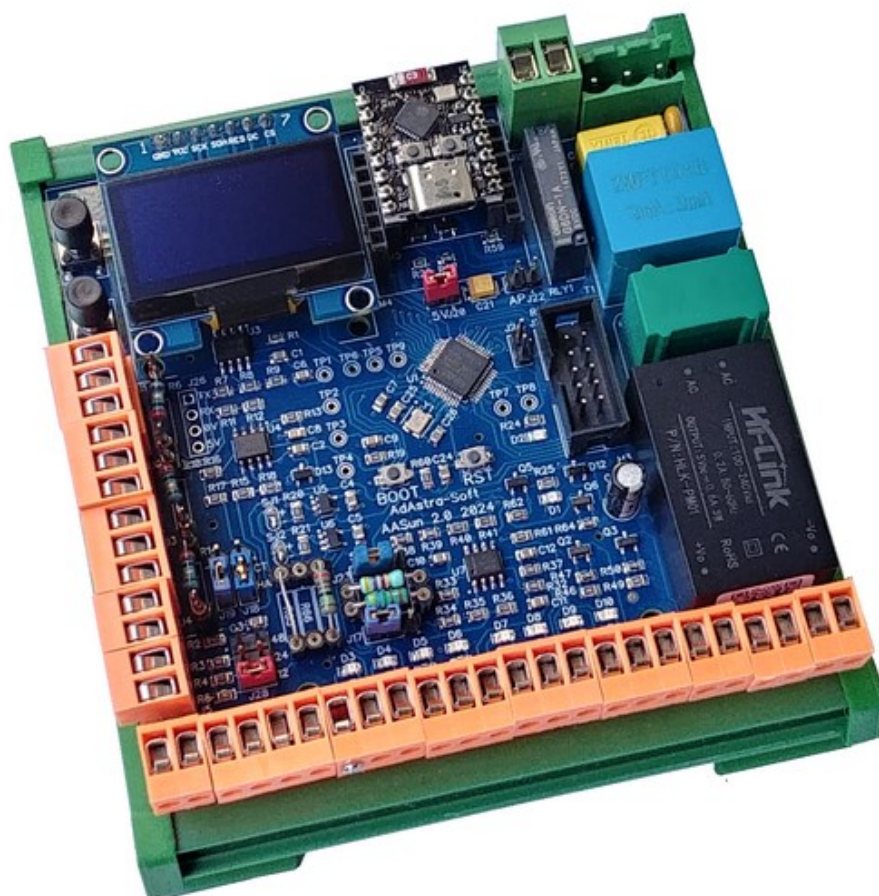


AASun V2

Routeur multi voies pour installation
photovoltaïque

26/07/2024



Sommaire

1	Introduction	5
1.1	Le principe du routeur.....	5
1.2	Les bases du projet	5
1.3	Caractéristiques matérielles du routeur	6
2	La mesure de courant.....	9
2.1	SCT013	9
2.2	SCT016	9
2.3	CT08CL10	9
2.4	HSTS016.....	11
3	Interface TIC du Linky.....	12
4	La mesure de température	13
4.1	Interface matérielle	13
4.2	Logiciel	14
4.3	Configuration	14
5	Entrées	16
5.1	Entrées logiques In1 et In2.....	16
5.2	Entrées logiques ou de comptage In3 et In4	16
5.3	Connexion à un compteur de type « NPN »	17
5.4	Connexion à un compteur de type « PNP »	17
5.5	Mesure d'une tension continue.....	18
6	Anti légionellose	19
7	Date et heure	21
8	L'historique.....	22
9	L'afficheur OLED.....	26
10	La LED D2	28
11	WIFI.....	29
11.1	Le module.....	29
11.2	Implémentation.....	30
11.2.1	Le mode « Access Point »	30
11.2.2	Le mode « Station ».....	31
11.3	Alimentation du module WIFI.....	31
11.4	Développement et télé versement	31
12	Telnet.....	33
13	Câblage	35
14	Mise en route	36

14.1	Installation	36
14.2	Moyens d'étalonnage	38
14.3	Calibration de la tension	39
14.4	Correction de la phase	39
14.5	Calibration des intensités	41
14.5.1	Correction de l'offset de l'ADC	41
14.5.2	Calibration de l'intensité	42
14.6	Calibration de la puissance active	42
14.6.1	Correction de l'offset de puissance active	42
14.6.2	Calibration de la puissance active	42
14.7	Configuration réseau	43
14.8	Mesure de la tension continue	43
14.9	Autres valeurs de configuration du routeur	43
14.10	Sauvegarde	44
14.11	Configuration du MCU	46
14.11.1	Les « Option Bits »	46
14.11.2	Mise en flash du logiciel	48
15	Les connecteurs	49
16	Routage et forçage	51
16.1	Les voies de sortie	51
16.2	Les voies d'entrées	51
16.3	Hystérésis de température	52
17	Routage	53
17.1	Syntaxe d'une règle	53
17.2	L'IHM	54
18	Forçage	56
18.1	Règles de forçage	56
18.2	Le mode STD	57
18.2.1	DMIN	57
18.2.2	DMAX	58
18.3	Le mode AUTO	58
18.3.1	Fonctionnement du filtrage	59
18.4	Le paramètre ratio	60
18.4.1	Ratio normal	60
18.4.2	Ratio burst	60
18.5	Actions manuelles	60
18.5.1	Action manuelle et forçage en mode AUTO	61
18.6	L'IHM	61
19	Mise en FLASH des pages HTTP	64
19.1	Mise en flash avec ST-LINK	64

19.2	Mise en flash avec un adaptateur USB/UART	67
20	Conversion puissance – délai	69
20.1	Ampoule halogène.....	70



Le routeur présenté dans ce document est une réalisation personnelle, pas un produit commercial.

Il est réalisé soigneusement mais ne répond à aucune norme de sécurité particulière.

Ce document se rapproche d'un manuel d'utilisation, mais il s'agit plutôt d'un aide mémoire.

Si le lecteur décide de réaliser ce montage je serais heureux de le renseigner et de l'aider, mais toute garantie expresse ou implicite de qualité ou d'adéquation à un usage particulier sont exclues.

Ce montage est connecté au secteur 230V : toujours débrancher l'alimentation de l'appareil avant toute intervention.

1 Introduction

La production d'électricité photovoltaïque par les particuliers est devenue abordable. En particulier il existe maintenant des « kits de balcon » très abordables et très faciles à mettre en œuvre, et destinés à l'autoconsommation.

Mais une « vraie » installation photovoltaïque pour particulier possède beaucoup plus qu'un ou deux panneaux, et dans ce cas optimiser l'autoconsommation est plus compliqué. C'est là qu'un routeur d'énergie entre en jeu, et j'ai réalisé le mien.

La première version du routeur solaire AASun a été réalisée sous la forme d'un prototype très évolutif. Son développement a été riche d'enseignements et a révélé des besoins insoupçonnés au départ.

Une fois le développement bien avancé il est apparu qu'une version plus compacte et facile à mettre en œuvre serait appréciée. Ce document présente donc AASun V2.

Ceux qui s'intéressent à la genèse du projet et en particulier aux choix techniques peuvent se reporter à la documentation accompagnant la première version d'AASun.

1.1 Le principe du routeur

Le principe du routeur est simple : détecter s'il y a surplus de production d'énergie, et router cette énergie vers un consommateur. En regardant les réalisations des autres, j'ai vu qu'il y a beaucoup de façons différentes de réaliser cela.

Mon objectif est de minimiser l'injection et pour cela il faut tenir compte des caractéristiques du Linky (j'habite en France ou tout est plus compliqué qu'ailleurs...). Donc il faut équilibrer la consommation à chaque demi-période du secteur.

Le principe de base du routage est donc le suivant : Pendant chaque demi-période on mesure la puissance utilisée, et on ajuste le routage avec cette valeur pour la demi-période suivante. En supposant que la puissance utilisée varie peu d'une demi-période à l'autre. Un contrôleur Proportionnel/Intégral logiciel est utilisé pour ces ajustements.

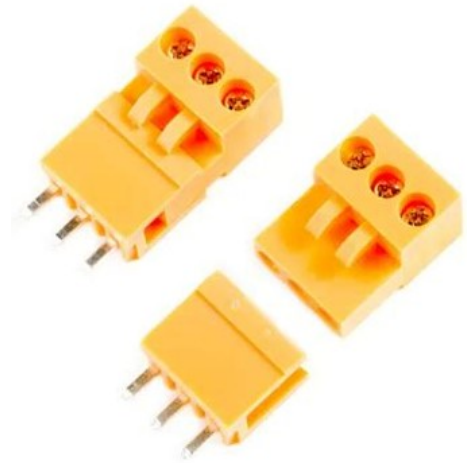
La mesure de puissance est réalisée en mesurant la tension du secteur et le courant sur le câble d'arrivée au tableau électrique. Ces signaux sont analogiques, on utilise donc des entrées ADC du MCU.

1.2 Les bases du projet

Les principaux axes suivis pour la conception de la version 2 sont :

- Routeur monobloc : 1 seul module excepté le ou les SSR qui restent externes mais faciles à câbler.
- Plus petite taille que la version précédente : Circuit imprimé de 10x10 cm pour abaisser son coût de réalisation et faciliter l'intégration.
- Le circuit imprimé peut être intégré dans un boîtier pour rail DIN. Il y a des trous de montage prévus en cas de non utilisation du boîtier DIN.
- Connectique débranchable pour faciliter l'installation et la maintenance.

Aucun signal ne nécessite une puissance importante, donc utilisation de borniers HT396 de 3.96mm (300V 8A, capacité 1.5mm²).



- Les connecteurs secteur et relais sont débranchables et en 5mm pour supporter la tension de 230V. Une seule connexion au secteur pour la mesure de la tension et la génération du 5V et du 3.3V. Donc un seul connecteur à débrancher pour isoler le montage.
- La terre est amenée sur le routeur, et les blindages des tores de mesure peuvent y être reliés.
- Reconduction des fonctionnalités de la version 1 avec les variations suivantes :
 - 3 entrées de mesure de courants au lieu de 4, ce qui permet de n'utiliser que 2 AOP au lieu de 3.
 - Une des entrées de mesure de courant peut gérer un capteur de courant à effet HALL pour la mesure d'un courant continu.
 - Ajout d'une mesure de tension continue.

Les deux derniers points permettent la gestion de charge / décharge d'une batterie.

1.3 Caractéristiques matérielles du routeur

- Microcontrôleur STM32G071CB (48 broches, 64 Mhz, 128 kB flash, 36 kB de RAM)



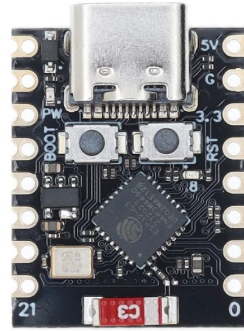
- Un transformateur ZMPT101B ou DL-PT202D pour la mesure de la tension secteur.
- Alimentation par module HLK-PM01 avec self de mode commun et condensateur de filtrage, protégés par un fusible ré-armable.
- Les résistances de « burden » présentes sur le circuit sont amovibles pour pouvoir utiliser des capteurs avec résistance interne.



- Deux sorties PWM en 5V pour commander deux relais statiques (SSR). Le SSR de la sortie 2 est obligatoirement de type «random». Celui de la sortie 1 peut être «random» ou «zero-crossing» suivant les règles de routage/forçage utilisées.
- Une sortie équipée d'un relais NO, 250V 5A en résistif.
- Une sortie logique 5V. Elle est équipée d'une diode de roue libre et peut donc piloter un relais mécanique ou un SSR.
- Deux entrées de comptage compatibles avec les impulsions générées par les compteurs extérieurs. Les connecteurs disposent de 5V et masse pour alimenter le compteur.
- Deux entrées compatibles 3.3V et 5V à usage général. Les connecteurs disposent de 5V et masse.
- Une entrée de mesure de tension pour la surveillance d'une batterie. Un cavalier permet de sélectionner la gamme d'entrée : 12, 24 ou 48V. Il n'y a pas d'isolation galvanique.
- Un connecteur pour la ligne TIC du compteur LINKY. Cela permet de récupérer les informations qui circulent telles que la tension secteur, la date, etc.
- Un connecteur pour jusqu'à 4 capteur de température DS18B20, disposés sur 1 ou 2 lignes.
- Un afficheur OLED de 1.3" affichant 4 lignes de texte (ou 8 lignes de texte en petits caractères).
- Deux boutons pour faire défiler les pages sur l'afficheur.
- 8 LEDs vertes pour visualiser l'état des 4 entrées et des 4 sorties.
- Une LED présence 5V (jaune), une LED de fonctionnement (bleue).
- Une interface réseau filaire basé sur un Wiznet W5500.
- Une interface WIFI à base d'ESP32-C3 SuperMini.
- Les interfaces réseau filaire et WIFI sont exclusives contrairement à la version AASun V1, par manque de place sur le circuit imprimé. La détection de l'interface présente est automatique.



Module Wiznet W5500



Module ESP32-C3 SuperMini

- Une flash 8 MB pour la configuration, l'historique des puissances et les pages HTTP du serveur WWW.

2 La mesure de courant

La mesure de courant utilise un transformateur de courant. Il fournit au secondaire un courant proportionnel au courant dans le primaire, qui est transformé en tension quand il passe dans une résistance dite de burden.

Le microcontrôleur fournit une référence de tension pour les mesures analogiques de 2.5V. Et le conditionnement des entrées analogiques à un gain de 1. La tension fournie par les capteurs de courant ne doit donc pas dépasser 2.5Vpp.

2.1 SCT013

Avec le CT SCT013 100A/ 50mA bien connu, il est courant d'utiliser une résistance de burden de 22Ω. Cela donne :

$$0.05 \times 22 = 1.1V_{rms}, \text{ soit } 3.11V_{pp} \text{ pour } 100 \text{ A.}$$

Comme la limite est de 2.5Vpp, le SCT013 100A/ 50mA ne devra pas être utilisé pour mesurer plus de :

$$2.5 / 3.11 * 100 = 80 \text{ ampères}$$

Une résistance de burden de 18 Ω permet de mesurer jusqu'à 100 A.

Ce raisonnement s'applique aussi aux CT avec résistance de burden intégrée qui fournissent 1Vrms : ils peuvent être utilisés jusqu'à 80% de leur gamme. Par exemple un capteur donné pour 20A / 1Vrms peut être utilisé jusqu'à : $20 * 0.8 = 16A$.

Ce capteur 20A/1V est adapté à la mesure du courant envoyé à un chauffe eau avec une meilleure précision qu'un capteur 100A/50mA.

2.2 SCT016

Le CT SCT016 50A/50mA a une résistance burden recommandé de 10Ω. Pour 50A ce CT fournit :

$$0.05 * 10 = 0.5V_{rms} \text{ soit } 1.41 V_{pp}$$

Ce CT peut être utilisé directement.

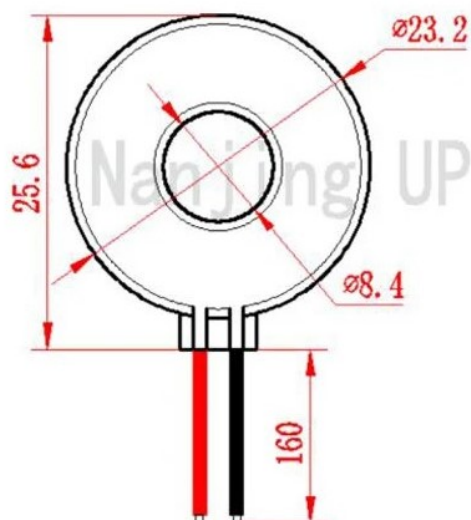
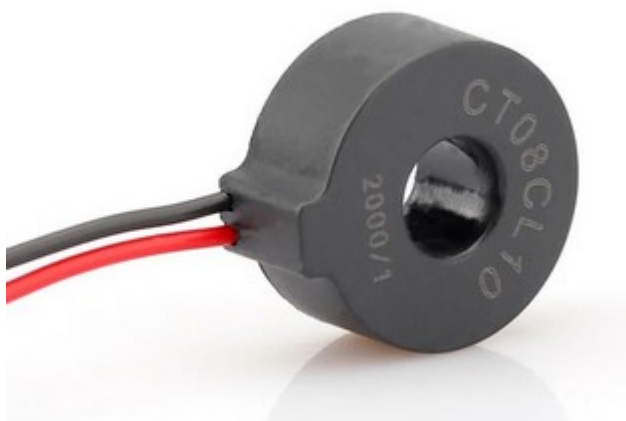
Une meilleure utilisation de la plage d'entrée de l'ADC est possible avec une résistance de burden de 15Ω :

$$0.05 * 15 = 0.75V_{rms} \text{ soit } 2.1 V_{pp}$$

2.3 CT08CL10

Pour mesurer la puissance routée ou fournie par les panneaux PV j'utilise de petits tores à enfiler sur le fil : CT08CL10. Bonne qualité et bon marché (3€ pièce en commandant un lot de 4).

En particulier le déphasage par rapport à la tension est quasi nul.



<https://www.aliexpress.com/item/1005004284693644.html>

Technical Data:

	DL-CT08CL10-2000/1	Unit
Rated input	20	A (AC)
Rated output	10	mA (AC)
Rated sampling load	100	Ω
Rated sampling voltage	1	V (AC)
Turns ratio	2000/1	—
Rated Phase shift	≤ 5 (RL=0 Ω)	'
Accuracy	0.1	Level
Linearity	0.1	%
Measuring current	0~60 (RL \leq 40 Ω)	A (AC)
Maximum current	0~80 (RL \leq 10 Ω)	A (AC)
DCR	99 \pm 10	Ω
Weight	11.5	g

Exemple de capacité de mesure avec différentes valeurs de résistance de burden pour une sortie de 2.4 Vpp :

100 Ω	17 A
82 Ω	20 A
47 Ω	36 A
33 Ω	52 A
22 Ω	77 A (pas recommandé)

2.4 HSTS016

C'est un capteur de courant à effet HALL, donc capable de mesurer des tensions continues. Il fournit 4 fils et un blindage à connecter comme suit :

Blanc	Vref	J3-1
Jaune	Vout	J3-2
Tresse	Blindage	J3-3
Rouge	+5V	J4-1
Noir	GND	J4-2

Pour utiliser ce capteur il faut soustraire la tension Vref (environ 2.5V) de Vout et y ajouter notre tension de référence de 1.25V. Cela est réalisé par l'entrée de mesure de courant J3, si les cavaliers J18 et J19 sont positionnés en 2-3.

De plus il faut utiliser J4 pour alimenter le capteur.

Un capteur a effet HALL ne peut être utilisé qu'en J3/J4, avec les cavaliers J18 et J19 positionnés en 2-3.

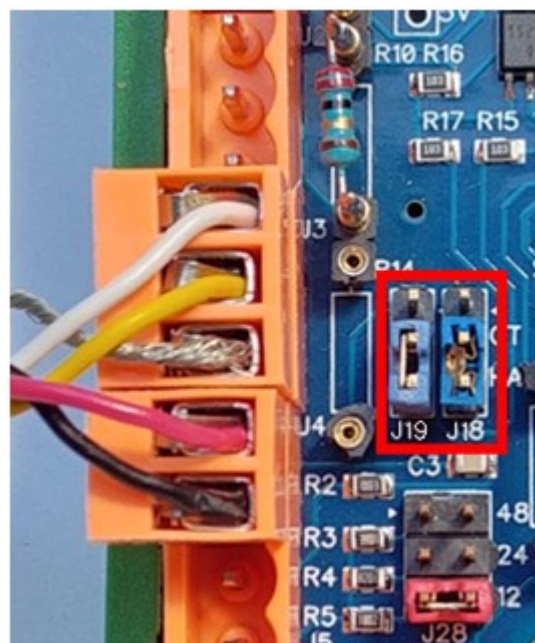
Ce capteur existe en 2 versions fournissant :

HSTS016L	$2.5V \pm 0.625V$
HSTS016L/A	$2.5V \pm 2V$

Le modèle HSTS016L quelle que soit sa gamme peut être utilisé sans restriction, puisque l'ADC accepte $\pm 1.25V$. Cependant $\frac{1}{2}$ de la plage d'entrée de l'ADC est utilisée ce qui limite la précision.

Le modèle HSTS016L/A fournit $\pm 2V$ ce qui excède la plage d'entrée de l'ADC qui est de $\pm 1.25V$. Donc seulement $1.25/2$ soit 62% de la gamme du capteur peut être utilisée, mais avec la meilleure précision.

Gamme capteur	Gamme utile
200 A	125A
150 A	93.75A
100 A	62.5 A
50A	31.25
30A	18.75A
20A	12.5A



3 Interface TIC du Linky

Le compteur Linky installé par Enedis a une sortie « Télé Information Consommateur », qui peut être utilisée pour exploiter quelques informations émises par le Linky.

