

Cuisson solaire photovoltaïque au fil du soleil sans batteries et sans stockage

Sommaire général de la documentation:

[Présentation générale du cuiseur solaire photovoltaïque](#)
[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](#)

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-

6ème Partie : ELEMENTS DE CONCEPTION

Page

2	Chapitre I Au sujet des panneaux photovoltaïques
2	Section I Quelques caractéristiques
3	Section II Tester les panneaux photo voltaïques
4	Section III Quelques spécificités des panneaux photovoltaïques
6	Chapitre II Les résistances Céramiques
6	Section I Les résistances céramique, présentation générale.
7	Section II Résistances et électricité, quelques rappels.
8	Section III Les résistances utilisées pour le cuiseur,et leur approvisionnement
9	Section IV Le choix des céramiques
9	Section V Caractéristiques de trois céramiques
13	Section VI Agencement des céramiques sous la plaque chauffante
	Chapitre III Cuisson et Thermique
14	Qu'est ce que la cuisson ?
14	Les pertes thermiques et la baignoire qui fuit
15	Cuisson et niveaux de température
16	La marmite Norvégienne
17	Montée en température et maintient en température-repère
17	Cuisson à l'eau et braisage

Chapitre I AU SUJET DES PANNEAUX SOLAIRES

Le [guideEnR Photovoltaïque](#) est une source majeure d'information
On ne fournit ici que quelques rappels utiles pour notre usage.

Section I - QUELQUES CARACTERISTIQUES PRINCIPALES

On peut distinguer deux groupes de caractéristiques, qui ont tous deux leur intérêt : les caractéristiques STC Standard Test Condition, relevées sous un ensoleillement de 1000 W au m², qui est en pratique l'ensoleillement maximum possible, et les caractéristiques NOCT Normal Operating Cell Temperature, relevées entre autres sous un ensoleillement de 800 W au m², donc plus proches des conditions de terrain.

Par "un bon ensoleillement", la réalité se situera entre les deux.

Les caractéristiques STC sont plus flatteuses que les caractéristiques NOCT ; sur les documentations commerciales, les revendeurs mettent en avant les caractéristiques STC.

On fournit ici, à titre indicatif, des valeurs relatives à un panneau de 1,65 * 0,99 m, de qualité moyenne, qui fait figure de panneau-repère pour notre propos de cuiseur solaire

Caractéristiques STC, sous 1000 W, pour notre panneau-repère:

puissance nominale, au point de puissance maximale $P_{mpp} = 280 \text{ W}$

La tension en circuit ouvert : Lorsque le panneau est exposé au soleil mais que l'on ne prélève pas d'énergie, on peut mesurer une tension entre les deux bornes du panneau, dite tension de circuit ouvert U_{co}

$$U_{co} = 39,9 \text{ V}$$

Remarque que, même par temps très nuageux, il existe une tension en circuit ouvert, de l'ordre de 34 V, - mais il n'y a aucune intensité, donc aucune puissance

Le courant de court circuit : en branchant cette fois un ampèremètre (de calibre convenable!) entre les deux bornes du panneau, on crée un court-circuit, et l'ampèremètre mesure l'intensité du courant qui le traverse :

$$I_{cc} = 9,35 \text{ A}$$

La tension au Point de Puissance Maximale, lorsque l'on prélève de l'énergie :

$$U_{mpp} = 31,1 \text{ V}$$

Le courant au Point de Puissance Maximale

$$I_{mpp} = 9 \text{ A}$$

Si l'on souhaite des chiffres arrondis (à la hausse), faciles à mémoriser, résumant les caractéristiques de notre panneau-repère telles que présentées par les revendeurs, on peut retenir :

300 W / 10 Ampères / 30 Volt;

Caractéristiques NOCT, sous 800 W, pour notre panneau-repère :

Puissance nominale $P_{mpp} = 207 \text{ W}$

Tension en circuit ouvert $U_{co} = 36,4 \text{ V}$

<i>Courant de court circuit</i>	$I_{cc} = 7,57A$
<i>Tension au Point de Puissance Maximale</i>	$U_{mpp} = 28,4$
<i>Courant au Point de Puissance Maximale</i>	$I_{mpp} = 7,29 A$

Les caractéristiques électriques d'un panneau photo-voltaïque sont bien définies par le réseau de courbes Intensité/Tensions, voir le [GuideEnR](#) sur ce point.

Les revendeurs de panneaux rechignent à fournir ces courbes, celles qui sont publiées sont très souvent fausses (ce sont parfois les mêmes courbes pour tous les panneaux d'un même revendeur...) Il doit être possible cependant de se les procurer, cf par exemple le [Cahier N° 9](#) de chez Chauvin Arnoux, ou la documentation sur l'analyseur photovoltaïque [FTV 200](#), (page 139) qui contient dans sa bibliothèque les caractéristiques de milliers de panneaux photovoltaïques.

Section II - TESTER LES PANNEAUX PHOTO VOLTAIQUES

Un banc-test minimaliste pour caractériser les panneaux solaires comprend :

- un appareil de mesure de l'ensoleillement
- un Voltmètre/Ampèremètre/Wattmètre, tel que celui proposé pour les panneaux de contrôle du cuisEUR
- un rhéostat de puissance
- un Ohmmètre
- un interrupteur à bascule "2 pôles 3 positions" tel que celui proposé pour les panneaux de contrôle du cuisEUR.

Le test consiste à

- faire débiter le panneau sur le rhéostat, et déplacer le curseur du rhéostat jusqu'à maximiser la puissance débitée par le panneau (lecture sur le Wattmètre)
- au point maximum de puissance, relever l'ensoleillement, la puissance, la tension et l'intensité,
- basculer immédiatement le rhéostat sur l'Ohmmètre à l'aide de l'interrupteur à bascule, et relever la Résistance affichée par l'Ohmmètre.

