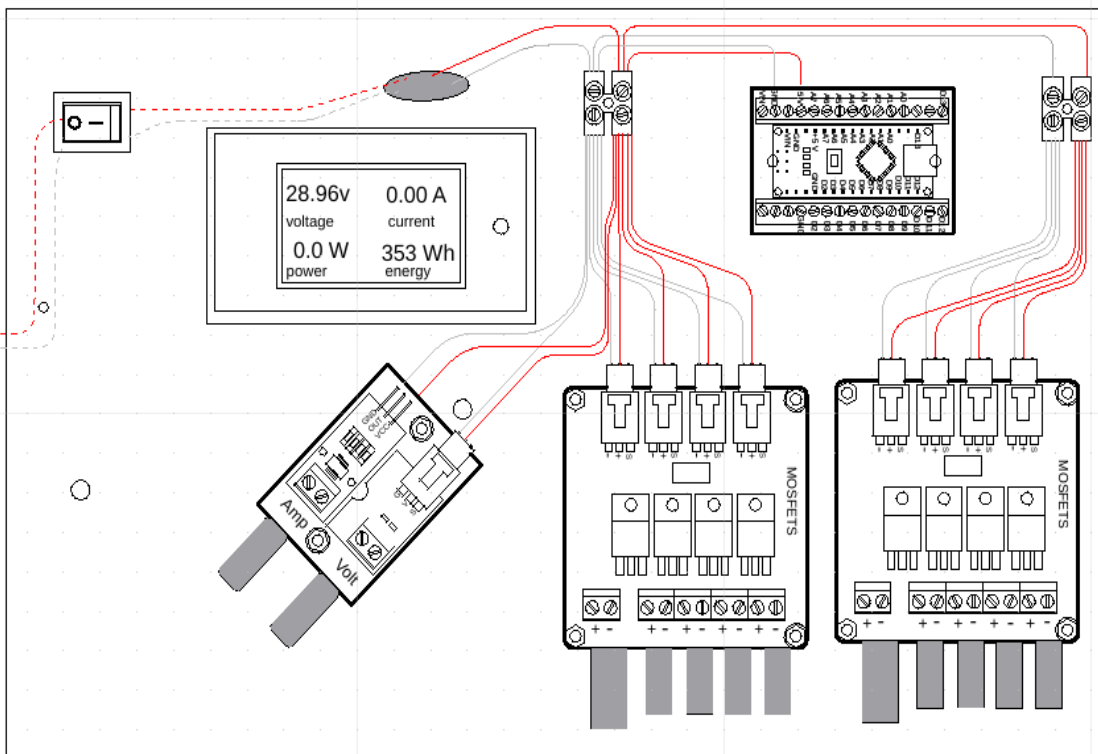
Le domino de droite est connecté à l'autre groupe de 4 Mosfets.

Sur les composants, les broches sont désignées par les termes " ground ", ou " gnd ", ou " - ".



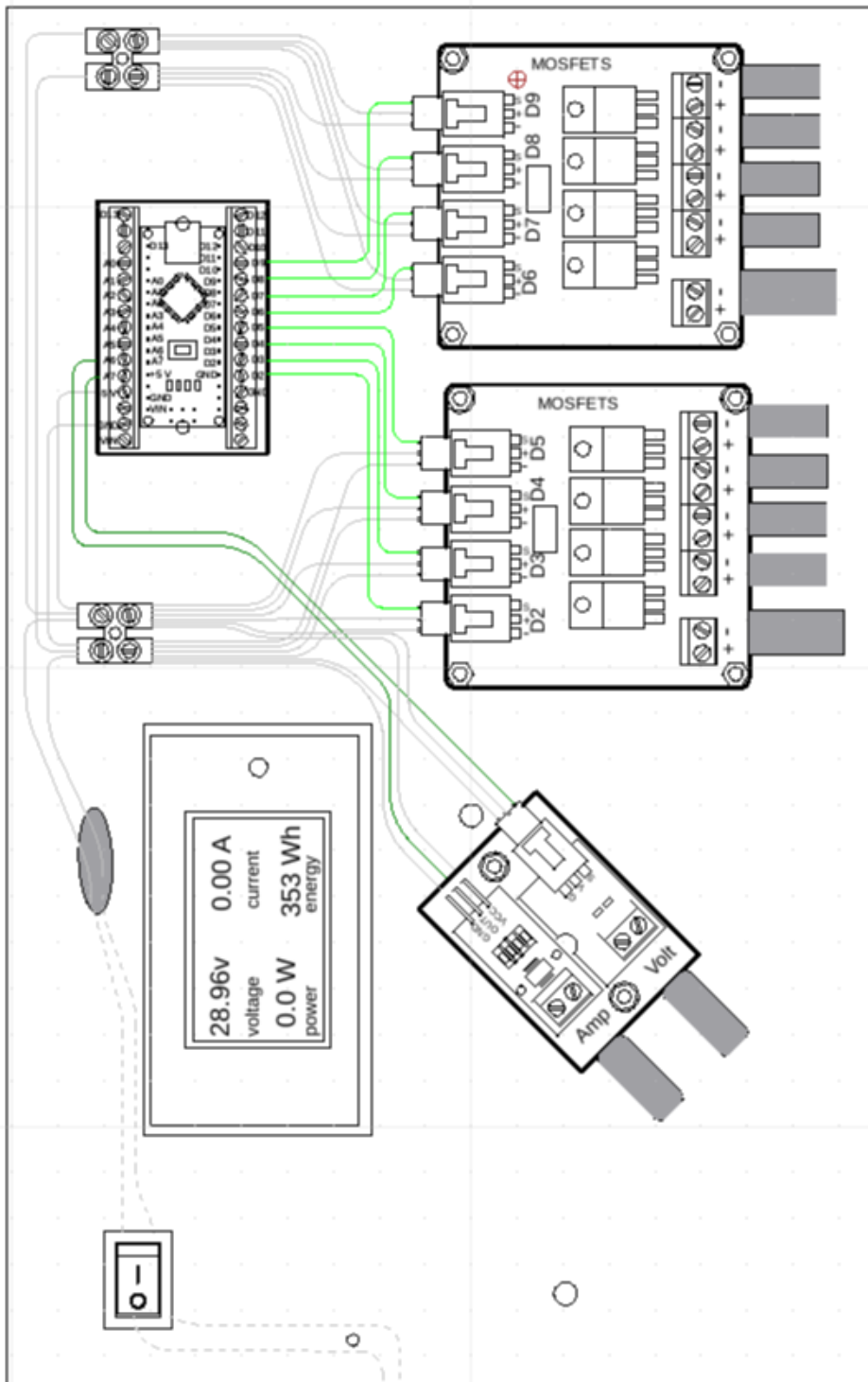
Cablage des fils d'alimentation, similaire au cablage des fils de masse

Sur les composants, les broches sont désignées par les termes " Vin ", ou " Vcc ",ou " + "

