



CHAUFFE-EAU SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

ET CHAUFFAGE DE PISCINE

SANS BATTERIES, AVEC DES RÉSISTANCES CERAMIQUES PTC

Eléments de conception

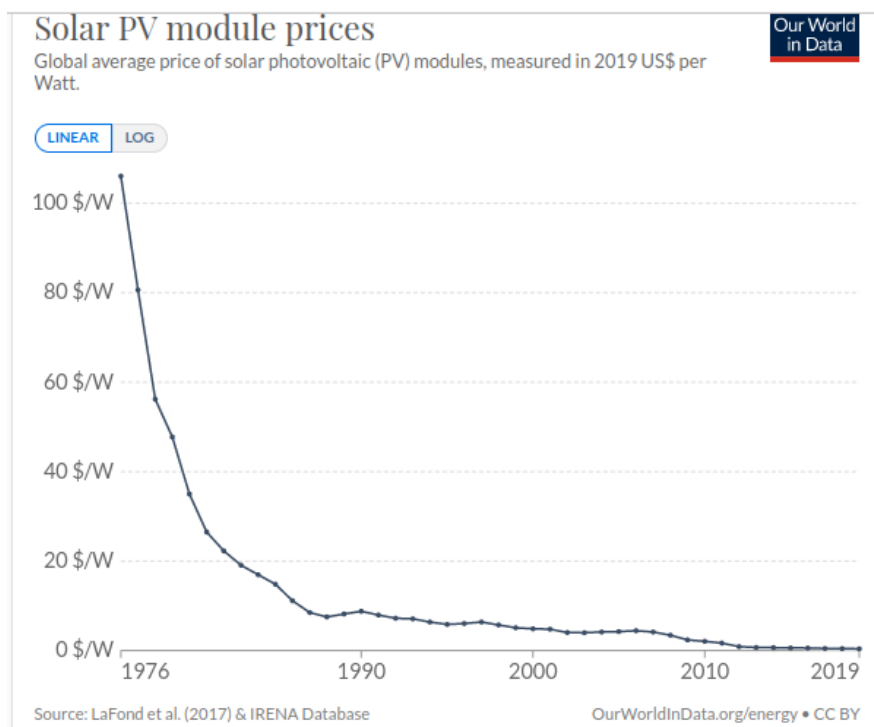
Durant les premières années du vingt et unième siècle, accoler les termes " électricité photovoltaïque " et " énergie thermique " eût été provoquant en raison du prix des panneaux. Une quinzaine d'années plus tard, les panneaux photovoltaïques s'imposent comme une source d'énergie tout à fait concurrentielle, 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

Il est question ici de proposer quelques éléments de conception d'une installation électro-solaire de production d'eau chaude.

Ce document fait suite aux travaux de la petite équipe " photovoltaic-solar-cooking.org ", auxquels il sera fait référence autant que besoin, afin d'éviter des recopiations inutiles.

<https://ourworldindata.org/search?q=solar+PV+modules+prices>

for more précision, download the .csv file



Page

2	1 - Les contraintes des lois de l'électricité
4	2- Les résistances céramiques PTC
7	3 - L'automatisme et la régulation
8	4 - La platine électronique
16	5 - Au sujet du programme informatique
17	6 - Au sujet du chauffe eau individuel
17	7 – Au sujet du chauffage de piscines
18	8 - Autres applications
18	9 - Hypothèse d'une petite conserverie alimentaire ou d'une installation de production d'huiles essentielles : quelques réflexions personnelles préliminaires.

1 - LES CONTRAINTES DES LOIS DE L'ELECTRICITE

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 en 2ème partie.

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 $P = 900 \text{ W}$ sous une tension $U = 25 \text{ V}$; l'intensité consommée est donc $I = P/U = 36 \text{ Ampère}$, et sa résistance $R = U/I = 0,694 \text{ Ohm}$.

Supposons que le panneau délivre désormais une tension $U = 35 \text{ Volt}$. La puissance devient $P = U * I = (35 * 36) / 0,694 = 1765 \text{ W}$. 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 $P = U * I = (15 * 36) / 0,694 = 324 \text{ Watt}$: 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 1468 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'utilisateur.

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.

2 - 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 60 * 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.

Il convient de retenir ici une des caractéristiques principales des résistances céramiques

- 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 atteinte 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 :

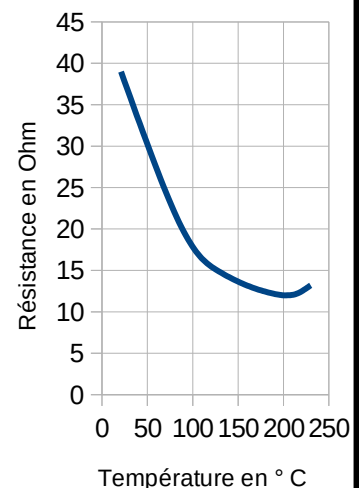
la société TDK / EPCOS, filiale de Siemens et Matsuhita, spécialisée dans la fabrication de composants électroniques passifs, publie une documentation très fournie sur les [céramiques PTC](#) " à coefficient de température positif " et sur les [céramiques NTC](#) " à coefficient de température négatif ". 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](#))