Il ya des sites qui expliquent bien comment faire, tels que :

<http://hallard.me/demystifier-la-teleinfo/>

J'ai testé ce montage, et il a fallu faire des adaptations à cause de mon optocoupleur SFH620 chinois sans marque, et donc de caractéristiques inconnues.

Pour avoir un fonctionnement stable en mode standard j'ai adapté les valeurs de 2 résistances : 2.2k Ω dans le primaire, et 3.3k Ω comme charge du phototransistor. Je pense qu'avec un SFH620A-3 original cela fonctionnerait mieux.

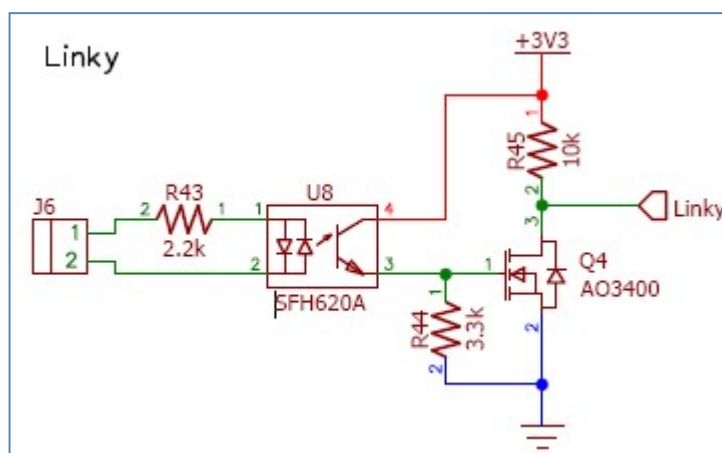
Donc il ne semble pas y a voir de configuration universelle, il faut s'adapter à l'optocoupleur utilisé.

La résistance R43 de 2.2k Ω permet d'avoir 2 récepteurs sur la ligne (je l'ai testé), tout en respectant les spécifications d'Enedis : charge > 500 Ω .

La TIC du linky est très bavarde, mais peu d'informations sont utiles à part :

- La tension secteur
- La puissance apparente en VA. Utilité douteuse, sauf que si elle passe à 0 c'est qu'il y a injection !
- Le compteur de Wh facturés
- La date et l'heure

Il manque la puissance réelle instantanée soutirée en W et la puissance injectée en W. Ce sont des informations universellement réclamées, mais Enedis...



4 La mesure de température

La mesure de température est réalisée avec des capteurs DS18B20.

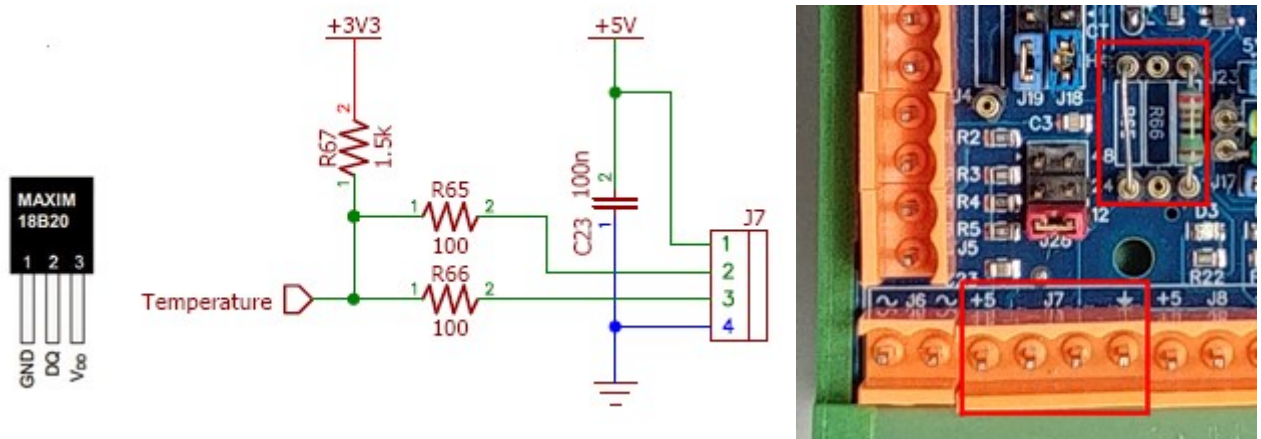
4.1 Interface matérielle

La façon la plus simple d'interfacer ce capteur est d'utiliser un UART puisqu'il est nécessaire de respecter des timings de l'ordre de la microseconde pour gérer le protocole OneWire.

Le port série du STM32 a un mode « half duplex » dans lequel RX et TX sont connectés intérieurement. En utilisant ce mode seule la broche TX est utilisée.

Il s'avère que l'interface matérielle de ces capteurs est très dépendante de la topologie du câblage, du type de câble employé et des longueurs utilisées. La littérature donne beaucoup de conseils, plus ou moins contradictoires.

Après quelques essais l'interface choisie est la suivante :



Les valeurs de toutes ces résistances sont à adapter au câblage choisi. Les résistances ne sont donc pas des CMS soudées au circuit imprimé mais des résistances filaires placées sur support.

Le port TX doit être configuré en collecteur ouvert, avec la vitesse (slew rate) la plus lente. Même dans ce cas le front de descente du signal est de 35 ns, ce qui est rapide et induit des undershoots au bout du câble. Les résistances série R65 et R66 permettent de calmer ce front et de diminuer ces undershoots.

Le choix de 2 lignes permet de positionner des capteurs à des endroits différents. Si les 2 lignes sont utilisées cela donne une topologie en étoile, ce qui n'est normalement pas recommandé. Mais les résistances R65 et R66 permettent de désolidariser les 2 lignes. Si une seule ligne est utilisée, la résistance série correspondante peut être supprimée (comme cela est présenté dans l'image ci-dessus).

Le pull-up R67 de 1.5KΩ permet d'avoir des fronts suffisamment raides au bout des câbles. Le pull-up est relié au 3.3V qui est la tension d'alimentation du MCU.

Les DS18B20 sont alimentés en 5V pour avoir une tension suffisante au bout de longs câbles. Le condensateur au raz du bornier s'est avéré indispensable.

4.2 Logiciel

Les opérations à réaliser avec les DS18B20 sont :

- Rechercher les capteurs
- Démarrer la conversion sur tous les capteurs en même temps
- Attendre que tous les capteurs aient fini leur conversion
- Lire une par une les températures des capteurs

La première étape est faite une seule fois lors de la configuration. Ensuite la capture des températures est cyclique et se fait environ 1 fois par seconde.

Les DS18B20 sont identifiables uniquement par leur identifiant interne, récupéré lors de la recherche des capteurs. Les capteurs sont donc découverts et listés dans l'ordre de leurs identifiants. Si un capteur est remplacé (suite à une panne par exemple), l'ordre des capteurs dans la liste n'est plus le même. Et par exemple le capteur n°1 dans la liste ne correspond plus au capteur physique qui était le n°1 avant la modification.

Pour résoudre ce problème le logiciel permet d'associer un numéro de rang à chaque capteur. De cette façon l'utilisateur peut associer un rang fixe à un capteur physique, mais il faut refaire cette association à chaque changement de configuration.

Sur la page HTTP de AASun les températures sont affichées dans l'ordre des rangs, donc indépendamment des identifiants des capteurs.

Le logiciel permet de gérer jusqu'à 4 DS18B20, avec une résolution de 12bits qui est celle par défaut du capteur (résolution de 0.0625°C !). Mais les températures sont stockées au 1/16 de °C et affichées au 1/10 de °C.

4.3 Configuration

La configuration des DS18B20 se fait en deux étapes :

- Rechercher les capteurs pour en constituer la liste
- Affectation de son rang à chaque capteur

La commande « tss » (**T**emperature **S**ensor **S**earch) recherche les capteurs et construit la liste des présents. Le rang par défaut de chaque capteur est son index dans la liste.

La commande « dts » (**D**isplay **T**emperature **S**ensor) permet de voir la liste des capteurs de température. Les capteurs sont affichés dans l'ordre de la liste constituée lors de leur découverte.

La commande « tsr » (**T**emperature **S**ensor **R**ank) permet d'affecter son rang à chaque capteur. Le rang va de 0 à n-1, n étant le nombre de capteurs dans la liste. Les rangs sont donnés dans l'ordre de la liste. Syntaxe :

```
tsr r0 r1 r2 r3
```

La commande « tsc » (**T**emperature **S**ensor **C**heck) permet de vérifier si les capteurs de la configuration sont physiquement présents. Si un capteur n'est pas présent la liste n'est pas modifiée. Il est qualifié d'absent (A dans la liste) et ne sera pas interrogé. Cette commande est effectuée automatiquement à chaque démarrage de AASun.

Cette liste de capteurs fait partie de la configuration, elle est donc mémorisée en flash par la commande `cwr`.

S'il n'y a qu'un seul capteur la commande `tss` suffit à établir la liste et affecter le rang 1 à l'unique capteur présent.

Exemple de configuration:

```
tss
Device 000 Type 0x28 ID 3CE1E380003C CRC 0xD8
Device 001 Type 0x28 ID 3CE1E38181B0 CRC 0xC6
TS Search done

dts
0 1 P Type 0x28 ID 3CE1E380003C CRC 0xD8 23.5
1 2 P Type 0x28 ID 3CE1E38181B0 CRC 0xC6 23.7
2 3 A Type 0x00 ID 000000000000 CRC 0x00 0.0
3 4 A Type 0x00 ID 000000000000 CRC 0x00 0.0

tsr 2 1
dts
0 2 P Type 0x28 ID 3CE1E380003C CRC 0xD8 23.5
1 1 P Type 0x28 ID 3CE1E38181B0 CRC 0xC6 23.6
2 3 A Type 0x00 ID 000000000000 CRC 0x00 0.0
3 4 A Type 0x00 ID 000000000000 CRC 0x00 0.0

cwr
Ok
```

Dans la capture d'écran ci dessus :

- La commande `tss` a trouvé 2 capteurs
- La commande `dts` qui suit affiche 2 capteurs présents (P) et 2 capteurs absents (A). La 2ème colonne est celle des rangs, qui sont dans l'ordre de la liste. En fin de ligne la température en °C.
- La commande `tsr` permet d'affecter les rangs des 2 premiers capteurs
- La commande `dts` qui suit affiche bien les nouveaux rangs.
- La commande `cwr` enregistre cette configuration en flash.

Exemple de vérification après avoir physiquement enlevé le 2^{ème} capteur :

```
tsc
ts 0
TS Check done
dts
0 2 P Type 0x28 ID 3CE1E380003C CRC 0xD8 23.4
1 1 A Type 0x28 ID 3CE1E38181B0 CRC 0xC6 200.0
2 0 A Type 0x00 ID 000000000000 CRC 0x00 0.0
3 0 A Type 0x00 ID 000000000000 CRC 0x00 0.0
```

On voit que le capteur de rang 1 est toujours dans la liste, mais est qualifié d'absent, et affiche une température invalide de 200°C.

5 Entrées

Le routeur dispose de 4 entrées qui peuvent être utilisées comme source de données pour les règles de routage est de forçage.

Les entrées In1 et In2 sont des entrées logiques, les deux suivantes In3 et In4 peuvent être utilisées comme entrées logiques ou comme entrée de comptage d'impulsions.

5.1 Entrées logiques In1 et In2

Ces entrées sont des entrées 3.3V compatibles 5V.

In 1 Connecteur J8

In 2 Connecteur J9

Elles sont indiqués pour y connecter un bouton poussoir ou un thermostat par exemple.

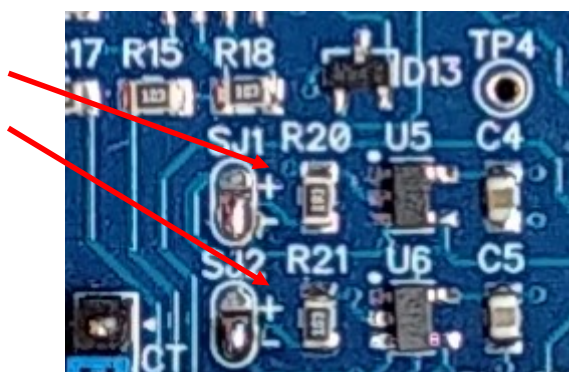
Une goutte de soudure sur le circuit imprimé permet de connecter un pull-up ou un pull-down :

SJ1 Configuration de In1

SJ2 Configuration de In2

Goutte placé en haut : pull-up au 5V

Goutte placé en bas : pull-down à la masse



5.2 Entrées logiques ou de comptage In3 et In4

Ces entrées sont des entrées supportant un niveau haut entre 3 et 30V.

In 3 ou pulse 1 Connecteur 10

In 4 ou pulse 2 Connecteur J11

Elles sont typiquement conçues pour y connecter des compteurs générant des impulsions de comptage (sorties de type SO).

Le mode logique ou comptage de ces entrées est configuré par logiciel, en spécifiant le nombre d'impulsion par kWh avec la commande `cpc`. Cette commande a deux paramètres :

- Le numéro de la voie de comptage 1 ou 2
- Le nombre d'impulsions par kWh fourni par le compteur

Si le nombre d'impulsion spécifié est 0, la voie est en mode entrée logique, exemple ;

```
cpc 1 0
```


S'il est différent de 0, la voie est en mode comptage d'impulsions :

cpc 2 2000

Physiquement l'entrée peut être adaptée à la technologie du compteur qui lui est reliée en choisissant la valeur de la résistance de tirage (sur support), et la polarité de ce tirage (par cavalier) :

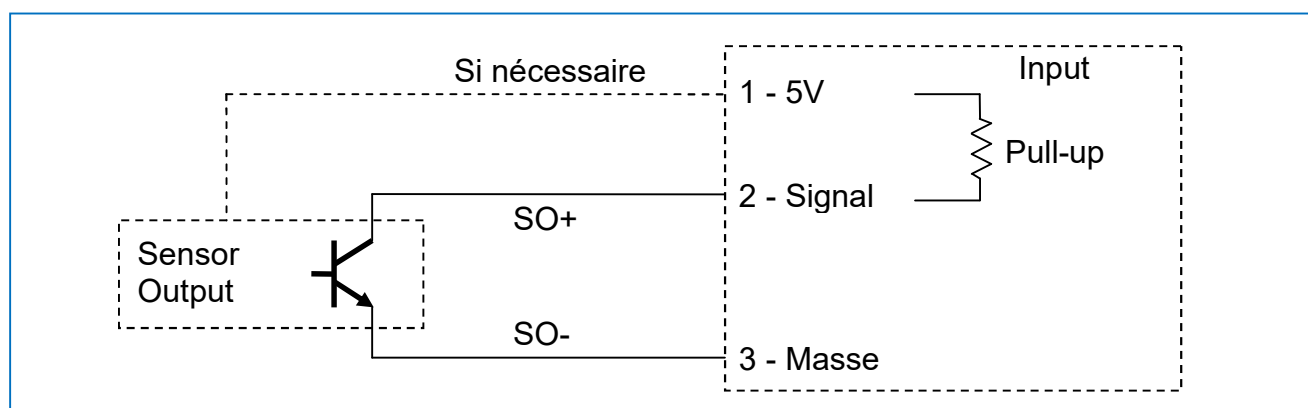
In3 résistance de tirage R31,
J17 polarité : 5V ou masse

In4 résistance de tirage R42,
J23 polarité : 5V ou masse



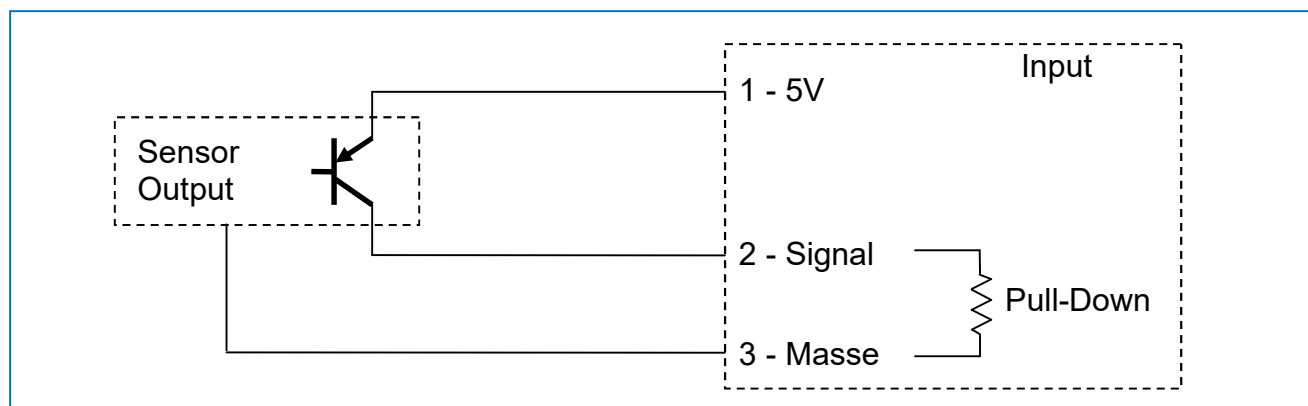
Ce document explique pourquoi il peut être intéressant d'avoir un courant faible :
https://sbc-support.com/uploads/tx_srcproducts/Applicationnote_S0puls_output_EN_V1.1_01.pdf

5.3 Connexion à un compteur de type « NPN »



Si le compteur présente une interface de type collecteur ouvert NPN il faut installer un pull-up fournissant quelques milliampères (3.3kΩ par exemple).

5.4 Connexion à un compteur de type « PNP »



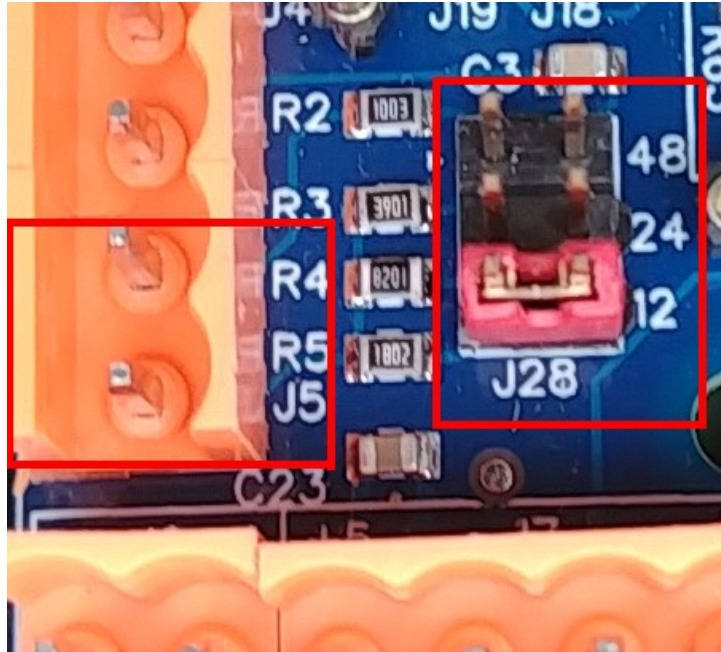
Si le compteur présente une interface de type collecteur ouvert PNP il faut installer un pull-down fournissant quelques milliampères (3.3kΩ par exemple).

5.5 Mesure d'une tension continue

Il est possible de mesurer une tension continue connectée sur J5.

La gamme de tension est sélectionnée par le cavalier J28 entre 12, 24 ou 48 V. Il faut sélectionner la gamme correcte avant de brancher J5.

Les ponts diviseurs sont calculés pour fournir 1.82 V à la tension nominale.



La valeur de la tension mesurée toute les secondes est disponible dans la variable V3, en millivolt. Elle peut donc être utilisée dans les règles de routage et de forçage.

6 Anti légionellose

AASun propose un dispositif pour limiter la prolifération dans un chauffe-eau sanitaire des bactéries Legionella responsables de la légionellose.

Le principe utilisé repose sur le fait suivant :

En fonction des températures, la durée nécessaire pour diminuer d'un facteur 10 la concentration des légionelles planctoniques, non adhérentes à une surface, est de l'ordre de 20 mn à 55 °C, 2 mn à 60 °C ;

https://www.inrs.fr/dms/eficatt/FicheEficatt/EFICATT_L%C3%A9gionellose-1/Fiche_L%C3%A9gionellose.pdf

Pour lutter contre la prolifération des légionelles il faut donc s'assurer que le CES atteigne régulièrement une température élevée, supérieure à 55°C.

