

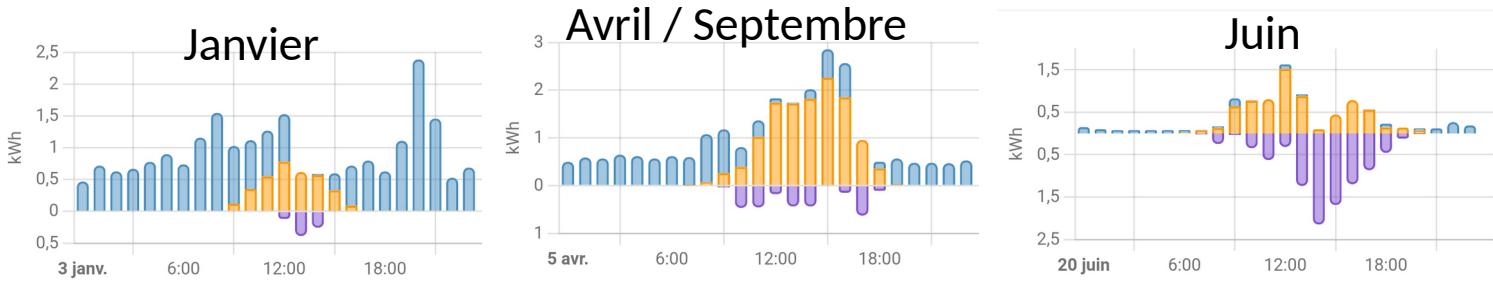
Photovoltaïque + Domotique pour les économies d'énergie

Rex d'1 an de photovoltaïque et d'usages pilotés par la domotique

- ☐ Produire 36% de son énergie
- ☐ Economiser 500€/an

Sébastien Bohn

Si vous ne restez que 5 min



Effacement d'avril à septembre
(en journée ensoleillée)

mois	septembre	octobre	novembre	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	total	Valeur
produit	278,4	242	161,6	126,6	175,6	187,9	216	367,8	459,3	461,1	498,4	421,5	3596,2	
solaire consomm	134	109,2	95,2	97,2	120,3	98,22	137,7	168,4	268,7	259,4	306,2	243,7	2038,22	340,38 €
consommé	266,6	213,6	400,3	811,4	837,1	450,51	638,9	437,5	392,2	378,4	468	396,6	5691,11	
importé	132,5	104,4	305,1	716,2	716,8	353	501,2	269,1	123,4	118,9	164,8	152,8	3658,2	610,92 €
envoyé	-144,4	-132,8	-66,4	-29,4	-55,3	-89,68	-76,3	-199,4	-190,6	-201,7	-192,2	-177,8	-1557,98	-155,80 €
autoconsommati	48,13%	45,12%	58,91%	76,78%	68,51%	52,27%	63,75%	45,79%	58,50%	56,26%	61,44%	57,82%	56,68%	
auto production	50,26%	51,12%	23,78%	11,98%	14,37%	21,80%	21,55%	38,49%	68,51%	68,55%	65,43%	61,45%	35,81%	

Produire 36% de son énergie ☐ Economiser 496,18€/ans

@ 0,184€/kwh ☐ Consommé solaire 375€ +155,8€ économie de 530€

Prix installation 6930€ (solaire) +400€ (domotique)-1120€ (primes) ☐ prix total 6210€

Remboursé en 12,5 ans au prix actuel de l'électricité (0,16€/kwh)

☐ revue à 11,8 ans suite hausse prévue 2023 (+15% => 0,184 €/kwh)

Soit l'équivalent d'un placement à 6% environ

Temps de retour énergétique: 1,6 ans

Plan

- Contexte :
 - Cible, énergie, conditions, pilotage, consommation
- L'infrastructure :
 - Les instruments de mesures et pilotage, le serveur, le logiciel
- Stratégie de pilotage de consommation
 - Sa mise en oeuvre: les automations
- Résultats :
 - Profils énergétique saisonniers, bilan annuel, rentabilité constatée
- Remarques :
 - Axes d'optimisation possibles, complexes, regrets
- Conclusion personnelle