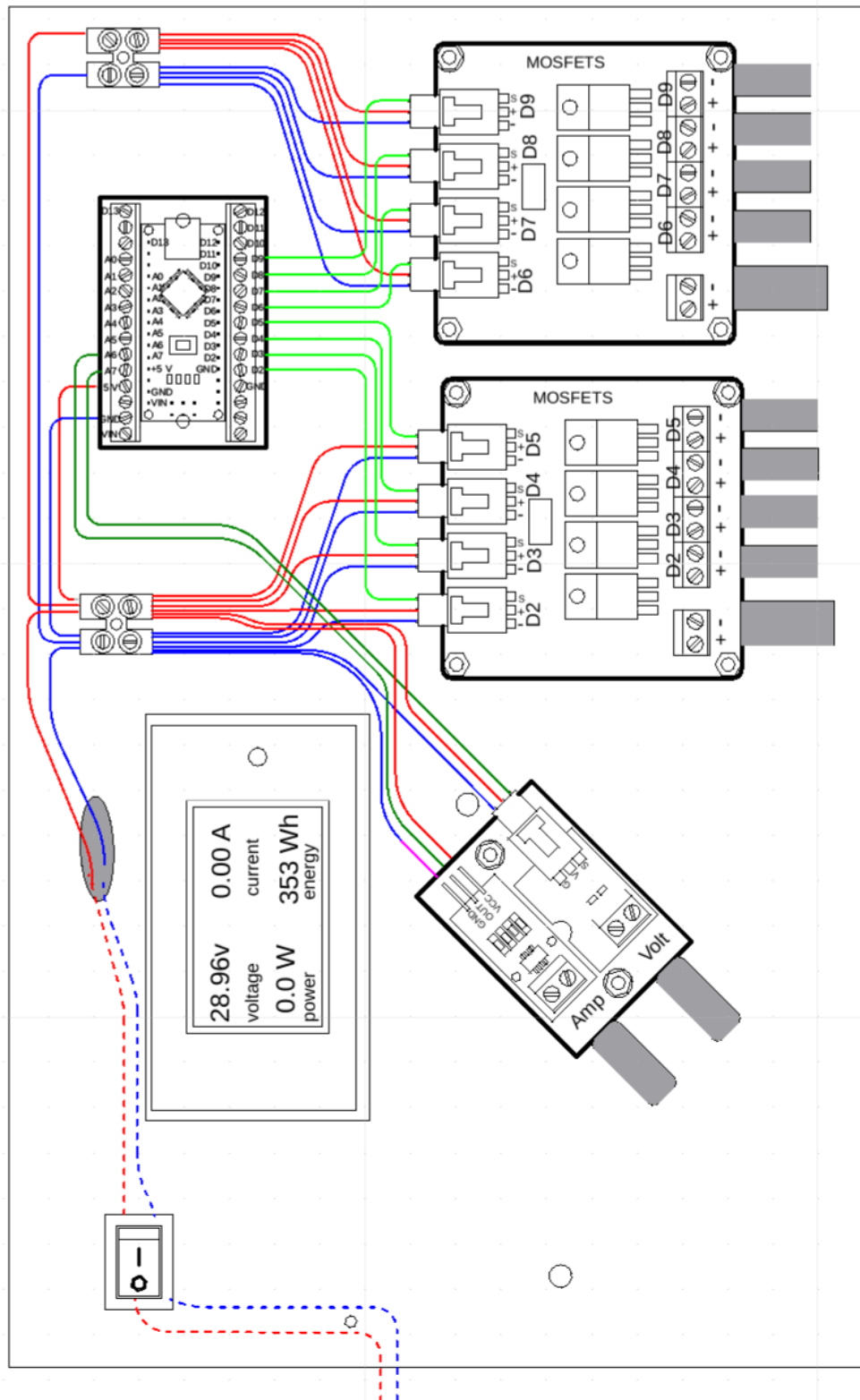


Cablage des fils de Signal

- Les deux capteurs sont connectés au micro contrôleur (fils vert foncé), capteur de courant (= Amperage) sur la borne A6, capteur de tension (= Voltage) sur la borne A7
- Les Mosfets sont connectés au micro-contrôleur (fils vert clair)
Groupe de gauche : bornes D2 à D5
Groupe de droite : bornes D6 à D9



Vue d'ensemble du câblage de l'automatisme



Section IV– Cablage de puissance, en face inférieure de la platine

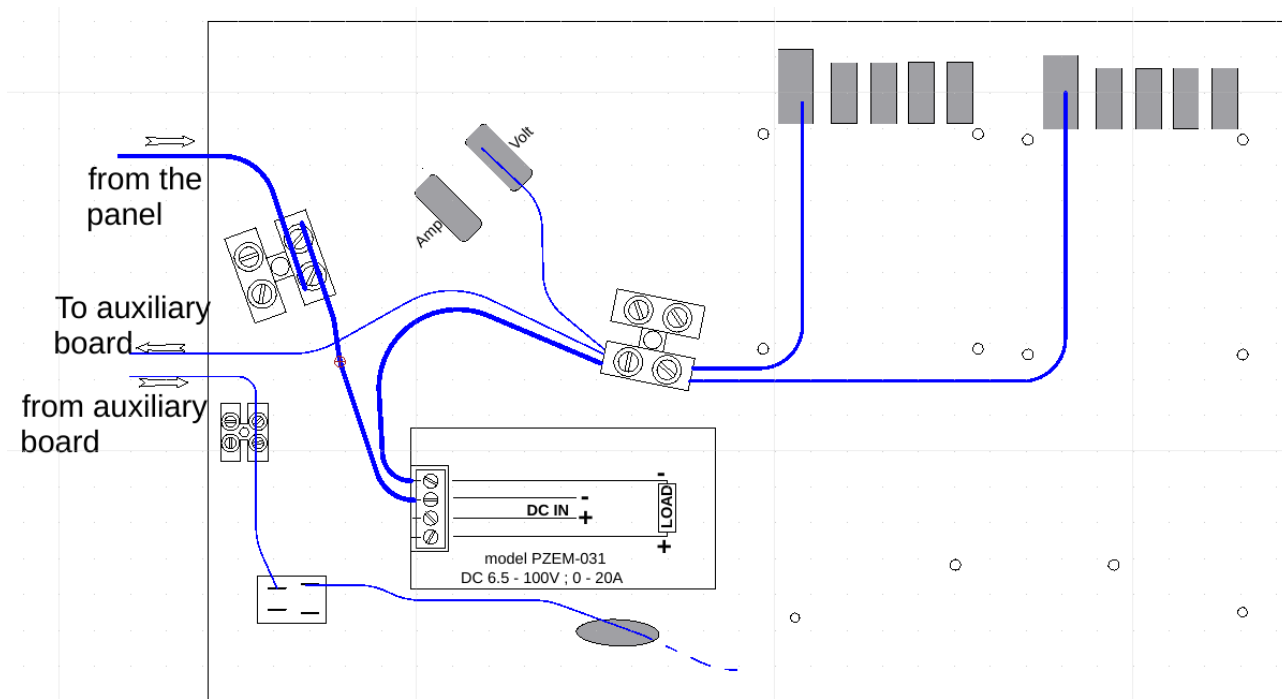
Cablage de la masse

Depuis le panneau photovoltaïque, le câble aboutit à un domino. La connection sera effectuée lors de l'installation de la platine sur le coffre de l'échangeur. Puis la masse transite par un wattmètre, qui n'est utile que pour l'utilisateur mais pas pour l'automatisme.

La masse est connectée ensuite à un domino " hub ", et raccordée

- à la platine auxiliaire, avec du câble de section " signal "
- au capteur de tension, avec du câble de section " signal "
- aux deux groupes de Mosfets, avec du câble de section " puissance ", dans notre cas : 1,5 mm².

En première approche, on peut considérer qu'un câble de section 1 mm² peut faire transiter un courant de 6 Ampère.



Cabler également l'interrupteur de l'automatisme

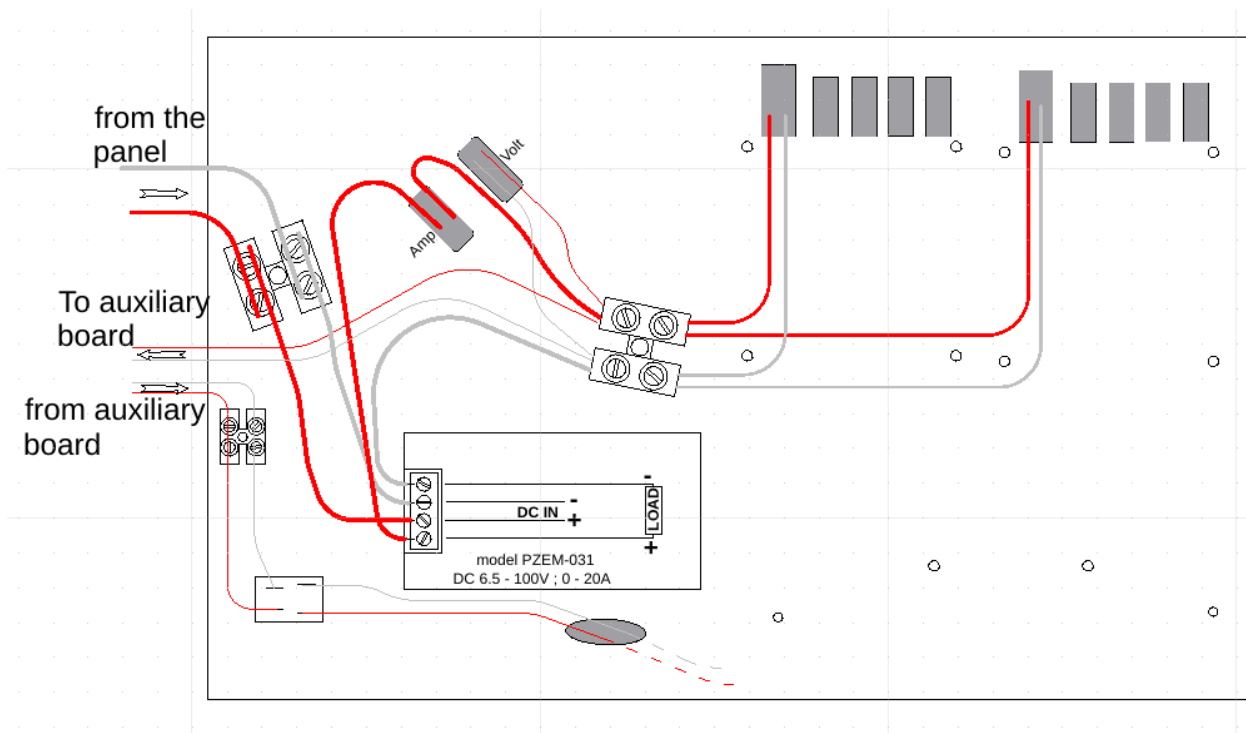
- les dominos sont fixés par boulonnage avec des vis tête fraisée diam 2 ou 3 mm
- une partie des dominos est utilisée pour effectuer des connexions électriques, mais d'autres dominos sont utilisés simplement pour fixer les câbles sous la platine ; d'autres moyens sont possibles (pontets...). Un petit point de colle ou de pate adhésive sous les dominos les empêchera de tourner lors du blocage des vis.
- pour les connexions électriques, veiller à utiliser les dominos de la taille adéquate pour une bonne saisie du câble ; dans le cas de câbles souples, il est indispensable d'étamer préalablement leur extrémité avec un fer à souder