Le dispositif anti-légionellose est réalisé avec trois éléments :

- Un capteur de température placé sur le CES, ou un thermostat mécanique avec une température suffisante connecté sur une entrée de AASun.
- Un compteur géré par AASun qui s'incrémente tous les jours à minuit. Il est remis à 0 à tout moment si la température mesurée atteint le seuil fixée par l'utilisateur, ou si le thermostat commute. Ce compteur est V2.
- Une règle de forçage mise en place par l'utilisateur pour 'booster' la température du CES quand le compteur atteint le nombre de jours indiqué. Ce forçage permet de choisir le moment, la durée et la périodicité du 'boost'.

Le forçage permet donc de déclencher périodiquement une chauffe du CES si durant son utilisation normale une température seuil n'a pas été atteinte pendant cette période.

Exemple de forçage pour cette utilisation :

START : OUT2 & STD & MH = 2230 & V2 > 6

STOP : DMAX = 120M & V2 < 6

Chaque jour à 22h30 le compteur V2 est testée, et si la température de seuil n'a pas été atteinte depuis 7 jours ou plus, alors le forçage est activé. Quand la température de seuil est atteinte le compteur V2 est remis à 0 et par conséquent la règle STOP devient vraie, ce qui désactive le forçage.

Le forçage s'arrête aussi au bout de 2 heures même si la température de seuil n'est pas atteinte. Dans ce cas le forçage recommencera le lendemain.

Pour réaliser le test seulement le vendredi à 23h :

START : OUT2 & STD & WD =V. & MH = 2300 & V2 > 6

STOP : DMAX = 120M & V2 < 6

Ne pas oublier de décocher la case Disabled !

L'anti-légionellose est configuré à partir de la console avec la commande `cal`, exemple :

```
cal t1 55
```

Dans cet exemple l'anti-légionellose est activé en utilisant le capteur de température T1, et la température de seuil qui remet le compteur à 0 est de 55°C.

```
cal i3 1
```

Ici l'anti-légionellose est activé en utilisant l'entrée I3, et le compteur est remis à 0 quand l'entrée vaut 1.

Pour inhiber le système anti-légionellose :

```
cal 0
```

Utiliser `cwr` pour sauver cette configuration dans la flash.

Pour tester le fonctionnement du dispositif il est possible de donner une valeur au compteur V2. Par exemple pour le mettre à 12 :

```
cal c 12
```

Cette configuration peut être faite à partir de la page HTTP « Variables ».

The screenshot shows a web interface with a green header and footer. The header contains a logo, a back button, a red status indicator, and a 'Write' button. The main content area is divided into two sections: 'Variables' and 'Anti-legionella'. The 'Variables' section lists four variables: V1 Day counter (value 16), V2 Anti-legionella (value 16), V3 (value 0), and V4 (value 0). Below these is a 'Choose:' dropdown menu set to 'V1' and a 'Value:' input field. The 'Anti-legionella' section has a 'Choose:' dropdown menu set to 'Off' and a 'Value:' input field. Both sections have a 'Send' button. The footer contains the text 'AASun - AdAstra-Soft'.

Après configuration ne pas oublier de cliquer le bouton « Write », qui mémorise la configuration en flash.

7 Date et heure

Pour le routeur connaître la date et l'heure sont indispensable pour gérer les historiques d'énergie et de puissance. Cela est important aussi pour les forçages utilisant un jour ou une heure donnée.

Il y a quatre sources possibles pour la date et l'heure :

- Manuelle. Ces informations peuvent être entrées manuellement par la console avec la commande « time »
- Réseau filaire (via la box de la maison)
- WIFI (via la box de la maison)
- Linky.

Lorsque le routeur a besoin de l'heure (à la mise sous tension par exemple), il interroge les sources disponibles à tour de rôle, jusqu'à ce que l'une d'elle réponde une date valide (> 1970 !). A ce moment là les historiques sont configurés et démarrés.

Chaque jour à 01:07:00 le routeur cherche à mettre à jour date et heure pour annuler une éventuelle dérive de l'horloge locale.

Les passages heure d'été / heure d'hiver (« Central European Summer Time » seulement) sont gérés automatiquement.

Le module WIFI en mode station utilise SNTP pour se remettre à l'heure toute les 60 minutes.

8 L'historique

AASun collecte les données de 9 sources de puissance:

- Importée, puissance positive de CT1
- Exportée, puissance négative de CT1
- Estimation de la puissance routée 1
- Estimation de la puissance routée 2
- CT 2
- CT 3
- (CT 4 réserve)
- Compteur d'impulsion 1
- Compteur d'impulsion 2

Ces puissances sont comptabilisées en énergies journalière remises à 0 à minuit, et en énergies totales jamais remise à 0 (sauf sur action de l'utilisateur).

Les puissances sont moyennées par $\frac{1}{4}$ d'heure, ce qui donne un tableau de 96 valeurs par jour et par source.

Chaque jour à minuit les énergies journalières et le tableau des puissances sont sauvés en FLASH, avec une profondeur de 31 jours, ce qui constitue l'historique des données.

Le tableau du total des énergies est sauvé en FLASH toute les 2 heures afin de ne pas le perdre totalement en cas de coupure d'alimentation.

L'indexation du tableau de l'historique marche à rebours : le rang 0 correspond aux données les plus récentes, c'est à dire celle d'hier. On peut ainsi remonter jusqu'au rang 30 si ces données existent. On parle de rang qui est relatif à la date d'aujourd'hui, plutôt que d'indice qui est une position dans un tableau.

L'IHM de la console permet de gérer l'historique des énergies et des puissances :

La commande e affiche le petit menu de gestion des énergies :

```
e
?   Print Energy menu
R   Read total energy from FLASH
W   Write total energy to FLASH
Z n Zero total energy counter (a|0:8)
z n Zero daily energy counter (a|0:8)
d n Display with history rank n
```

La commande `e d 1` affiche les énergies Totale, Journalière et l’Historique de rang 1 c’est à dire d’avant hier :

```
e d 1
Total
  2023/12/01
0 Imported          9500
1 Exported           0
2 Div1(est)         0
3 Div2(est)         0
4 Div1              -4
5 PV                42
7 Cnt1              0
8 Cnt2              0
Today
  2023/12/01
0 Imported          6394
1 Exported           0
2 Div1(est)         0
3 Div2(est)         0
4 Div1              -4
5 PV                53
7 Cnt1              0
8 Cnt2              0
History
  2023/11/29
0 Imported          3106
1 Exported           0
2 Div1(est)         0
3 Div2(est)         0
4 Div1              0
5 PV               -11
7 Cnt1              0
8 Cnt2              0
```

Le numéro dans la colonne de gauche est le numéro à utiliser pour effacer un compteur particulier avec les commandes `e Z` et `e z`.

La commande `h` affiche le petit menu de gestion des puissances :



```
h
h ?   Print help
h v   Toggle debug history display
h d   Dump today power history
h h n Dump power history at rank n
h H   Dump flash history summary
h Z   Erase flash history area
h W   Write today history to flash
```





La commande `h H` affiche la liste des données disponibles dans l'historique.

La commande `h h n` affiche les données de l'historique de puissance de rang `n`, par exemple :

```
h h 1
2023/11/25
00:00      0      0      0      0      0      0      0
00:15      0      0      0      0      0      0      0
00:30      0      0      0      0      0      0      0
00:45      0      0      0      0      0      0      0
01:00      0      0      0      0      0      0      0
01:15      0      0      0      0      0      0      0
01:30      0      0      0      0      0      0      0
01:45      0      0      0      0      0      0      0
02:00      0      0      0      0      0      0      0
02:15      0      0      0      0      0      0      0
02:30      0      0      0      0      0      0      0
02:45      0      0      0      0      0      0      0
03:00      0      0      0      0      0      0      0
03:15      0      0      0      0      0      0      0
03:30      0      0      0      0      0      0      0
03:45      0      0      0      0      0      0      0
04:00      0      0      0      0      0      0      0
04:15      0      0      0      0      0      0      0
.
.
.
21:00      0      0      0      0      0      0      0
21:15      0      0      0      0      0      0      0
21:30      0      0      0      0      0      0      0
21:45      3      0      0     -1     -9      2      2
22:00      3      0      0     -1     -9      0      0
22:15      3      0      0     -1     -9      0      0
22:30      3      0      0     -1     -8      0      0
22:45      3      0      0     -1     -8      0      0
23:00      3      0      0     -1     -8      0      0
23:15      3      0      0     -1     -9      0      0
23:30      3      0      0     -1     -9      0      0
23:45      3      0      0     -1     -9      0      0
```


Le server HTTP propose une page « Metering » qui affiche toutes les informations d'énergies, ainsi que les puissances en temps réel (à la seconde).

Power			Energy today		
Voltage RMS	<input type="text" value="240"/>	V	Date	<input type="text" value="2024/1/29"/>	-
P1 Real	<input type="text" value="128"/>	W	Imported	<input type="text" value="4111"/>	Wh
P1 Apparent	<input type="text" value="268"/>	VA	Exported	<input type="text" value="0"/>	Wh
Cos Phi 1	<input type="text" value="0.477"/>	-	Div1(est)	<input type="text" value="0"/>	Wh
P2 Real	<input type="text" value="0"/>	W	Div2(est)	<input type="text" value="4"/>	Wh
P2 Apparent	<input type="text" value="3"/>	VA	Div2	<input type="text" value="4"/>	Wh
Cos Phi 2	<input type="text" value="0.078"/>	-	PV	<input type="text" value="384"/>	Wh
P3 Real	<input type="text" value="151"/>	W	Cnt1	<input type="text" value="0"/>	Wh
P3 Apparent	<input type="text" value="169"/>	VA	Cnt2	<input type="text" value="0"/>	Wh
Cos Phi 3	<input type="text" value="0.890"/>	-			
P Div (est)	<input type="text" value="0"/>	W			
Counter 1	<input type="text" value="0"/>	W			
Counter 2	<input type="text" value="0"/>	W			
Energy History			Energy total		
Date	<input type="text" value="2024/1/28"/>	-	Date	<input type="text" value="2023/12/1"/>	-
Imported	<input type="text" value="7714"/>	Wh	Imported	<input type="text" value="470978"/>	Wh
Exported	<input type="text" value="0"/>	Wh	Exported	<input type="text" value="17"/>	Wh
Div1(est)	<input type="text" value="0"/>	Wh	Div1(est)	<input type="text" value="0"/>	Wh
Div2(est)	<input type="text" value="5"/>	Wh	Div2(est)	<input type="text" value="3164"/>	Wh
Div2	<input type="text" value="8"/>	Wh	Div2	<input type="text" value="2838"/>	Wh
PV	<input type="text" value="1127"/>	Wh	PV	<input type="text" value="33791"/>	Wh
Cnt1	<input type="text" value="0"/>	Wh	Cnt1	<input type="text" value="2242"/>	Wh
Cnt2	<input type="text" value="0"/>	Wh	Cnt2	<input type="text" value="2"/>	Wh
History 0=yesterday <input type="text" value="0"/>   					

AASun - AdAstra-Soft

9 L'afficheur OLED

Le routeur dispose d'un afficheur OLED et de deux boutons pour faire défiler les pages.

Sa présence n'est pas obligatoire : il n'est utilisé qu'en écriture et son absence n'est pas perçue par le logiciel.

D'un point de vue technique 2 polices de caractères sont gérées et permettent d'obtenir 8 ou 4 lignes. Pour une meilleure visibilité la grosse police est utilisée, donc 4 lignes.

Deux types d'afficheurs sont supportés :

- Afficheur de 0.96" avec un contrôleur SSD-1306.
- Afficheur de 1.3" avec un contrôleur SH-1106.

Attention : il faut prendre le modèle SPI avec 7 broches, et la broche de gauche doit être GND. On trouve des afficheurs avec GND et VCC inversés.

La sélection du modèle d'afficheur se fait lors de la configuration avec la commande « cdpv ».

La configuration par défaut n'indique pas d'afficheur (valeur 0). Il faut donc passer par la configuration pour indiquer l'afficheur à utiliser, sauver la configuration, puis relancer le routeur (reset). Sur la console pour choisir le 1.3" cela donne :

```
cdpv 1
cwg
reset
```

Une quinzaine de pages sont disponibles, et il est facile d'en ajouter, de les modifier ou d'en modifier l'ordre (nécessite une recompilation).

Les pages que j'utilise :

- Logo (un peu de pub et c'est joli au démarrage !)
- Page générale avec
 - o la version du logiciel
 - o l'adresse IP de base
 - o le jour et l'heure
 - o la tension secteur.
- Puissance instantanée : importée (soutirée), exportée (injectée), routée estimée, CT2
- Energie journalière : importée (soutirée), exportée (injectée), routée, CT2, CT3, Pulse1, Pulse2.
- Energie totale : importée (soutirée), exportée (injectée), routée, CT2, CT3, Pulse1, Pulse2.
- Etat du routage et estimation de la puissance instantanée routée



- 1 page pour chaque CT :
 - Intensité
 - Puissance réelle
 - Puissance active
 - Cosinus Phi
- Page Linky (mode standard)
 - Voltage
 - Base
 - VA
- Page pour afficher les températures
- Pages pour afficher les pics min/max ADC de chaque voie analogique.
- Page d'affichage des bits d'état et d'erreurs du routeur.

Toutes ces informations permettent de consulter l'état du routeur et de le configurer confortablement.

10 La LED D2

Le clignotement de la LED bleue D2 donne une idée du fonctionnement de l'application :

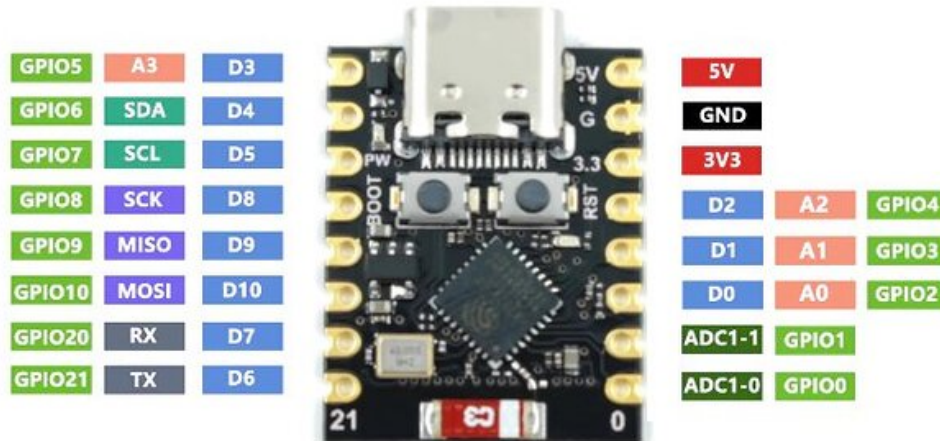
- Elle est allumée dès que l'application est démarrée et le reste pendant toute la phase d'initialisation.
- Pendant la phase de synchronisation avec le 50 Hz du secteur elle clignote à 50 HZ (baisse de luminosité).
- Ensuite elle est allumée par la tâche de mesure quand 1s de données sont accumulées et transmises à la tâche de traitement.
- Elle est éteinte par la tâche de traitement quand elle a fini de traiter les données.

Si D2 clignote à la fréquence de 1s c'est que les 2 tâches sont « vivantes ». La durée d'allumage indique la durée du traitement de chaque seconde de données.

11 WIFI

11.1 Le module

Le module WIFI choisi est le « ESP32-C3 Super Mini ». L'ESP32-C3 est considéré comme le successeur de l'ESP8266 bien connu.



Principales caractéristiques du module qui nous intéressent:

- 13 GPIO disponibles, qui peuvent être affectées par programmation à presque n'importe quel périphérique. L'affectation des GPIO dans la figure ci-dessus est une suggestion.
- Seules GPIO2, GPIO8 et GPIO9 ont une fonction particulière au boot. Mais ces broches sont correctement conditionnées sur le module et peuvent quand même être utilisées par une application :
 - GPIO2 pull up, peut être utilisée comme une entrée
 - GPIO8 pull up, LED bleue du module
 - GPIO9 pull up, bouton BOOT.
- 4 Mo de flash
- Interface USB spécialisée : utilisable seulement pour la programmation de la flash, et comme port série virtuel pour une console. Ce qui est très pratique pour le développement : pas besoin de convertisseur USB/UART externe, et cela réduit la taille du module.

Il y a une contrainte concernant l'alimentation du module. La broche 5V est directement reliée au VBUS de l'USB. Cette broche est donc une sortie du module quand l'USB est branché.

Plus généralement il y a 3 modes pour alimenter le module et ils sont exclusifs :

- Le connecteur USB
- La broche 5V
- La broche 3.3V

11.2 Implémentation

Le module WIFI est considéré comme une interface par le routeur : aucun traitement ne lui est sous traité.

Le routeur communique avec l'interface WIFI par une liaison série à 230.4 k bauds. La synchronisation des 2 parties est automatique, et l'absence temporaire ou permanente de l'interface WIFI ne perturbe pas le fonctionnement du routeur.

L'interface WIFI donne accès au serveur HTTP de AASun et a une liaison Telnet donnant accès à toutes les commandes de la console.

Le module permet deux modes WIFI : « Station » dit STA et « Access Point » dit AP. La sélection se fait à l'aide d'un cavalier J22:

STA : cavalier absent

AP : cavalier en place

Les pages du serveur HTTP sont placées dans la flash de AASun afin de pouvoir être utilisées avec l'interface réseau filaire. Pour accélérer l'affichage des pages en WIFI en leur évitant de passer par la liaison série entre le routeur AASun et l'interface WIFI, l'interface WIFI fait une copie du système de fichiers dans sa propre flash.

Au boot l'interface WIFI compare le CRC de son système de fichier avec celui du routeur, et s'ils sont différents il copie le système de fichier du routeur. Donc pour mettre à jour l'interface WIFI il n'y a que l'application à flasher. Les identifiants WIFI et le système de fichier HTTP sont conservés.

La mise à jour du logiciel du module WIFI utilise l'USB. L'OTA n'est pas implémenté.

11.2.1 Le mode « Access Point »

Le mode AP permet au module WIFI de créer un réseau particulier auquel d'autres équipements (comme un téléphone) peuvent se connecter. Les informations de connexion en mode AP :

SSID	AASun
Mot de passe	AASun***
Adresse IP	192.168.4.1

Le mode AP est utile pour les situations suivantes :

- S'il n'y a pas de box Ethernet dans le logement, le mode AP permet de se connecter au routeur et de le configurer. D'autre part le serveur HTTP est disponible dans ce mode et permet de consulter facilement les données du routeur .
Cependant la page d'affichage des courbes n'est pas disponible : La librairie graphique utilisée fait ~1 Mo, et ne loge pas dans la flash du module.
- Pour se connecter en mode STA le module a besoin de connaître le SSID et le mot de passe de la box ou du routeur WIFI auquel il va se connecter. Ces informations d'identifications doivent être au préalable fournies au module WIFI qui les stocke dans sa flash. Pour cela :

Se connecter à AASun en mode AP

Puis se connecter au serveur HTTP en avec l'URL : 192.168.4.1/id

Puis entrer le SSID et le mot de passe requis.

Il est aussi possible de personnaliser le mot de passe du mode AP.

Dans le mode AP le WIFI n'a pas accès à Internet, il ne peut donc pas utiliser des services tels que DNS ou SNTP.

11.2.2 Le mode « Station »

Le mode STA est le plus utilisé et donne accès à Internet par l'intermédiaire de la box ou du routeur Internet du logement. L'interface WIFI peut donc servir de source de datation à AASun.

D'un point de vue logique AASun permet d'utiliser simultanément les interfaces WIFI et réseau filaire, même si physiquement les 2 interfaces ne peuvent pas être présentes simultanément. Il faut donc attribuer deux adresses IP à AAsun. Par convention l'adresse IP fournie par la configuration est l'adresse IP attribuée au réseau filaire, et l'adresse WIFI est cette adresse incrémentée de 1. Par exemple :

192.168.1.130 Adresse du réseau filaire attribuée lors de la configuration

192.168.1.131 Adresse IP de l'interface WIFI en mode STA

Ce sont des adresses IP fixes.

Pour donner les informations d'identification du mode STA (SSID et mot de passe) il faut passer par le mode AP, puis par le serveur HTTP ou par les commandes disponibles sur la console série/USB (taper ? pour afficher une aide).

11.3 Alimentation du module WIFI

Le module WIFI est alimenté par sa broche 5V.

Pour le développement ou la mise à jour du logiciel il est utile de pouvoir connecter l'USB du module alors qu'il est en place sur le routeur. Pour cela le routeur dispose du cavalier J20 qui débranche l'alimentation 5V venant du routeur.

Pour brancher un câble USB sur le module WIFI en place sur le routeur, il est impératif d'enlever au préalable le cavalier J20 d'alimentation 5V du module.