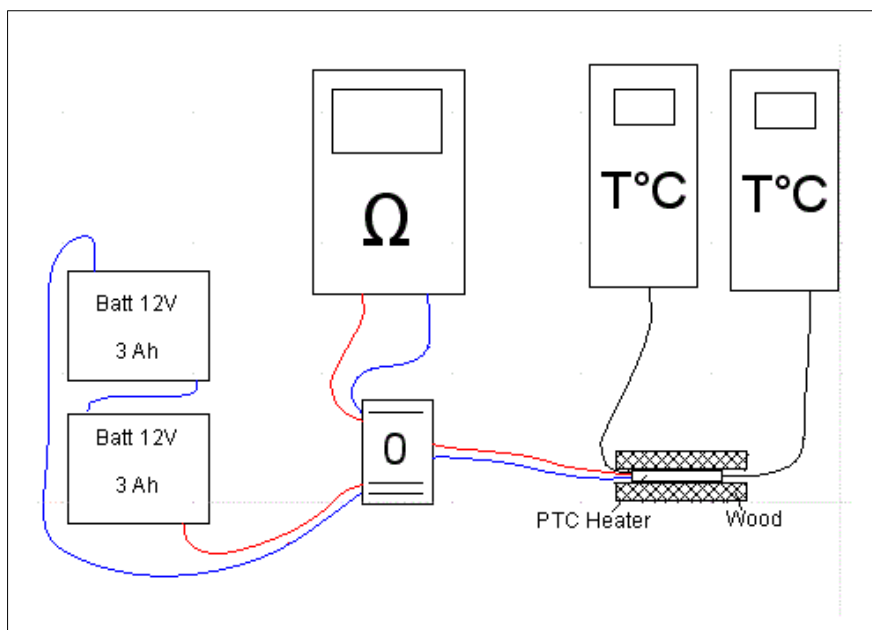
La solution retenue a été

- 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.

La troisième colonne est le résultat de calculs et non de mesures : la puissance est calculée selon la formule $P = U^2/R$, 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.

"36V" 35*21 "65W" @150°		
Température (° C)	Résistance (Ω)	P=U ² /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

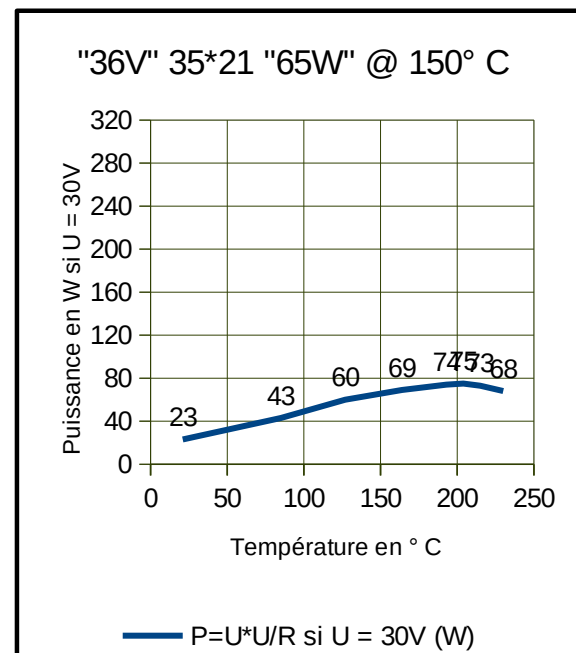
On peut tracer la courbe de la puissance sous une tension de 30 Volt

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 ".

3 – LA REGULATION

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 de contrôle-commande sont :

- **le micro-contrôleur**, en l'occurrence un Arduino Nano à 20 € en version originale, (conseillée) ou à 8 € en version clône. Un micro-contrôleur 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 capteurs** de Tension et d'Intensité, d'une valeur de quelques € pièce.
- **les interrupteurs électroniques**, dit MOSFETS, qui désormais remplacent les anciens 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 Volts/ 5 volt . A partir d'un courant variable (en permanence) entre 48 V et 8 V, ce composant produit un courant réglé 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.

Noter que

1- il ne s'agit ici que d'*électronique de commande*, qui n'a rien à voir avec l'*électronique de puissance* évoquée en première partie, notamment pour ce qui est du prix et de la légèreté des composants.

2- 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.

4- LA PLATINE ELECTRONIQUE

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.

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 : 248 mm; longueur 290 mm au minimum; mais la coupe de longueur pourrait être effectuée plus tard, une fois tous les composants installés sur la plaque, l'inconnue est la configuration et l'encombrement des prises USB sur la batterie Power Bank, pour lesquelles on souhaitera peut-être disposer de plusieurs centimètres supplémentaires.

Tracer un trait sur le pourtour, à 10 mm du bord: laisser libre autant que possible cette bande périphérique sauf percements et encoches pour passer les câbles électriques ; il sera possible ultérieurement d'y implanter des petites longueurs de tige filetée diam 3 mm, pour supporter une [plaque transparente](#) de protection.

A -Repérer les différentes zones de la platine :

- 1 - capteurs de tension et d'intensité
- 2 - alimentation électrique de l'automatisme
- 3 – contrôle-commande (micro-contrôleur Arduino Nano)
- 4 - interrupteurs électroniques télécommandés Mosfets

B - Disposer les éléments sans les fixer, ou alors avec quelques petites boulettes de pâte adhésive, afin d'avoir une vue d'ensemble. Le schéma proposé 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.

Ou bien : si l'on manque un peu de place, il est possible aussi d'installer la Power Bank en sous face de la platine.

Repère 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 : Alimentation électrique de l'automatisme

Pour l'approvisionnement du DC-DC convertisseur : consulter le site ci dessus, 4ème partie , Chapitre II, section III.