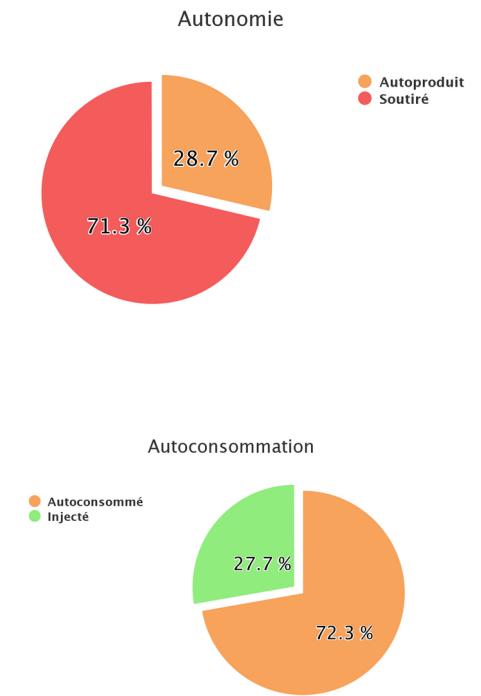
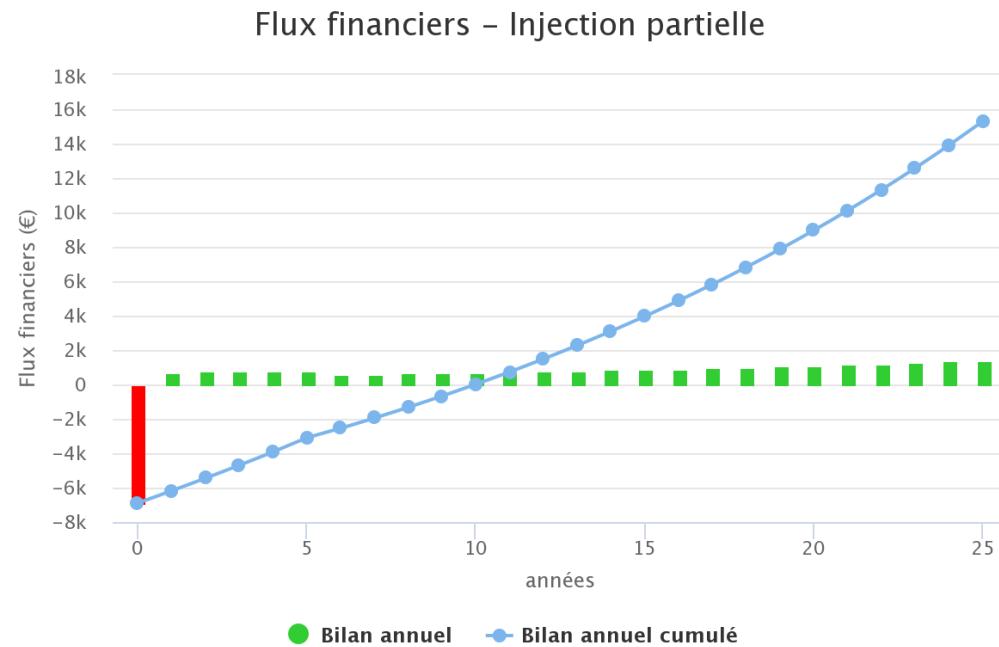
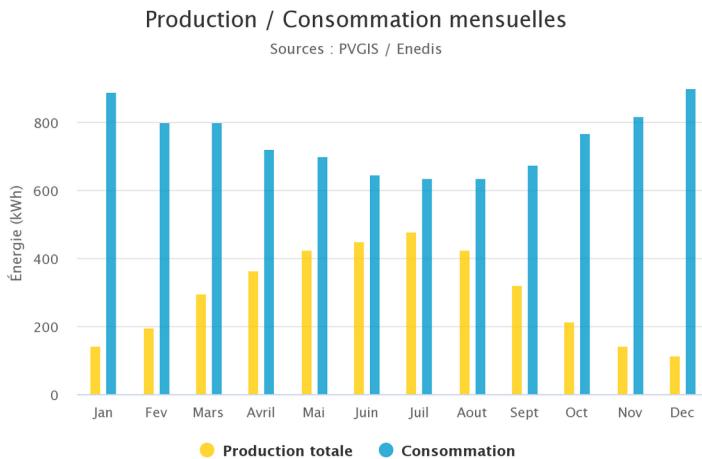
Contexte - Pourquoi?

- Volonté d'effacer une partie de notre consommation
- Rentabilité annoncée en 10 ans
- Envie de mieux comprendre et maîtriser nos besoins en énergie
- Produire une partie de son énergie via du solaire sur son toit c'est éviter que trop de projets (solaire) artificialisent des sols

Effacement énergétique: consommer de l'énergie produite localement au moment où elle est disponible

Contexte - Pourquoi?

- Notre propre étude basée sur les outils disponibles en lignes (exemple [Autocalso](#)):
 - Empreinte carbone sur le cycle de vie 38,76 g CO₂ éq/kWh
 - Temps de retour énergétique: 1,6 ans
 - Rentable en 10 ans



Contexte - conditions , le PAF

- Partner acceptance factor :
 - Pas de fils partout → zigbee & wifi
 - Pas vers les cloud → tout est en local
 - Transparent → les interrupteurs restent fonctionnels
 - Accessible simplement → solution domotique centralisée et user-friendly (Home Assistant) + Flore fait les automations/ scripts/ scènes

Contexte - Energie

Raccordement Energie:

- Abonnement 6kva \square 6kw en puissance max soutirée du reseau
- Solaire 2,4kwc exposé ouest (par micro onduleurs) prix installation 6930€ - 1120€ de primes environ prix total 5810€

Lexique :

kW = puissance instantanée

kWH = consommation

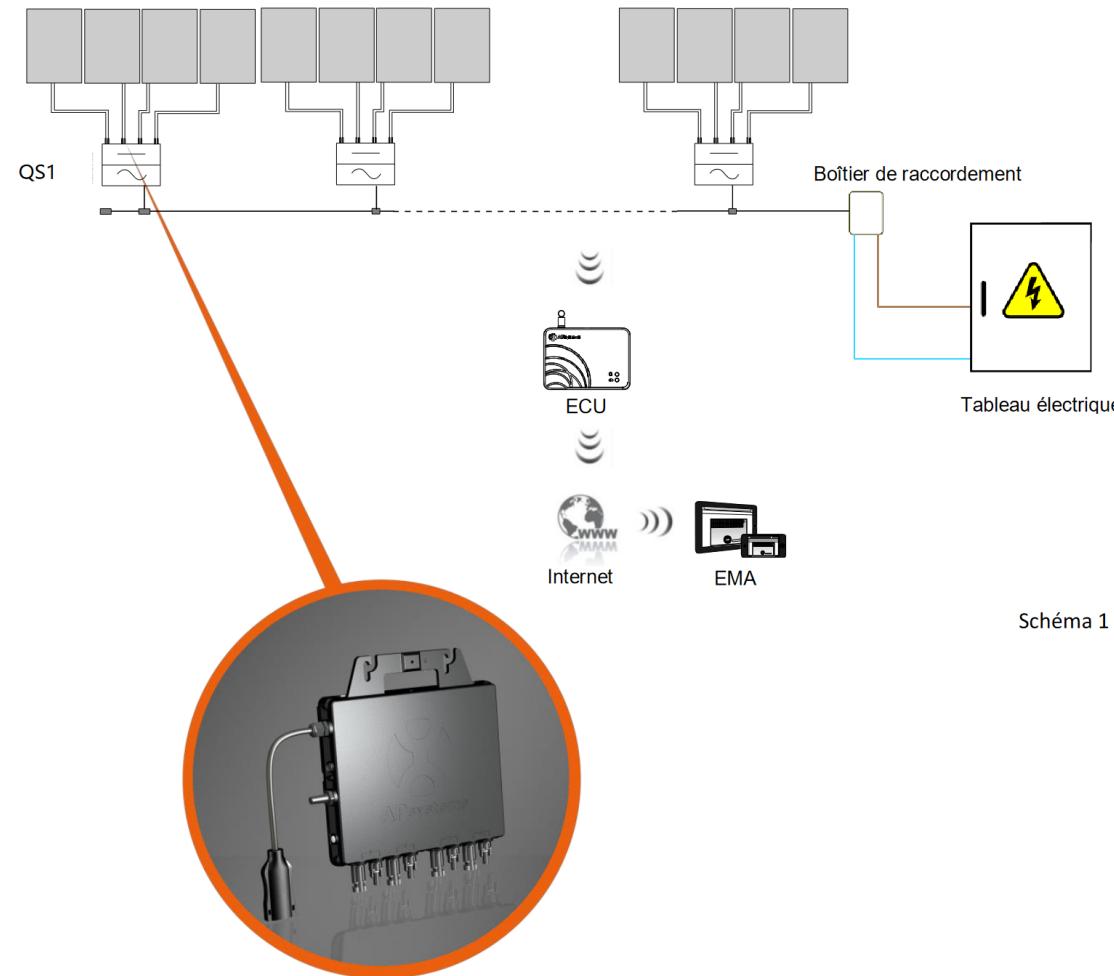
kWC = puissance maximale instantanée de l'installation dans les conditions optimale