Compte tenu de la rapidité des opérations, il est indispensable de travailler sous enregistrement vidéo.

La mesure de la résistance n'est pas indispensable, elle peut s'obtenir par simple calcul de la loi d'Ohm, mais elle fournit une confirmation des autres mesures.

Toutefois, dans le cadre de la présente documentation, seul le panneau-repère mentionné ci dessus, aux caractéristiques usuellement disponibles sur le marché, a été utilisé. De fait, ce n'est pas seulement via les courbes I/U qu'a été établi le couplage entre le panneau et les céramiques, mais plutôt en fonction des puissances en jeu. De plus, le concept synthétique de puissance est plus aisé à manier que les concepts de tension/ courant/ résistance. Lorsqu'il sera question de tester les résistances chauffantes du cuisEUR (qui jouent vis à vis du panneau Photovoltaïque le même rôle que les rhéostat de puissance du banc-test), c'est également la puissance qui sera mise en exergue.

Cuisson-solaire -photovoltaïque.org dispose de rhéostats de puissance qui peuvent être mis à disposition.

Section III - QUELQUES SPECIFICITES DES PANNEAUX PHOTO-VOLTAÏQUES

la production d'un panneau photovoltaïque dépend de l'ensoleillement ET de la charge qu'on lui applique ;

Lorsque l'on est habitué à l'utilisation de l'électricité en réseau, il est sous entendu que le réseau s'adapte à la charge qu'on lui impose. Dans le cas de l'électricité photovoltaïque, la production du panneau varie selon que la charge est plus ou moins bien adaptée à ses capacités du moment. C'est la régulation du cuiseur, manuelle ou automatique, qui est chargée de réaliser cette adéquation, en mettant en œuvre le nombre de céramiques permettant, à un moment donné, d'optimiser la production du panneau.

Voir le GuideEnR pour des renseignements complets sur la question.

Durée de vie des panneaux

Les garanties sont de 10 et 25 ans pour les panneaux (voir plus de détails dans le guideEnR).

Cette durée de vie, à priori élevée, s'explique : les panneaux sont utilisés pour des centrales photovoltaïques, construites sur la base d'emprunts bancaires. Il est donc hautement souhaitable que la durée de vie des panneaux soit supérieure à la durée des emprunts... La qualité des panneaux peut donc être vue comme une exigence des banques (merci!)

Rendement des panneaux

Pour ce qui est de notre propos, c'est un aspect complètement mineur : peu importe à quelques pour cent près le rendement énergie/ensoleillement, ce qui compte avant tout ici, c'est le prix du panneau. Mais bien sûr c'est grâce aux progrès constants de la recherche et de l'industrie que désormais les panneaux photovoltaïque sont abordables pour effectuer de la cuisson solaire.

Tenue mécanique des panneaux

Les panneaux sont entourés par un profilé métallique, qui est suffisant pour assurer sa tenue pendant le transport, pour quelques petites manutention effectuées avec soin, et pour le déposer ensuite sur un support. Mais le panneau, recouvert d'une plaque de verre, ne supporte pas d'être voilé (c'est à dire : ne pas être parfaitement plan).

Un panneau ne doit jamais être fixé directement à partir de son cadre, il doit reposer sur un support sur toute la longueur des ses quatre côtés. Le support de plus ne doit jamais être voilé : il doit donc être résistant, et si c'est un support orientable, il doit ne reposer que sur trois points,(par exemple : sur un axe, et sur une béquille pour assurer l'inclinaison) afin de toujours définir un plan.

Trois points d'appui, ou bien une ligne (par exemple : un axe de basculement) et un point (par exemple : une béquille de réglage) définissent toujours un plan.

Quatre points, ou bien une ligne et deux béquilles de réglage, ne définissent *jamais* un plan parfait : la plaque de verre de protection du panneau, dont la souplesse est limitée, fendra inévitablement selon une diagonale.

Panneau orientable ou panneau fixe ?

Il est évident qu'un panneau ré-orienté 4 ou 5 fois par jour produit beaucoup plus d'énergie qu'un panneau fixe. Pourtant on constate maintenant que dans la quasi-totalité des grands installations photo-voltaïques les panneaux sont fixes, très probablement à cause de la baisse du coût des panneaux, au regard du coût des dispositifs de poursuite du soleil.

Dans le cas du cuiseur, s'il est possible de suivre le soleil par exemple avec quelques manipulations effectuées manuellement au cours de la journée, il ne faut surtout pas s'en priver. Tout est affaire de circonstances. Outre l'augmentation de production, le suivi du soleil laisse à l'utilisateur beaucoup plus de liberté pour définir ses plages horaires de travail.

Si les panneaux sont fixes, il est préférable de prévoir le pic de production en début ou milieu de journée pour les mises en chauffe (qui sont les plus gourmandes en énergie), et d'effectuer les maintiens en ébullition quand le soleil commence à décliner.

La notion d'énergie renouvelable et la notion d'adaptation aux circonstances sont indissolublement liées : on s'en rend compte même avant de décider où et comment installer les panneaux photo-voltaïques.

Le cuiseur est un investissement, pas une dépense de luxe

Il doit donc être utilisé tous les jours, pendant toute la journée ; même si la couverture nuageuse ne permet pas d'effectuer des cuissons ou des pré-cuissons alimentaires ou autres, elle permet quand même de recharger les téléphones portables, ou une petite batterie pour s'éclairer le soir.

Quant au prix des panneaux photovoltaïques, on en trouve désormais tels que celui décrit ci dessus, pour 100 Euros (fin 2019). Ce prix est à mettre au regard du coût des bouteilles de gaz à acheter pendant 10 ans pour effectuer le même travail : à chacun de faire ses calculs, c'est là aussi affaire de circonstances – et d'anticipation.