Cablage du " + "

Après le Wattmètre, le câble " de puissance " transite par le capteur d'intensité ; le choix des bornes sur le capteur d'intensité importe peu, la valeur transmise au micro-contrôleur sera positive ou négative avec une probabilité de 50 %, mais c'est l'informatique du programme qui modifiera une éventuelle valeur négative en une valeur positive.

Depuis le " Hub ", installer

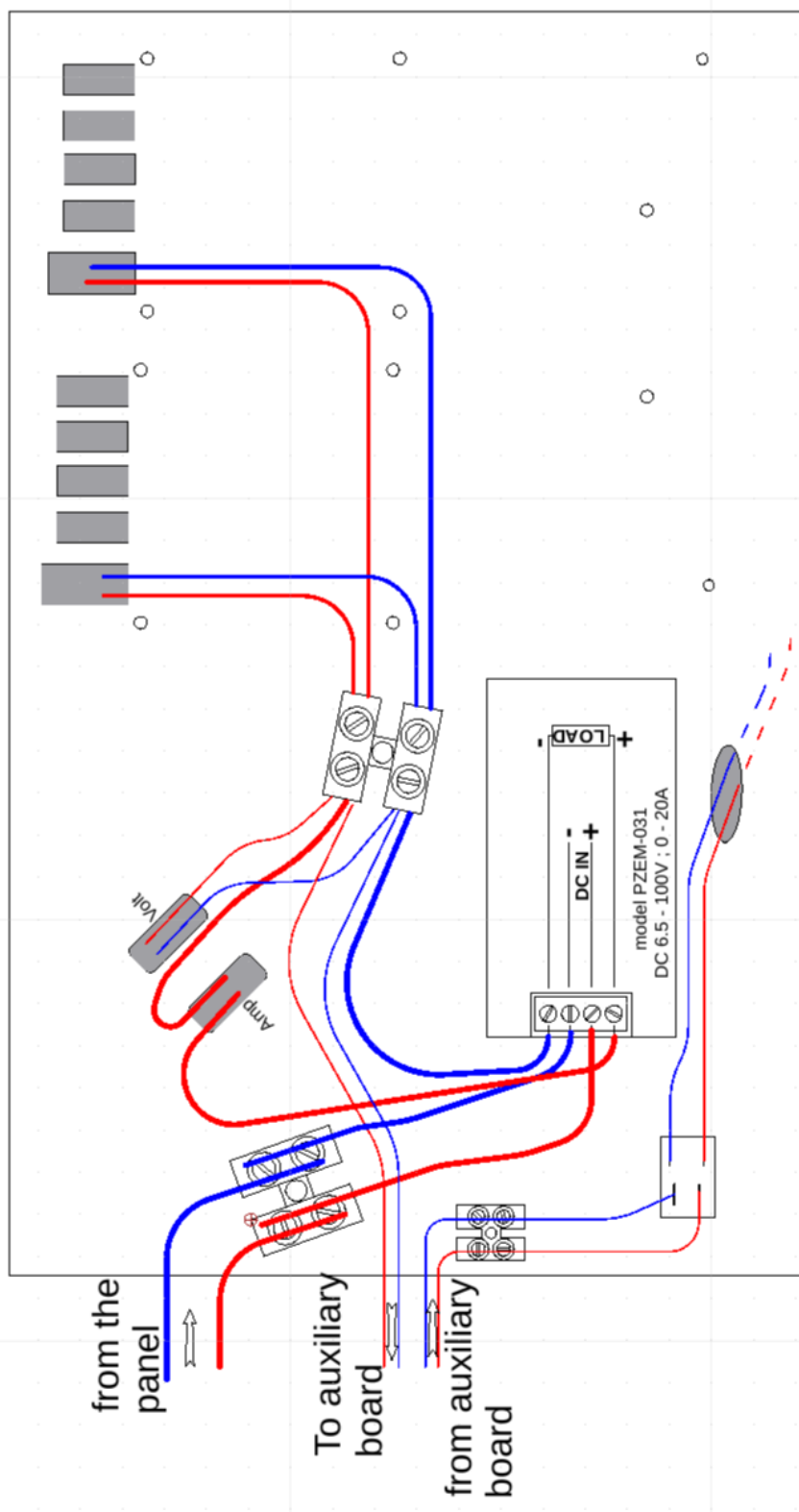
- l'alimentation de la platine auxiliaire, avec du câble de section " signal "
- une connection vers le capteur de tension, avec du câble de section " signal "
- l'alimentation des deux groupes de Mosfets, avec du câble de section 1,5 mm²



Achever le câblage de l'interrupteur de l'automatisme

Vue d'ensemble du câblage de la face inférieure

NB la sortie des Mosfet vers les résistances PTC sera câblée lors de l'installation de la platine de l'automatisme sur le coffre de l'échangeur



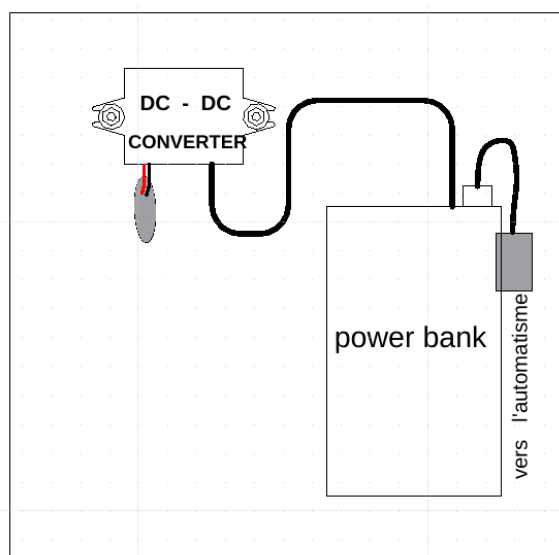
Section V – Cablage de la platine d'alimentation

Platine dimensions 190 x 190, en contreplaqué ou en PVC

Elle est garnie de deux composants, voir la documentation sur le site du cuiseur automatique.

Elle est alimentée en électricité photovoltaïque depuis le hub de la platine principale, et renvoie du courant régulé à 5 Volt vers l'automatisme.

La consommation de l'automatisme est inférieure à celle d'un smartphone. Attention : certaines " Power Bank " s'auto- éteignent en cas de non utilisation, et la consommation de l'automatisme est si faible qu'elle peut alors être perçue comme une non utilisation par la power bank.



Pour la sortie de la power bank, couper un cordon USB. Les cordons USB comportent 4 fils : deux d'entre eux sont dédiés à l'alimentation, de couleur rouge et de couleur noire ; les deux autres, dédiés à la transmission des données, ne nous intéressent pas ici.