kVA= kilo volt ampère = kilowatt corrigé d'un coef de perte en faveur d'Enedis

Contexte – Energie – notre installation

- Installation solaire:
 - 8 panneaux trina solar honey 375w (mono cristalin demi cellules)
 - 2 Micro onduleurs AP System QS1
 - Passerelle Ecu-R
 - L'installation réalisée permet d'effacer entre 0 et 2,4kw de puissance appelée selon l'ensoleillement
 - L'étude de l'installateur prévoit
 - Production 3580 kwh/an
 - Autoconsommation 2506kwh/an
 - Revente 1074 kwh/ an
 - Rentabilité en 9 ans

Contexte – Energie – notre installation



Contexte de pilotage

- Rasberry py4 (100€) + home assistant + zigbee2mqtt
- Dongle zigbee sonoff (12€)
- Sonde de consommation Shelly PM1 (12€ * 3)
- Micro module shelly em2 (70€ * 2)
- Prises pilotées avec suivi d'énergie (10-15€ * 8)
- Télécommande infrarouge wifi (tuya 6€ * 2)
- ---- hors sujet
- Potager connecté : vanne pilotée (30€)
- ---- pilotage predictif
- station météo (à venir)

Contexte de consommation

Fonctionnement à vide de la maison : 60-150 w (talon)

Fonctionnement en maintien au chaud 750 w (pac mini + talon)

Consommations lises (effaçable)	Avec pics (nominal / pics / cycle moyen)
Voiture charge 2kw ou 3kw Moto électrique charge 1,4 kw pompe à chaleur air/air 600w <-> 2200w chauffe eau électrique 1500w Pompe piscine (0,5cv) 700w Frigo entre 50 et 150w Box modem 9w Box TV 3w TV 40w Ecran PC (45w)	Lave linge (100w/ 2kw/600wh) Sèche linge (600w / 1kw / ??) Lave vaisselle (150w/2kw/600wh) Plaque induction (max 6kw) Four (max 3kw)

Contexte de consommation

- Les VE:
 - La voiture ZOE 40kwh
 - consomme entre 100 et 200kwh par mois (voiture devenue principale du foyer usage travail 3x semaines pour ma compagne + courses + sorties+ vacances), consommation moyenne observée 14kwh/100km
 - La durée de vie prévisionnelle voiture électrique 15 ans reste 10 ans
 - La moto Zero 14kwh
 - consomme 30kwh les mois d'été, consommation moyenne observe 3,8kwh/100km
 - Usage trajet travail l'été (car combinaison loisir) + courses + sorties solo, presque pas d'usage d'octobre à février
 - La durée de vie prévisionnelle moto électrique 10 ans reste 7 ans puis réuse de la batterie en stockage 96V

L'infrastructure, Les instruments de mesures et pilotage

- Des pinces ampèremétriques directement dans le tableau
 - Shelly EM2 -> wifi
- Des micro contrôleurs dans les boîtiers de prises
 - Shelly PM1 -> wifi
- Des prises connectées
 - Nous A1Z -> zegbee
- Les thermomètres
- Les passerelles wifi -> IR



L 'infrastructure -Le serveur: raspberry pi 4

[Liste de course](#)

[Adaptateur Disque Dur 2,5 SATA](#)

[Raspberry Pi 4 B 8 Go 4 x 1,5 GHz, Processeur Arm Cortex-A72](#)

[SSD Crucial BX500 240Go](#)

[GeeekPi Raspberry Pi 4 Boîtier](#)

[SONOFF - CLÉ USB ZIGBEE 3.0](#)

Logiciel

Home Assistant Operating System + HACS

La version container docker rame trop sur un r-Pi4- (un Vims-4 permettra sûrement cela)

Module Complémentaires:

