

Optimisation stockage photovoltaïque par ballon chauffe-eau

T_{EF} : La température d'eau froide. C'est la température à laquelle l'eau rentre dans le chauffe-eau

T_{EC} : La température d'eau chaude. C'est la température **Consigne** visée.

Ballon à chauffe-eau : le ballon utilise un système de stratification, autrement la température chaude se trouve en haut du ballon et la température basse en bas. Du coup on peut avoir différents volumes d'eau chaude dans le ballon dans le temps.

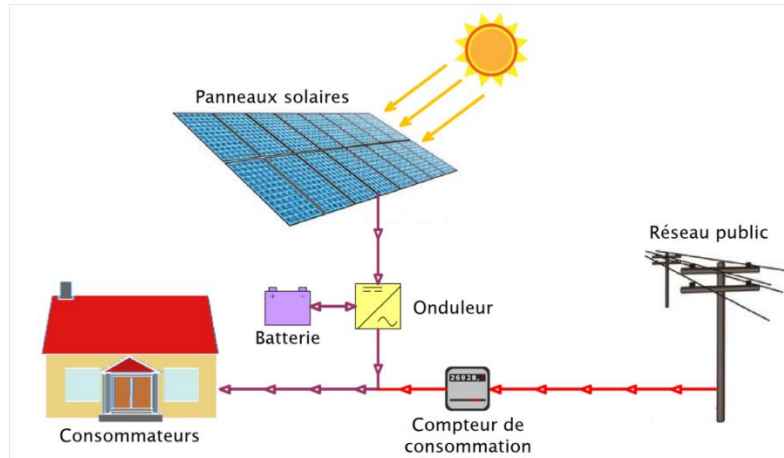


Figure 1: Fonctionnement classique du système photovoltaïque



Figure 2: Fonctionnement du système photovoltaïque avec stockage eau chaude

I. Mise en Equation : Modélisation théorique

Pour pouvoir mettre en place des modélisations de notre système d'optimisation photovoltaïque, on modélise :

- La production du système PV
- L'achat de l'électricité sur le réseau
- La consommation de la maison
- Le volume d'eau chaude dans le ballon
- La consommation de la résistance du ballon
- L'onduleur
- Le réseau électrique
- Le tableau électrique

1. Modélisation du volume d'eau chaude du ballon

L'énergie thermique par définition :

$$Q = m \cdot C \cdot (T_f - T_i)$$

Où :

- Q = Énergie thermique [J]
- m = Masse d'eau [kg]
- $C = 4185$ J/kg (Capacité calorifique)
- $(T_f - T_i)$ = Écart de température [K]

De la formule de chaleur, on peut déduire la puissance en watt produite. Par définition, la puissance thermique de la résistance ϕ est la quantité de chaleur par unité de temps. Donc on trouve :

$$\phi = Q/t$$

$$\phi = \dot{m} \cdot C \cdot (T_f - T_i)$$

$$\phi = (dm/dt) \cdot C \cdot (T_f - T_i)$$

Des deux formules précédentes, on peut ainsi déterminer le volume d'eau chaude qui se trouve dans le ballon dans le temps :

La relation entre masse et volume est donnée par :

$$m = \rho \cdot V \Rightarrow dm/dt = \rho \cdot dV/dt$$

On obtient donc finalement un volume d'eau chaude par unité de temps comme :

$$dV_{ec} / dt = \phi / \rho \cdot C \cdot (T_{ec} - T_{ef})$$

2. La production du système PV

On a des données qui nous permettent d'avoir la puissance des panneaux, sur la période concernée.

Mais pour un modèle avancé plus tard, il peut y avoir une modélisation à faire, intégrer des capteurs peut être.

3. L'onduleur

L'onduleur sera considéré dans un premier modèle simple comme à rendement parfait.