Repère 3 : 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 4 : 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 :

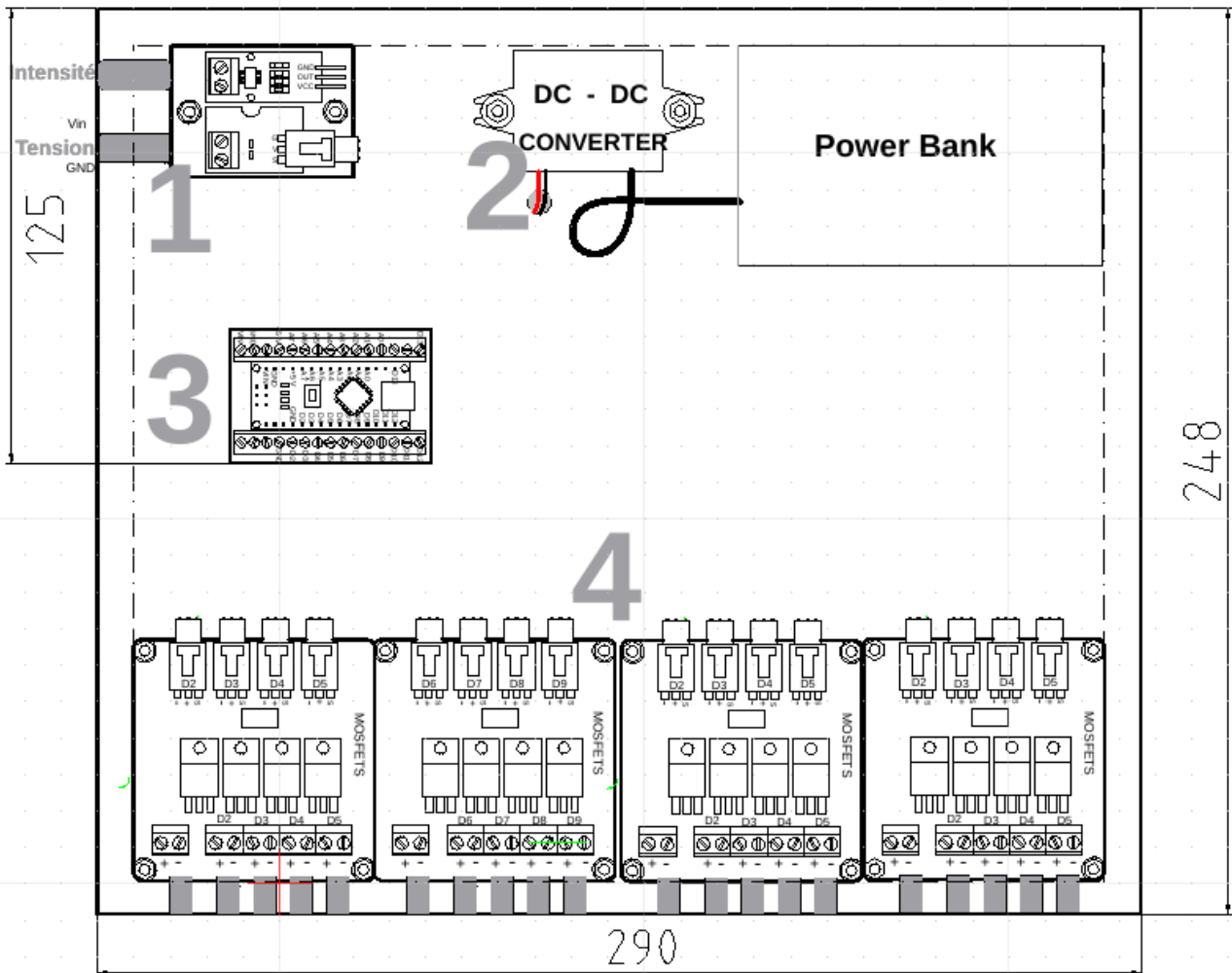
- Le nombre de céramiques dépend de la puissance crête de l'installation ; il est souhaitable de le surdimensionner quelque peu.

- 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.

C - Tracer et effectuer les percements et les échancrures pour passages de cables



Prévoir des sections de passage assez confortables, pour ne pas avoir à contorsionner les cables.

D – Câblage du circuit de puissance

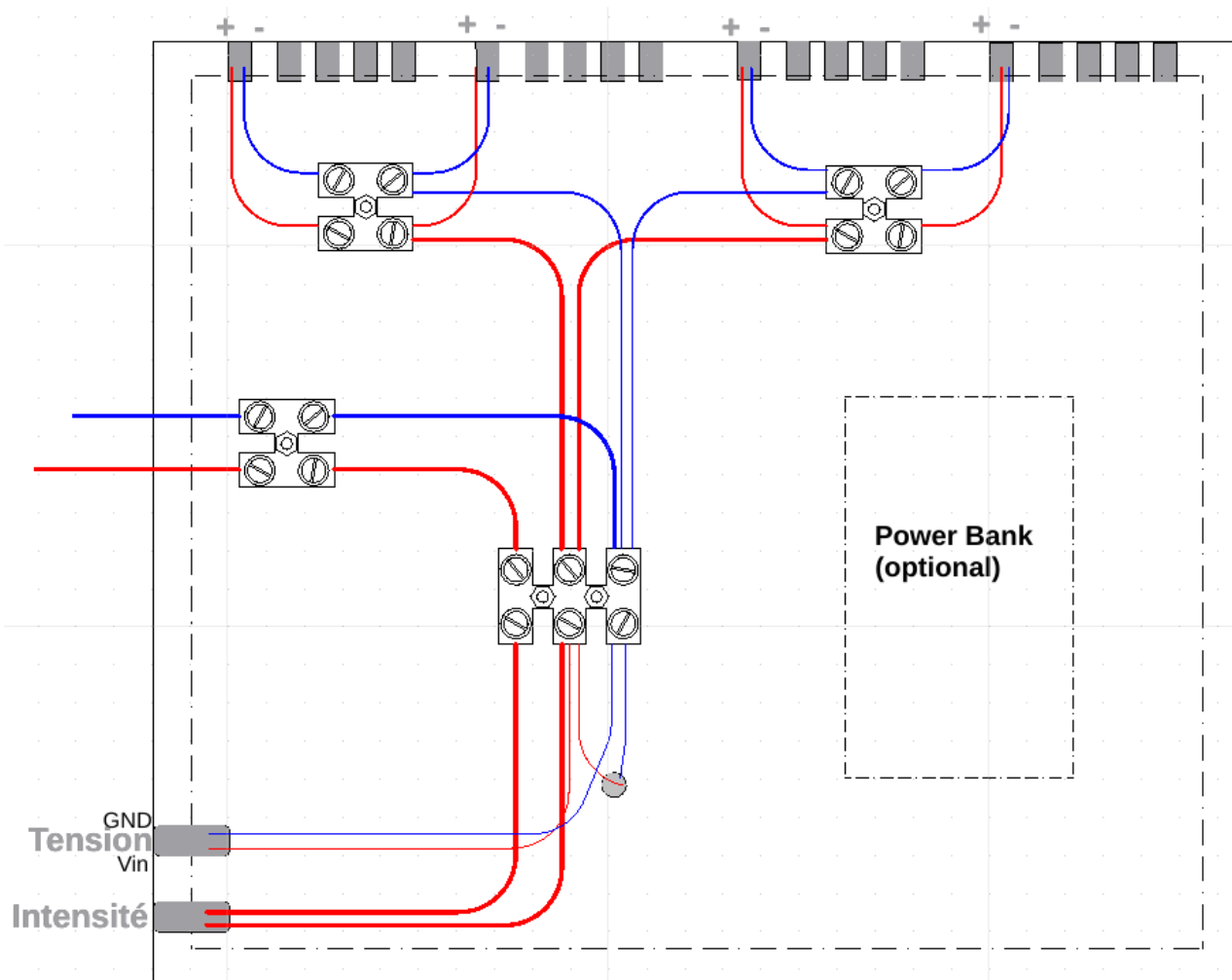
Tout les circuits de puissance sont installés sur la *face inférieure* de la platine.