Duck DNS : gestion du dns pour accès depuis internet

Mosquitto Broker: broker mqtt

Zigbee2MQTT: passerelle logiciel zigbee vers mqtt

StudioCode Server: vs code pour le paramétrage en ligne du server

Integrations

CO2 signal: intensité carbone

Meteo France

Bluetooth low energy monitor

Shelly

Tuya (cloud) en attendant un pilotage directe zigbee -> IR

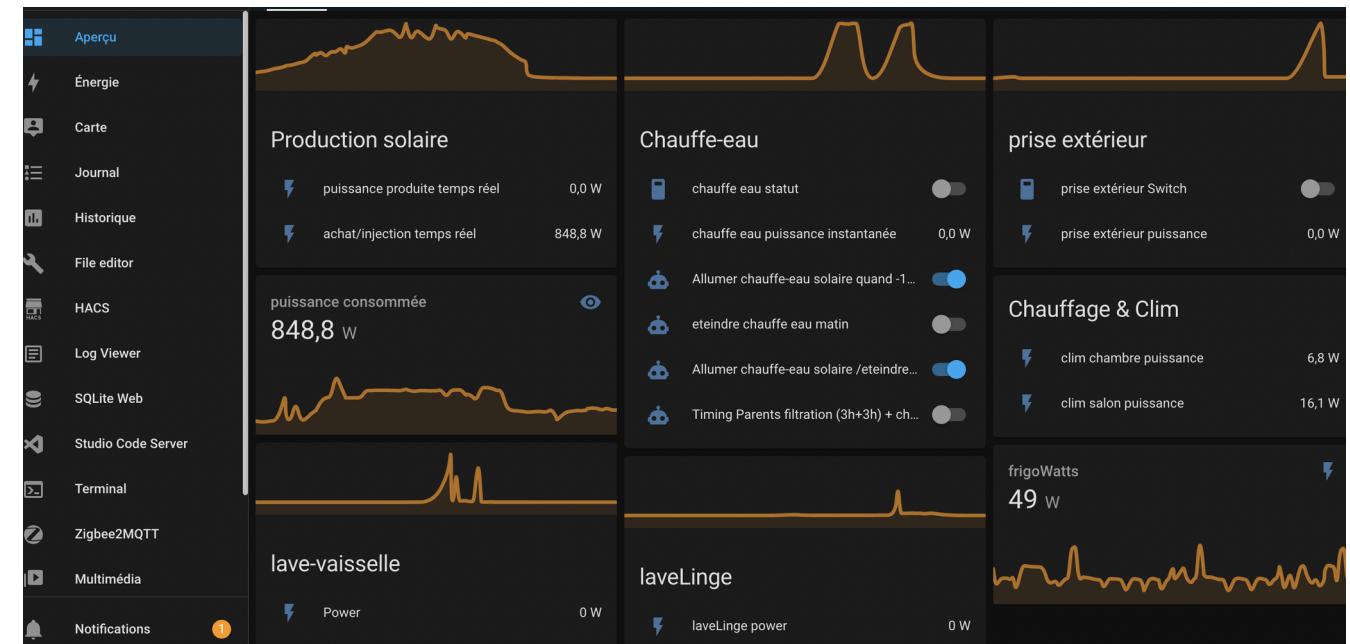


L'infrastructure -Le logiciel: Home Assistant

Un socle simple et efficient

- <https://www.home-assistant.io/>

- Une installation basique en 20 min environ
- Open source
- 1 version par mois (+ correctif)
- 1 serveur
- 1 ihm web
- Apps mobile
- Grosse communauté
- Beaucoup d'intégrations
- Des tuto ...



L'infrastructure -Le logiciel: Home Assistant

- Configuration graphique et textuelle

- Editable via un VS code embarqué et accessible sur l'ihm web

```
group: !include groups.yaml
automation: !include automations.yaml
script: !include scripts.yaml
scene: !include scenes.yaml
sensor: !include sensors.yaml
# bluetooth_tracker
device_tracker:
  - platform: bluetooth_tracker
http:
  base_url: xxxxxxxx.duckdns.org:8123
  ssl_certificate: /ssl/fullchain.pem
  ssl_key: /ssl/privkey.pem
```

Les fichiers .yaml inclus sont éditables graphiquement pour l'essentiels de besoins.

Les cas avancés peuvent nécessiter d'éditer manuellement la configuration

Stratégie de pilotage de consommation

- Utiliser l'énergie solaire autant que disponible
- Priorité eau chaude,
- Charge des véhicules si présent
- Décalage lave linge, lave vaisselle, sèche linge selon production
- Le surplus d'été passe dans la pompe de piscine son surdimensionnement permet de la faire tourner peu de temps (temps divisé par 4)

Mise en œuvre via des automations sur Home Assistant

Stratégie de pilotage de consommation

Sa mise en oeuvre: les automations

- Création graphique simple
 - Listes de déclencheurs, conditions, actions
- Possibilité d'éditer directement en yaml

```
- id: '1630756960705'  
alias: Allumer chauffe-eau solaire quand -1500 ou 14h00  
description: "  
trigger:  
- platform: numeric_state  
entity_id: sensor.shellyem_98cdac1e2a33_channel_1_power  
for:  
  hours: 0  
  minutes: 0  
  seconds: 0  
  milliseconds: 0  
below: '-1500'  
- platform: time  
at: '14:00:00'  
condition:  
- condition: device  
type: is_off  
device_id: a4b6bf799d8862ecef93af7ffb9aaf3d  
entity_id: switch.shellyplus1pm_441793942734_switch_0  
domain: switch  
switch:  
for:  
  hours: 8  
  minutes: 0  
  seconds: 0  
action:  
- type: turn_on  
device_id: a4b6bf799d8862ecef93af7ffb9aaf3d  
entity_id: switch.shellyplus1pm_441793942734_switch_0  
domain: switch  
service: notify.notify  
data:  
  message: Le chauffe-eau est allumé  
- type: turn_off  
device_id: 5ea6c5a3e7cc4fbfef12d1d49f9ab1de  
entity_id: switch.piscinev2  
domain: switch  
mode: queued  
max: 10
```

<input checked="" type="checkbox"/> Timing Parents filtration (3h+3h) + chauffe-eau (3h)	16 août 2022 à 10:00	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> Sauvegarde Journalière	22 septembre 2022 à 01:00	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> Low battery level detection & notification for all battery sensors	23 octobre 2021 à 10:00	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> Eteindre chauffe-eau après 5min faible conso	22 septembre 2022 à 16:31	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> eteindre chauffe eau matin	23 mars 2022 à 08:00	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> éclairer maison nuit	26 janvier 2022 à 17:49	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> Déclencher chauffe eau à 7h pendant 1h	Jamais	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> chauffage chambre 19h pdt 3h	29 décembre 2021 à 19:00	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> C5 eteint clim à 22h	23 novembre 2021 à 22:00	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> C4 baisse chauffage au coucher soleil	7 novembre 2021 à 16:32	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> C3 eteint chauffe eau allume clim salon	23 novembre 2021 à 21:09	EXÉCUTER	i d p
<input checked="" type="checkbox"/> C2 allume chauffe eau éteint clim	22 novembre 2021 à 12:15	EXÉCUTER	i d p

Conditions

Les conditions sont facultatives et empêcheront toute exécution ultérieure si toutes les conditions ne sont pas remplies.
[En savoir plus sur les conditions](#)