Chapitre II LES RESISTANCES CERAMIQUES

SECTION I LES RESISTANCES CERAMIQUES : PRESENTATION GENERALE

L'utilisation de résistances en céramiques, et les conséquences qui en découlent, sont la principale spécificité du cuiseur électro-solaire proposé ici.

Les éléments chauffants du cuiseur ne sont pas des résistances classiques (comme celles d'un grille pain ou d'un fer à repasser), ni des dispositifs du type vitro-céramiques ou par induction, mais des résistances en céramiques.

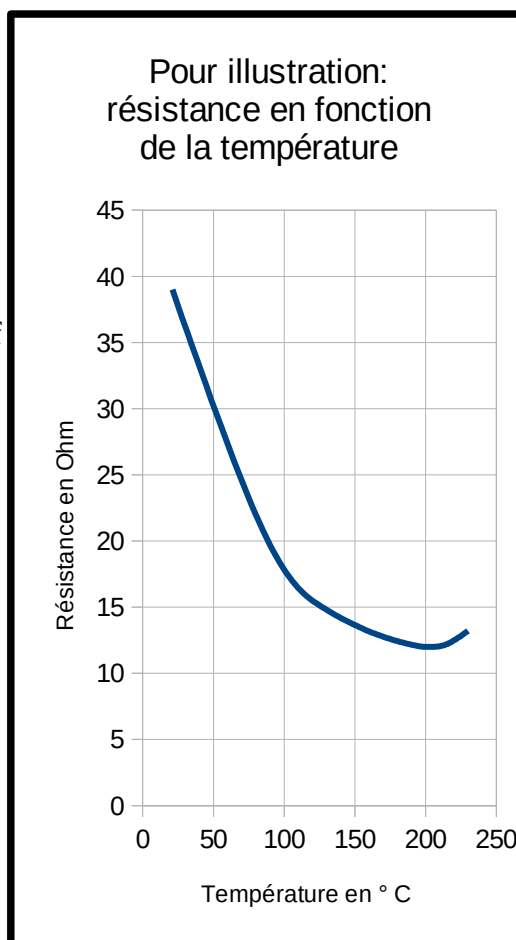
Les résistances céramiques sont des composants dont la résistance électrique varie de façon importante en fonction de leur température ; la société TDK / EPCOS, filiale de Siemens et Matsuhita, spécialisée dans la fabrication de composants électroniques passifs, publie une documentation très fournie sur les [céramiques PTC](#) et sur les [céramiques NTC](#).

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"

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.





chauffage soufflant céramiques

Un exemple parmi d'autres : les petits "radiateurs céramiques d'appoint" disponibles dans tous les rayons chauffage/électro ménager des grandes surfaces. Ces radiateurs sont tous équipés d'un ventilateur, qui permet d'extraire l'énergie thermique produite par la céramique ; sans ce ventilateur, la température de la céramique augmente, sa résistance électrique aussi, la température haute stagne mais il n'y a quasiment plus de production de chaleur... C'est exactement ce phénomène qui est utilisé dans le cuiseur : il est indispensable d'extraire en permanence l'énergie thermique produite par les céramiques, par exemple en chauffant le contenu du récipient de cuisson, mais la température ne peut dépasser un certain seuil. Ce seuil étant inférieur au seuil d'ignition du coton, il est donc possible d'isoler le récipient de cuisson et de limiter les pertes, qui sont

la plaie de toutes les installations thermiques (d'autant plus qu'il s'agit d'installations de petite taille, soumises à l'impitoyable effet d'échelle).

SECTION II - RESISTANCES ET ELECTRICITE / QUELQUES RAPPELS

Au sujet des résistances : "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](#))

Dans un circuit électrique, c'est le générateur qui applique (dans la limite de ses capacités) une Tension aux bornes du dipôle receveur, et c'est ce dipôle receveur qui impose l'Intensité (en fonction de sa propre résistance), sous réserve que la tension qui lui est appliquée n'excède pas ses capacités.

Il faut ici rappeler deux catégories de pensée bien ancrées dans les raisonnements usuels :

- en électricité classique, la Résistance est une constante, ou du moins considérée comme telle, et c'est (quasiment) vrai pour la plupart des résistances usuelles : fils résistifs , résistances bobinées, etc...
- dans la vie courante, la Tension est une constante : les 230 Volt disponibles à une prise électrique sont une constante, à 10 ou 12 Volt près, mais on n'imagine pas qu'elle puisse descendre à 140 ou 60 Volt.

Pour ce qui concerne le cuiseur dont il est question ici, ces deux catégories de pensée sont impérativement à laisser de côté. Il est bien sûr tout à fait possible techniquement de se placer dans une situation "classique" d'utilisation de l'énergie électrique avec un ensemble panneaux solaires / régulateur MPPT / Stockage en batteries / onduleur, mais financièrement, pour de la cuisson telle qu'on l'entend ici, c'est une solution complètement rédhitoire.

Heureusement, avec un minimum de régulation manuelle ou automatique, l'énergie solaire (éminemment variable) et les résistances céramiques (éminemment variables elles aussi) sont capables de faire bon ménage. La régulation, manuelle ou automatique, est chargée d'optimiser la collaboration entre l'une et les autres

Au sujet de la souplesse de fonctionnement des résistances céramiques, la société TDK / EPCOS, dans un document "[PTC thermistors as heating elements](#)" concernant des céramiques "12 Volt", indique les valeurs suivantes

$V_R = \text{Rated Voltage} = 12 \text{ V}$

$V_{\text{max}} = \text{Max operating Voltage} 24 \text{ V}$

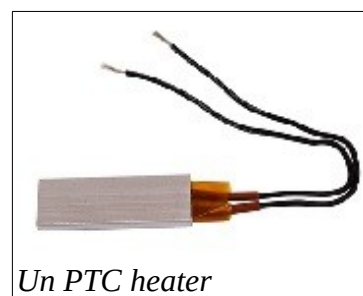
$V_{\text{BD}} = \text{Breakdown Voltage} > 40 \text{ V}$

On est bien loin des plages étroites de fonctionnement des résistances nickel-chrome classiques, qui brûlent en cas de surtension.