- le schéma proposé ci dessous peut être aménagé autant que besoin
- 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 cables sous la platine ; d'autres moyens sont possibles (pontets...). Un petit point de colle ou de pate edhésive sous les dominos les empechera 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 cable ; dans le cas de câbles souples, il est indispensable d'étamer préalablement leur l'extrémité avec un fer à souder

Section de cable : l'ordre de grandeur est 1 mm² pour 6 Ampère

Branchement du capteur d'intensité : connecter les cables indifféremment sur l'une ou l'autre borne ; le signal transmis sera soit positif soit négatif, mais le programme informatique le rétablira si besoin en valeur positive.

Retourner ensuite la platine pour travailler sur la face supérieure



E– Câblage des alimentations des composants du circuit de commande

Tous les composants électroniques (capteurs, Mosfets, micro-contrôleur...) ont besoin d'énergie électrique pour fonctionner, il faut donc les alimenter en courant 5 V DC en les raccordant à la batterie.

Sur les composants, les bornes positives sont désignées par le terme " Vin ", ou " Vcc ", ou par le signe " + ".

Les bornes négatives sont désignés par le terme " ground ", ou " gnd ", ou " terre ", ou par le signe " - ". Couleur : noire, ou bleue.

1) Raccordement de la power bank au point d'alimentation principal " A "

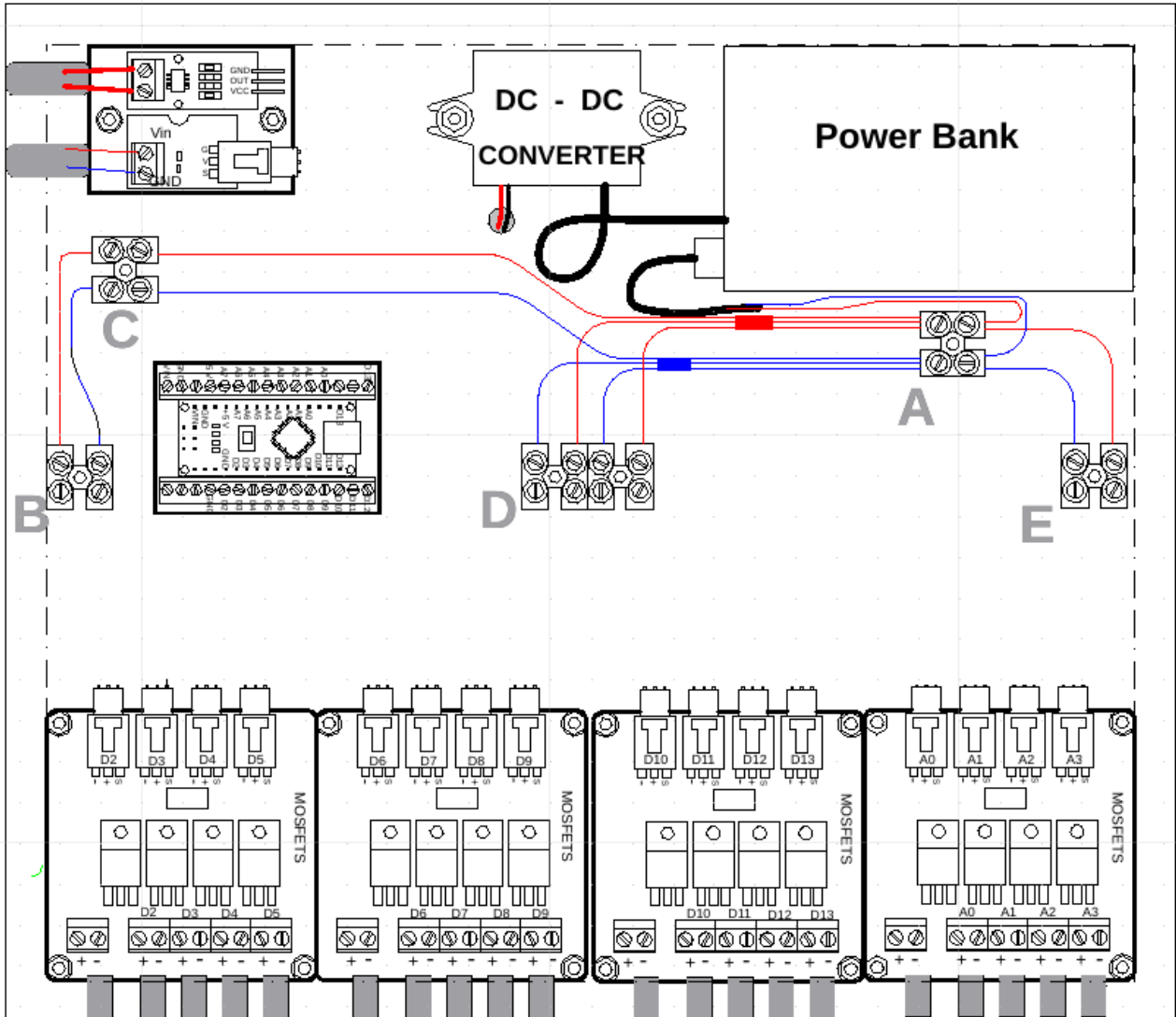
Sur un cordon d'alimentation USB de téléphone, couper une longueur avec la pris usb correspondant à la sortie de la power bank.