Dénuder les deux fils rouge et noir ; on peut les " engraisser " en soudant un petit morceau de câble à leur extrémité, pour un bon contact à l'intérieur du domino

Pour les liaisons entre la platine d'alimentation et la platine principale, on peut aussi utiliser des raccords Dupont mâle et femelle, pour avoir plus de souplesse lors de la manutention des deux platines.

A voir avec l'électronicien confirmé :

- faut-il installer une diode en tête d'installation, pour se prémunir des confusions entre le + et le - ?
- dans le cas d'une tension importante, adapter le capteur d'intensité.
- Installation d'un interrupteur général ?

NB dans le cadre de ce prototype forain, il est prévu une pompe de recyclage d'une puissance de 18 Watt maximum, dont l'alimentation est assurée par le réseau domestique 230 Volt, et un petit convertisseur.

Section VI – Au sujet du programme informatique

Le contrôle qualité

Il est bien sûr indispensable, afin de ne pas perdre un temps infini pendant les essais et les mesures.

On peut faire plusieurs types de contrôle :

- contrôle visuel
- contrôle à l'Ohmmètre pour repérer d'éventuels courts-circuits, ou absence de circuits
- contrôle avec le programme " guirlande ", voir en troisième partie du site Web

Rappel du fonctionnement :

le composant principal est un micro-contrôleur (Arduino) doté d'un programme du type " Perturbe et observe " afin de rechercher en permanence le meilleur point de fonctionnement de l'ensemble capteur + cuiseur. Des capteurs de tension et d'intensité transmettent l'information au micro-contrôleur, qui calcule la puissance instantanée et met en œuvre un certain nombre de résistances PTC à l'aide de huit interrupteurs télécommandés Mosfets. Puis le micro-contrôleur modifie légèrement l'équilibre, examine les conséquences, agit sur les Mosfet, etc.

Le programme informatique est donc assez rudimentaire ; on peut reprendre le programme proposé pour le cuiseur à commande automatique, en le modifiant si on le souhaite ; voir 3ème partie, chapitre IV.

Chapitre IV – L’ECHANGEUR THERMIQUE

La pièce principale est un tube carré en acier galvanisé section 50 x 50 mm épaisseur 2 mm, longueur 1 mètre, disponible sur Internet chez les revendeurs de produits métallurgiques au détail, par exemple Lemetal.fr.

L’obturation des extrémités

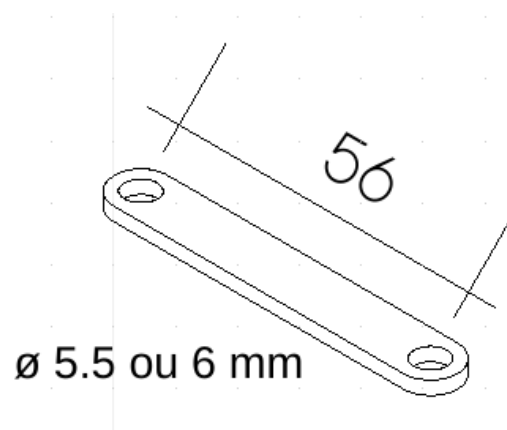
Compte tenu des très faibles températures et pression en jeu, les extrémités du tube sont obturées avec des plaques de PVC ep 5 mm ou en tôle acier ou tôle alu ou autre, simplement collées au tube avec du mastic-colle ou avec de la colle thermo-fusible ; prévoir des boudins de colle triangulaires de 1 cm de côté au moins.

Pour traverser les deux obturations, utiliser des bobines filetées, par exemple Leroy Merlin ref 65816352, à coller également de part et d’autre de chaque obturation. Pour peu que les boudins de colle soient généreusement dimensionnés, de façon à ce que le mastic-colle conserve une certaine élasticité, il est inutile de fileter le percement des pièces d’extrémité en PVC.

La suite relève de la plomberie de jardin. Ne pas approvisionner des tubes souples de trop petit diamètre, pour éviter les pertes de charge.

Le maintien des céramiques PTC

Les PTC sont maintenues par des brides métalliques fixées par des tiges filetées diamètre 4 mm. Veiller à confectionner des brides suffisamment résistantes pour qu’elles ne se cintrent pas sous l’effort des écrous, auquel cas les PTC ne s’appliqueraient pas uniformément sur le tube ; les brides pourraient être avantageusement confectionnées dans un profilé d’aluminium en forme de U section 10x10x1



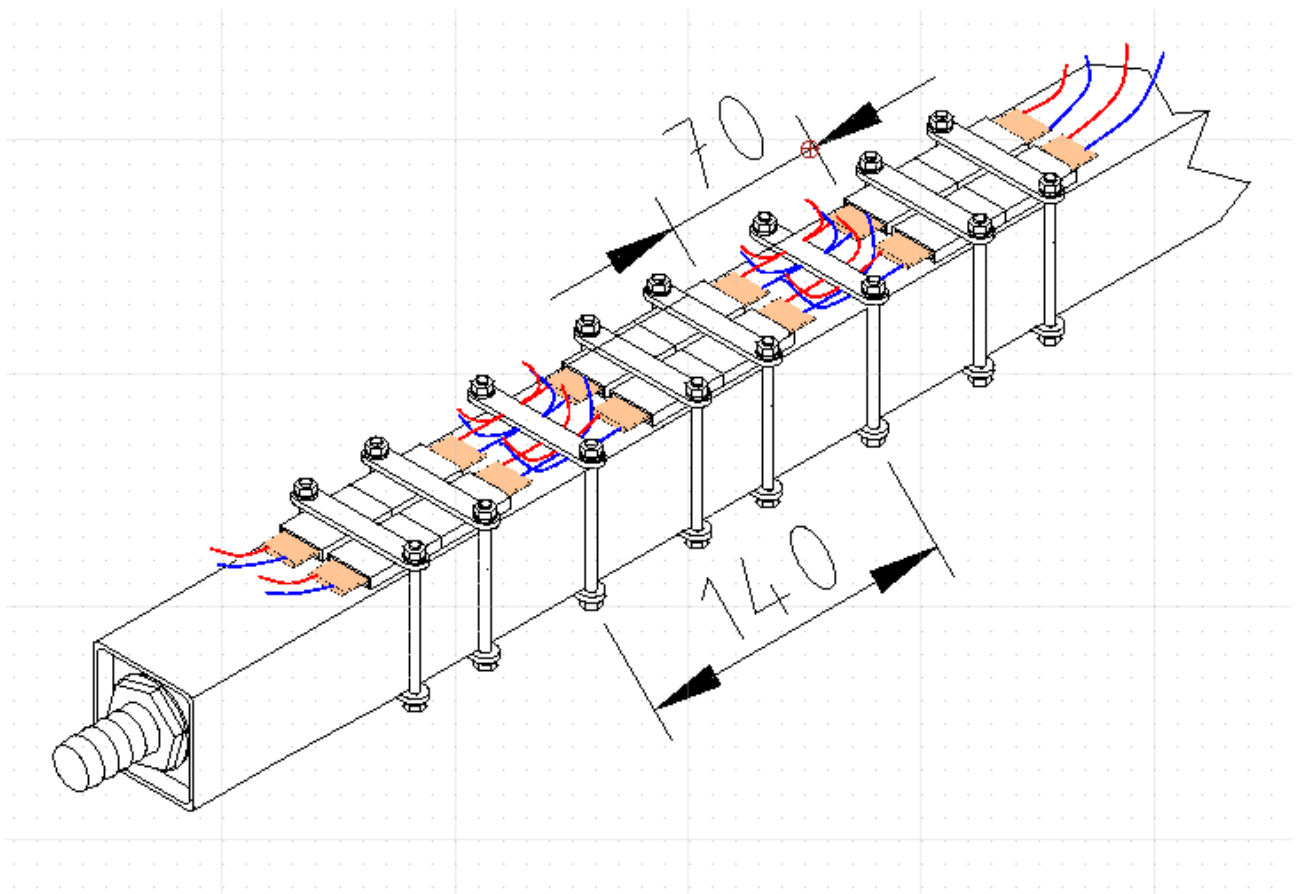
Pour faciliter le montage, on peut fixer les tiges filetées sur le tube carré, par exemple avec du mastic-colle ou de la colle thermo-fusible

Afin que les PTC restent en contact permanent avec le tube, on peut utiliser des rondelles élastiques Belleville identiques à celles proposées pour équiper la plaque de chauffe du cuiseur. Un petit point de colle en extrémité des tiges filetées empêchera le desserrage des écrous.