11.4 Développement et téléversement

L'application du module WIFI est développée avec l'environnement Espressif-IDE, qui est un environnement pratique sous Eclipse : <https://dl.espressif.com/dl/esp-idf/>.

Le dossier du projet est `http`. Il est à copier dans le workspace Eclipse créé au lancement de l'IDE.

L'environnement permet d'éditer et de compiler le projet. Ensuite il permet de le téléverser dans la cible et de le débbugger.

Dans mon cas je n'ai pas réussi à faire fonctionner le débbugger de l'IDE. Mais l'installation fournit une console de commande (ESP-IDF CMD) qui permet de s'en sortir.

Pour configurer un module WIFI neuf qui n'a jamais été programmé :

- Configurer l'adresse IP de base dans le routeur.

- Compiler le projet.
- Lancer la fenêtre de commande ESP-IDF CMD, et changer le dossier courant pour le dossier du projet dans l'IDE (dossier http).
- Connecter le module ESP par USB, en place sur AASun, avec le cavalier d'alimentation 5V retiré, et le cavalier de boot AP en place. Repérer le numéro du port COM associé, par exemple COM15
- Taper : `idf.py -p COM15 flash monitor`
Cela configure le partitionnement de la flash puis programme le bootstrap et l'application.
- A la fin de la programmation le module reboote en mode AP et met à jour le système de fichier du serveur HTTP.
- Avec un téléphone se connecter au module avec le SSID et le mot de passe du mode AP indiqués plus haut, puis charger la page `192.168.4.1/id` pour rentrer le SSID et le mot de passe de votre box ou routeur Ethernet.
- Enlever le cavalier de boot AP du module WIFI et faire un reset de celui-ci. Il reboote en mode STA et dans les commentaires affichés il indique la connexion à la box et l'adresse IP qui lui est affectée.
- Vérifier que tout marche en chargeant la page d'accueil du serveur HTTP.
- Mettre le routeur hors tension, débrancher le câble USB du module WIFI, remplacer le cavalier d'alimentation 5V du module WIFI. Remettre sous tension le routeur.
- Quitter le monitoring de l'ESP en tapant « CTRL-t x »

Pour une simple mise à jour du module il n'y a que l'application à flasher :

- Lancer la fenêtre de commande ESP-IDF CMD, et changer le dossier courant pour le dossier du projet dans l'IDE (dossier http).
- Connecter le module ESP par USB, en place sur AASun, avec le cavalier d'alimentation 5V retiré. Repérer le numéro du port COM associé, par exemple COM15
- Taper : `idf.py -p COM15 app-flash monitor`
Cela ne programme que l'application (pas le bootstrap)

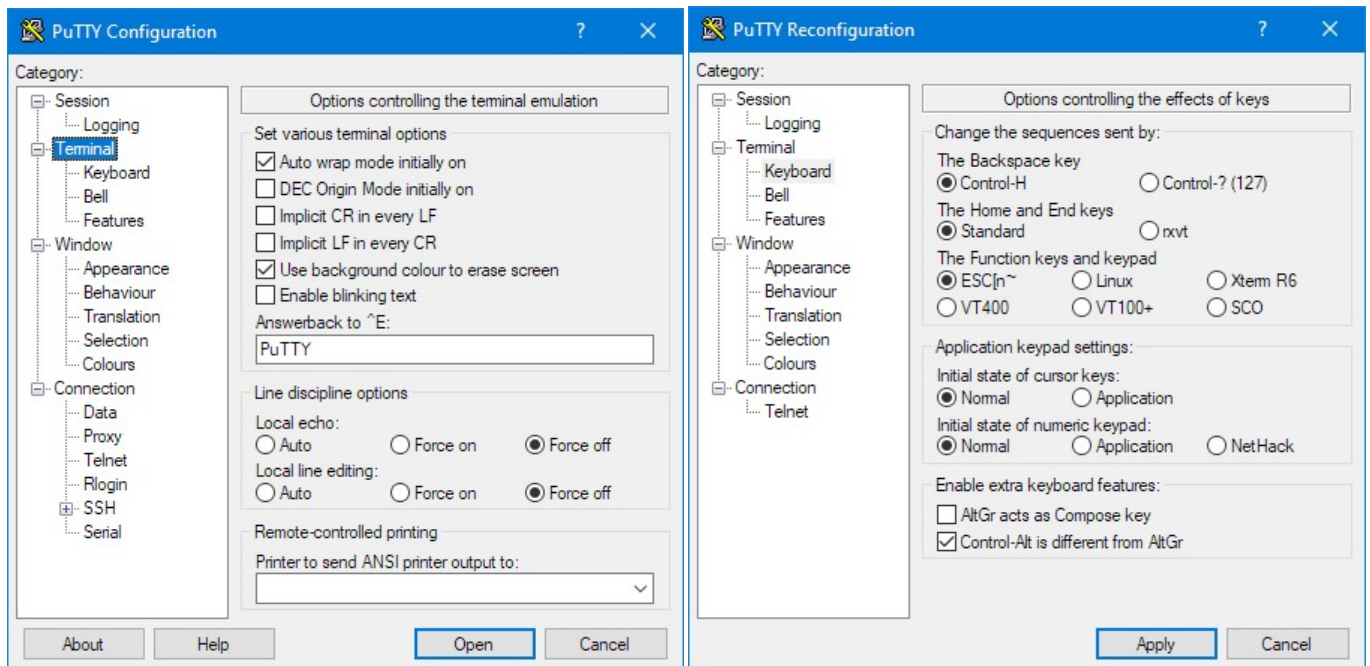
Le SSID et le mot de passe sont conservés.

12 Telnet

Il est possible d'utiliser Telnet pour déporter la console de AASun sur réseau, et rendre toutes les commandes de diagnostic et de configuration disponibles.

Telnet est utilisable avec les interfaces réseau filaire ou WIFI

Le logiciel PuTTY est très pratique, voici la configuration à utiliser :



Pour utilise MS Telnet :

```
c:\>telnet
Microsoft Telnet> d
Le caractère d'échappement est 'CTRL+$'
Va authentifier (Authentication NTLM)
Écho local désactivé
Mode nouvelle ligne - force la touche Retour à envoyer CR & LF
Mode actuel : Console
Négociera le type de terminal
Le type de terminal préféré est ANSI
Microsoft Telnet>open 192.168.1.130
. . . CTRL+$
Microsoft Telnet>quit
```

Pour TeraTerm :

The image displays four screenshots of the TeraTerm configuration windows:

- Tera Term: TCP/IP setup**: Shows a host list with entries like 192.168.1.130, myhost.example.com, and various IPv6 addresses. It includes checkboxes for Telnet, Auto window close, and History. The Port is set to 22 and Term type is xterm.
- Tera Term: Keyboard setup**: Shows settings for Transmit DEL by (Backspace key or Delete key) and Meta key (off). It also has a Disabled mode section with checkboxes for Application Keypad and Application Cursor.
- Tera Term: Terminal setup**: Shows terminal size (76 x 38), New-line settings (Receive: CR, Transmit: CR), and checkboxes for Term size = win size, Auto window resize, Local echo, and Auto switch (VT<->TEK).
- Tera Term: New connection**: Shows the selection of TCP/IP as the connection type. The Host is 192.168.1.130, Service is Telnet, TCP port is 23, and Protocol is UNSPEC.

13 Câblage

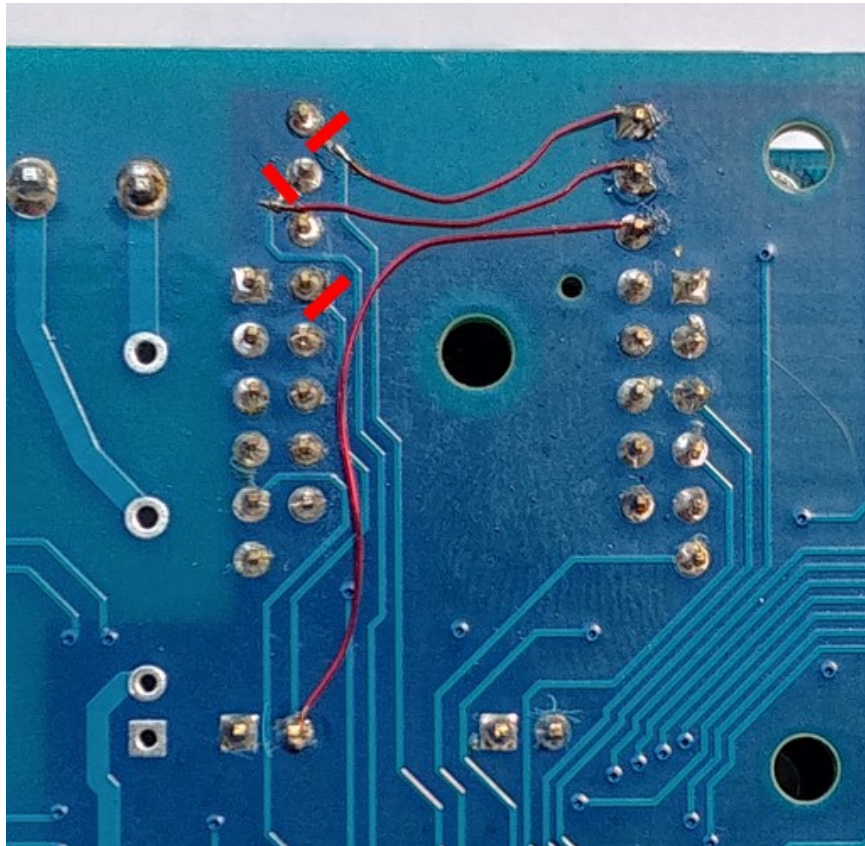
Il y a une erreur dans le schéma concernant l'implémentation du module WIFI. Il y a 3 pistes à couper, et 3 fils à placer :

Au niveau du module WIFI couper les pistes GPIO9, GPIO20, GPIO21.

Relier la piste allant à GPIO21 à GPIO0.

Relier la piste allant à GPIO20 à GPIO1.

Relier J22-2 à GPIO2.



14 Mise en route

Il est recommandé de tester et étalonner le routeur sur table avant de l'installer (voir § [Moyens d'étalonnage](#)).

En cas de disfonctionnement ou de doute c'est beaucoup plus facile de faire les manip.

Pour que le routeur fonctionne il faut que ses paramètres de mesure de tension et de courants soient au moins grossièrement corrects.

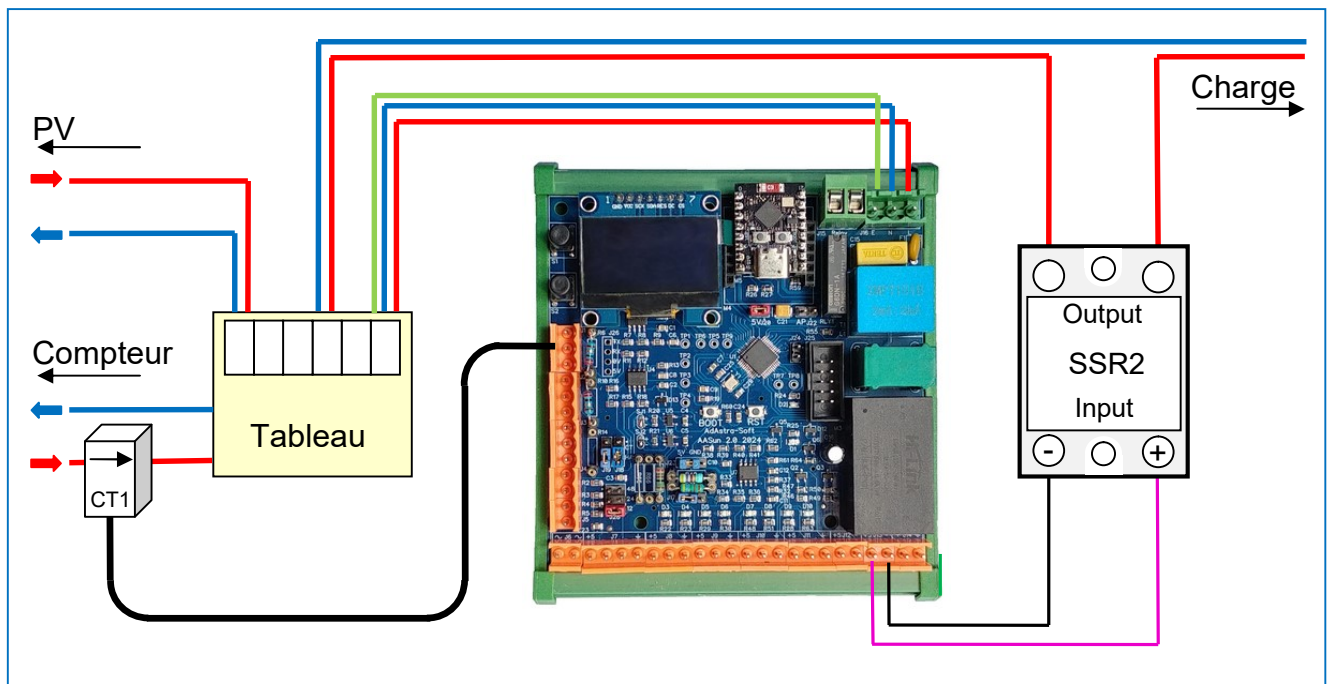
La définition `I_SENSOR_COUNT` dans le fichier `cfgParameters.h` permet de spécifier combien de CT le routeur doit gérer, entre 2 et 3.

Une fois l'application compilée la flasher dans le MCU.

Il faut aussi flasher le système de fichiers HTTP dans la flash externe.

14.1 Installation

Le câblage minimal est le suivant (3 connecteurs seulement) :



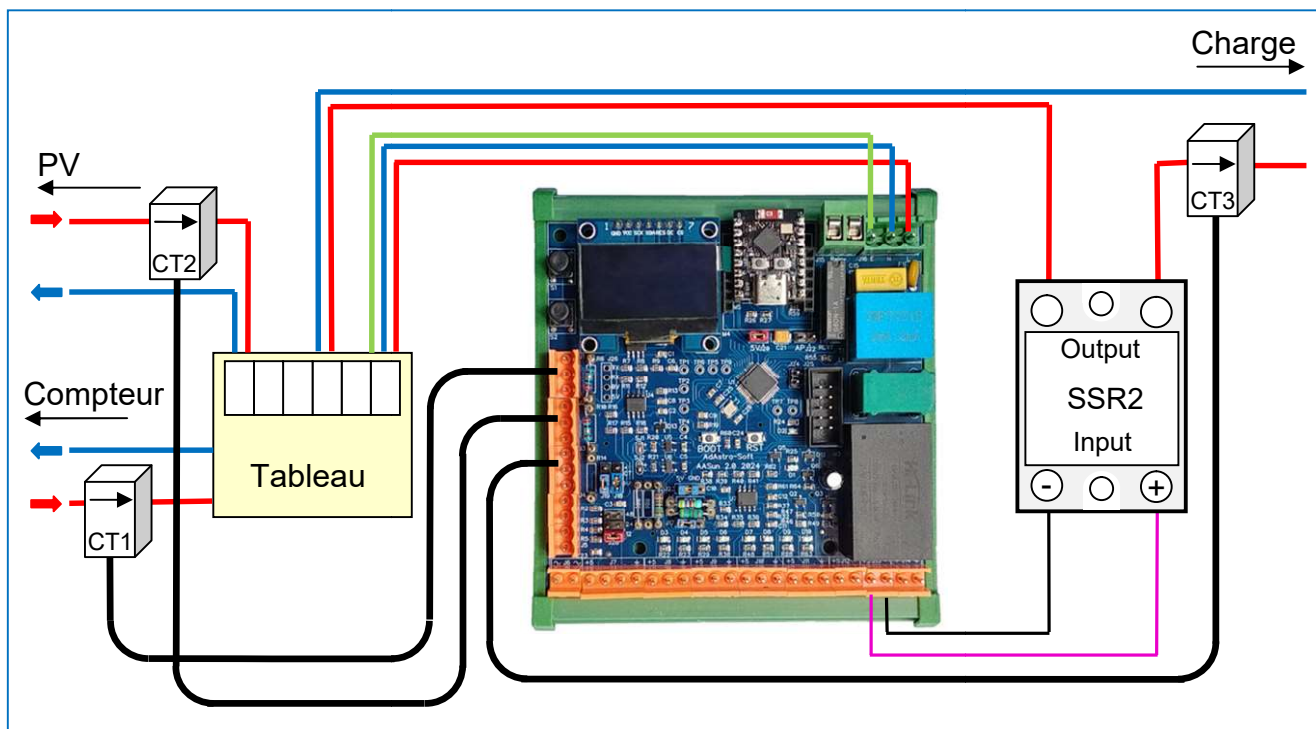
Connecter :

J16 Au secteur avec la terre.

J1 Avec le CT à clipser sur l'arrivée principale sur le tableau électrique.

J13 Au SSR de dérivation.

Un câblage plus complet : CT3 permet de mesurer la puissance réelle routée, et CT2 permet de mesurer la production photovoltaïque.



Connecter :

- J16 Au secteur avec la terre
- J1 Avec le CT1 à clipser sur l'arrivée principale sur le tableau électrique.
- J2 Avec le CT2 à clipser sur la phase venant des panneaux photovoltaïques.
- J3 Avec le CT3 à clipser sur la phase alimentant la charge de dérivation.
- J13 Au SSR de dérivation

Il est important de respecter le sens de la flèche indiqué sur le CT.



Certains CT n'ont pas de résistance de «burden» interne, et peuvent donc développer des tensions très élevées s'ils ne sont pas connectés sur une résistance externe.

Vérifiez d'avoir placé les résistances de «burden» sur le routeur si elles ne sont pas intégrées au CT.



Il est impératif de connecter le CT sur le routeur avant de le clipser sur le câble.

14.2 Moyens d'étalonnage

Etalonner le routeur consiste à étalonner la mesure de la tension secteur et les mesures de courant. Le matériel nécessaire est :

- Un multimètre numérique, si vous lui faites confiance, ou un compteur tel que celui-ci.



Exemple pour la tension : le Linky annonce 235V, le compteur 238 et le multimètre 233. Je me suis dit que le plus fiable est le Linky (le multimètre est à moins de 1% du Linky).

Pour l'intensité de mon petit radiateur à bain d'huile le compteur et le multimètre donnent la même valeur : 2.09A.

- Un appareil électrique qui se présente sous la forme d'une résistance pure : radiateur à bain d'huile, grille pain, bouilloire...
- Un câble d'alimentation de l'appareil avec un des fils de phase ou de neutre accessible pour y placer les transformateurs de courant (CT).
- Une liaison série ou Ethernet avec le routeur pour avoir une console interactive (PuTTY).

L'appareil électrique doit être d'une puissance correspondant à peu près à l'usage futur du routeur. S'il est de puissance très inférieure, il faudra faire plusieurs tours de fils dans le CT. Les CT n'étant pas très linéaires, un étalonnage à 100W donnera des mesures légèrement faussées à 3 kW, et inversement.

L'étalonnage se fait en utilisant les commandes à travers la console ou les pages du serveur HTTP. Sur la console toutes les commandes de calibration commencent par 'c'. Par exemple :

- | | |
|----|--|
| c? | Affiche toutes les valeurs de calibration |
| cv | Affiche la valeur de calibration de la tension |

cv 1715	Fixe la valeur de calibration de la tension à 1715
cv 235 v	Indique que la tension courante est de 235V et calcule la valeur de calibration de la tension
cwr	Ecrit la configuration en Flash
crd	Lit la configuration dans la Flash
d1	Affiche toute les secondes les donnés du CT 1
d2	Affiche toute les secondes les donnés du CT 2
?	Affiche le menu de toutes les commandes

En général la configuration initiale est plus pratique sur la console, et les ajustements fins à partir des pages HTTP.

14.3 Calibration de la tension

Sélectionner la page de l'afficheur indiquant la tension, ou sur la console afficher les données avec d1.

Relever la tension sur votre multimètre (par exemple 234V), puis la reporter dans le routeur avec la commande : `cv 234 v`

Sur la console ou l'afficheur cette tension devrait être affichée.

La tension est calibrée

14.4 Correction de la phase

Les transformateurs de courant ont tous des caractéristiques différentes, en particulier le retard qu'ils introduisent dans les mesures. Pour un routage précis il faut que la mesure de tension et la mesure du courant I1 du CT N°1 soient en phase.

La commande `ds` (**D**isplay **S**amples) permet d'afficher les valeurs ADC pour une période complète du secteur. La commande `dss` (**D**isplay **S**amples **S**hort) permet de n'afficher que la partie centrale de la période, c'est à dire la transition entre l'alternance positive et l'alternance négative. Les colonnes correspondent à (pour une configuration avec 2 CT):

- La tension brute
- I1
- I2
- La tension avec phase corrigée.