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 " A ". Protéger le tout avec de la gaine thermo-rétractable

2) raccordement du point d'alimentation principal " A " aux points d'alimentation secondaires B,C,D,E.

Utiliser du câble section 28 AWG, soit une section de 0,08mm² . Voir ici 5ème partie , Chap III. Pour regrouper les câbles correctement, on peut utiliser des petits manchons découpés dans de la gaine thermo-rétractable.



3) Raccordement des points d'alimentation secondaires aux composants électroniques de la platine

Hormis l'Arduino, tous les autres composants sont à raccorder avec des raccords femelle Dupont, dits aussi BBJ, ou autres...

Voir 4ème partie, Chapitre II.

Pour les néophytes : ne pas perdre son temps à sertir des raccords Dupont.

Une bonne solution (parmi d'autres) : approvisionner un ou plusieurs des kits de wires (= cables) femelle -femelle

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.

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

On peut faciliter le repérage des cables avec des manchons de couleur découpés dans de la gaine thermo-rétractable.

La question des boitiers noirs

Les composants électroniques sont usuellement raccordés par trois cables : deux pour l'alimentation électrique, et le troisième pour le signal.

On peut utiliser pour chaque composant trois boitiers " un contact "; mais pour une bonne tenue mécanique de la connexion, il est hautement préférable d'insérer les trois cables dans un seul boitier " trois contacts "

Le démontage – remontage des boitiers se fait sans difficulté en soulevant délicatement la petite languette noire avec la pointe d'un couteau. Le geste est facilité si, préalablement, on pousse délicatement le cable vers l'intérieur du boitier.

Approvisionnement : par exemple boitiers NSR-03 chez Gotronic.fr ref 49024

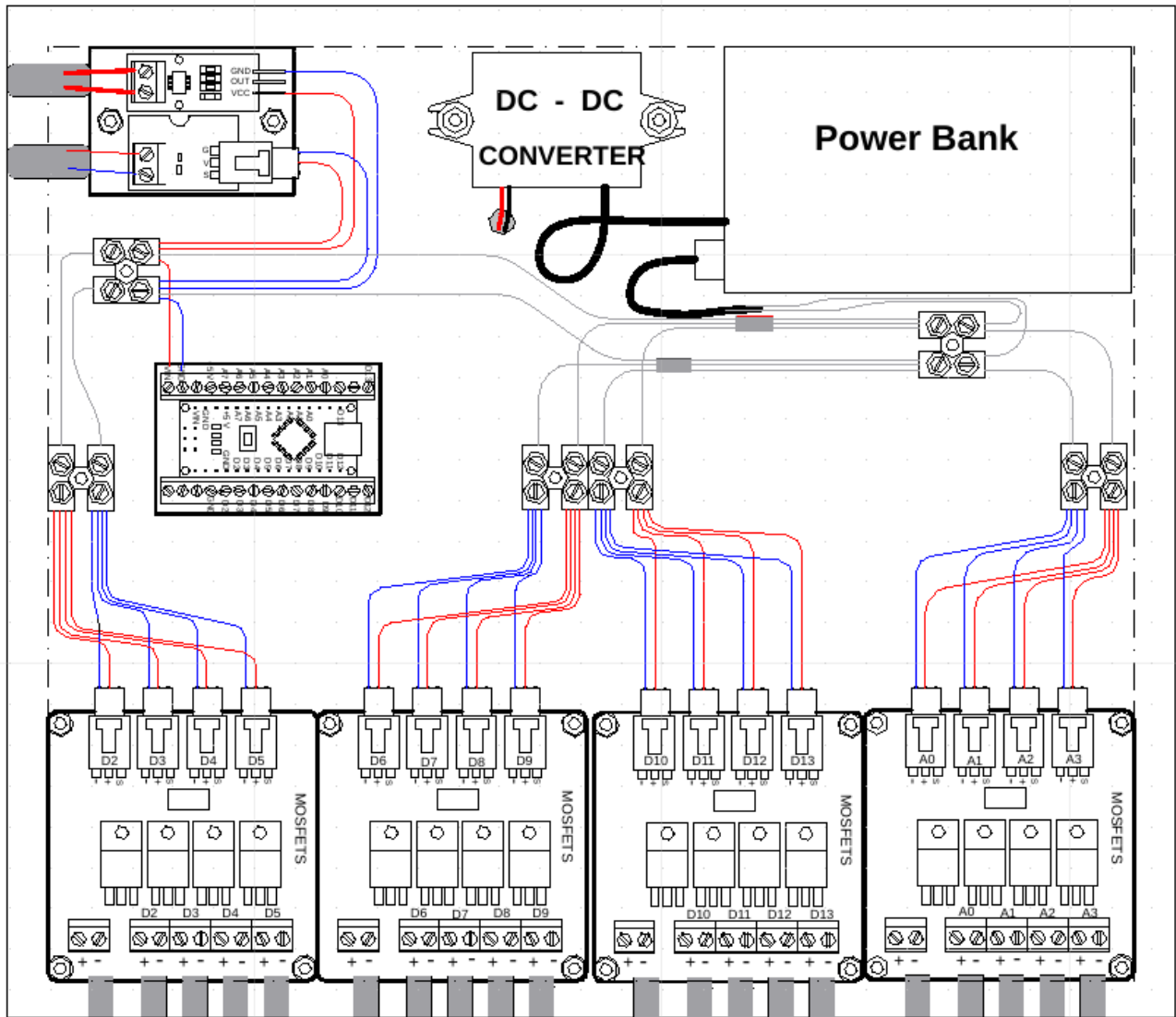
Pour faciliter le travail, coller sur la table de travail un double-décimètre afin d'évaluer facilement la longueur de chaque câble à mesure de l'avancement du travail.