SECTION III LES CERAMIQUES UTILISEES POUR LE CUISEUR ET LEUR APPROVISIONNEMENT.

- une plaque de céramique prise en sandwich entre
- deux tôles minces d'aluminium, auxquelles sont soudés les fils.
- une feuille enveloppante, en silicone, pour assurer l'isolation
- le tout inséré dans un tube rectangulaire en aluminium

Les seules sources d'approvisionnement (fin 2019) sont les grandes plate-formes de vente en ligne en Asie, qui diffusent des "PTC heaters"



Un PTC heater

Ils sont destinés à des usages tels que des chauffe biberons, chauffage de couveuses pour poussins, lisseurs électriques pour cheveux, pistolets à colle, vaporisateurs de parfums... etc, avec une tension de fonctionnement indiquée de 12 à 220 Volt

Sur un site de vente en ligne, par exemple Aliexpress, la requête "PTC heaters" fait apparaître une galerie de plusieurs dizaines de pages. Repérer les vignettes similaires à celle ci contre, cliquer sur le nom du vendeur (en bas de la vignette), et ne retenir que ceux qui proposent un grand choix de "PTC heaters"; au final, il ne reste plus en lice qu'une petite poignée de boutiques en ligne Par exemple : Tony Tang's store, ou bien GD Store, ou LJXH Electric Specialist Store ou bien MENGSHAX tools&heater store

A l'intérieur de ces boutiques, sur la requête "PTC heaters", plusieurs centaines de références sont disponibles.

Autre source d'approvisionnement : Y Yidu electronics Co LTD. Sur cette requête dans un moteur généraliste, on aboutit sur <https://yidu-sh.en.alibaba.com> puis rechercher "PTC Heater with Aluminium"

Ou bien : <http://hn-yongli.com> ou hn-yongli.en.alibaba.com

Le talon d'Achille de ces résistances est la soudure non visible entre les fils et les plaques alu au dessus et en dessous de la céramique. Il ne faut donc pas les tenir inutilement suspendues par les deux fils.

Une bonne précaution : mesurer la résistance des céramiques avec un ohmmètre avant assemblage, à comparer pour vérification avec des mesures identiques après d'assemblage de la plaque chauffante. Noter que la résistance varie selon la température, surtout à basse température : il suffit de tenir quelque temps la céramique dans la main pour que la résistance varie ; néanmoins, il reste intéressant d'effectuer les mesures avant et après assemblage.

SECTION IV LE CHOIX DES CERAMIQUES

La seule informations dont on dispose concernant les céramiques est une tension d'utilisation, or on vient de voir ci dessus que " une résistance ne fonctionne pas sous une Tension nominale ; elle ne peut donc pas avoir de puissance nominale"

C'est très insuffisant pour configurer un cuiseur.

La seule solution consiste à tester les céramiques sur un banc de test permettant de mesurer l'évolution de la résistance en fonction de sa température. La quasi-totalité des céramiques disponibles sur le marché a été testée.

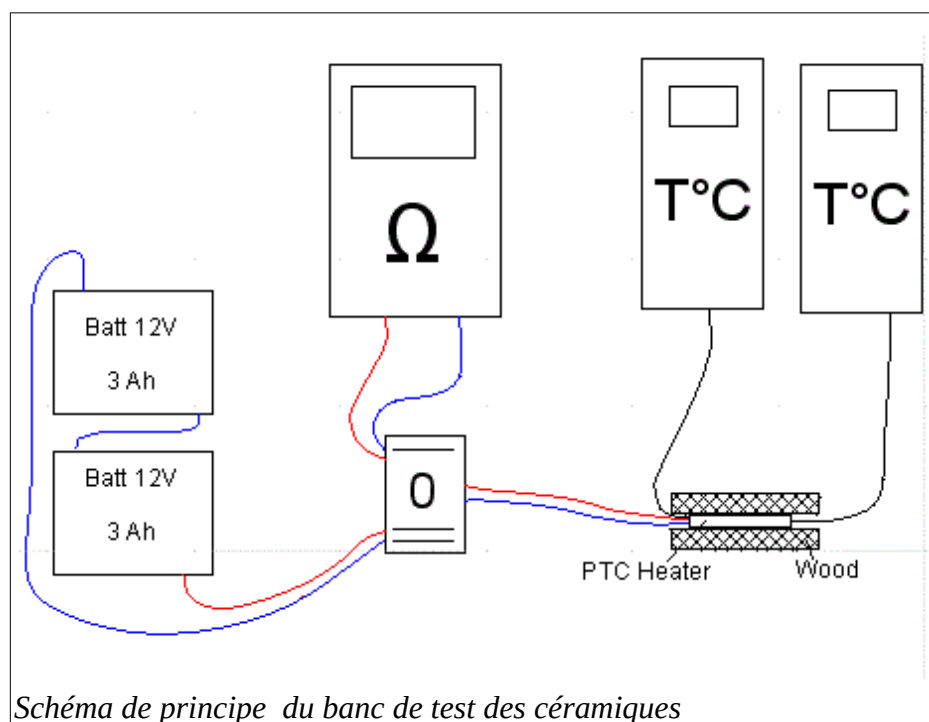
En outre, un problème majeur provient de l'absence d'identification des céramiques ; on peut supposer que c'est la composition de la céramique qui détermine la tension de fonctionnement, et que c'est la surface de la plaque céramique qui détermine la puissance, mais aucune indication ne figure sur les coques alu. Seule une indication manuscrite de la tension ... sur le sachet d'emballage permet de repérer telle ou telle sorte de céramique : c'est la porte ouverte à toutes les erreurs.