Le but de la correction de phase est que la tension et I1 changent de signe au même moment. On corrige donc la phase de la tension pour s'adapter au CT de I1. Cela ne corrige pas forcément la phase par rapport à I2, I3..., et même parfois la dégrade pour ces courants.

Exemple :

Tableau de gauche sans correction de phase : La tension (colonne 4) change de signe à la ligne 11, et I1 (colonne 2) à la ligne 7, donc il y a un déphasage correspondant au temps de 4 échantillons (400 µs).

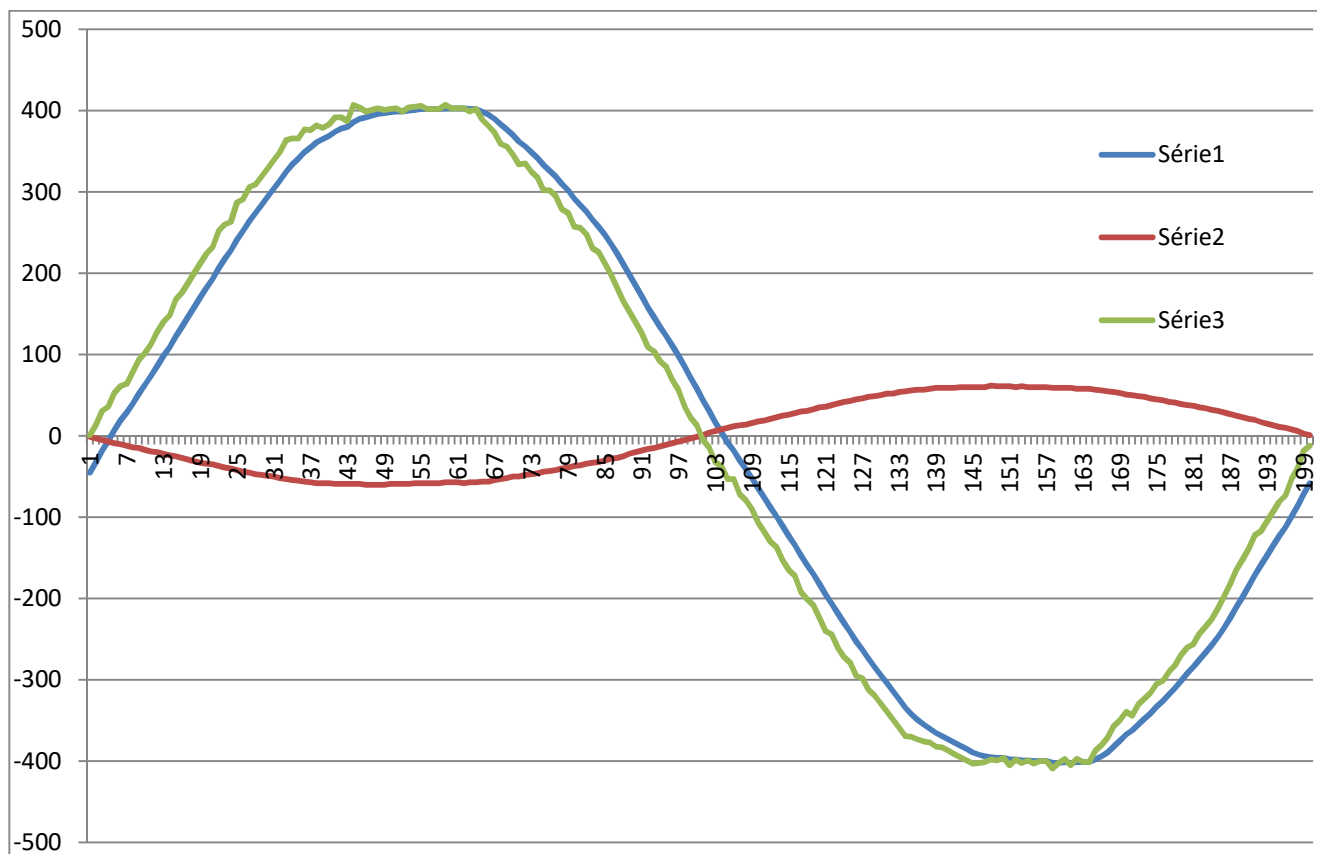
Tableau de droite après correction de phase avec la commande `cph 8192`, la tension et I1 changent de signe sur la même ligne. Par contre I2 change un peu plus tard.

Sans correction de phase				Avec correction de phase			
dss				dss			
132	46	62	132	133	47	62	93
122	40	55	122	122	40	56	78
111	33	48	111	112	33	48	72
99	25	39	99	100	25	40	52
86	16	30	86	87	17	31	35
71	6	21	71	73	7	21	17
57	-4	11	57	58	-4	11	-2
42	-15	-1	42	43	-14	-1	-17
27	-23	-11	27	28	-23	-11	-32
12	-32	-20	12	13	-32	-20	-47
-3	-40	-28	-3	-3	-40	-28	-67
-16	-40	-27	-16	-15	-40	-27	-63
-28	-39	-27	-28	-27	-40	-27	-75
-39	-62	-50	-39	-38	-61	-50	-82
-51	-69	-58	-51	-51	-69	-57	-103
-64	-77	-66	-64	-62	-76	-64	-106
-75	-84	-73	-75	-74	-83	-72	-122
-87	-91	-81	-87	-85	-90	-79	-129

Pour étalonner il faut faire changer le déphasage par pas de 1024 jusqu'à ce que les changements de signe soient sur la même ligne.

Il ne faut pas s'attendre à ce que ce soit parfait tout le temps : les signaux sont bruités et un résultat oscillant à ± 1 ligne ou 2 est correct.

Affichage graphique des données fournies par ds :



Les lignes bleue et verte montrent la tension avant et après déphasage.

Quand la phase est ajustée les lignes verte et rouge se croisent en 0 sur l'échantillon 101.

14.5 Calibration des intensités

CT branchés et appareil (ou autre source de courant) éteint.

Commande `sd 0` pour arrêter le routage (**S**top **D**iverter). Avec la commande `?` au bout de la ligne `sd` il y a (0) quand le routage est à suspendu et (1) quand il est en marche.

14.5.1 Correction de l'offset de l'ADC

Sur l'afficheur afficher la page des valeurs de l'ADC « Peak (LSB) ». Il faut corriger au mieux un éventuel offset. Les deux valeurs sur une ligne doivent être en valeur absolue égales à ± 1 près. La calibration se fait avec la commande `cio i xxx` ou `i` est le numéro du CT et `xxx` la valeur qui sera ajoutée aux mesures.

Par exemple si on voit :

```
I1 0 -3
```

La correction se fait avec :

```
cio 1 1
```

Et on doit voir des valeurs qui oscillent entre :

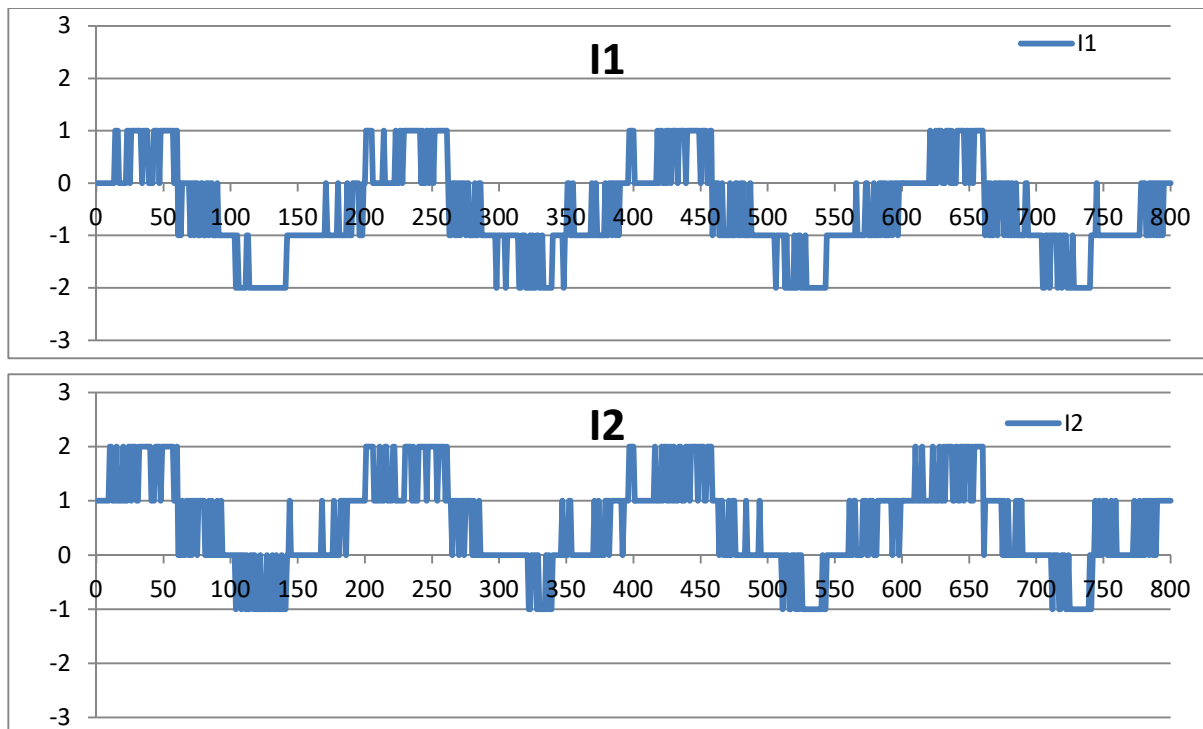
```
I1 2 -2
```

```
I1 2 -3
```

```
I1 1 -2
```

Corriger aussi l'offset des autres voies.

Les graphes ci-dessous montrent 4 périodes secteur près correction d'offset ADC :



On remarque :

- Les signaux sont propres.

- Il y a un léger parasitage de l'intensité par la tension secteur : ± 1 LSB, ce n'est pas grave.
- Pour vraiment corriger l'offset il faudrait utiliser $\frac{1}{2}$ LSB !

14.5.2 Calibration de l'intensité

Clipser le CT 1 autour du fil de phase avec les flèches en direction de l'appareil pour avoir un courant positif.

Mettre l'appareil sous tension et mesurer l'intensité qu'il consomme avec le multimètre ou le compteur, par exemple 5.29 A.

La commande `d1` ou l'afficheur affichent l'intensité `I1` calculée toute les secondes. Multiplier l'intensité relevée par 100 et la fournir à la commande `ci`. Dans notre exemple :

`ci 1 529 a` Indique que CT1 mesure 529/100 ampères.

Cette commande calcule la valeur de calibration de l'intensité et l'applique.

`d1` pour arrêter l'affichage de `I1`

Calibrer `I2` et `I3` de la même manière avec `ci 2 xxx a` et `ci 2 yyy a`.
Pour CT3 vérifiez que les cavaliers de J18 et J19 sont bien en position 1-2.

Les intensités sont calibrées.

14.6 Calibration de la puissance active

Une fois la tension et les intensités calibrées, l'affichage des puissances apparentes en VA est juste.

Comme on utilise un appareil purement résistif les puissances apparentes en VA et les puissances réelles en W doivent être égales (en théorie).

14.6.1 Correction de l'offset de puissance active

Appareil éteint la puissance active doit être à 0 ou très proche. Exemple pour le CT1 :

`d1` Affiche les données (ou sélectionner la page `I1` de l'afficheur)

`cpo 1 0` Annule l'offset de `p1Real` Relever la valeur `xxx` affichée pour `p1Real`, c'est l'offset à annuler

`cpo 1 vvv w` `vvv` est la partie entière de `xxx*10`. Maintenant la puissance `p1Real` affichée doit être autour de 0.

Calibrer de la même manière l'offset des autres puissances actives avec `cpo 2`, etc.

14.6.2 Calibration de la puissance active

Utiliser `d1` ou la page `I1` de l'afficheur.

Si vous disposez d'un compteur donnant la puissance consommée par l'appareil (par exemple 1120W), vous pouvez l'indiquer au routeur avec la commande `cp n` :

`cp 1 1120 w` Pour le CT1 la puissance active est de 1120 W

Cette commande calcule la valeur de calibration de la puissance et l'applique.

Si la mesure de la puissance n'est pas disponible vous pouvez utiliser la puissance apparente fournie par le routeur : en théorie elles sont égales pour une charge résistive.

Il est possible de spécifier directement la valeur de calibration

<code>cp 1</code>	Affiche la valeur courante de la calibration pour I1
<code>cp 1 xxx</code>	Modifier la valeur de calibration de I1 pour obtenir l'égalité des puissances actives et apparentes.

Le Cos-Phi est aussi affiché. La calibration peut aussi être effectuée pour que le Cos-Phi oscille entre 999 et 1001.

Calibrer de la même manière les autres puissances actives.

14.7 Configuration réseau

Les commandes de configuration du réseau commencent par `cl`. Exemple :

<code>clip</code>	192	168	1	130
<code>clmask</code>	255	255	255	0
<code>clgw</code>	192	168	1	254
<code>cldns</code>	1	1	1	1
<code>cldhcp</code>	s			

Pour `cldhcp` seul le mode adressage statique « s » est supporté (pas de DHCP).

14.8 Mesure de la tension continue

Pour calibrer la mesure de tension continue, positionner le cavalier J28 sur la gamme choisie.

Appliquer une tension correspondant à la gamme, et la relever avec un multimètre.

Fournir la valeur `vvv` de la tension en millivolt au routeur avec la commande :

`cbv vvv`

Cette commande calcule la valeur de calibration de la tension et l'applique.

La commande `var` affiche les valeurs courantes des variables, et la variable 3 affiche la valeur de la tension en millivolts.

14.9 Autres valeurs de configuration du routeur

`cpm n www` Fixe la marge de puissance du routage `n` en W avec `n` égal à 1 ou 2. Lorsqu'il y a routage, le routeur s'assure qu'il y a quand même un soutirage de cette puissance pour éviter toute injection. Valeurs courantes : 0 ou 10.

<code>cpmax n w v</code>	Valeur maximale de la puissance à router. <code>n</code> est la voie de routage 1 ou 2. La puissance est <code>w</code> en watt, et <code>v</code> est le voltage nominal pour cette puissance. Avec un chauffe eau annoncé pour 3000W, c'est une valeur autour de 3000 à 230V.
--------------------------	---

La charge (chauffe eau) étant une résistance, la puissance qu'elle dissipe varie avec la tension qui lui est appliquée. Donc pmax n'est valide que pour la tension nominale spécifiée, et le routeur calcule la puissance réelle en fonction de la tension effective.

cpmax n w	Si la tension n'est pas fournie, c'est la tension courante mesurée par le routeur qui est utilisée comme tension nominale.
cks p i	Coefficients du contrôleur PI de synchronisation sur la période secteur. Ne pas toucher.
ckd p i	Coefficients du contrôleur PI du routeur. Eventuellement à ajuster en fonction de l'équipement recevant la puissance routée.
cpc n p	Configure le compteur d'impulsion n égal 1 ou 2. La valeur p est le nombre d'impulsions par kWh. Si p vaut 0, alors ce compteur n'est pas utilisé et l'entrée peut être utilisé comme entrée logique (IN3 ou IN4).
cen n nom	Attribue un nom à la source d'énergie n, de 0 à 8.
cal s v	Configure l'anti légionellose. Voir § Anti légionellose.
cfp n	Numéro de la page à présenter sur l'afficheur OLED à la mise sous tension du routeur (page par défaut).
cdpy n	Sélection de l'afficheur n=1 pour 1.3", n=2 pour 0.96"

14.10 Sauvegarde

Pour afficher la configuration courante : c?

Exemple pour une configuration avec 3 CT:

c?	
cv	1750
cph	4096
cio	1 0
ci	1 595
cp	1 1023
cpo	1 9
cio	2 0
ci	2 579
cp	2 995
cpo	2 10
cio	3 0
ci	3 579
cp	3 900
cpo	3 10
cpc	1 2000
cpc	2 0
cpm	1 0
cpmax	1 2832 230
cpm	2 0
cpmax	2 740 230
cdr	1 OFF

```

cdr      2 ON
cfr      3 ON & OUT2 & STD & V2 > 6 / DMAX = 120 & V2 < 6
cen      0 Imported
cen      1 Exported
cen      2 Div1(est)
cen      3 Div2(est)
cen      4 CT2
cen      5 CT3
cen      6 CT4
cen      7 Cnt1
cen      8 Cnt2
cks      1000 40
ckd      2 25
clip     192 168 1 132
clmask   255 255 255 0
clgw     192 168 1 254
cldns    1 1 1 1
cldhcp   s
cbv      745
cdpy     1
cfp      1
cal      T1 54

```

Il est recommandé de copier ce qui est affiché et de le sauver dans un fichier.

Si un jour il est nécessaire de restaurer la configuration, il suffira de coller cette configuration dans le terminal.

Après vérification il faudra utiliser `cwr` pour la sauver dans la FLASH du routeur.

Pour la configuration des capteurs de température se reporter au chapitre [Configuration](#) des DS18B20

14.11 Configuration du MCU

Il faut disposer du logiciel STM32CubeProgrammer qui est gratuit et disponible sur le site STMicroelectronics.

Il y a plusieurs choses à faire avant de pouvoir utiliser un MCU neuf (qui n'a jamais été programmé) :

- Configurer les « Option Bits »
- Ecrire l'application dans la flash du MCU
- Ecrire le fichier contenant les page HTTP dans la flash externe.

Les deux premières étapes se font avec l'application STM32CubeProgrammer, en utilisant soit ST-LINK soit un adaptateur USB/UART (FTDI par exemple).

La dernière peut se faire de deux façons :

- STM32CubeProgrammer et un ST-LINK et un « External Loader » spécialement développé (fourni)
- L'application SerEL.exe et un adaptateur USB/UART

14.11.1 Les « Option Bits »

Lors de la première utilisation du MCU il est nécessaire de configurer les « Option Bits » afin de pouvoir utiliser le bouton Boot et le bootloader interne si une liaison série est utilisée pour flasher l'application.

C'est la configuration par défaut sauf nBOOT_SEL qui est décoché.

Après configuration des Option Bits il faut impérativement mettre hors tension le MCU avant de continuer pour que la nouvelle configuration soit prise en compte (un reset ne suffit pas !)

▼ User Configuration		
Name	Value	Description
nRST_STOP	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Reset generated when entering Stop mode Checked : No reset generated when entering Stop mode
nRST_STDBY	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Reset generated when entering Standby mode Checked : No reset generated when entering Standby mode
nRST_SHDW	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Reset generated when entering the Shutdown mode Checked : No reset generated when entering the Shutdown mode
IWDG_SW	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Hardware independant watchdog Checked : Software independant watchdog
IWDG_STOP	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Freeze IWDG counter in stop mode Checked : IWDG counter active in stop mode
IWDG_STDBY	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Freeze IWDG counter in standby mode Checked : IWDG counter active in standby mode
WWDG_SW	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Hardware window watchdog Checked : Software window watchdog
RAM_PARITY_CHECK	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : SRAM2 parity check enable Checked : SRAM2 parity check disable
nBOOT_SEL	<input type="checkbox"/>	Unchecked : BOOT0 signal is defined by BOOT0 pin value (legacy mode) Checked : BOOT0 signal is defined by nBOOT0 option bit
nBOOT1	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : Boot from Flash if BOOT0 = 1, otherwise Embedded SRAM1 Checked : Boot from Flash if BOOT0 = 1, otherwise system memory
nBOOT0	<input checked="" type="checkbox"/>	Unchecked : nBOOT0=0 Checked : nBOOT0=1
NRST_MODE	3	0 : Reserved 1 : Reset Input only: a low level on the NRST pin generates system reset, internal RESET not possible 2 : GPIO: standard GPIO pad functionality, only internal RESET possible 3 : Bidirectional reset: NRST pin configured in reset input/output mode (legacy mode)
IRHEN	<input checked="" type="checkbox"/>	Internal reset holder enable bit Unchecked : Internal resets are propagated as simple pulse on NRST pin Checked : Internal resets drives NRST pin low until it is seen as low level

Configuration de la liaison série dans CubeProgrammer

Le baudrate est à ajuster suivant la qualité de la liaison série (longueur, type de câble...). Pour une liaison de 12m en câble réseau Cat5e j'utilise 57600 bauds.

UART

Connect

UART configuration

Port

COM16

Baudrate

115200

Parity

Even

Data bits

8

Stop bits

1.0

Flow control

Off

RTS

0

DTR

0

Read Unprotect (MCU)

TZEN Regression (MCU)

14.11.2 Mise en flash du logiciel

Avec ST-LINK et STM32CubeProgrammer ou STM32CubeIDE, suivre les manuels. ST-LINK utilise l'USB, il faut donc être à proximité du routeur.