Autrement la puissance alternative est égale à la puissance continue. Un modèle avancé, le modélisera

4. Le réseau électrique

Pour calculer le réseau électrique, il faut prendre en considération le réseau PV, et les charges de la maison. Cela nous permet de modéliser le réseau électrique par les équations suivantes :

- $P_{\text{reseau}}=0$, si $P_{\text{PV}} > P_{\text{résistance}} + P_{\text{maison}}$
- $P_{\text{reseau}}= P_{\text{résistance}} + P_{\text{maison}} - P_{\text{PV}}$, si $P_{\text{PV}} > P_{\text{résistance}} + P_{\text{maison}}$

5. La consommation de la résistance du ballon

Pour la puissance de la résistance, il faut savoir que c'est paramètre booléen autrement :

- Si le chauffe-eau est allumé, alors la charge de la résistance est activé (1500 w, une valeur constante qui dépend du chauffe-eau)
- Sinon, la charge est nulle

6. La consommation de la maison

La consommation de la maison en dehors de la puissance consommée par la résistance, sera prise par des valeurs réels.

7. L'achat et la vente de l'électricité sur le réseau

L'achat d'électricité sur le réseau, ou la vente de surplus peuvent être modélisé par les équations suivantes :

$$\text{Coût} = \sum_t (P_{\text{achat}}(t) \cdot \Delta t \cdot \text{Tarif}_{\text{achat}}(t))$$

Variables :

- $P_{\text{achat}}(t)$: Puissance achetée au réseau à l'instant t [kW].
- Δt : Pas de temps [h] (ex. 0.1667 h pour 10 minutes).
- $\text{Tarif}_{\text{achat}}(t)$: Prix de l'électricité achetée [€/kWh].

Les bénéfices générés par la revente du surplus solaire sont donnés par :

$$\text{Revenu} = \sum_t (P_{\text{revente}}(t) \cdot \Delta t \cdot \text{Tarif}_{\text{revente}}(t))$$

Variables :

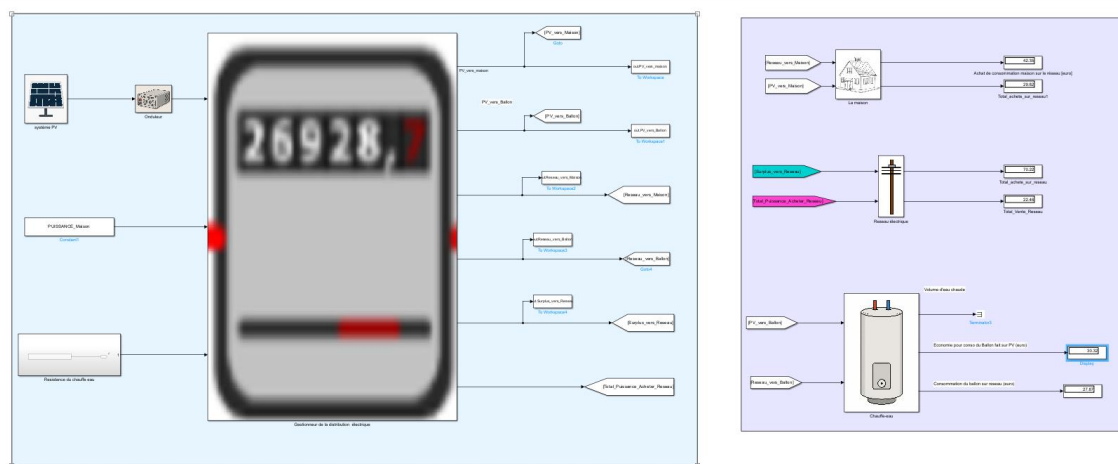
- $P_{\text{revente}}(t)$: Puissance revendue au réseau [kW].
- $\text{Tarif}_{\text{revente}}(t)$: Prix de revente [€/kWh] (ex. 0.10 €/kWh).