De plus, depuis mi-2019 environ, les vendeurs ne spécifient plus la puissance des céramiques ; vu que la puissance varie avec la température, ces indications de puissance , qui ne faisaient pas état de la température correspondante, ne pouvaient être fiables ; mais elles permettaient plus ou moins de classer les céramiques les unes par rapport aux autres.

Le banc de test est donc à utiliser en avant conception du cuiseur, pour effectuer des choix, et après réception de la marchandise, pour contrôles par sondages.

Schéma de principe du banc de test:

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.



SECTION V CARACTERISTIQUES DE TROIS CERAMIQUES

Pour ne pas surcharger la documentation, on n'en présente ici que trois qui semblent les plus intéressantes, et pour chacune d'elles on ne présente qu'une céramique représentative de chaque lot, avec le relevé des mesures et le graphique correspondant .

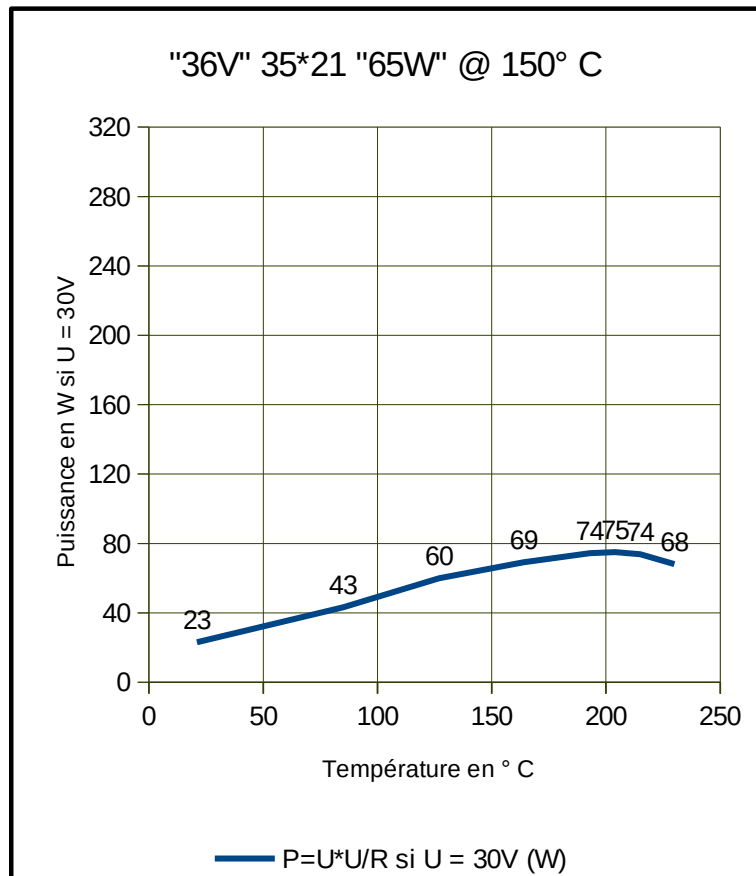
Les céramiques dites 12 V et 24 V ne conviennent pas, ni celles dites 110 ou 220 V.

A ce jour (2019), la céramique "36V / 35*21mm" ci dessous semble la mieux adaptée à notre propos,

Les céramiques "36V 60*21 mm" et "48V /35*21mm "conviennent aussi.

36 V 35x21 mm

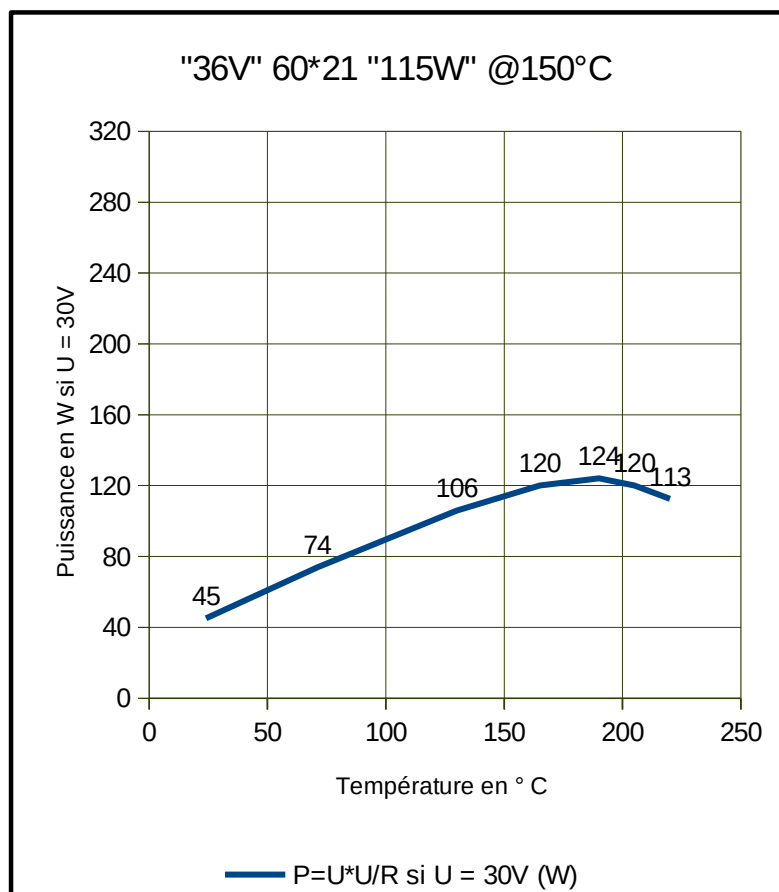
"36V" 35*21 "65W" @150°		
Température (° C)	Résistance (Ω)	P=U*U/R si U = 30V (W)
21	39	23
85	20,8	43
127	15	60
164	13	69
193	12,1	74
204	12	75
215	12,2	74
230	13,2	68



On considère que la température de travail de la plaque chauffante est de l'ordre de 150°. Cette valeur a été retenue suite à d'autres travaux de cuisson solaire ; elle varie selon la température du récipient de cuisson (mise en chauffe ou maintient en température), et elle est à confirmer. En prenant en compte cette température de 150°, on relève alors graphiquement que la puissance correspondante de la céramique est de 65 W. *La puissance annoncée est une puissance calculée* en fonction de l'estimation de la tension délivrée par le capteur solaire en régime de croisière; c'est pourquoi elle est précautionneusement indiquée entre guillemets.