Raccordement Arduino : sur Vin et sur GND

Raccordement du capteur d'intensité : sur Vcc et sur GND ; les dénominations peuvent varier selon les modèles.

Raccordement du capteur de tension : sur V et G

Raccordement des platines Mosfets : sur " + " et sur " - " ; souvent les inscriptions sont placées ... en face inférieure des platines.

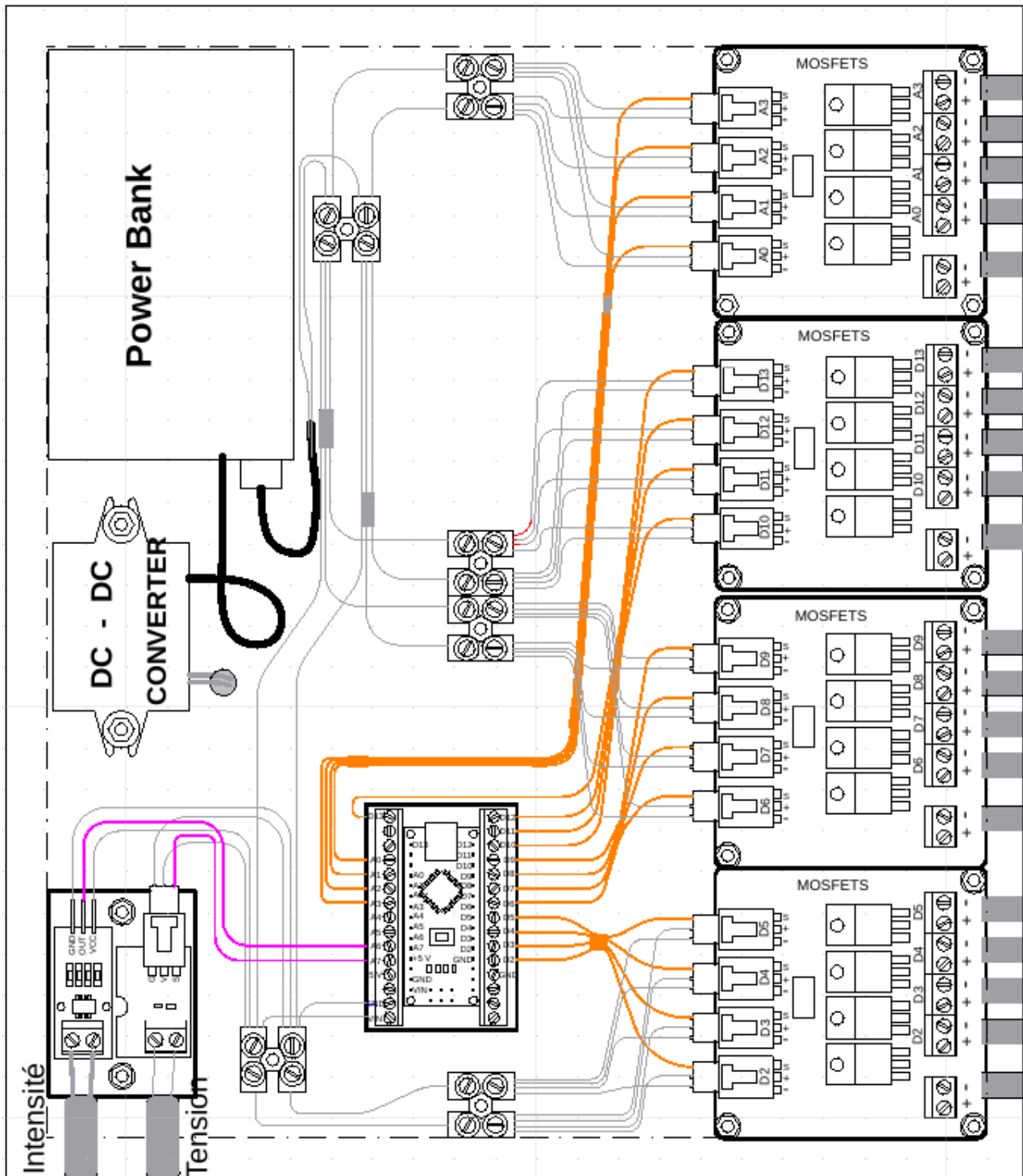


F- Câblage du circuit de données et de commande

Capteur d'intensité : de la broche "out " vers la broche A6 de l'arduino

Capteur de tension : de la broche " s " (= " signal ") vers la broche A7 de l'Arduino.