8. Le tableau électrique

Le tableau électrique permet de gérer les priorités de consommation. Il orchestre la distribution de puissance. Dans notre modèle on le modélise par un bloc logique qui ordonnance comme suite :

- **Priorité 1** : Alimenter la **consommation domestique** (éclairage, appareils).
- **Priorité 2** : Diriger le **surplus solaire** vers :
 - La résistance du chauffe-eau (si besoin de stockage thermique).
 - La batterie (si incluse).
 - Le réseau (revente).

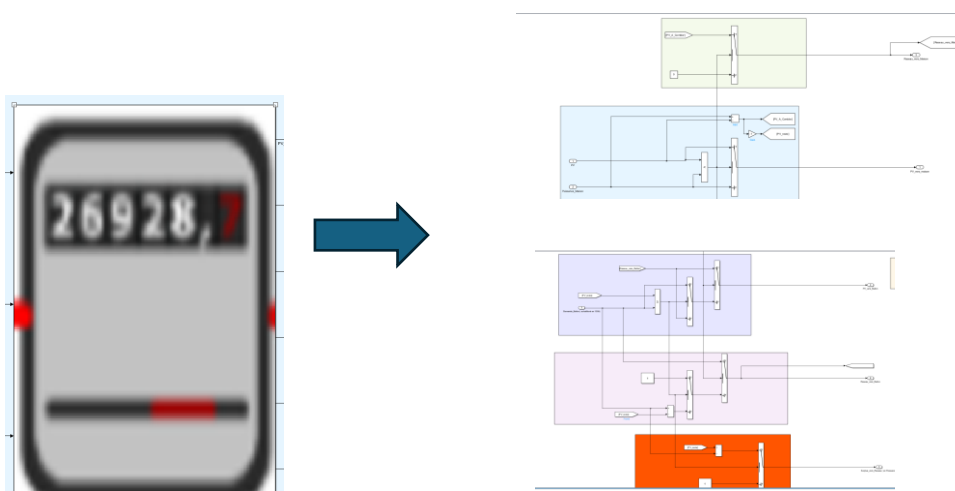
II. Simulation : Modèle Simulink



Le modèle Simulink, est composé de plusieurs sous blocs qui sont :

- **Gestion de la distribution d'Energie**

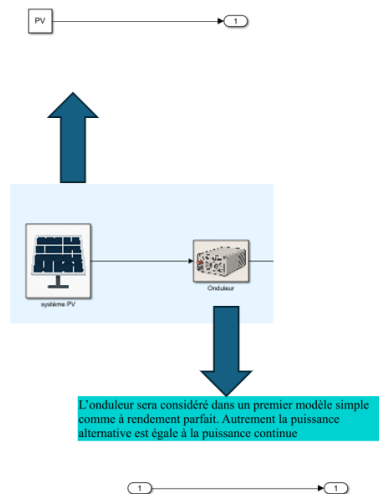
Dans ce bloc on assure la distribution de l'Energie provenant du réseau ou du système PV. Il permet ensuite d'assurer selon la priorité l'envoi de la quantité de puissances nécessaires pour les différents éléments : 1. Maison , 2. Ballon d'eau chaude et ensuite 3. Le surplus vers le réseau