36 V 60x21 mm

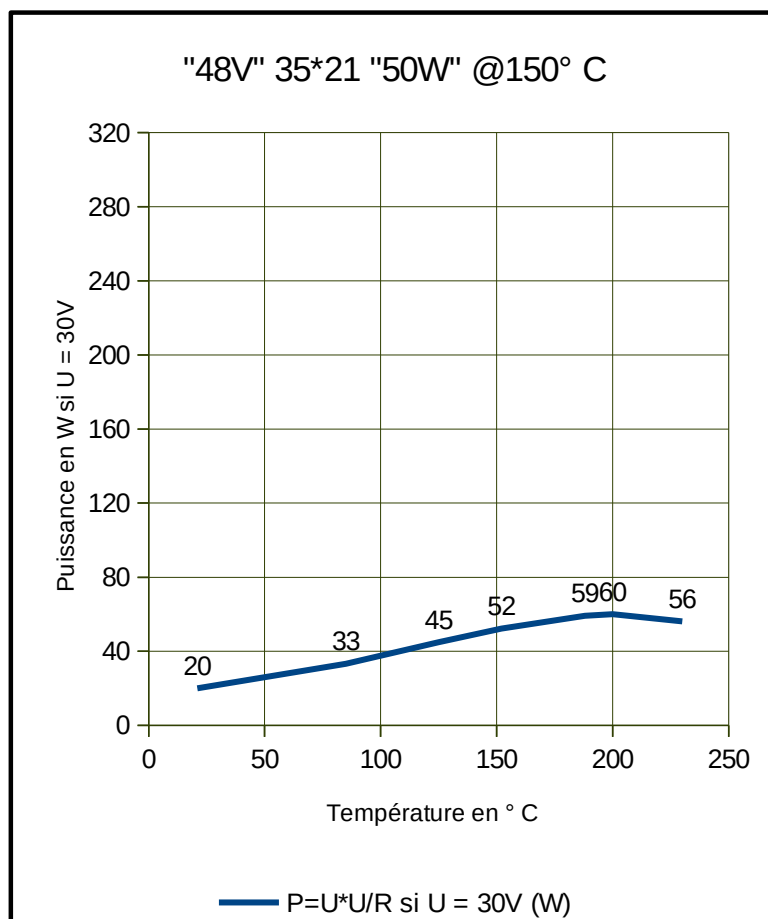
"36V" 60*21 "115W" @150° C		
Température (° C)	Résistance (Ω)	P=U*U/R si U = 30V (W)
24	20	45
71	12,2	74
130	8,5	106
165	7,5	120
190	7,25	124
205	7,5	120
220	8	113



L'important est de repérer les limites de fonctionnement, à l'intérieur desquelles la régulation manuelle ou automatique pourra pleinement jouer son rôle

48 V 35x21 mm

"48V" 35*21 "50W" @150°C		
Température (° C)	Résistance (Ω)	P=U*U/R si U = 30V (W)
21	45	20
85	27	33
125	20	45
152	17,2	52
188	15,2	59
200	15	60
230	16	56



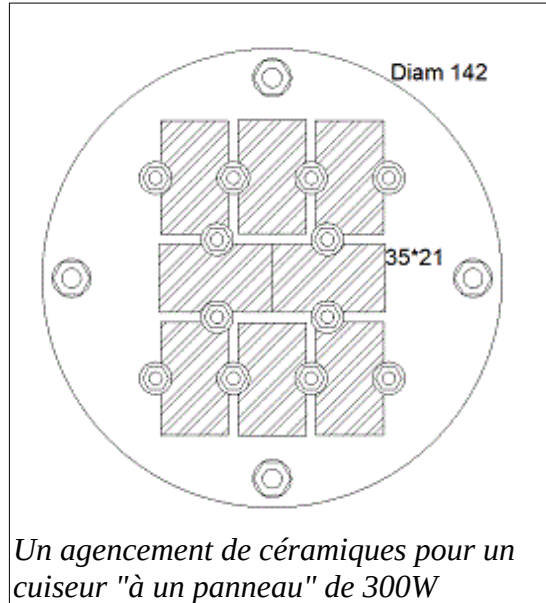
f

SECTION VI AGENCEMENT DES CERAMIQUES SOUS LA PLAQUE CHAUFFANTE

Pour le cuiseur "Un panneau", 300 W Max, 40 V Max, 10A Max, on a retenu la configuration suivante :

Céramiques "36V" 35*21 mm
"65 W" @ 150° C

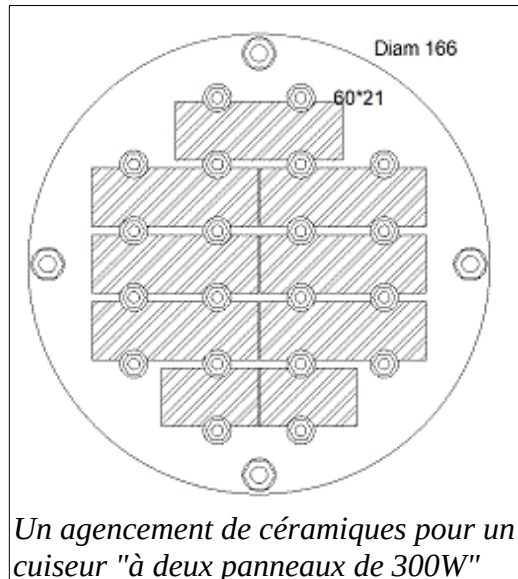
Les cablages sont différents dans le cas du cuiseur manuel et du cuiseur automatique; ils sont précisés dans la documentation dans les documents de construction



Pour un cuiseur "à deux panneaux"

Cette configuration n'a pas été réalisée

Céramiques "36V" 60*21 mm
"115 W" @ 150° C



Chapitre III CUISSON ET THERMIQUE

QU'EST CE QUE LA CUISSON ?