Type de condition: Appareil

Appareil: shellyplus1pm-441793942734

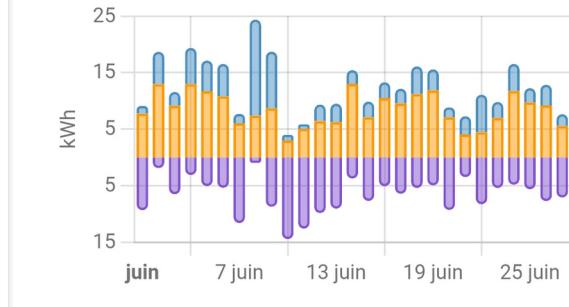
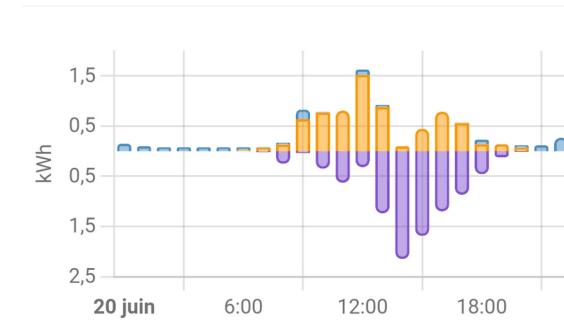
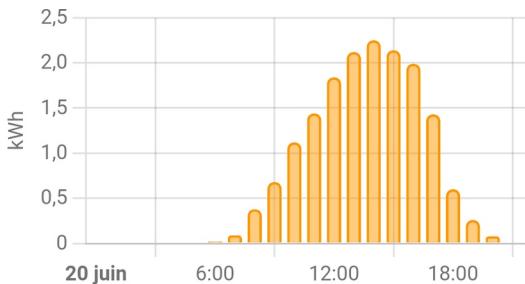
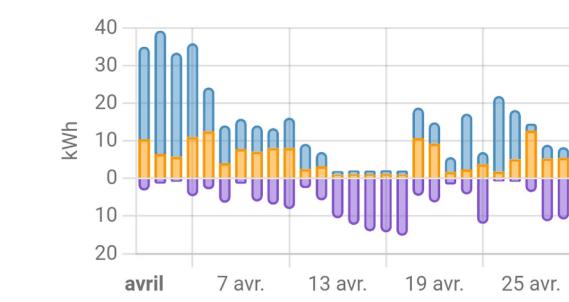
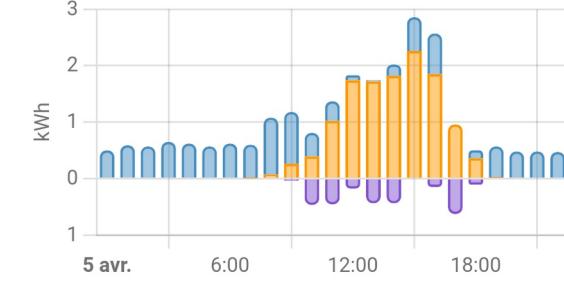
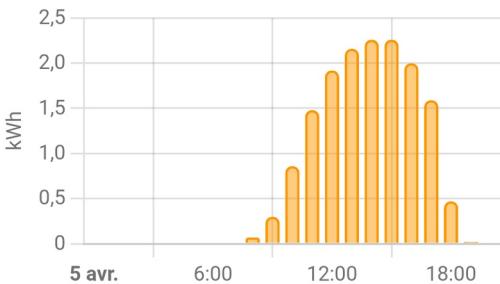
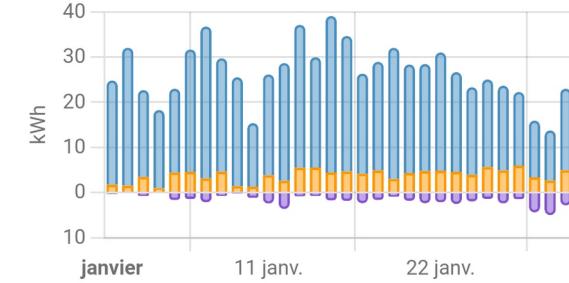
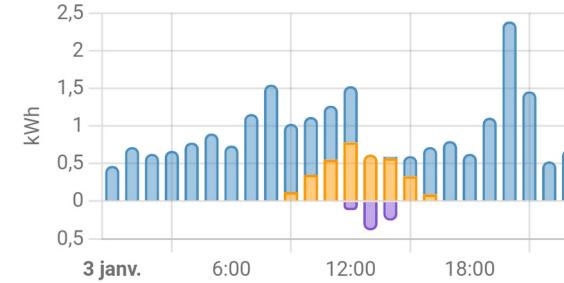
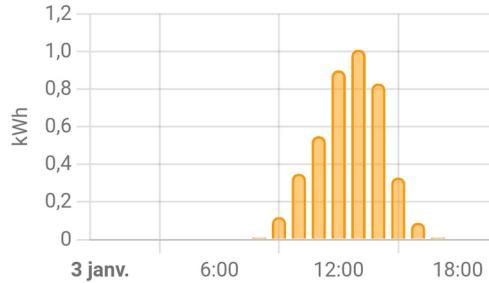
Condition: chauffe eau statut est désactivé

Durée: hh mm ss
8 : 00 : 00

AJOUTER UNE CONDITION TEST

Résultats : Profils énergétique saisonniers, effacement en journée d'avril à septembre

- Hivers (Janvier)



Résultats : bilan annuel

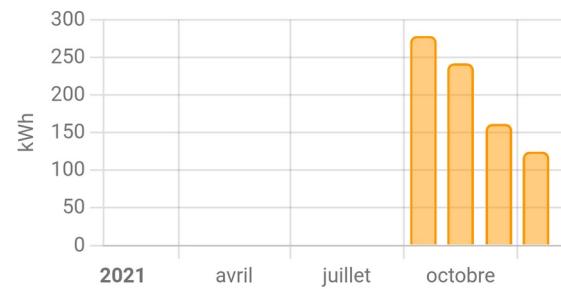
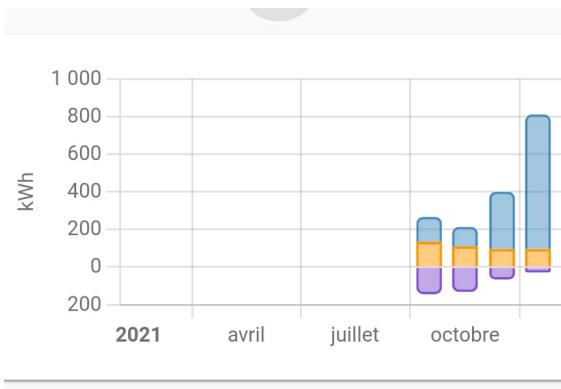