- **Bloc PV et bloc Onduleur :**

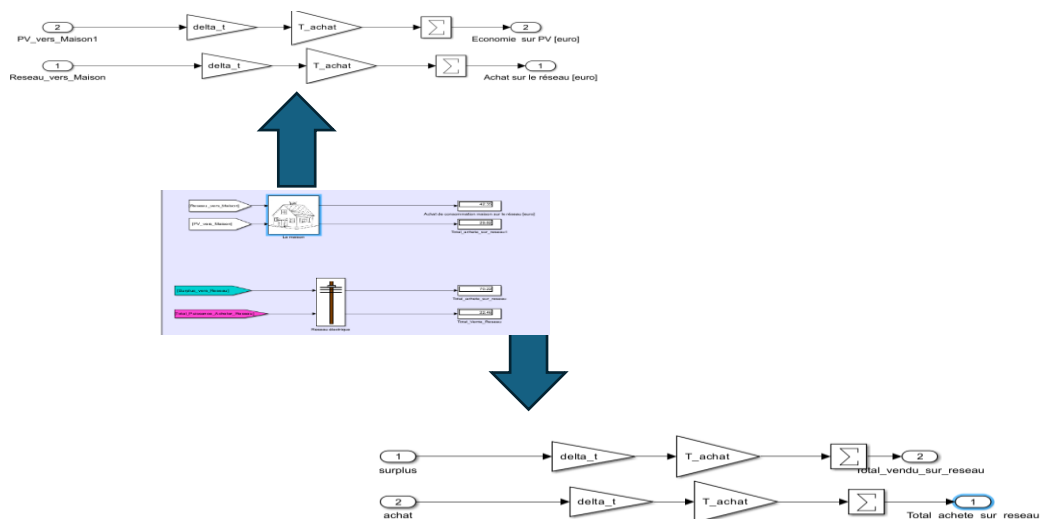
Dans le bloc PV se trouve la quantité d'énergie produite par les panneaux pendant une semaine avec un pas d'échantillonnage de 10 minutes.

Le Bloc Onduleur n'est pas modélisé, on suppose que son rendement est parfait comme on l'a dit en haut.



- **Bloc Maison et bloc Réseau :**

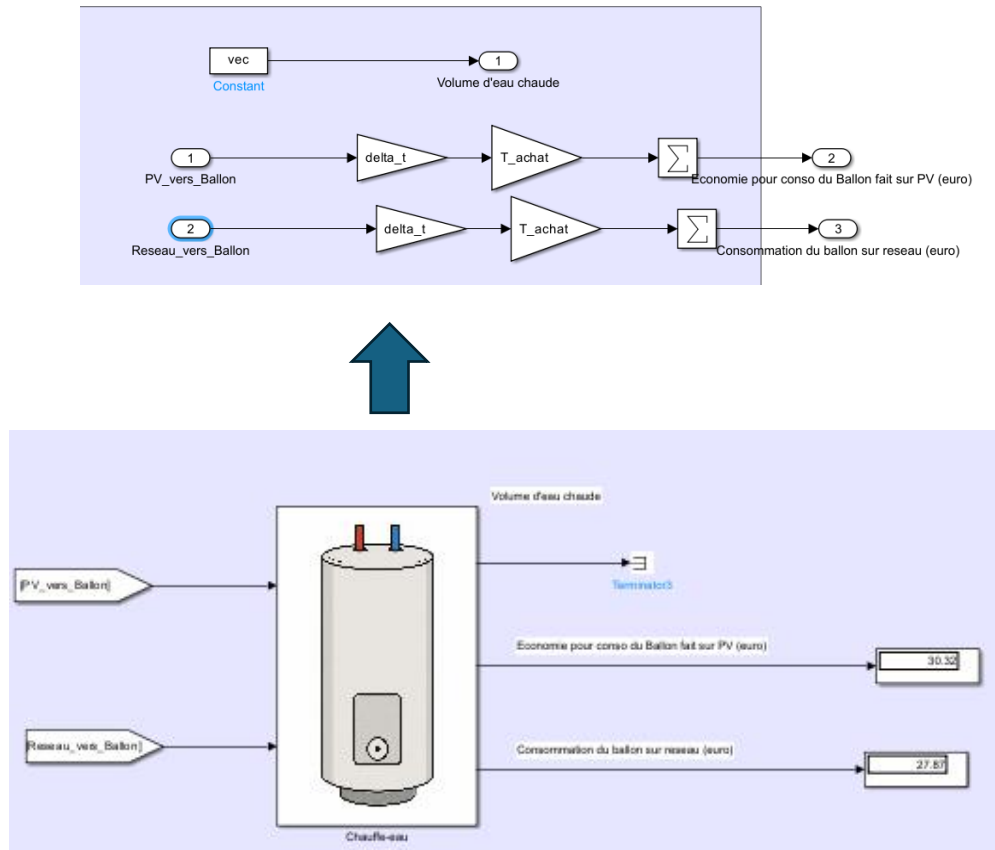
Dans chacun de ces blocs, on calcule la quantité d'énergie acheté sur le réseau électrique mais aussi celle qu'on a pu économiser avec le système photovoltaïque PV