Parmi les différentes définitions de la cuisson, on peut retenir ici pour ce qui nous concerne que la cuisson est le fait de maintenir les aliments à une certaine température de façon à les rendre plus facilement assimilables.

Elle brise les molécules d'amidon en fragments plus digestes,

Elle "dénature" les molécules de protéines de façon à briser leurs chaînes d'acides aminés, et les enzymes digestives peuvent les attaquer plus facilement.

Et la chaleur ramollit physiquement les aliments.

Cela les rend plus faciles à digérer, et même si le contenu n'est pas plus calorique, le corps a besoin de moins de calories pour les assimiler.

elle "dénature" les molécules de protéines de façon à briser leurs chaînes d'acides aminés, et les enzymes digestives. Telle est la thèse du Dr Wrangham, exposée dans son ouvrage publié en 2009 "[Catching Fire: How Cooking Made Us Human](#)", et qui a fait l'objet d'un article dans The Economist (<http://www.economist.com/node/13139619>).

" la cuisson et d'autres formes de préparation des aliments sont décisifs pour l'humanité: c'est l'élément fondamental de l'évolution qui soutend toutes les autres qui ont fait de l'humanité des animaux à part."

Niveau de température et durée de la cuisson

Toutes choses égales par ailleurs, le bon achèvement de la cuisson dépend du niveau de température et de la durée. Ainsi le temps de cuisson de pommes de terre dans l'eau à 100° C est plus long que dans l'huile à 170° ; ou bien : le temps de cuisson du jambon pendant une nuit à 60° est plus long que pour un steak sur barbecue.

LES PERTES THERMIQUES ET LA BAIGNOIRE QUI FUIT

Au siècle dernier, lors des épreuves de feu le Certificat d'Etudes, les problèmes de robinets et de baignoire qui fuit étaient courants, du genre : on souhaite remplir une baignoire de 120 litres avec un robinet qui débite 10 litres à la minute ; mais la baignoire a une fuite de 2 litres par minute ; combien de temps faudra-t-il pour remplir la baignoire ?

Il est évident que plus la fuite est importante, plus il faudra de temps pour remplir la baignoire ; plus le temps de remplissage est long, plus la quantité d'eau gaspillée sera importante. Si l'on ne s'intéresse qu'au temps de remplissage de la baignoire, et que la fuite est importante, "il n'y a qu'à" ouvrir plus fort le robinet ; si on s'intéresse à la consommation globale en eau, on veillera plutôt à diminuer la fuite.

Pour la cuisson, en remplaçant l'eau de la baignoire par l'énergie thermique, il en est strictement de même ; il y a *toujours* des pertes thermiques. Si elles sont importantes, par exemple si l'on fait bouillir une casserole d'eau sans mettre de couvercle, il faudra un temps plus long pour arriver à la température d'ébullition, et la quantité totale d'énergie thermique nécessaire sera très importante, une grande partie étant gaspillée en pure perte. Si le récipient de cuisson est isolé, les pertes sont nettement réduites.

Sur un plan thermique, on peut considérer que la cuisson est une guerre perdue d'avance, puisque tout (récipient, contenu...) finira par retrouver le niveau de température ambiante, mais c'est une guerre dont il faut gagner chaque bataille, puisqu'il faut parvenir au niveau de température souhaité pour cuire l'aliment.

CUISSON ET NIVEAUX DE TEMPERATURE

En première approche, on peut distinguer trois niveaux de température :

- la cuisson à l'eau à 100° C,
- la cuisson à bain d'huile, à 170°C
- la grillade, à une température plus élevée.

Du fait de la technologie des résistances céramiques, les deux derniers modes de cuisson ne sont pas accessibles au cuiseur présenté ici ;

On ne s'intéressera pas non plus aux cuissons à basse température, pour ne retenir que la cuisson à 100°.

Le chiffre-repère de 100° C est fourni par la physique ; lorsque la température de l'eau atteint 100° C, et si l'on continue à lui fournir de l'énergie thermique, alors l'eau se transforme en vapeur qui s'échappe dans l'environnement, mais sa température ne dépassera pas 100° C même si elle bout à gros bouillons.

Une fois que l'eau a atteint son point de vaporisation, il est donc inutile de continuer à la chauffer : l'apport d'énergie doit seulement compenser les pertes (bien sûr, si la baignoire fuit beaucoup...).

Le chiffre-repère de 100° est valable aussi bien pour les cuissons à bain d'eau (pommes de terre ou autres) que pour les braisages, que l'on définit ici comme une cuisson sans apport de liquide, les aliments cuisant dans l'eau qu'ils contiennent. Cuisson à bain d'eau ou braisage, du point de vue de la physique il n'y a pas de différence.