Avec une liaison série et STM32CubeProgrammer :

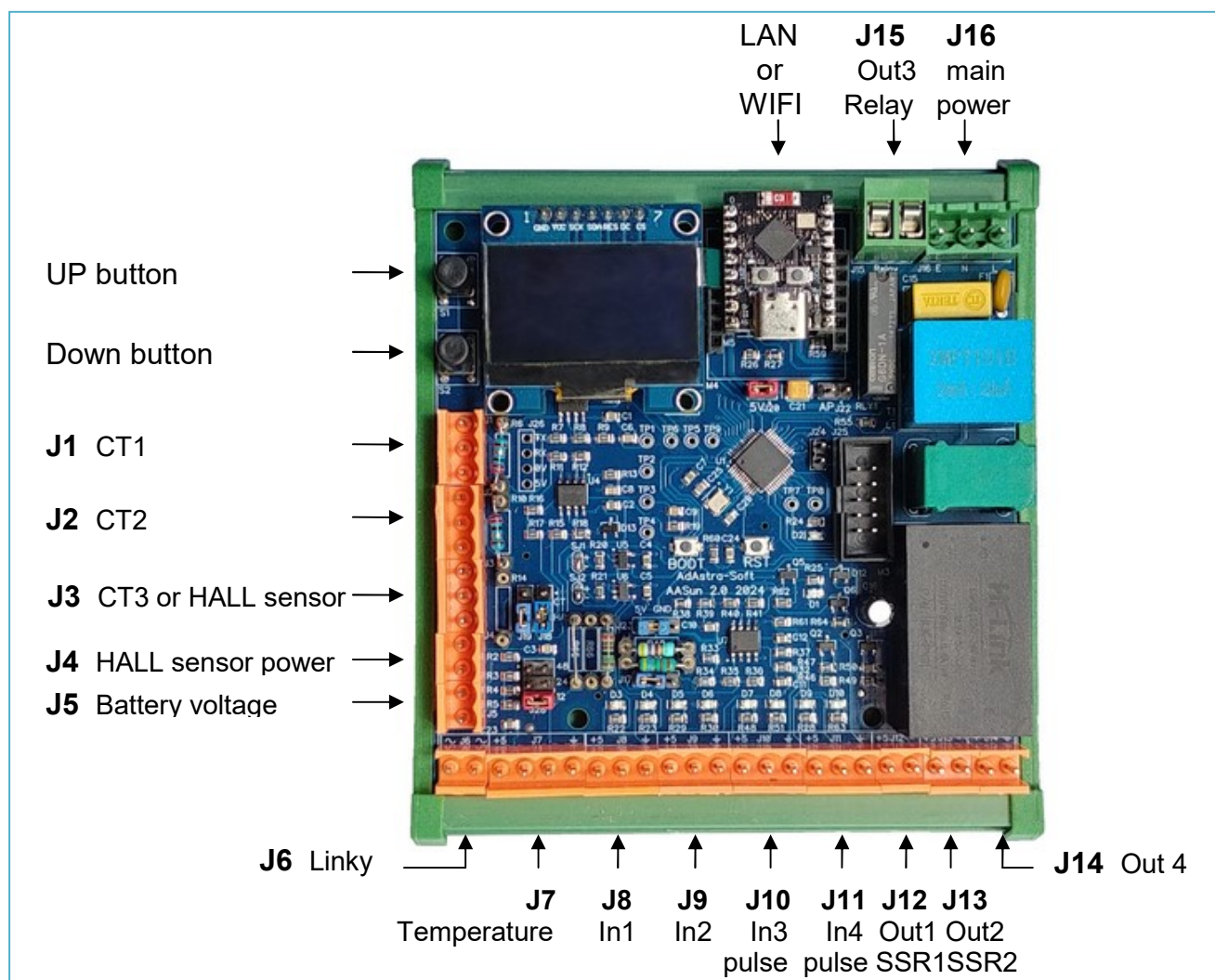
Il faut d'abord passer le MCU en mode « Boot Loader ». Pour cela 2 moyens :

- Si on a un accès physique au routeur il faut appuyer sur le bouton BOOT et tout en le maintenant pressé appuyer sur le bouton RESET.
Il faut impérativement utiliser ce moyen avec un MCU dans lequel l'application n'a jamais été flashée.
- A distance il faut se connecter au routeur par la liaison série (avec PuTTY par exemple) ou par Telnet et taper la commande : reset boot
puis quitter PuTTY ou Telnet (pour libérer la ligne).
Ce moyen n'est pas utilisable avec un MCU neuf.

Ensuite utiliser STM32CubeProgrammer pour flasher l'application en utilisant la connexion par UART.

A la fin de la mise en flash il faut malheureusement aller faire un RESET manuel du MCU pour qu'il démarre sur l'application...

15 Les connecteurs



J1	CT1	1 Signal 2 Signal 3 Blindage (optionnel)
J2	CT2	1 Signal 2 Signal 3 Blindage (optionnel)
J3	CT3 ou HALL	CT J18/J19 en 1-2 Capteur à effet HALL J18/J19 en 2-3 1 Signal Référence 2 Signal Signal 3 Blindage (optionnel) Blindage (optionnel)
J4	Alimentation HALL	Alimentation du capteur à effet HALL 1 +5V 2 Masse
J5	Batterie	Mesure de tension continue 1 + 2 Masse
J6	Linky	Pas de polarité

J7	Température	1 +5V 2 Signal 3 Signal 4 Masse
J8	In 1	1 +5V 2 Signal logique 3.3.à 5V 3 Masse
J9	In 2	1 +5V 2 Signal logique 3.3.à 5V 3 Masse
J10	In 3 ou Pulse	1 +5V 2 Signal 3 à 30V. Logique ou compteur d'impulsion suivant configuration 3 Masse
J11	In 4 ou Pulse	1 +5V 2 Signal 3 à 30V. Logique ou compteur d'impulsion suivant configuration 3 Masse
J12	Out 1 SSR 1	1 + du SSR 2 - du SSR
J13	Out 2 SSR 2	1 + du SSR 2 - du SSR
J14	Out 4	1 +5V, Peut piloter un relais 2 Masse
J15	Out 3	Relais NO, pas de polarité
J16	Secteur	1 Phase 2 Neutre 3 Terre

Convention de numérotation des connecteurs :



1 2 3

16 Routage et forçage

AASun peut réaliser simultanément du routage et du forçage sur différentes voies.

Le routage c'est la dérivation en temps réel de la puissance excédentaire (qui autrement serait injectée sur le réseau) vers un appareil. La puissance à router est calculée toutes les 10ms pour générer un signal de type PWM à destination d'un relais statique (SSR). Il s'agit donc d'une commande proportionnelle.

Le forçage consiste à commuter l'alimentation d'une charge en tout ou rien. Les conditions de forçage sont évaluées toutes les secondes. Il y a deux modes de forçages possibles.

16.1 Les voies de sortie

AASun dispose de 4 voies de sortie disponibles pour le routage et/ou le forçage :

Nom	Connecteur	Type	Usage	Commentaire
OUT1	J12	PWM PWM/TOR	Routage Forçage	Sortie conditionnée 5V pour SSR de type « Random »
OUT2	J13	PWM PWM/TOR	Routage Forçage	Sortie conditionnée 5V pour SSR de type « Random »
OUT3	J15	Relais	Forçage	Relais G6DN sur la carte, 250V 5A (résistif)
OUT4	J14	TOR	Forçage	Sortie conditionnée 5V compatible relais (diode de roue libre)

Les voies OUT1 et OUT2 peuvent être utilisées en routage ou en forçage. La commutation routage / forçage se fait automatiquement en fonction de l'état vrai ou faux des règles de routage et de forçage.

Pour le routage ces voies doivent être équipées de SSR de type « Random ». A défaut elles peuvent être utilisées pour le forçage seulement en « Tout Ou Rien ».

Les voies OUT3 et OUT4 sont dédiées au forçage.

16.2 Les voies d'entrées

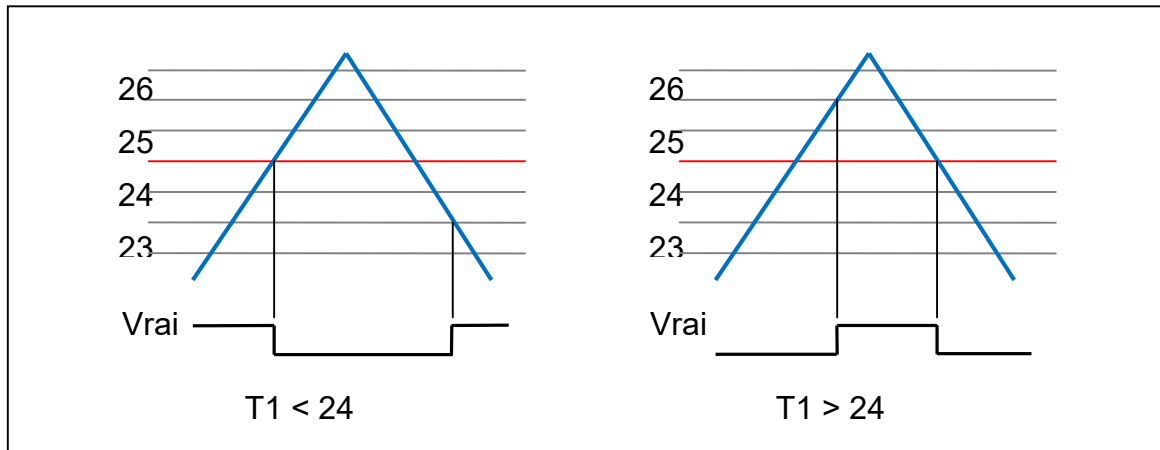
Les forçages peuvent utiliser l'état de 4 voies en entrée:

Nom	Connecteur	Type	Commentaire
IN1	J8	3.3V/5V	Entrée 3.3V compatible 5V
IN2	J9	3.3V/5V	Entrée 3.3V compatible 5V
IN3	J10	30V	Entrée de compteur d'impulsion qui peut aussi être utilisée en entrée logique (3-30V)
IN4	J11	30V	Entrée de compteur d'impulsion qui peut aussi être utilisée en entrée logique (3-30V)

16.3 Hystérésis de température

Une expression faisant intervenir une température utilise une hystérésis de 2°C.

Exemple pour une règle ne contenant qu'une seule expression utilisant une température :



La gestion de l'hystérésis a été conçue afin que :

Pour l'opérateur < :

L'expression n'est vraie que si la température est inférieure à la valeur.

Pour l'opérateur > :

L'expression n'est vraie que si la température est supérieure à la valeur.

Il faut tenir compte de ce mécanisme lors de l'écriture des règles si on veut une gestion de température précise.

Exemple : dans le graphe ci-dessus si l'expression $T1 > 24$ est utilisée dans une règle stop de forçage, le forçage ne s'arrêtera que lorsque la température de $24 + \text{hystérésis}$ sera atteinte soit 26°C. Dans ce cas il vaut mieux écrire $T1 > 22$.

17 Routage

Il y a deux voies de routages nommées OUT1 pour le SSR1 et OUT2 pour le SSR2, et une seule peut être active à un instant donné. Chaque voie est régie par une règle qui est évaluée chaque seconde pour déterminer la voie à activer.

La voie OUT1 est prioritaire sur la voie OUT2 : si les deux règles sont vraies en même temps c'est la voie OUT1 qui sera active.

17.1 Syntaxe d'une règle

Une règle est une équation logique comportant :

- Des paramètres tels que le numéro de la sortie concernée (OUTx), ou son état On ou OFF.
- Des expressions reliées par des opérateurs AND. Donc pour qu'une règle soit vraie il faut que toutes les expressions soient vraies.
Une règle peut contenir jusqu'à 6 expressions.

Une règle peut être inhibée (état OFF), dans ce cas elle sera toujours fausse. A l'état ON la règle est évaluée chaque seconde.

Chaque voie de routage dispose d'une seule règle : quand la règle est vraie le routage de cette voie est valide, et le routage sur cette voie est effectif seulement si c'est la règle à l'état vrai de plus haute priorité.

Les expressions et les paramètres sont toujours séparés par des caractères '&', et les éléments des expressions par des espaces.

Une expression est de la forme : `Source Opérateur Valeur`

Ce tableau indique les combinaisons valides :

Source	Opérateur	Valeur	Commentaire
T1 à T4	< >	entier	Une température
I1 à I4	=	0 ou 1	Une entrée logique physique
P1 à P3, PD	< >	entier	Une source de puissance : CT1 à CT3 ou PD puissance routée
V1 à V4	< = >	entier	Valeur variable interne (Forçage seulement)
HM	< = >	hhmm	Une heure + minutes (Forçage seulement)
WD	< = >	xxxxxxx	Jour de la semaine (Forçage seulement)

WD indique des jours de la semaine dans l'ordre Anglo Saxon : dimanche, lundi etc.

Un '.' indique un jour invalide, un autre caractère un jour valide, et il faut donner 7 caractères. Pour spécifier lundi et jeudi on utilisera par exemple :

WD = .L..J..

ou :

WD = .X..X..

Remarque :

Une règle de routage sans expression est toujours vraie.

Une règle de forçage sans expression est toujours fausse.

Exemple 1

SSR1 OFF

SSR2 ON

C'est le cas de routage le plus simple qui est prévu dans la configuration par défaut : le routage est toujours assuré par la voie SSR2, il n'y a pas besoin d'équiper la voie 1.

Exemple 2

SSR1 ON & T1 > 55

SSR2 ON

Le routage est assuré par la voie 2 lorsque la température T1 est inférieure à 55°C, et par la voie 1 dans le cas contraire.

Autrement dit quand le ballon ECS connecté à la voie 2 a atteint une température suffisante, la puissance est envoyée ailleurs par la voie 1. Si la température du ballon redescend, la voie 1 deviendra fausse et le routage vers le ballon reprend. Voir en §16.2 [Hystérésis de température](#) l'effet de l'hystérésis de température.

Exemple 3

SSR1 ON & I3 = 0

SSR2 ON

Même exemple que ci dessus mais le ballon n'est pas équipé d'un thermomètre mais d'un thermostat mécanique qui s'ouvre quand la température est atteinte. Le thermostat est relié à l'entrée 3, qui dans ce cas ne doit pas être configurée pour compter des impulsions.

17.2 L'IHM

Il est possible de configurer les règles de routage à partir de la console avec les commandes :

cdr **Configure Diverting Rule.** Indiquer le numéro du routage 1 ou 2 puis la règle.
Exemple :

```
cdr 1 on & t1 > 50
```

dr **Diverting Rule.** Permet de change l'état ON ou OFF de la règle d'un routage.
Exemple :

```
dr 1 off
```

Comme d'habitude **c?** permet de lister la configuration et donc les règles de routage.

Ne pas oublier **cwr** après avoir établi les règles pour les mémoriser en flash.

Une page HTTP est dédiée au routage / forçage. Elle permet les mêmes opérations que ci dessus :

Diverting 1 (high priority) Diverting 2 (low priority)

Diverter is : **On**

OUT1 (SSR) Diverting

OUT2 (SSR)

OUT3 (Relay)

OUT4 (Digital)

Diverter 1 rule:

☒ Disabled **Send**

Diverter 2 rule:

☐ Disabled **Send**

Write

Le « voyant » vert du routage 2 indique qu'il est actif. Cela est aussi affiché dans le tableau de gauche.

18 Forçage

Le forçage permet d'alimenter des équipements indépendamment de la puissance en surplus.

Un forçage est défini par deux règles, utilisées à des moments différents :

- Règle START : Evaluée lorsque le forçage est inactif. Le forçage devient actif lorsque la règle devient vraie.
- Règle STOP : Evaluée lorsque le forçage est actif. Le forçage devient inactif lorsque la règle devient vraie.

Il y a 8 jeux de règles de forçage disponibles qui ont chacun une priorité : le forçage 1 a la plus haute priorité, le 8 la plus faible. Donc un forçage actif peut être supplanté par un forçage de priorité supérieure.

De plus les forçages ont une priorité supérieure au routage : si un routage et un forçage sont actifs pour la même sortie OUTx, c'est le forçage qui l'emporte.

Un forçage s'applique à une sortie OUTx. La gestion des priorités s'applique indépendamment pour chaque sortie. Pour chaque sortie l'ensemble des routages et des forçages la concernant sont évaluées chaque seconde, et celui qui est actif et de plus haute priorité est sélectionné. Donc il est possible d'avoir plusieurs routages/forçages actifs en même temps sur plusieurs sorties OUTx différentes.

18.1 Règles de forçage

La règle START du forçage contient des expressions pour évaluer les conditions de démarrage de ce forçage, formées comme indiqué dans le § [Syntaxe d'une règle](#) concernant le routage.

Il y a des paramètres de configurations qui sont obligatoires :

- ON ou OFF Si OFF est présent ce forçage est inhibé : sa règle START n'est pas évalué.
- OUTx La voie sur laquelle s'applique le forçage avec x de 1 à 4
- STD ou AUTO Le mode de forçage

D'autres paramètres sont optionnels.

La règle STOP peut contenir des paramètres en plus des expressions :

- DMIN Durée minimale d'activation
- DMAX Durée maximale d'activation

Exemple :

START ON & OUT2 & STD & HM = 2230 & T1 < 40

STOP DMAX = 60m & T1 > 50

Si à 22h30 la température du ballon ECS est inférieure à 40°C alors le forçage démarre sur la sortie 2 jusqu'à ce que la température atteigne 52 °C (il faut tenir compte de l'hystérésis de température !). Le forçage s'arrête aussi si la température n'est pas atteinte en 1 heure.

Le forçage remplace temporairement le routage sur OUT2, qui normalement à cette heure là est inactif.

18.2 Le mode STD

Le mode standard est simple et intuitif :

Quand le forçage est inactif et que la règle START devient vraie le forçage s'active.

Quand le forçage est actif et que la règle STOP devient vraie le forçage se désactive.

Il peut être intéressant de démarrer un forçage pour une certaine durée fixe, ou une durée minimale ou maximale. Pour cela on utilise les paramètres DMIN ou DMAX, qui sont spécifiques au mode STD.

Ces paramètres s'emploient dans la règle STOP. Ils sont exclusifs.

18.2.1 DMIN

Le paramètre DMIN permet de spécifier la durée minimale d'activation du forçage une fois que la règle START est vraie.

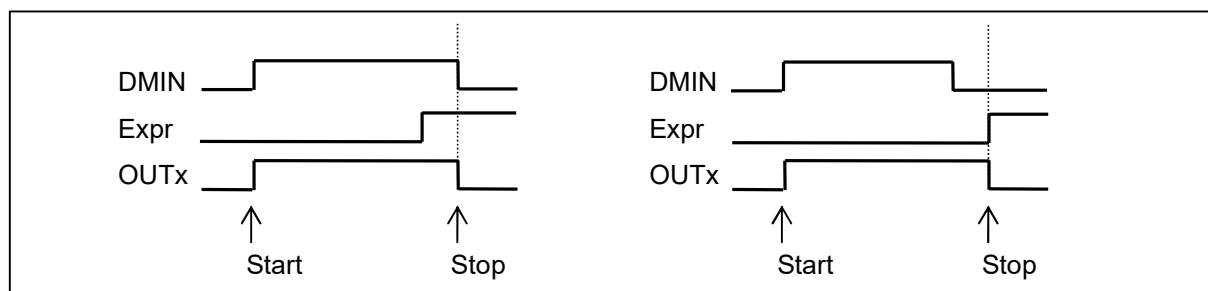
Tant que la durée minimale n'est pas écoulée les autres expressions de la règle ne sont pas évaluées.

Une fois la durée minimale écoulée le paramètre DMIN est ignoré et les autres expressions de la règle sont prises en compte.

Les durées sont exprimées en secondes ou en minutes. Exemple de règles STOP pour une durée minimale de 5 minutes :

DMIN = 300 & i3 = 1

DMIN = 5m & i3 = 1

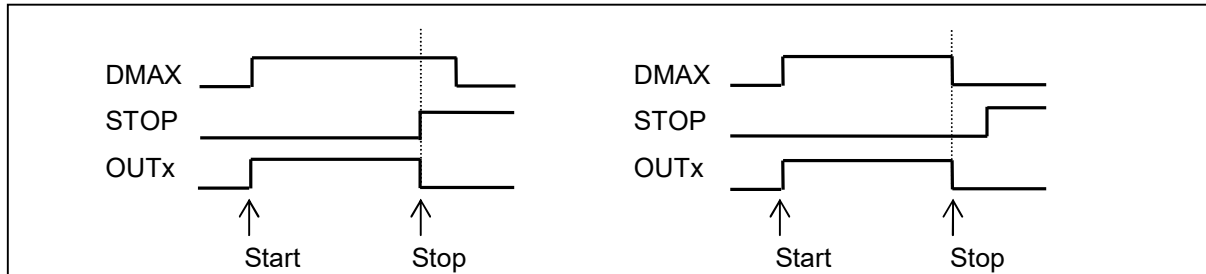


On peut considérer qu'il s'agit d'un OU entre la durée minimale et les expressions : la durée correspond à la plus longue des deux.