Erreur en février 2022

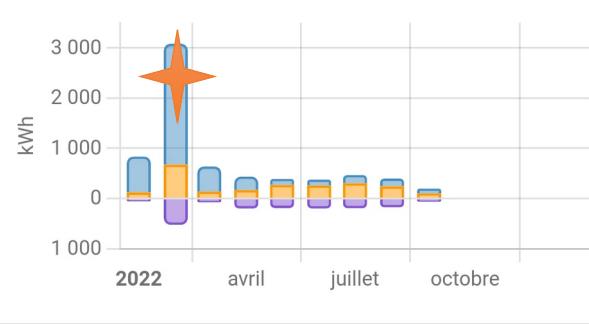
+1011,9kwh de production solaire

+2059 kwh de consommation réseau

+436 kwh de réinjection réseau



Source	Énergie	Coût
énergie totale produite	806,68 kWh	
Solar total	806,68 kWh	
énergie totale achetée	1 258,3 kWh	209,85 €
renvoi vers enedis	-373,07 kWh	-37,09 €
Total du réseau	885,23 kWh	172,76 €



Source	Énergie	Coût
énergie totale produite	3 965,96 kWh	
Solar total	3 965,96 kWh	
énergie totale achetée	4 559,06 kWh	661,55
renvoi vers enedis	-1 691,94 kWh	-169,02
Total du réseau	2 867,12 kWh	492,53

Source	consommation	valeur
Production solaire autoconsommée	2130,89 kWh	340,8€
Production Solaire renvoyée	1629,01 kWh	162,90€
Achat Enedis (0,16€/kwh)	3758,36 kWh	601€

Taux d'auto consommation: 56,69%

Taux d'auto production: 36,18%

Résultats : rentabilité constatée

- Prix installation
 - 6930€ (solaire)
 - 400€ (domotique)
 - -1120€ (primes)
 - prix total 6210€
- Remboursé en 12,5 ans au prix actuel de l'électricité (0,16€/kwh)
- □revue à 11,8 ans suite hausse prévue 2023 (+15% => 0,184 €/kwh)
 - Les scénarios RTE 2050 évoquent une forte augmentation du cout de revient de l'électricité (voir annexe)
- Soit l'équivalent d'un placement à 6% environ
- Temps de retour énergétique: 1,6 ans

Axes d'optimisation possibles

- Améliorer l'autoconsommation:
 - Les VE chargent quand ils sont sur le parking en journée
 - Donc quand ils ne servent pas à aller au travail alors qu'il fait beau
- Installation solaire plein ouest
 - ombrage après 18h en été (colline après 20h + pins du voisinage dès 18h30)
 - les pins du voisin lui font l'ombrage de 14h à 20h l'été ↳ c'est mort
 - Faible production l'hivers et le matin
 - auto installation de 2 panneaux supplémentaires au sol plein sud (-de 1,8m de haut)
 - 750wc de production attendu sur plage 9h-16h
 - Cout environ 750€ prévu T1 2023
- Installation sur micro onduleurs : Pas de réseau = pas de production
 - Mis en place d'un couplage AC avec stockage
 - Auto-consommation à 100% + réseau secouru (frigo, fibre, pc)
 - Cout environ 2000€
 - probablement jamais rentable
 - réalisation si les coupures deviennent plus fréquentes et surtout longues

Axes d'optimisation complexes

- Efficacité du solaire thermique imbattable (70 à 90% selon installation vs 20% environ pour le photovoltaïque)
 - Installation thermique ECS ☐ reprise intégrale de la production d'eau chaude
 - Cout en auto construction très variable
 - il y a des tuto pour se faire des panneaux très peu cher via de la récup
 - ☐ Besoin de progresser en plomberie

L'ECS c'est 4 kwh par jour soit toute notre production en hivers

Regrets

- L'installation solaire actuelle est mono exposition avec un ombrage similaire pour chaque panneaux
- les micro onduleurs:
- n'ont pas de valeur ajoutée (le calcul MPPT est le même pour chaque panneau)
 - complexifient la mise en place
 - d'un réseau secouru
 - d'un stockage batterie
- écrêtent la puissance max des panneaux
- Installé 8*375w , écrété 8*300w
 - Justification sur le facteur de charge par l'installateur (usage entre 80 et 90%)
 - Après documentation:
 - Je perds 75w de production 4h/jour pendant l'été
 - Les micro onduleur chauffent d'avantage et devraient durer moins longtemps
 - Mais c'est l'état de l'art

Conclusion personnelle

- Solaire c'est :
 - Pas magique et intermittent, rentable mais pas trop
 - Un moyen de reprendre la main sur certaines consommations
 - Sur toiture c'est limiter l'intérêt des fermes solaire qui artificialisent les sols
- Anticipation
 - Au quotidien dans l'usage □ ajustement des usages selon la météo
 - Prédisposition à d'éventuelle contraintes à venir d'usage ou du réseau
 - EDF avait annoncée le remplacement des coupures pour impayés par la limitation à 1kva en novembre 2021
<https://www.capital.fr/economie-politique/edf-confirme-la-fin-des-coupures-delectricite-en-cas-dimpayes-1419783>
)
 - Piste de tarification différenciée par seuil (revenus ou volumes) par des think tanks
 - <https://tnova.fr/ecologie/transition-energetique/pour-une-tarification-duale-de-lenergie-domestique/#2-principe-de-la-tarification-duale-de-lrsquo-eacute-nergie>
 - Attention à l'effet rebond