Les tubes étant galvanisés par immersion dans un bain de zinc en fusion, il en résulte parfois des traces d’égouttage du zinc sur une des faces du tube, qui de ce fait devient impropre à recevoir des PTC.

Seulement deux faces opposées sont utilisées pour installer des PTC : l’utilisation de la surface est loin d’être optimisée, mais pour le moment on s’en contentera.

Pour maintenir le tube à l’intérieur du coffre, installer à chacune de ses extrémités une butée contre les contreplaqués d’extrémités, confectionnée par exemple avec des brides et tiges filetées identiques à celles utilisées pour fixer les PTC.



Combien de résistances ?

Quelle question !

On considère que l'on dispose du même panneau que celui utilisé par le cuiseur, soit 280W crête. On considère que l'on disposait, pour le cuiseur, de six résistances en parallèle, plus deux résistances en série pour faire le demi-step dans la progression des puissances, soit huit résistances au total.

On considère que ce jeu de résistances permettait d'utiliser la totalité de l'énergie fournie par le panneau.

On considère que les PTC du cuiseur travaillaient à une température de 130 à 160 ° C, en fonction de la température du contenu du récipient.

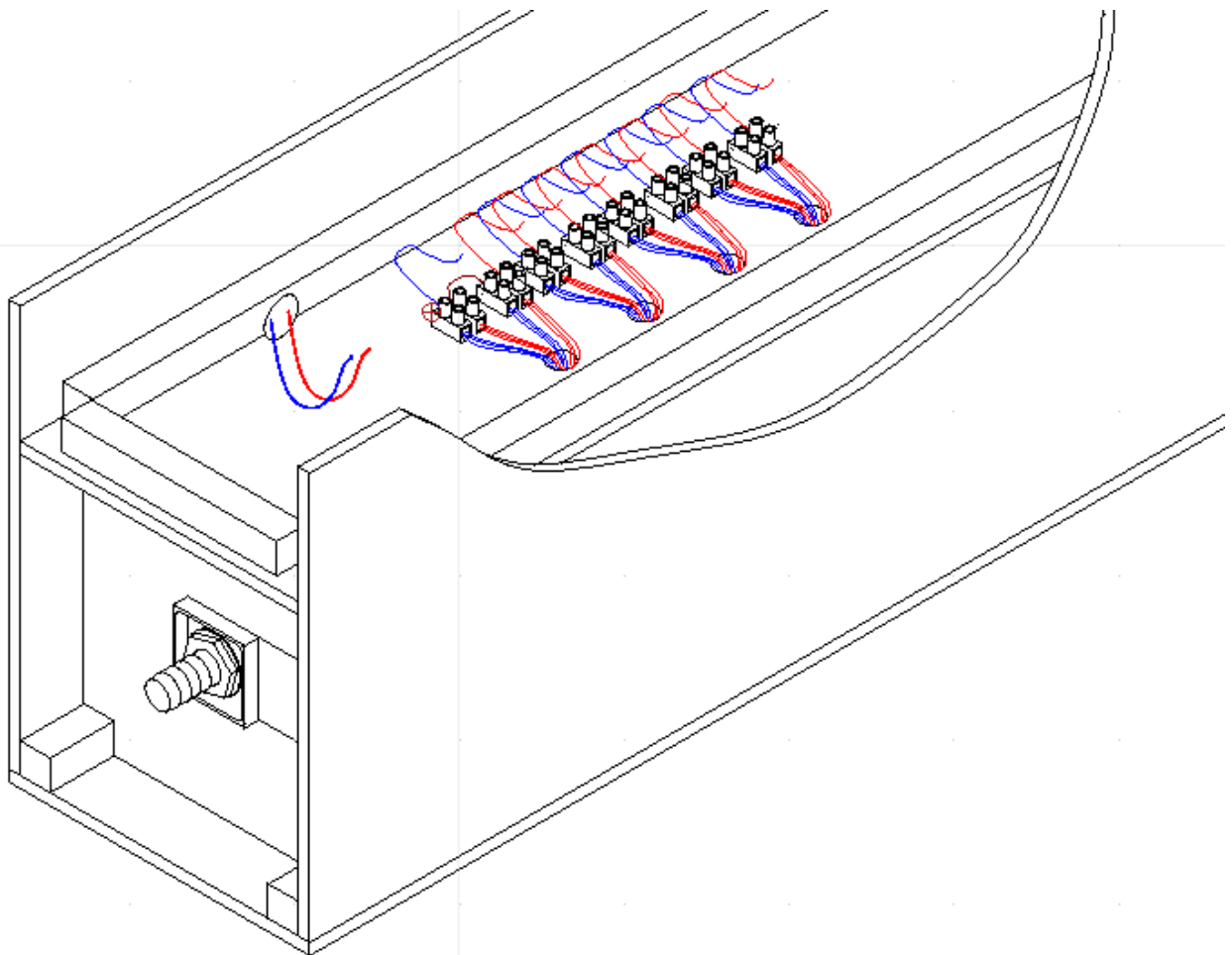
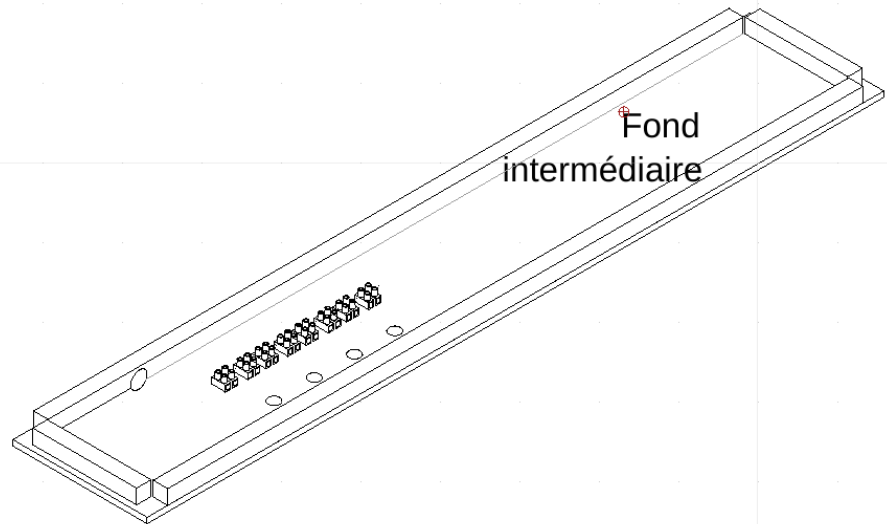
On considère qu'ici les résistances travailleront à une température de l'ordre de 30 à 40 ° C, c'est à dire que leur puissance sera environ trois fois moindre que celle du cuiseur, cf la courbe puissance-température relevée sur le banc de test .

On considère donc que chaque résistance du cuiseur peut être remplacée par un groupe de trois résistances en parallèle.

Enfin il faut bien considérer que la question du nombre de résistances n'est pas cruciale : c'est l'Arduino qui ajustera en permanence le nombre de résistances à mettre en oeuvre afin de profiter au maximum de l'énergie fournie par les panneau. Le " challenge " est simplement de disposer au moins d'autant de résistances que le ou les panneaux peuvent en alimenter.

En fait c'est ici que l'on touche du doigt la souplesse du fonctionnement des PTC : serait-il possible de calculer le fonctionnement d'un élastique de façon péremptoire ? ...

On installera donc sur le tube trois fois huit = 24 résistances, rassemblées trois par trois en parallèle. Prolonger les fils des résistances autant que besoin, effectuer des percements à travers le fond intermédiaire du coffre, et maintenir les fils dans autant de dominos, en attendant l'assemblage des platines.



Raccordement Platine/ Echangeur :

Selon le programme proposé pour le cuiseur, c'est le Mosfet de gauche (vu de l'observateur) qui commande les deux résistances en série pour gérer le " demi step ". Le Mosfet de droite n'est pas utilisé.

On conserve ici le même schéma : sur la gauche, les deux groupes de trois résistances sont en série, les autres groupes sont dédiés à un Mosfet, et le Mosfet de droite est inutilisé.

Il sera toujours possible de modifier à loisirs la disposition des PTC pour l'ajuster aux capacités du capteur solaire, ou... pour rajouter un panneau..