Toutefois le chiffre-repère de 100° C est à moduler. La vaporisation de l'eau à 100° est valable lorsque l'eau est à pression atmosphérique, laquelle est d'environ 1 bar (1013 millibar) au niveau de la mer, soit environ 1 kg par cm². C'est le poids de la colonne d'air qui est au dessus de nos têtes - la physique nous apprend que si l'eau est soumise à une pression plus élevée, par exemple si elle est enfermée dans une enceinte telle qu'un auto-cuiseur, alors elle ne se transforme en vapeur qu'à une température plus élevée. Ainsi sur les auto-cuiseurs usuels, la pression est réglée par la soupape à 0,5 bar au dessus de la pression atmosphérique, correspondant à une température de 110° C ; sur les auto-cuiseurs Lagostina, la pression est réglée à 1 bar, d'où une température de 120° C. Qui dit température plus élevée dit cuisson plus rapide, comme évoqué plus haut. Et les modes d'emploi précisent bien de diminuer la chauffe pour ne conserver qu'un "chuchotement" de la soupape : il est inutile de la faire siffler.

- la physique nous apprend aussi que si l'eau est soumise à une pression moins élevée que 1 bar, elle se vaporise à une température moins élevée. C'est ce qui se passe quand on monte en altitude :

Altitude en mètres	Pression en bar (environ)	Température de vaporisation en° C
0	1	100
1 000	0,9	96
2 000	0,8	93
3 000	0,7	90
4 000	0,62	86

colonne d'air est moins haute, la pression plus faible, et l'eau ne dépassera jamais une certaine température.

La pression atmosphérique varie aussi en fonction de la météorologie, mais ces petites variations sont complètement hors de notre propos.

A l'altitude de 2000 mètres, la température de cuisson à l'eau ne dépassera jamais 90° C ; et pourtant il est possible d'y faire de la cuisson alimentaire, sous réserve d'allonger les temps de cuisson.

LA MARMITE NORVEGIENNE

Toutes ces notions d'isolation, de température et de temps de cuisson nous amènent bien sûr vers la marmite norvégienne, présentée ainsi par Wikipedia :

"On appelle marmite norvégienne (ou cuisinière sans feu, cuisinière à isolation, wonder oven ou appareil d'auto-cuisson) un procédé de fin de [cuisson](#) des [aliments](#) consistant à les placer dans un récipient lui-même contenu dans un réceptacle [isolant](#) : après avoir été chauffés de façon traditionnelle — mais moins longtemps que le temps de cuisson habituel —, les aliments peuvent y finir de cuire de façon autonome, sans nouvelle dépense d'énergie. Contrairement à ce que le nom indique, il ne s'agit pas forcément d'une marmite et il n'est pas sûr qu'elle soit d'origine norvégienne."

Le cuiseur solaire photovoltaïque proposé dans la présente documentation *est* une marmite norvégienne. Une fois les aliments parvenus à température, il n'est que de supprimer l'alimentation électrique.

Voir par exemple en page d'accueil / autres exemples de cuisson / Dahl de lentilles corail: une fois atteinte la température de 100°, et après avoir supprimé l'alimentation électrique, la cuisson s'est poursuivie en marmite Norvégienne, la température étant encore de 90°C après une demi-heure.

La cuisson en marmite norvégienne ne s'est pas du tout ancrée dans la culture culinaire, et cela s'explique probablement par la thermique

- si le récipient utilisé est beaucoup trop grand par rapport à son contenu, les surfaces de matériau inutilisées du récipient travaillent comme des ailettes de radiateur et dispersent toute la chaleur : il est évident que quelques pommes de terre dans un peu d'eau au fond d'un récipient de six litres ne cuiront jamais en cuisson norvégienne.
- même si le récipient est correctement rempli, c'est à lui de chauffer l'isolation de la marmite norvégienne, d'où une baisse de température dès le départ, ce qui allonge le temps de cuisson.
- le prix de l'énergie n'est pas suffisamment élevé...

Dans le cas du cuiseur photovoltaïque proposé ici, les conditions de fonctionnement en marmite norvégienne sont idéales : le récipient reste en place, l'isolation est déjà à température. Et le panneau photovoltaïque peut alimenter un second cuiseur.

MONTEE EN TEMPERATURE ET MAINTIENT EN TEMPERATURE

Il faut bien distinguer les deux phases de cuisson, d'une part la montée en température, et d'autre part le maintien en température.

Pour la première phase, la plus gourmande en énergie thermique, le cuiseur se place en queue de peloton compte tenu de sa faible puissance : 280 W crête, et 200 W sous 800 W/m² d'ensoleillement, alors que l'on dispose usuellement de puissances de l'ordre de 1000W ou plus en gaz, électricité ou bois. Même avec des pertes de 40 ou 50 % pour les modes usuels de cuisson, le jeu est inégal.

Mais ensuite pour ce qui est du maintien en température, compte tenu de l'isolation, le cuiseur repasse largement en tête du peloton, notamment en cas de cuisson en marmite norvégienne.

CUISSON A L'EAU ET BRAISAGE

Par cuisson à l'eau, on entend ici la cuisson d'aliments immergés dans un volume d'eau

Par braisage, on entend ici la cuisson d'aliments sans apport de liquide, l'eau contenue dans les aliments étant suffisante pour assurer une cuisson sans que "ça attache" au fond du récipient.

La physique nous enseigne que à part quelques exceptions tout à fait marginales, l'eau est le corps qui nécessite, par unité de poids, le plus d'énergie thermique. Autrement dit, il n'y a rien de plus difficile à chauffer que l'eau.

Lorsqu'il est question de cuisson à l'eau, il faut chauffer l'eau, *et* chauffer les aliments (par exemple : des tubercules). Le cuiseur n'est pas bien placé pour ce genre d'opération ; ou alors : conserver l'eau de cuisson pour cuire successivement par exemple plusieurs petites quantités de pâtes.

Dans le cas du braisage, le cuiseur est beaucoup plus à l'aise, même si les aliments contiennent souvent 80 % d'eau ou plus ; au moins c'est du liquide qui fait partie de la cuisson, qui n'est pas jeté en fin d'opération.