Les sorties de l'Arduino sont regroupées : D2 à D5, D6 à D9, D10 à D13, A0 à A3, vers les broches " s " des Mosfets.



G – Autres éléments de la platine

A voir avec l'électronicien confirmé :

- faut-il installer une diode en tête d'installation, afin d'éviter de confondre le + et le - ?
- dans le cas d'une tension importante, adapter le capteur d'intensité.
- Installation d'un interrupteur général ?
- Installation d'un Wattmètre identique à celui du cuiseur, avec un shunt ?
- Couplage de l'interrupteur général avec un thermostat de température maximum de l'eau chaude.

5 – AU SUJET DU PROGRAMME INFORMATIQUE

Pour effectuer ses premiers pas en programmation Arduino, il existe une abondante documentation, très pédagogique, par exemple :

http://arduino.education/wp-content/uploads/2018/08/Arduino_cours_sept2018.pdf

ou bien : locoduino.org

Pour notre propos immédiat, le lecteur voudra bien se reporter à cuisson-solaire-photovoltaïque.org 3ème partie, Chapitre IV.

Le programme à téléverser dans l'Arduino Nano ressortit d'une démarche du type « Perturbe et Observe » : à partir d'une situation donnée, le programme perturbe légèrement cette situation, et observe l'évolution qui en résulte. Si la perturbation a été bénéfique, alors le nouvel équilibre est conservé, sinon le programme tente une nouvelle perturbation en sens inverse de la précédente. L'objectif est d'optimiser en permanence l'utilisation de l'énergie solaire en mettant en œuvre le nombre adéquat de résistances céramiques

Le programme du cuiseur est à adapter pour le chauffe-eau en fonction du nombre de céramiques mises en œuvre ; plusieurs céramiques peuvent être groupées sur un seul Mosfet, sous réserve de respecter les indications de la datasheet.

Le programme du cuiseur prévoit un demi-niveau intermédiaire entre deux niveaux de puissance, afin d'avoir un meilleur suivi des variations de l'alimentation électrique ; c'est une petite complication qui se justifie dans le cas d'une installation de petite puissance (inférieure à 300 W) utilisant seulement une demi-douzaine de résistances, mais qui est totalement inutile dans le cas d'une installation de l'ordre du kW ou plus.

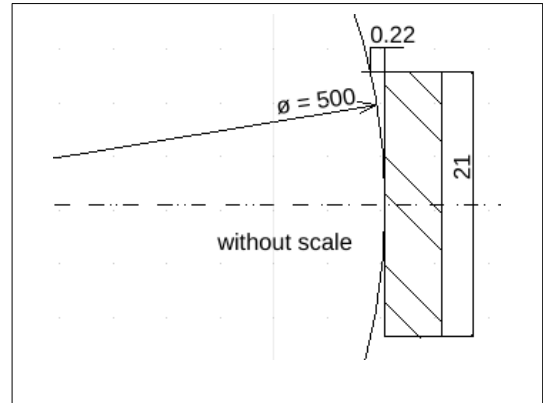
Le programme du cuiseur est téléchargeable [ici](#) , mais il est à adapter.

6 – AU SUJET DU CHAUFFE EAU INDIVIDUEL

On envisage ici le cas d'un chauffe-eau prototype réalisé à partir d'un chauffe eau électrique individuel existant que l'on dégarnit de son isolation thermique autant que besoin.

Les résistances céramiques peuvent être par exemple disposées en couronne autour du chauffe eau, cerclées d'abord par un sandow ou similaire, puis de manière plus définitive.

Pour adapter la résistance à la courbure de la cuve du chauffe eau, on peut par exemple interposer une feuille de plomb de 0,5 mm ou autre, (disponible sur internet). Former un gabarit en bois dur avec une lime, et saisir dans un étau le gabarit et la feuille de plomb pour la déformer sur une profondeur de 0,22 mm



A quel niveau du chauffe eau installer la couronne de résistances ? En haut ou en bas ? La question est à débattre, en fonction de divers paramètres, mais elle est hors de notre propos immédiat. Une bonne réponse est probablement : une à chaque niveau ; moyennant une légère complication, l'automatisme permet alors de passer de l'une à l'autre pour optimiser l'ensemble.

Autre solution envisageable : installer sous un chauffe eau un tube en U fonctionnant en thermosiphon.

Ce dispositif de production d'eau chaude atteint un degré de simplicité incompressible, du moins dans l'état actuel des techniques.

Les sceptiques ou incrédules peuvent tenter un " proof of concept " avec un fût de 60 litres ou de 200 litres, à raccorder à des panneaux solaires aimablement mis à disposition pour quelques jours (sans avoir à les déplacer bien sûr) . Ç'en deviendrait presque ludique.

Ludique ? Voir cette petite [video](#) : les transferts thermiques ne sont pas optimisés, l'installation électrique non plus, mais on ne peut qu'applaudir à ce qui semble bien être une première.

7 – AU SUJET DU CHAUFFAGE DE PISCINE

Sur un plan technique, le cas d'une piscine est plus simple que celui d'un chauffe-eau, en raison de la circulation permanente de l'eau. Les résistances céramiques sont à installer sur une petite longueur de tube métallique(ronde, ou carrée?) insérée dans le circuit. Lors du calcul thermique afin d'évaluer nombre de résistances, tenir compte du faible niveau de température de fonctionnement des céramiques (en comparaison avec celui d'un récipient de cuisson en cours d'ébullition), et donc de leur puissance thermique relativement peu élevée , voir le graphique et le tableau du § 2 ci dessus. C'est ensuite le micro-contrôleur qui se chargera d'optimiser en permanence le fonctionnement de l'installation, de façon à profiter au maximum du moindre rayon de soleil.