Pour le raccordement des Mosfets aux dominos, utiliser du câble électrique souple de 0,5 ou 0,75 mm², avec une sur-longueur suffisante pour manipuler aisément les platines sur le demi-étage

Quelques notes sur le fonctionnement de l'échangeur

Isolation

Une solution simple : utiliser du coton, par exemple des serviettes éponges pour garnir tout l'intérieur du coffre en contre-plaqué.

Circulation de l'eau

On propose ici d'utiliser une petite pompe du type " pompe pour bassin de jardin ", par exemple : mini pompe wiltec.de, 12V, 1,5 A max, débit max 700 litres heure, hauteur max 3 mètres, diamètre 40 mm, sortie 15 mm.

Un tuyau de jardin conviendra très bien

Alimentation électrique de la pompe : pour éviter toute interférence avec le panneau solaire, il est préférable d'alimenter la pompe à partir du réseau 230 V, via un petit transformateur 220V/12V continu.

Aspects hydrauliques

On retient la valeur de 500 litres/heure

La section intérieure du tube carré est de 0,046 x 0,046 m = 0,002116 m²

Le débit par seconde est 0,500 / 3600 = 0,000138m³.

La vitesse de circulation dans l'échangeur est

$V = 0,000139 / 0,002116 = 0,066$ mètre par seconde

De part et d'autre de l'échangeur, la vitesse est alors de 0,60 mètre/seconde dans un tuyau diam 15 mm intérieur, et 0,40 mètre/seconde dans un tuyau diamètre 19 mm intérieur, ce qui est préférable

On pourra vérifier le débit réel en mesurant le temps de remplissage d'un seau de 5 ou 10 litres.

Aspects Thermiques

Par effet Joule, toute l'énergie électrique fournie par les panneaux et mesurée par le Wattmètre est transformée en chaleur.

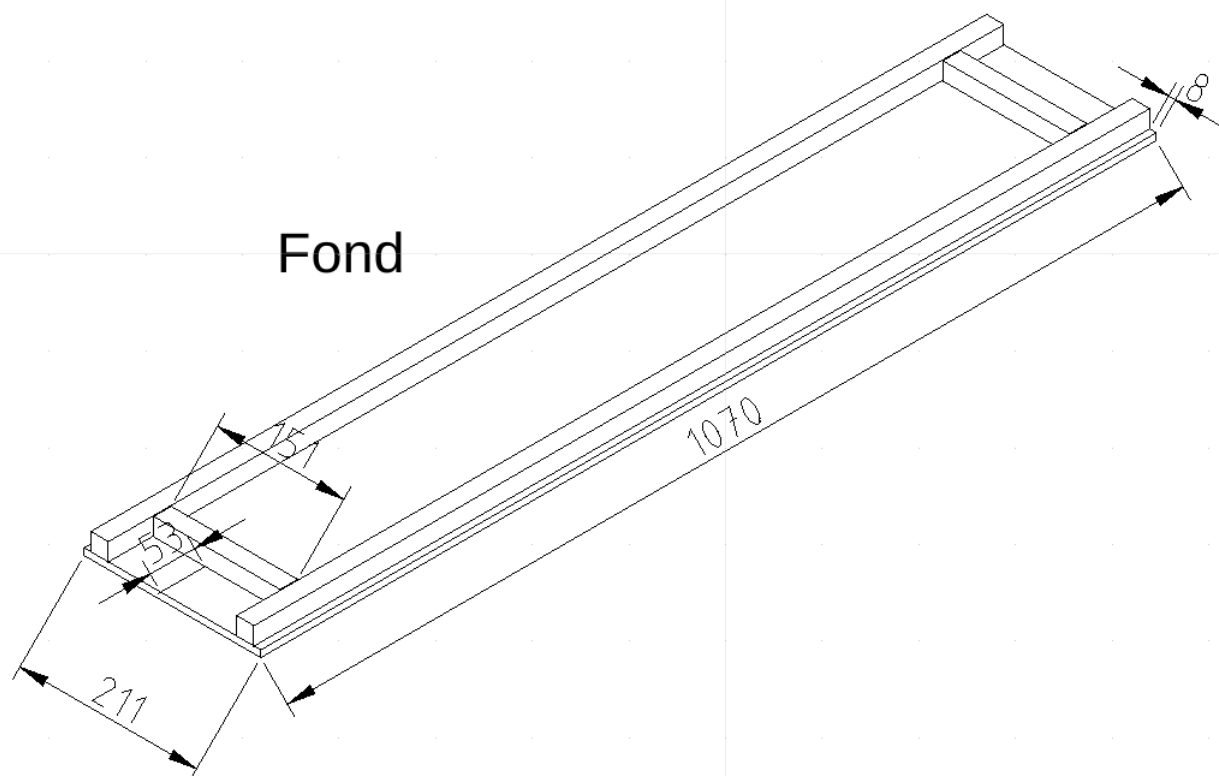
Il y a bien un coefficient de rendement (minime!) de l'échangeur, et un peu de pertes au niveau de l'isolation, mais seuls les spécialistes peuvent en parler.

Chapitre V – LE COFFRE EN CONTREPLAQUE

Matériau de base : contreplaqué épaisseur 8 mm, si possible de qualité " extérieur ", et tasseau 21 x 21 mm.

Le coffre comporte deux niveaux : le niveau inférieur, avec l'échangeur, et le niveau supérieur, avec l'automatisme.

Fond : un panneau de 1070 x 211mm ; 2 tasseaux de 1 070 ; deux tasseaux de 151mm



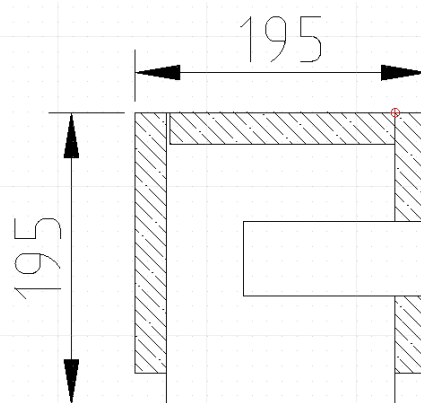
Les deux extrémités de l'étage inférieur

Dimensions 195 x 195 mm ; confectionner deux échancrures en bas, et une échancrure pour recevoir le tube 50 x 50 mm de l'échangeur

Garnir les deux côtés et le haut avec des tasseaux ;

Confectionner les deux extrémités symétriquement.

Installer les extrémités sur le fond, les tasseaux étant tournés vers l'intérieur