18.2.2 DMAX

Le paramètre DMAX permet de spécifier la durée maximale d'activation du forçage une fois que la règle START est vraie.

Une fois que la durée spécifiée par DMAX est écoulée la règle STOP devient vraie et le forçage se désactive même si toutes les autres expressions sont fausses.



On peut considérer que DMAX permet un ET entre la durée maximale et les expressions : la durée correspond à la plus courte des deux. Ou bien que DMAX est un timeout pour les expressions de la règle STOP.

Il y a un cas particulier qui est pris en compte : A l'échéance de la durée DMAX le forçage se désactive. Mais si la condition START est vraie à ce moment là alors le forçage devrait se réactiver aussitôt, ce qui ferait que DMAX ne serait pas respecté.

Ce cas est traité de la façon suivante : quand DMAX est utilisé et que la règle STOP devient vraie le forçage se désactive et passe dans un état de transition jusqu'à ce que la règle START soit vue fausse. Pendant cet état de transition le forçage ne peut pas être activé.

DMAX introduit un temporisateur non ré-armable.

18.3 Le mode AUTO

Le mode STD est simple mais a des limitations :

- Il suffit que la règle START soit vraie 1 seconde pour que le routage s'active. Il n'est donc pas possible de spécifier une durée minimale d'inactivité
- Au delà du délai DMIN Il suffit que la règle STOP soit vraie 1 seconde pour que le routage se désactive.
- Il n'y a pas de filtrage des conditions START et STOP pour ignorer les variations courtes de leur état.

Cela peut produire des à-coups plus ou moins brefs du forçage, ce qui peut être préjudiciables aux équipements connectés.

Le mode AUTO est une tentative de réponse à ces limitations, en introduisant des durées minimales d'activation et de désactivation et en utilisant un filtrage des règles START et STOP.

Le mode AUTO utilise 3 paramètres spécifiques :

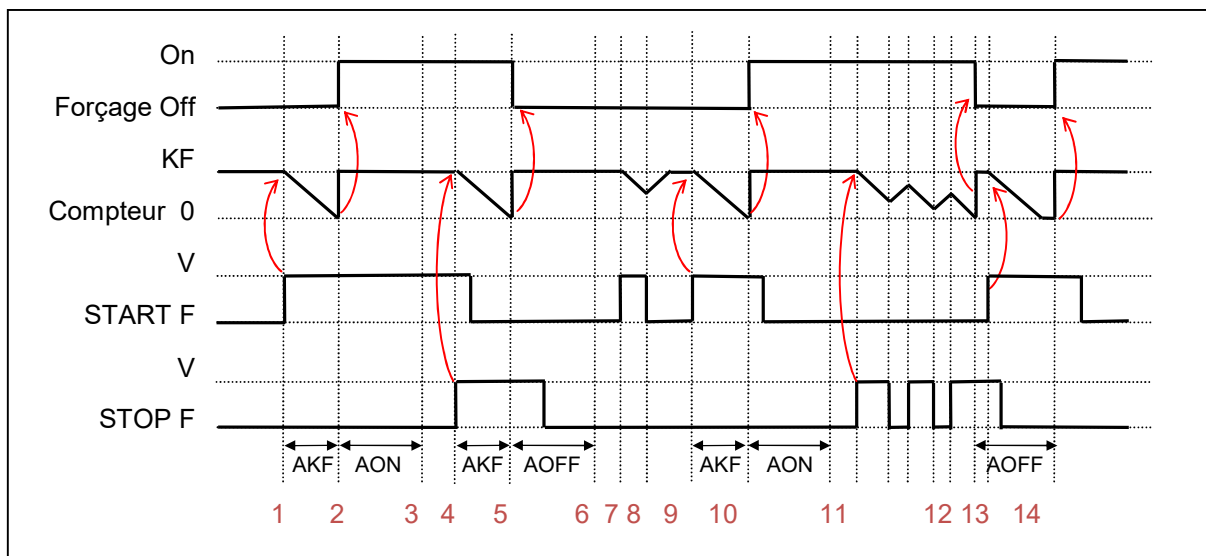
- AON Durée minimale d'activation du forçage.
- AOFF Durée minimale d'inactivité du forçage.

AKF Constante de temps du filtrage. C'est le temps minimum entre le moment où une règle devient vraie et le moment où l'action correspondante est exécutée.

18.3.1 Fonctionnement du filtrage

Le filtrage est une sorte de moyenne temporelle de la valeur de la règle. Un compteur est initialisé avec la valeur AKF, puis évolue chaque seconde avec la valeur de la règle :

- Quand la règle est fausse il est incrémenté, sans pouvoir dépasser la valeur AKF
- Quand la règle est vraie il est décrémenté.
- Quand il atteint la valeur 0 le changement d'état du forçage est effectué, et le compteur est réinitialisé avec la valeur AKF.



Le graphique démarre avec le forçage inactif :

- 1 La règle START devient vraie : le décompte de AKF démarre.
- 2 Le décompte arrive à 0 : le forçage devient actif pour une durée AON.
- 3 La durée AON est écoulée.
- 4 La règle STOP devient vraie : le décompte d'AKF démarre
- 5 Le décompte arrive à 0 : le forçage devient inactif pour une durée AOFF.
- 6 La durée AOFF est écoulée.
- 7-8 Une durée de START est trop courte pour que le compteur AKF arrive à 0. Le filtrage a été efficace.
- 9-10 Une durée de START suffisamment longue pour activer le forçage.
- 11-12 Une série d'impulsions STOP trop courtes pour individuellement déclencher une désactivation, mais leur densité est telle que le compteur AKF peut arriver à 0 et désactiver le forçage. Le filtrage est la aussi efficace.
- 13 La règle START devient vraie pendant la durée AOFF et le compteur AKF arrive à 0 avant l'échéance d'AOFF.
- 14 A la fin de AOFF le compteur AKF est à 0, donc le forçage s'active immédiatement.

18.4 Le paramètre ratio

En forçage il est possible de spécifier la puissance à fournir à l'aide d'un pourcentage appelé ici ratio.

Il y a deux modes de ratio : normal et burst.

S'il n'y a pas de ratio spécifié dans la règle START un ratio de 100% est assumé.

18.4.1 Ratio normal

Le ratio normal est utilisable sur les voies équipées de SSR dans les modes de forçage STD et AUTO.

Dans ce mode la puissance fournie est réglée en utilisant le signal PWM qui sert au routage. Il s'agit donc de hacher le courant avec une période de 100 HZ.

Ce mode de ratio est à réserver aux charges résistives comme c'est le cas pour le routage.

Le ratio normal est un paramètre spécifié dans la règle START avec un nombre entre 1 et 100 suivi de '%'. Exemple pour un ratio de 50% :

```
ON & OUT1 & STD & 50% & I1 = 0
```

Pour un ratio normal de 100% sur une voie SSR, la commande du SSR est à 1 en continu, il n'y a donc pas de hachage du courant.

18.4.2 Ratio burst

Ce mode a pour objectif d'augmenter considérablement la période utilisée par le ratio : passer de 10ms à 4 minutes (valeur fixée dans le code mais modifiable).

Ce mode n'est utilisable que dans le mode de routage STD. Le mode de routage AUTO a son propre mécanisme de gestion des temps d'activité et d'inactivité.

Ce mode est utilisable sur toutes les voies et permet donc de moduler la puissance sur les sorties relais et logiques.

Dans ce mode la période utilisée pour régler la puissance est de 240 secondes. Cela veut dire que pour une puissance de 50% le forçage sera actif 120 secondes suivi de 120 secondes d'inactivité.

Le paramètre ratio burst est spécifié dans la règle START avec un nombre entre 1 et 100 suivi de '%' et de 'B' (pour Burst). Exemple pour un ratio de 50% en mode burst :

```
ON & OUT1 & STD & 50%B & I1 = 0
```

Avec ce mode de ratio, pendant la phase active du forçage sur une voie SSR la commande du SSR est à 1 en continu, il n'y a donc pas de hachage du courant.

18.5 Actions manuelles

Il est possible d'activer et de désactiver manuellement un forçage. Cette action bascule l'état du forçage :

- Si le forçage est inactif il est activé : l'action manuelle simule une règle START à vrai.

- Si le forçage est actif il est inactivé : l'action manuelle simule une règle STOP à vrai.

L'action manuelle est possible même si le forçage est inhibé (état OFF). Un forçage inhibé et forcément inactif. Lorsqu'une action manuelle est appliquée à ce forçage, il est activé mais pas désinhibé, et la sortie OUTx sera commandée. Lorsque la condition de fin ou une autre action manuelle surviendra le forçage sera désactivé mais restera inhibé.

Une action manuelle peut être considérée comme un 'forçage' du forçage.

Il est donc possible de définir un forçage avec des règles jamais vraies, et de le commander manuellement :

```
START          OUT4  &  STD
STOP           DMIN = 1
```

La première commande manuelle va activer le forçage, et la seconde le désactiver.

Autre exemple plus utile. Démarrer manuellement un forçage qui a une règle de fin habituelle.

```
START          OUT4  &  STD
STOP           DMAX = 45m  &  T1 > 53
```

La seule façon d'activer ce forçage est une action manuelle. Il se désactivera quand la température dépassera 55°C. Si cette condition n'arrive pas le forçage se terminera de toute façon au bout de 45 minutes. Dans ce cas il faut que le forçage ne soit pas inhibé, puisque la règle STOP doit être évaluée normalement.

Un autre type d'action manuelle (mais sans utiliser la fonctionnalité 'action manuelle') : installer un bouton poussoir sur I2 par exemple et utiliser :

```
START          OUT4  &  STD  &  I2 = 1
STOP           DMAX = 45m  &  T1 > 53
```

18.5.1 Action manuelle et forçage en mode AUTO

Un forçage en mode AUTO a un comportement particulier lors d'une commande manuelle.

Lorsque le forçage est inactif, la commande manuelle va l'activer pour la durée AON, quel que soit le résultat réel de la règle START. C'est le comportement souhaité de la commande manuelle : simuler une règle START à vrai.

Lorsque le forçage est actif, l'action manuelle le rend inactif. Si la règle START est vraie à ce moment là le forçage se réactive.

En pratique une action manuelle sur un forçage en mode AUTO a peu d'intérêt.

18.6 L'IHM

Il est possible de configurer les règles de forçage à partir de la console avec les commandes :

cfr **C**onfigure **F**orcing **R**ule. Indiquer le numéro du forçage 1 à 8 puis les règles START et STOP séparée par un '/'.
Exemple :

```
cfr 1  OFF & OUT4 & STD & T1 < 25  /  T1 > 55
```

cfre **C**onfigure **F**orcing **R**ule **E**nable. Permet de change l'état ON ou OFF d'un forçage. Exemples

Inhibe le forçage 3: cfre 3 0

Désinhibe le forçage 3: cfre 3 1



fman **F**orcing **M**anual. Permet une action immédiate de l'utilisateur : activer un forçage inactif ou désactiver un forçage actif.

Exemple changer l'état du forçage 3: fman 3

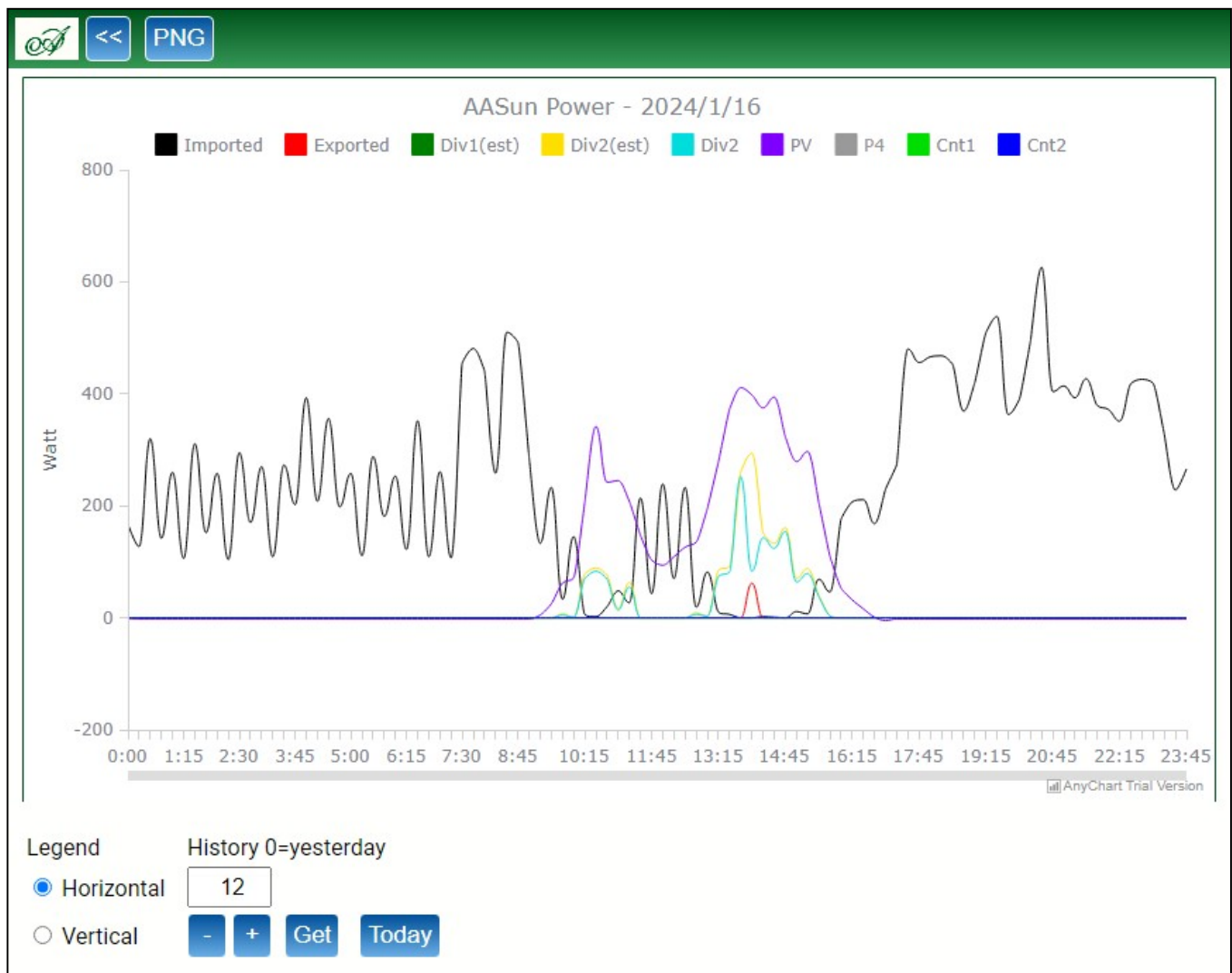
Comme d'habitude c? permet de lister la configuration et donc les règles de forçage.

Ne pas oublier cwr après avoir établi les règles pour les mémoriser en flash.

Une page HTTP est dédiée au routage / forçage. Elle permet les mêmes opérations que ci dessus. Exemple avec le forçage 1 inhibé et donc inactif, et le forçage 2 actif (voyant vert).

Force 1 (highest priority)	Force 2
Start rule: <div>OUT4 & STD & T1 < 25</div>	Start rule: <div>OUT4 & STD & I3 = 0</div>
Stop rule: <div>T1 > 55</div>	Stop rule: <div>I3 = 1</div>
 Man <input checked="" type="checkbox"/> Disabled Send	 Man <input type="checkbox"/> Disabled Send

Une autre page affiche l'historique journalier des puissances sous forme graphique :



Pour faciliter l'analyse on dispose de quelques outils :

- Zoom horizontal
- Cacher une courbe en cliquant sur sa légende
- Mettre une courbe en surbrillance en cliquant dessus
- En plaçant le curseur sur un point d'une courbe, un marqueur apparaît avec la valeur numérique de chaque courbe à cette abscisse.

Les boutons +, - et Get permettent de se promener dans l'historique.

Le bouton Today permet d'actualiser les courbes du jour.

19 Mise en FLASH des pages HTTP

Pour flasher les ressources du serveur HTTP, il y a deux moyens :

- Utiliser une sonde ST-LINK
- Utiliser un adaptateur USB/UART

19.1 Mise en flash avec ST-LINK

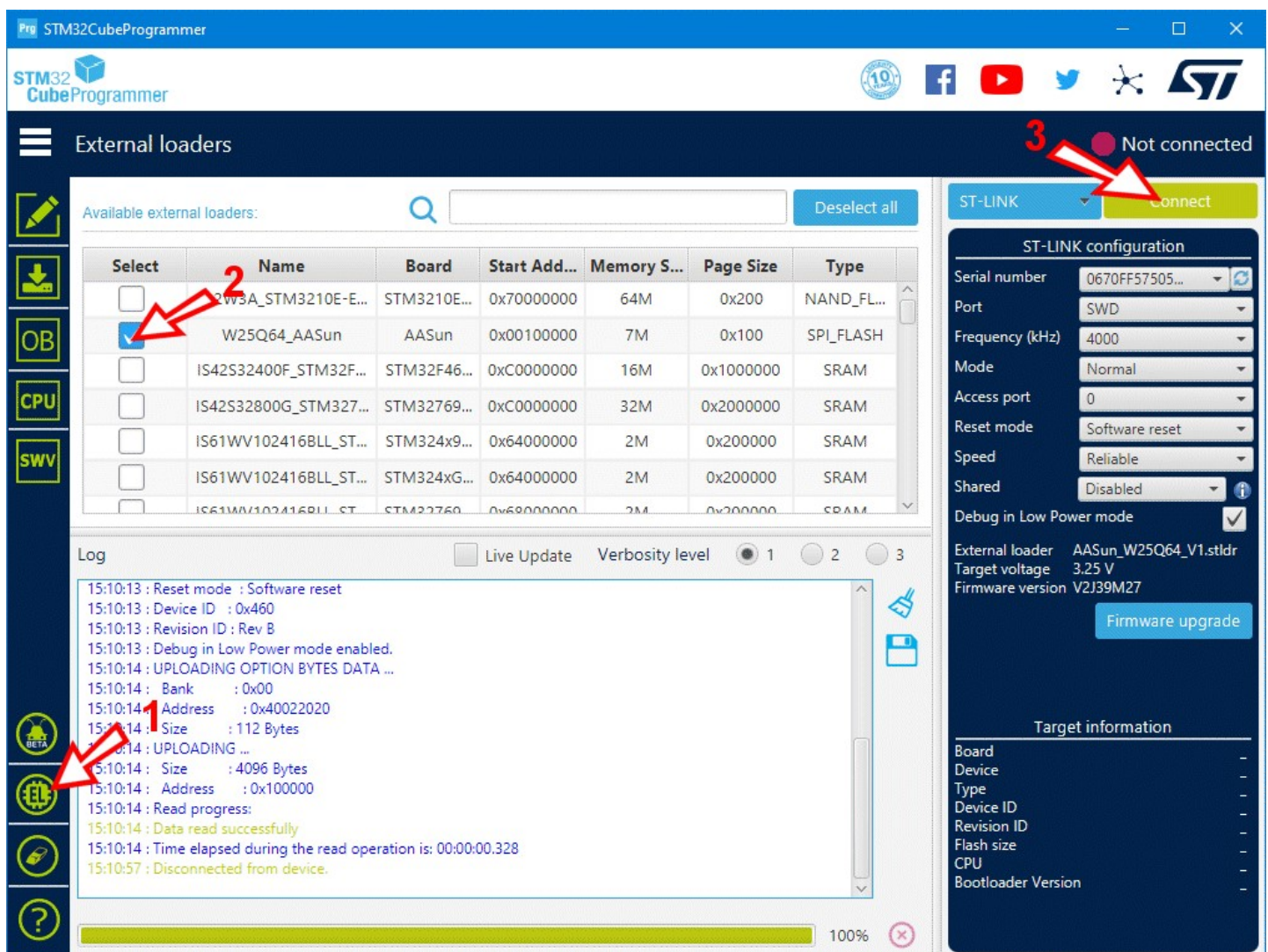
Cette procédure utilise STM32CubeProgrammer et un « External loader » développé spécialement pour AASun en tenant compte du type de MCU, du type de mémoire Flash, du SPI utilisé et des broches GPIO associées.