CHAUFFAGE DE PISCINE et CUISSON SOLAIRE : quel rapport ?

La petite équipe de cuisson-solaire-photovoltaïque.org regroupe (ou plus précisément : a regroupé) de façon informelle quelques personnes retraitées de l'industrie travaillant sans visée commerciale ou autre sur un dispositif de cuisson électro-solaire à l'intention principalement des pays émergents ou en développement, en substitution des énergies fossiles ou du bois de feu en raréfaction.

On constate que la diffusion du procédé a du mal à décoller, pour un ensemble de raisons dont l'analyse dépasserait le cadre de notre propos immédiat.

En proposant l'utilisation des résistances céramiques pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des piscines, il est possible que la dissémination de la technologie du chauffage céramique s'effectue plus rapidement, compte tenu des enjeux économiques et du contexte énergétique. Et par contre-coup cela favoriserait la diffusion du procédé pour la cuisson solaire. En l'occurrence, " tout ce qui est bon pour les piscines est bon pour la cuisson ".

8 – AUTRES APPLICATIONS

Le stockage d'eau chaude sanitaire favorise l'utilisation intelligente de l'énergie solaire, à partager entre l'auto-consommation et l'injection sur le réseau aux heures optimales. L'utilisation des résistances céramiques pour la production d'eau chaude contribue à diminuer le coût du parc de batteries, donc à favoriser l'auto-consommation.

L'utilisation des résistances céramiques est parfaitement adaptée au stockage intersaisonnier de chaleur, voir l'article éponyme sur [Wikipedia](#)

Mais tous ces sujets dépassent notre propos immédiat.

9 - PETITE CONSERVERIE ALIMENTAIRE ET PRODUCTION D'HUILES ESSENTIELLES : QUELQUES REFLEXIONS PRELIMINAIRES.

Il s'agit ici de quelques réflexions personnelles du rédacteur de ces lignes.
Il serait question d'une installation de l'ordre de 6 à 9 kW

A) Energie solaire thermique.

Par voie thermique, il est tout à fait possible techniquement d'alimenter en énergie une installation de 6 à 9 kW : le rédacteur de ces lignes a produit de la vapeur à 6 bars/150°, cuit des aliments, effectué de la stérilisation médicale et produit de la glace par un système à adsorption.

Mais la voie thermique est une filière compliquée technologiquement, et une petite installation comporte autant de complications qu'une grande installation : il n'y a pas d'effet d'échelle du nombre de complications, et dans une petite installation, la gestion des complications, dites " impedimenta " par les Romains, et baptisées plus crûment par un célèbre général d'Empire, deviennent rédhibitoire : alimentation de la chaudière, adaptation aux variations de l'ensoleillement, surveillance générale, nécessitent une personne à temps plein et sans aucune autre préoccupation. Il faudrait former spécifiquement une personne qualifiée dans un domaine technologique qui

appartient au passé et pour lequel il n'existe plus de culture. C'est complètement rédhibitoire pour une petite installation de 6 à 9 kW.

Il y a un effet d'échelle au niveau des pertes thermiques, qui sont proportionnellement d'autant plus importantes que la taille de l'installation diminue. Un rendement de 40 % par rapport au flux solaire serait un fort bon chiffre.

L'installation n'aurait pas d'autre usage que produire de la vapeur pour la stérilisation : sur combien d'heures de travail par an serait-il possible d'amortir financièrement l'installation ?

Enfin, il serait prudent de doubler l'installation solaire par une production de vapeur conventionnelle de secours, pour pallier aux aléas de la météorologie.

Quant au prix de l'installation, ce serait un prix de prototype.

B) Energie solaire photovoltaïque

Quelle que soit la puissance du champ de miroirs : 3, 6 ou 50 kW, il est nécessaire de l'amortir financièrement dans les meilleures conditions, c'est à dire de le faire fonctionner en permanence y compris en dehors des heures de stérilisation, en autoconsommation (entre autres pour produire d'eau chaude, dont les installations agro-alimentaires sont de grandes consommatrices), et/ou en optimisant la vente de courant sur le réseau.

Dans le cas d'une installation de stérilisation " verte ", il serait prudent de distinguer, ne serait-ce que conceptuellement, d'une part la production d'énergie (le champ de panneau solaires), et d'autre part la consommation d'énergie (l'installation de stérilisation). Et compte tenu des montants à investir, des durées d'amortissement différentes, des conditions de fonctionnement différentes, la production et la consommation d'énergie pourraient être deux entités juridiques et économiques différentes, voire financées par des sources différentes, tout en étant étroitement adossées l'une à l'autre par une forme de " contrat préférentiel ".

Dans le cas d'une installation de stérilisation alimentaire, il n'est pas question d'utiliser les résistances céramiques, en raison des exigences du dispositif de régulation du process, et de la nécessité de pouvoir recourir au réseau en cas d'insuffisance temporaire du champ de panneaux solaires. L'électricité photovoltaïque serait alors à utiliser " as usuel ".

Dans le cas d'une installation de production d'huiles essentielles, les conditions sont différentes ; avec l'aide d'un professionnel habile et en fonction de la configuration de la chaudière, il devrait être possible d'en faire une installation " bi-énergie " capable de fonctionner simultanément ou séparément d'une part avec le champ solaire en utilisant les résistances céramiques, et d'autre part avec l'électricité de réseau ou bien un brûleur à fioul.

Rédigé par Jean Boubour, membre de cuisson-solaire-photovoltaïque.org, qui regroupe de façon informelle quelques personnes retraitées de l'industrie à Brest en Bretagne (France) travaillant sans visée commerciale ou autre sur un dispositif de cuisson electro-solaire, et accessoirement de production d'eau chaude.

contact@cuisson-solaire-photovoltaïque.org