La face arrière non représentée

Dimensions 1070 x 285 mm, à installer sur le fond

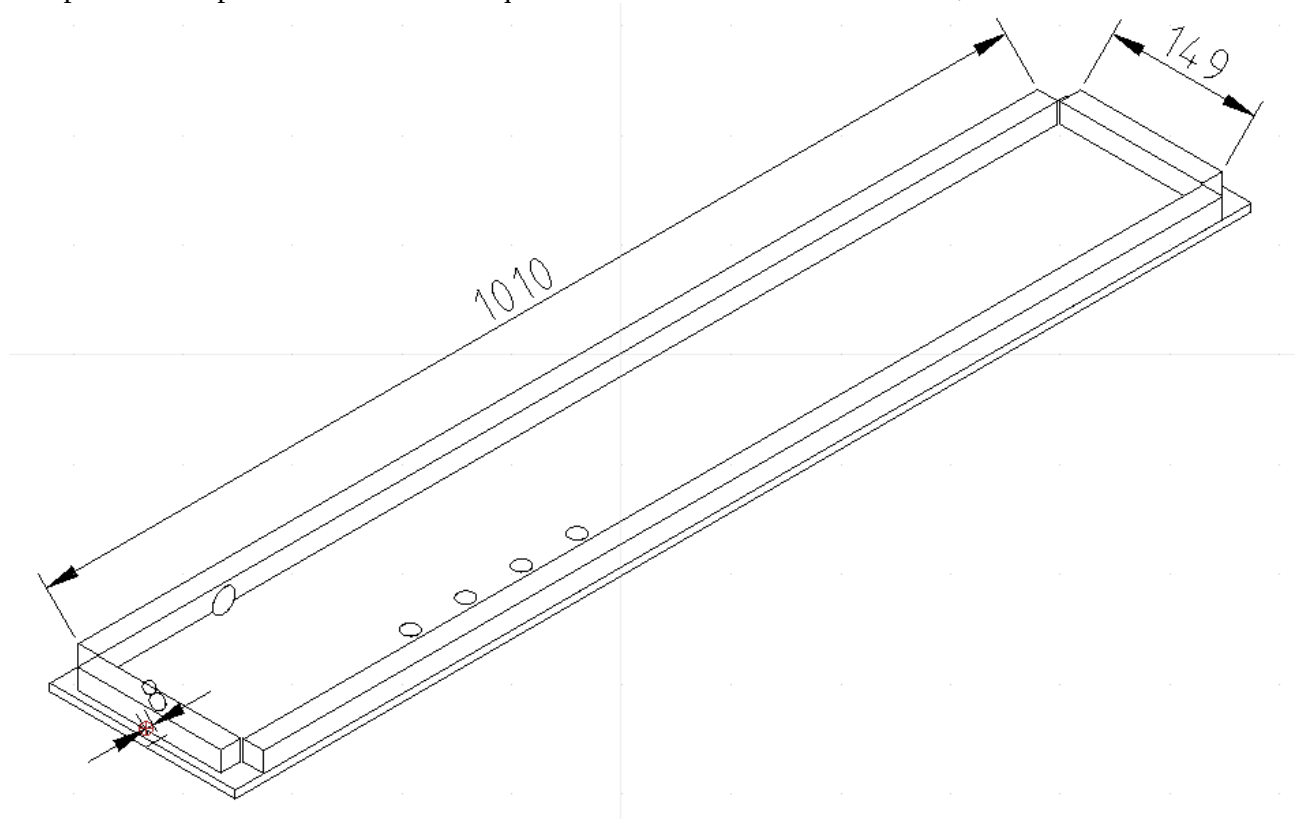
L'étage intermédiaire

Dimensions 1070 x 195

Deux tasseaux de 1010 mm, installés en bordure du contreplaqué

Deux tasseaux de 149 mm, installés à 8 mm de la bordure

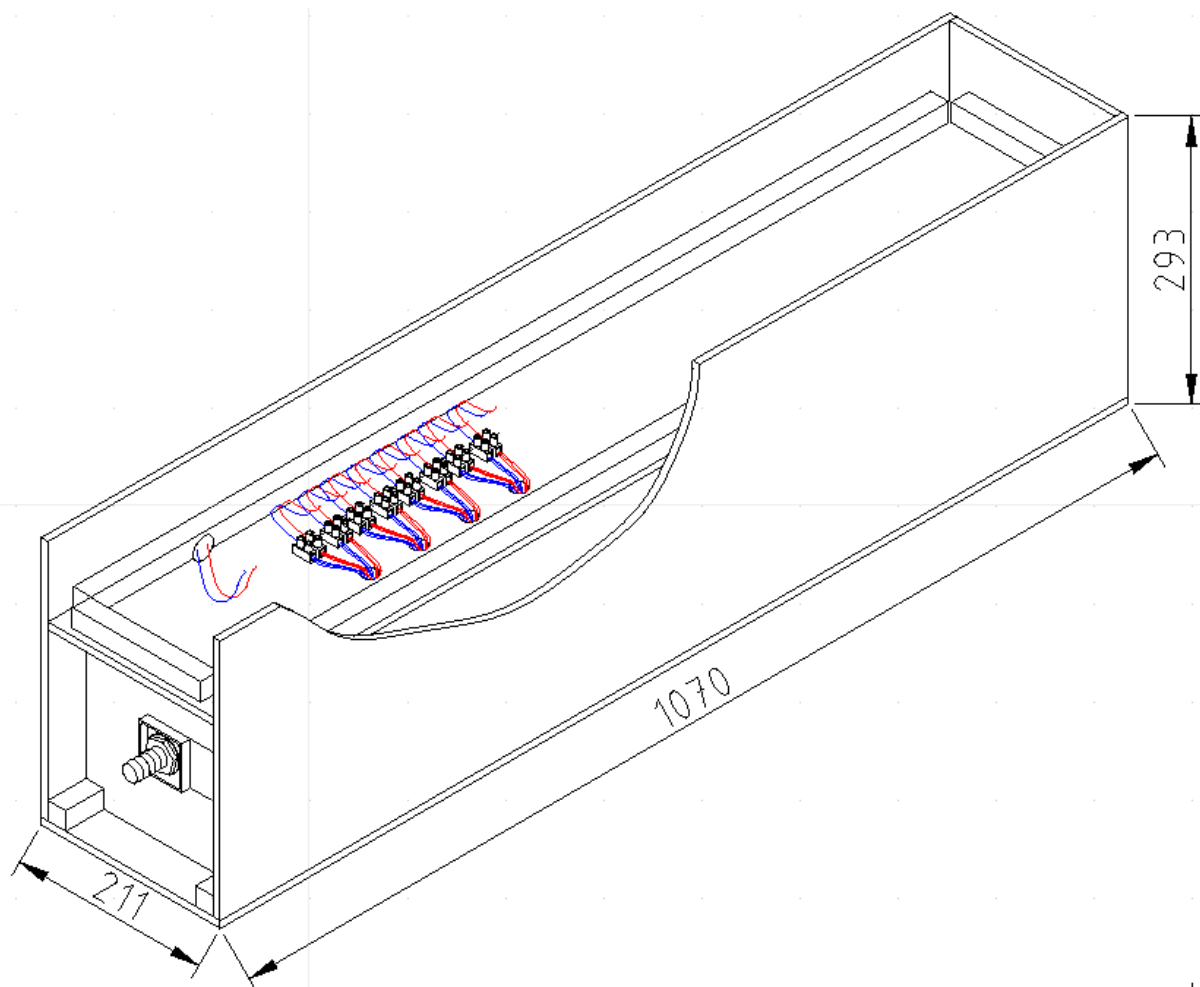
Les percements pour les câbles électriques seront effectués ultérieurement, à la demande



Assembler le fond, les extrémités, l'arrière, et l'étage intermédiaire.

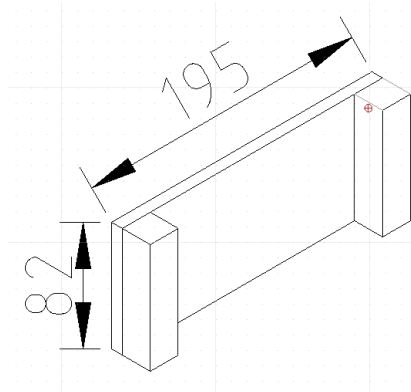
Basculer le tout sur le panneau arrière pour installer l'échangeur, passer les câbles à travers les percements de l'étage intermédiaire, et garnir le coffre d'isolant en tissu éponge ou autre

Face avant : idem face arrière



Les deux extrémités de l'étage supérieur

Contreplaqué 195 x 82 , avec un tasseau vertical à chaque extrémité.



Couvercle 1070 x 211, à garnir de petits tasseaux intérieurs.(non représenté)

Chapitre V – QUELQUES CALCULS PREVISIONNELS

DANS LE CAS D'UNE PISCINE

I – Besoins en énergie

Soit une piscine de 35 m³.

Pour augmenter de 1° C la température de 1gramme d'eau, il faut disposer de 4,18 Joule

Pour augmenter de 1°C la température de 35 000 litres, il faut disposer de

$35\,000 * 4,18 = 146\,300 \text{ kJ} = \mathbf{146 \text{ MJ}}$

Pour augmenter la température de 2° C, il faut $146 * 2 = 293 \text{ MJ}$, etc.

augmentation souhaitée de la température

										besoin en énergie, en
										besoin en énergie, en
1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C	10°C	
146	293	439	585	732	878	1024	1170	1317	1463	

Pour les adeptes du kWh, voici les éléments de conversion.

Le Joule est l'unité légale d'énergie : mécanique, électrique, thermique, etc. Le joule se décline en Joule, kiloJoule, MegaJoule, etc...

La seconde est l'unité légale de temps.

Quand une machine produit, consomme, dissipe... 1 Joule par seconde, on dit que sa puissance est de 1 Watt. La puissance se décline en Watt, kiloWatt, MégaWatt

Le Joule est une unité très petite avec beaucoup de zéros, alors on utilise un autre façon d'exprimer la quantité d'énergie : le Wattheure, qui est la quantité d'énergie consommée, produite, etc. par une machine d'une puissance de 1 Watt, pendant une heure (3600 secondes).

$1 \text{ Wattheure} = 3\,600 \text{ joules} = 3,6 \text{ kJ}$

On utilise aussi les kWh ; $1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$.

Le Wattheure et le kWh, comme le Joule le kJ et le MJ, sont des unités exprimant des quantités d'énergie.