Annexes – se bricoler

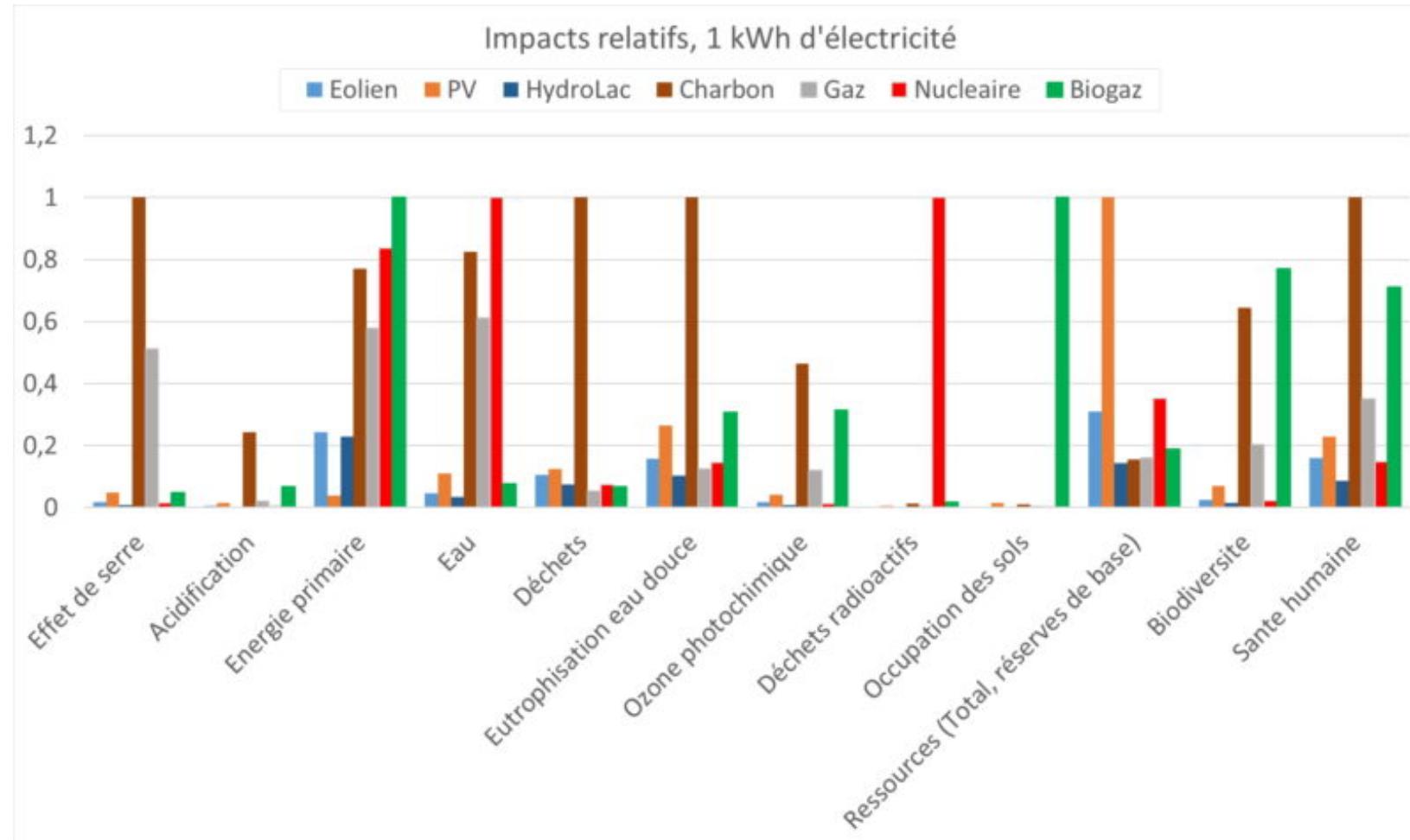
- Se bricoler une pince ampermetrique conectée
 - <https://github.com/mqu/esp32-pzem-004t>
- Se bricoler un chauffe au solaire
 - https://wiki.lowtechlab.org/wiki/Chauffe_eau_solaire/fr
- Le mur trombe pour limiter les besoins en chauffage
 - <https://monhabitatpositif.com/blog/construction-bioclimatique/les-equipements/mur-trombe/>

Annexes – ACV et analyse d'impacts....

- INCER -ACV : - Intertitude Analyse de Cycle de Vie
 - <http://viewer.webservice-energy.org/incer-acv/app/incer-acv/app>
 - calculer les impacts environnementaux de la filière photovoltaïque et leur incertitude.

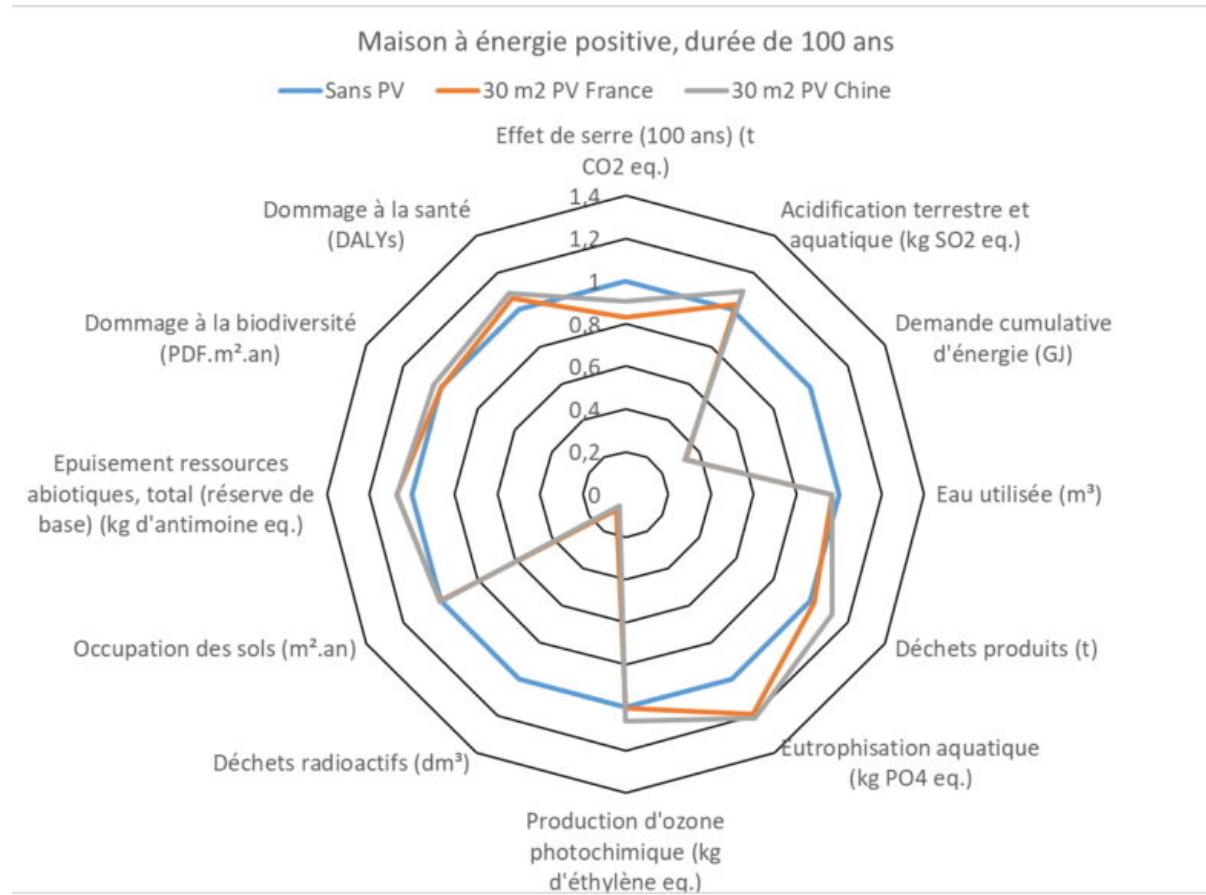
Annexes – ACV et analyse d'impacts....