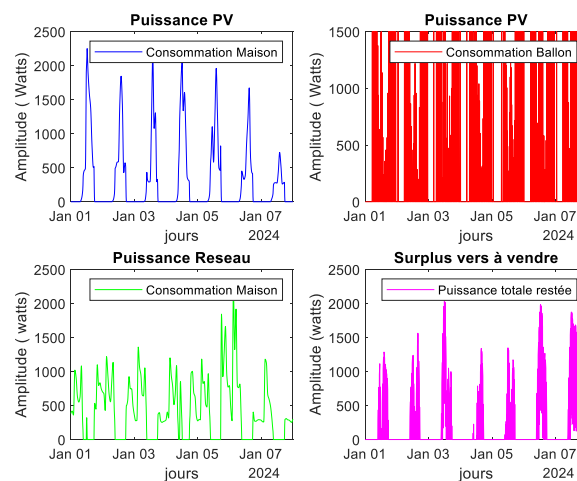
- **Bloc Ballon d'eau chaude :**

Dans ce bloc aussi on calcule les quantités d'énergie consommées et économisées avec le système Réseau – PV.

Mais de plus on le volume d'eau chaude du ballon pendant une semaine.



III. Résultats



La figure est composée de quatre sous-graphes :

1. **Consommation Maison (en bleu, en haut à gauche)**
2. **Consommation Ballon (en rouge, en haut à droite)**
3. **Consommation Maison (en vert, en bas à gauche)**
4. **Puissance totale restée (surplus) (en magenta, en bas à droite)**

Sur l'axe des abscisses (x), on retrouve les dates, allant ici du 1er janvier au 7 janvier. Sur l'axe des ordonnées (y), on a l'amplitude en watts (W), qui représente la puissance consommée ou le surplus de production.

Consommation Maison (en haut à gauche, bleu)

On observe des pics de consommation plus ou moins réguliers, qui peuvent correspondre à l'usage d'appareils énergivores (four, plaques de cuisson, lave-linge, etc.) à certains moments de la journée.

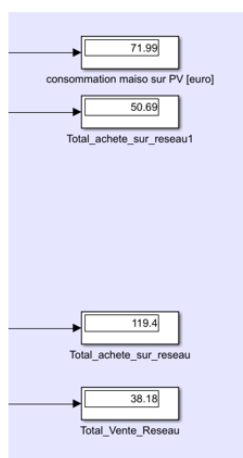
Consommation Ballon (en haut à droite, rouge)

- **Caractéristique du ballon d'eau chaude** : Souvent, le ballon se déclenche lorsque la température de l'eau descend sous un certain seuil, entraînant un pic de consommation le temps de la remise en température.

Surplus d'énergie

Sur la semaine, on observe que le surplus varie, en particulier le 3 janvier, où il atteint jusqu'à 2000 W. Cela indique un fort excédent de production d'énergie par rapport à la demande à ce moment-là (peut-être un jour particulièrement ensoleillé ou une consommation plus faible).

Consommation et économie en euros



En prenant en compte, seulement la consommation de maison (sans le ballon) et un Tarif d'achat moyen de 0.17 euros. Seulement 50 euros d'électricité est acheté en une semaine. Somme qui sans PV aurait augmentée de 71 euros.

Avec le même tarif, on arrive à vendre un surplus d'énergie 38 euros pendant une semaine.