Le Watt et le kW sont des unités exprimant des puissances (c'est à dire : une quantité d'énergie pendant la durée légale de 1 seconde, ce qui permet notamment d'effectuer des comparaisons entre différentes machines)

Complétons maintenant le tableau ci dessous en rajoutant un ligne pour exprimer la quantité d'énergie nécessaire en kWh

augmentation souhaitée de la température

										besoin en énergie, en
										besoin en énergie, en
										besoin en énergie, en MegaJoule
1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C	10°C	
146	293	439	585	732	878	1024	1170	1317	1463	
41	81	122	163	203	244	284	325	366	406	

II Disponibilités en énergie (Oct 2023)

Quelle quantité d'énergie électrique peut-on obtenir avec un panneau photovoltaïque ?

La réponse immédiate est : ça dépend...

On va essayer ici d'aller un peu plus loin, sans aucune prétention scientifique

On raisonne ici sur un panneau de 375 Watt-crête, qui semble devenir un standard (fin 2023)

Une première approche :

En compulsant la littérature, on trouve de façon assez récurrente la valeur suivante :

En période estivale, un panneau solaire fictif de 1 Watt-crête produirait 5 à 6 Watt-heure par jour.

Retenons la valeur de 5,7Wh par jour Un panneau de 375 Wc fournirait $375 * 5,7 = 2\ 137$ Wh, soit **2,137kWh** dans le cas d'une journée estivale bien ensoleillée.

Une seconde approche :

Dans la littérature il est également question, pour 1 Wc, d'une production entre 900 et 1400 Wh par an .

Retenons la valeur de 1200 Wh ;

production quotidienne moyenne sur l'année : $1200/365 = 3,29$ Wc

En faisant une " cote mal taillée " entre été et hiver, les 5,7 Wc quotidiens évoqués en première approche en période estivale seraient confirmés.

Une troisième approche

Soit un panneau de 375 Wc correctement exposé au sud . Supposons que sa production par une belle journée ensoleillée soit au 3/4 de sa production maximale, soit $375 * 0,75 \approx 280$ Watt.

Au milieu de la journée, le panneau délivre **280 Wh durant l'heure de midi.**

A 11 heures, le soleil n'était pas en face du panneau, les rayons solaires sont reçus sous un angle de 15° (360° divisés par 24 = 15° par heure.). La production horaire d'électricité est donc à minorer de l'effet cosinus ; $280 \times \cos(15^\circ) = 280 * 0,97 = \mathbf{271\ Wh}$

A 10h, l'angle d'incidence des rayons est de 30° ; $\cos(30) = 0,87$

$$280 * 0,87 = \mathbf{243\ Wh}$$

A 9 heures, l'angle d'incidence est de 45° ; $\cos(45) = 0,707$

$$280 * 0,707 = \mathbf{198\ Wh}$$

A 8 heures, l'angle d'incidence est de 60° ; $\cos(60) = 0,5$

$$280 * 0,5 = \mathbf{140\ Wh}$$

Pour l'après midi, on retrouve les mêmes valeurs : **271, 243, 198, et 140 Wh** produits chaque heure,

soit un total de **1,984 kWh** quotidiens, pas très éloigné des 2,137 kWh évoqués plus haut

Les évaluations et les calculs sont quelque peu " brutes de décoffrage " ; on s'en contentera pour le moment

On retient pour la suite :

Un panneau de 375 Watt crête travaillant à 75 % de ses capacités durant une journée estivale bien ensoleillée fournit 2 kWh par jour, que l'on convertit immédiatement en MegaJoule

1 kWh = 3,6 MegaJoule ; 2 kWh = 7,2 MJ.

Pour la suite, l'unité de compte d'énergie est désormais " la belle journée estivale ensoleillée ", où l'on dispose de 7,2 MJ (2 kWh) d'électricité pour Un panneau de 375 Wc. Chacun interprétera à sa guise le terme de " belle journée ensoleillée ".

NOTA : Les kits solaires autonomes plug and play disponibles actuellement sur le marché comportent presque tous un dispositif de monitoring permettant de suivre la production d'électricité, par exemple par blue tooth sur un smartphone. En effectuant quelques requêtes auprès de particuliers équipés d'une telle installation, il serait possible d'avoir des chiffres solides sur la production d'électricité " par une belle journée estivale ensoleillée ". Toute contribution serait la bienvenue, à adresser à jean@boubour.fr.

On peut désormais établir le tableau suivant qui précise la quantité totale d'énergie disponible par une belle journée ensoleillée, en fonction du nombre de panneaux de 375 Wc de l'installation solaire photovoltaïque

1	7,2	2
2	14,4	4
3	21,6	6
4	28,8	8
5	36	10
6	43,2	12
7	50,4	14
8	57,6	16
9	64,8	18
10	72	20

↑ quantité d'énergie disponible quotidiennement, en kWh
↑ quantité d'énergie disponible quotidiennement, en MJ
↑ Nombre de panneaux de 375 Wc disponibles

III Nombre de journées nécessaires pour chauffer la piscine

Si je veux chauffer la piscine de 1°, et que je dispose de Un panneau, il faudra $146 / 7,2 = 20$ jours

Si je veux chauffer la piscine de 1° avec deux panneaux, il faudra $146 / 14,4 = 10$ jours

Si je veux chauffer la piscine de 4° avec 6 panneaux, il faudra $585 \text{ MJ} / 43,2 \text{ MJ par jour} = 14$ jours

page suivante : le tableau indique le nombre de " belles journées estivales ensoleillées " nécessaires pour chauffer une piscine de 35 M3 , en fonction du nombre de panneaux 375 Wc disponibles et de l'élévation de température souhaitée.

augmentation souhaitée de la température

besoin en énergie, en
besoin en énergie, en

			1°C	2°C	3°C	4°C	5°C	6°C	7°C	8°C	9°C	10°C
			146	293	439	585	732	878	1024	1170	1317	1463
			41	81	122	163	203	244	284	325	366	406
1	7,2	2	20	41	61	81	102	122	142	163	183	203
2	14,4	4	10	20	30	41	51	61	71	81	91	102
3	21,6	6	7	14	20	27	34	41	47	54	61	68
4	28,8	8	5	10	15	20	25	30	36	41	46	51
5	36	10	4	8	12	16	20	24	28	33	37	41
6	43,2	12	3	7	10	14	17	20	24	27	30	34
7	50,4	14	2,9	6	9	12	15	17	20	23	26	29
8	57,6	16	2,5	5,1	8	10	13	15	18	20	23	25
9	64,8	18	2,3	4,5	7	9	11	14	16	18	20	23
10	72	20	2,0	4,1	6	8	10	12	14	16	18	20

quantité d'énergie disponible quotidiennement, en kWh
quantité d'énergie disponible quotidiennement, en MJ
Nombre de panneaux de 375 Wc disponibles

IV Quelques commentaires

Le tableau ci dessus est à considérer avec précaution.

Des mesures de production électrique sur des kits solaires autonomes telles qu'envisagées ci dessus apporteront un peu plus de certitudes.

Bien sûr, des journées avec gros nuages peuvent s'intercaler avec les journées ensoleillées.

Les quantités d'énergie évoquées ci dessus sont disponibles en sortie des panneaux photovoltaïques, Si les câbles électriques sont correctement dimensionnés, les pertes entre les panneaux et l'échangeur installé en bord de piscine sont négligeables .

Concernant la conversion de l'électricité en chaleur, les résistances ont un rendement de conversion de 100 %.

Il y a une très légère perte au niveau de l'échangeur thermique, entre les résistances céramiques et l'eau de la piscine ; toutefois les flux thermiques en jeu sont très faibles ; les pertes sont difficilement quantifiables.

Il y a enfin une inévitable perte thermique à travers l'isolation ; les niveaux de température étant peu élevés, les pertes là aussi restent faibles.

Et puis, selon son humeur, on peut toujours majorer de 10 % ou minorer de 5 % le nombre de journées d'ensoleillement proposées par le tableau.

Le dernier mot appartiendra aux mesures à effectuer sur le petit pilote :

- mesures de température : de part et d'autre de l'échangeur, , percer le tuyau de jardin avec un foret diamètre 2 ou 3 mm, introduire des sondes K à enfoncer sur quelques centimètres, et reboucher l'orifice avec du mastic-colle,
- mesurer le débit en sortie de l'échangeur à l'aide d'un seau gradué et d'un chronomètre,
- ... et effectuer les calculs.