Ce fichier *AASun_W25Q64_V1_1.stldr* est à placer dans :

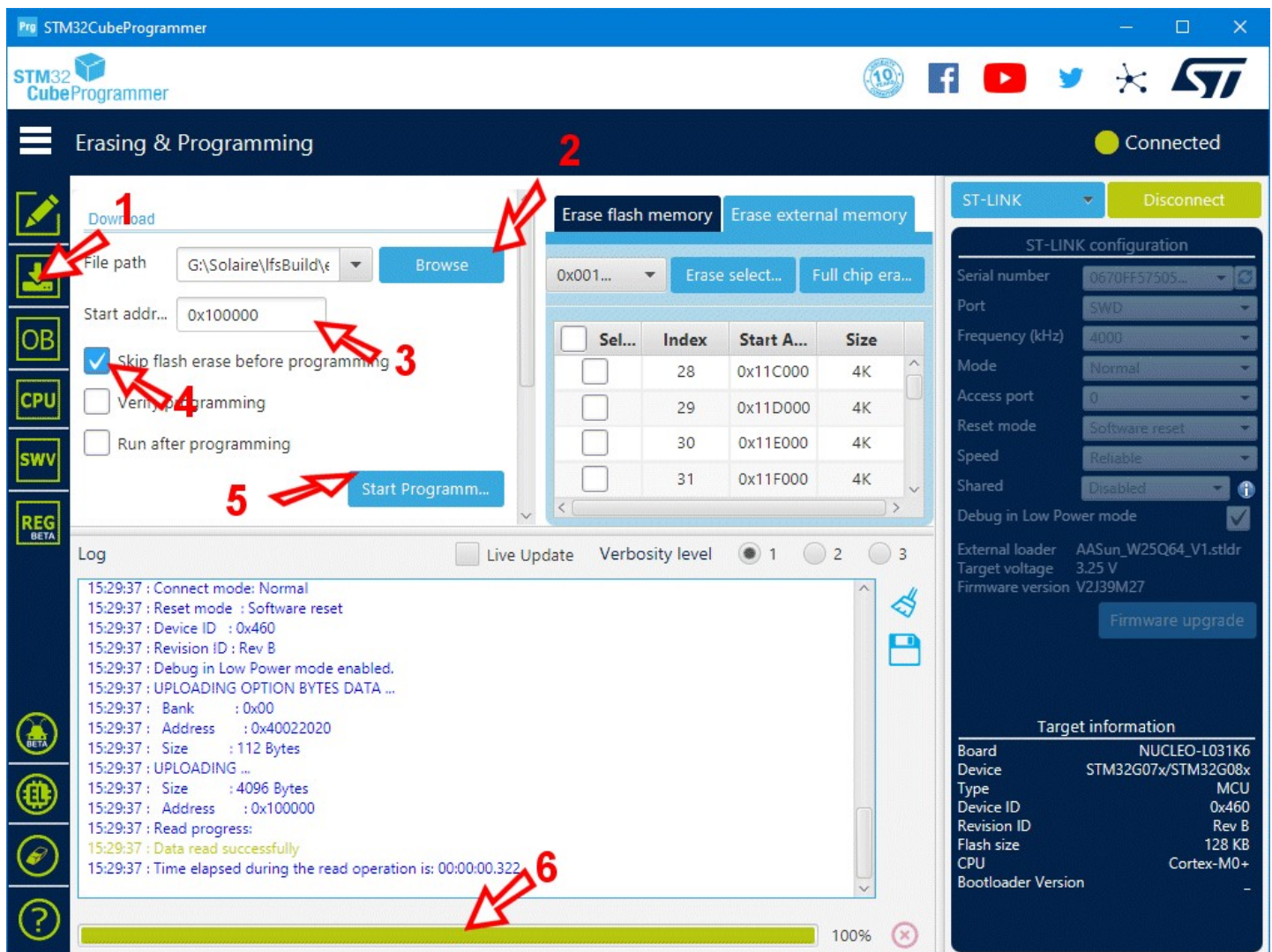
C:\Program Files\STMicroelectronics\STM32Cube\STM32CubeProgrammer\bin\ExternalLoader

Connecter la sonde au connecteur J5 du module MCU, et sur un port USB du PC.

Lancer STM32CubeProgrammer.



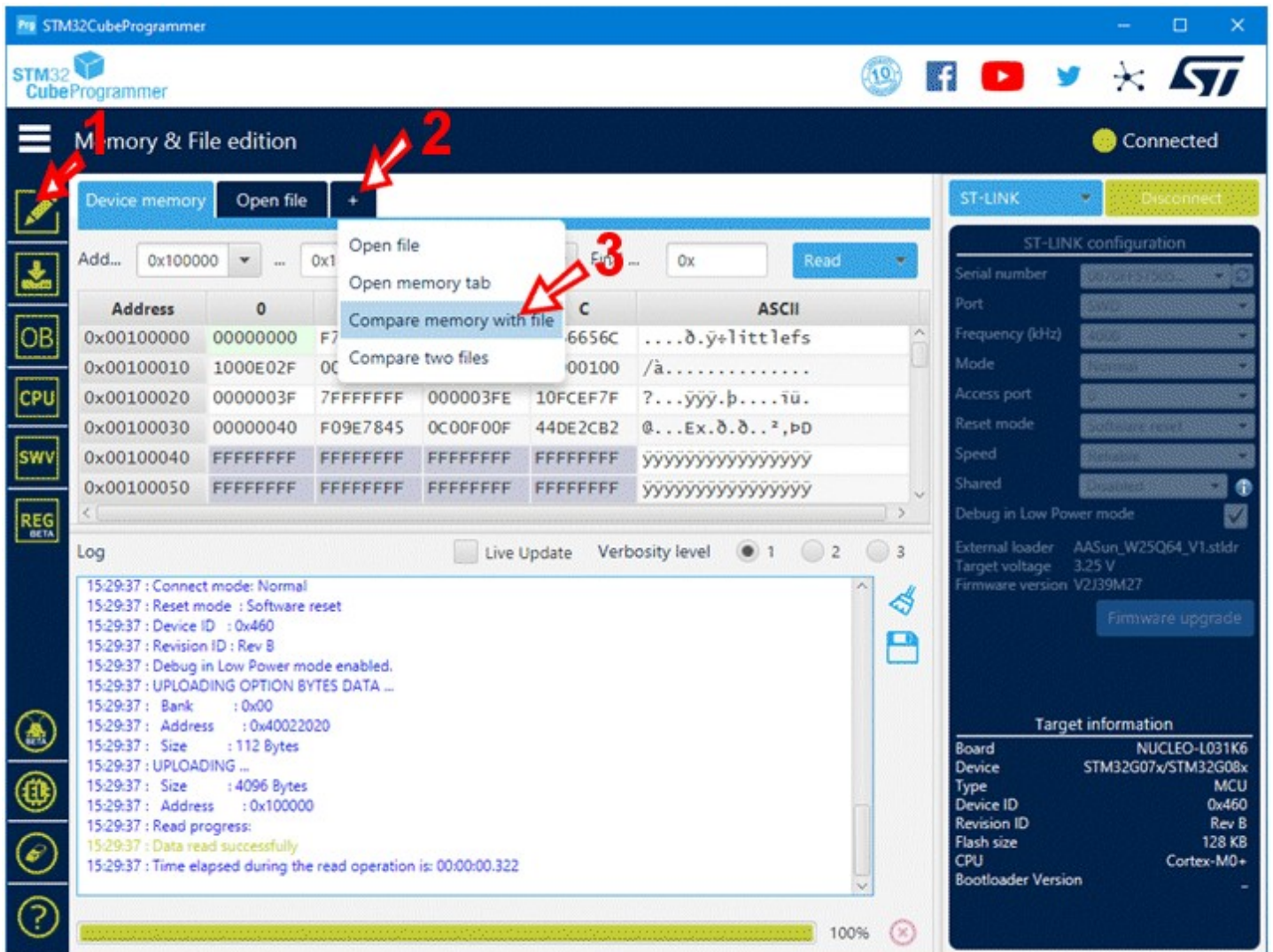
- 1 Cliquer le bouton EL pour afficher la liste des « External Loader »
- 2 Sélectionner W25Q64_AASun_V1.1.
- 3 Après avoir sélectionné ST-LINK, cliquer le bouton « Connect », une fois le logiciel connecté au MCU il affiche « Disconnect »



Pour flasher le fichier des ressources du serveur :

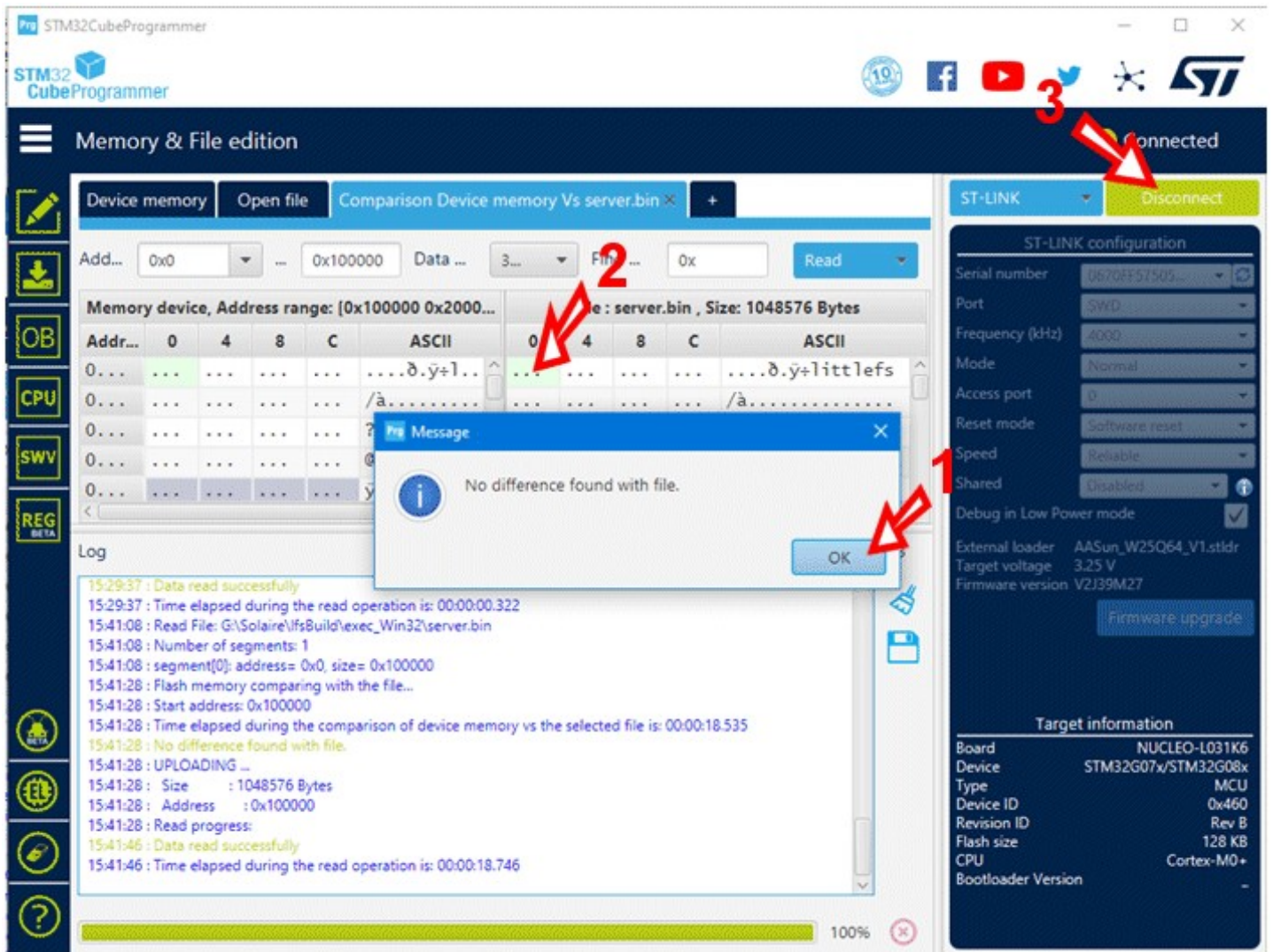
- 1 Cliquer le bouton de la configuration du téléchargement
- 2 Sélectionner le fichier à télécharger
- 3 Configurer l'adresse de chargement à 0x100000
- 4 Décocher la case « Skip flash erase before programming » : on veut effacer la Flash avant programmation
- 5 Lancer la programmation
- 6 Surveiller le déroulement de l'opération. Pour plus de détails on peut ajuster le « Verbosity level »

C'est fini, les ressources du serveur sont en Flash.



Le chargeur externe n'a pas de code pour vérifier le téléchargement. Mais on peut utiliser STM32CubeProgrammer pour cela.

- 1 Afficher la fenêtre d'inspection
- 2 Dans le menu des options
- 3 Sélectionner « Compare memory with file », puis sélectionner le fichier.



- 1 A la fin de la comparaison le résultat est affiché
- 2 Deux fenêtres permettent de comparer visuellement les contenus de la mémoire et du fichier.
- 3 Déconnecter la sonde ST-LINK avant de quitter STM32CubeProgrammer.

Déconnecter la sonde ST-LINK, et presser le RESET du MCU pour lancer AASun.

19.2 Mise en flash avec un adaptateur USB/UART

Le logiciel AASun contient une fonction pour écrire dans la flash externe des données provenant de la liaison série (qui sert aussi de console). Une application sur PC a été développée pour envoyer le fichier des pages HTTP au routeur : SerEL (**S**erial **E**xternal **L**oader).

SerEL admet des paramètres pour mener à bien sa fonction :

- c Numéro du port COM à utiliser
- b Baudrate, le même que celui utilisé avec la console PuTTY (par défaut 57600)
- a Adresse dans la flash externe : 0x100000 (valeur par défaut)

- f Le chemin du fichier à envoyer
- v Si cette option est ajoutée le fichier n'est pas envoyé mais il est comparé au contenu de la flash

Il faut que la liaison série soit libre : fermer la console si elle est connectée.

Pendant la programmation le routeur est arrêté, et à la fin de la programmation ou de la vérification il redémarre automatiquement avec un reset.

Exemple pour envoyer le fichier (il y a toujours une vérification après l'écriture) :

```
SerEl -c 9 -b 57400 -a 0x100000 -f AASun_web.bin
```

Exemple pour seulement vérifier si le fichier correspond à ce qui est en flash :

```
SerEl -v -c 9 -b 57400 -a 0x100000 -f AASun_web.bin
```

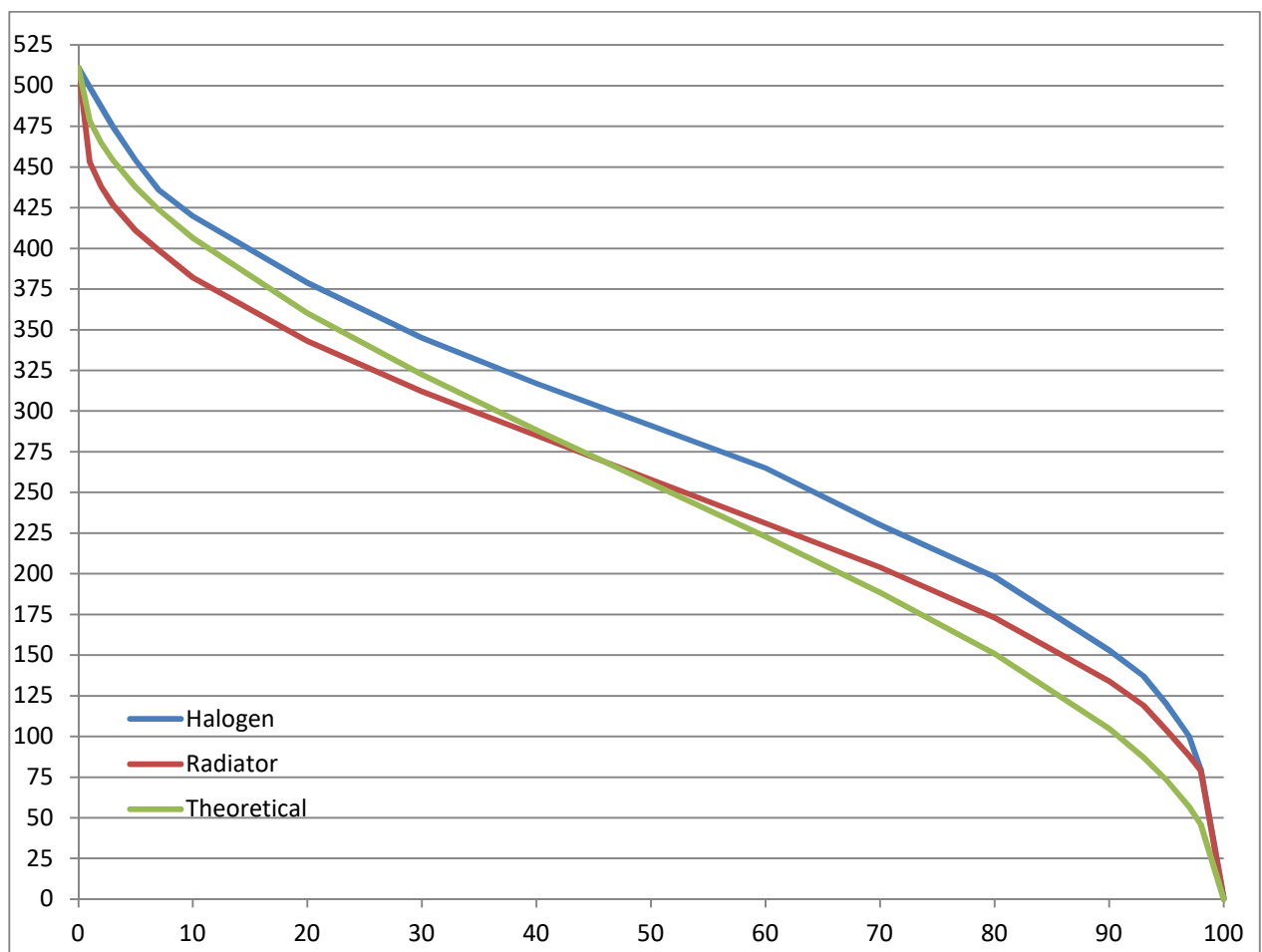
20 Conversion puissance – délai

L'algorithme de routage utilise une table pour convertir la puissance à router en délai de déclenchement du SSR.

Mon banc de test utilise des ampoules halogènes pour simuler la production photovoltaïque et la charge de routage. Les tests ont montré qu'il y avait un écart entre le délai obtenu avec l'algorithme et le délai théorique correspondant à la puissance réelle à router. De plus le contrôleur PI avait tendance à osciller un peu avant de se stabiliser.

J'ai donc fait un relevé pour construire la courbe puissance/délai pour les ampoules halogène : elle est différente de la courbe théorique.

Qu'en est-il avec une résistance type chauffe eau ? Je n'ai pas de chauffe eau électrique j'ai donc utilisé mon radiateur à bain d'huile qui doit être approchant : la courbe est encore différente... Et les valeurs varient un peu si on fait les mesures radiateur chaud ou froid...



En X la puissance en % de Pmax, en Y le délai correspondant entre 0 et 511.

La table puissance/délai a donc une influence sur la stabilité du contrôleur PI de routage et sur l'estimation de la puissance routée.

Pour un fonctionnement optimal du routeur, il faut utiliser une table puissance/délai adaptée au type de charge utilisé. Si la courbe n'est pas tout à fait adaptée le routage sera quand

même correct grâce au contrôleur PI qui s'adaptera (pas d'injection), mais cela pourra prendre quelques $\frac{1}{2}$ périodes secteur de plus, et l'estimation de puissance routée sera légèrement fausse.

20.1 Ampoule halogène

Le comportement des ampoules halogènes de mon banc de test a une explication.

Ce sont des ampoules à filament qui chauffent à blanc pour éclairer. La résistance à froid et à chaud du filament varie fortement : elle est ~ 15 fois plus faible à température ambiante qu'à température de fonctionnement ($\sim 3000^\circ\text{C}$).

L'hypothèse de départ d'une résistance de charge de valeur fixe n'est donc pas du tout respectée et cela perturbe le contrôleur PI. L'halogène est donc un très mauvais choix pour faire un banc de test destiné à faire des mesures. Par contre il est très pratique pour le développement du routeur :

- il loge sur ma table
- contrôle immédiat puisque visuel
- pas cher (à condition d'avoir un stock d'ampoules depuis quelques années...).
- consomme peu.