<https://www.lab-recherche-environnement.org/fr/article/note-sur-lanalyse-du-cycle-de-vie-et-les-energies-renouvelables/>



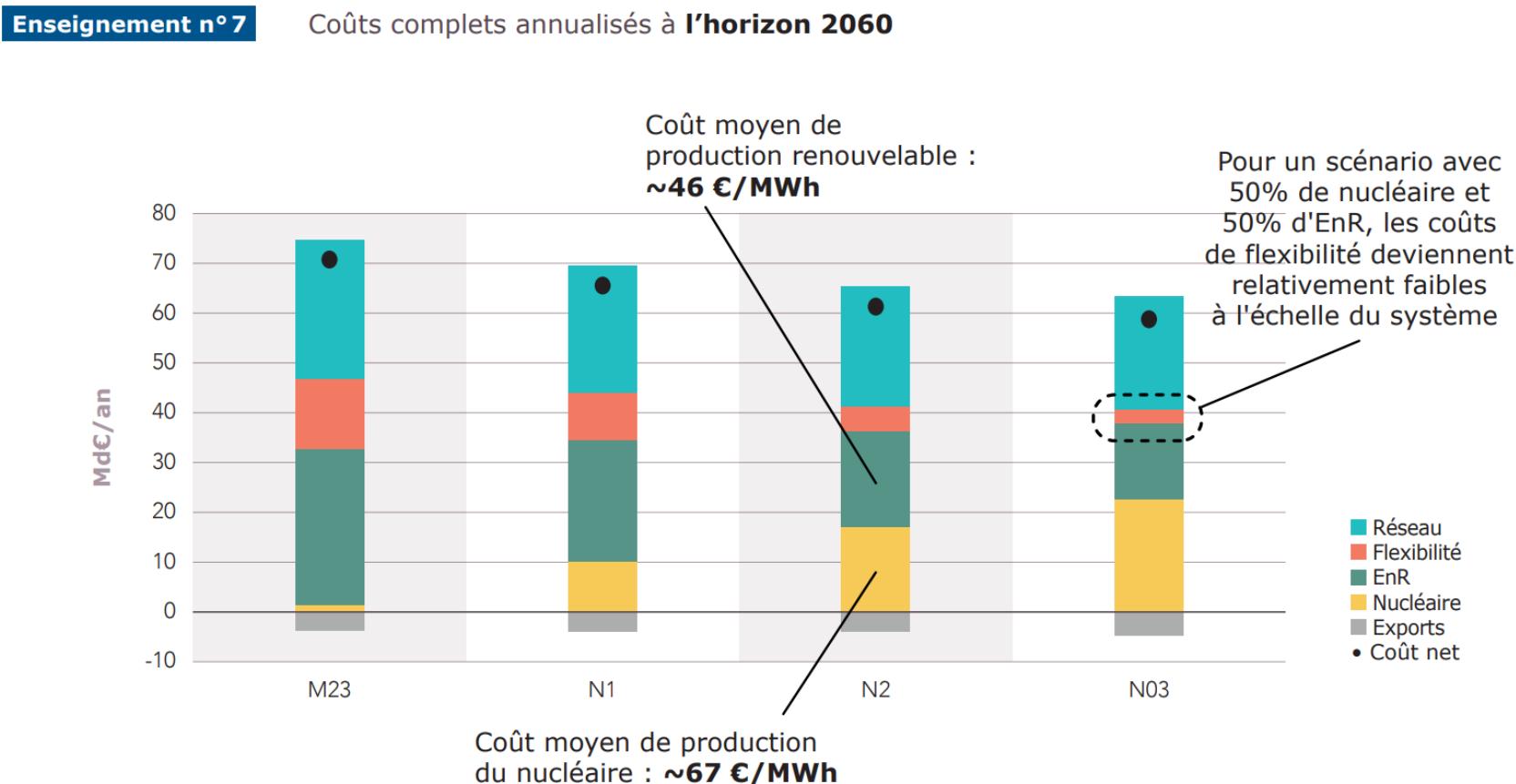
Annexes – ACV et analyse d'impacts....

<https://www.lab-recherche-environnement.org/fr/article/note-sur-lanalyse-du-cycle-de-vie-et-les-energies-renouvelables/>



Annexes – Anticiper....

<https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-12/Futurs-Energetiques-2050-principaux-resultats.pdf>



* Hypothèse centrale du coût des technologies et coût du capital à 4%