

Mise en situation et problématique

Mise en service des instruments
scientifiques (SEIS, APSS, ...)

Besoin

Apport en énergie électrique

Contrôles

Consommation d'énergie
État des batteries

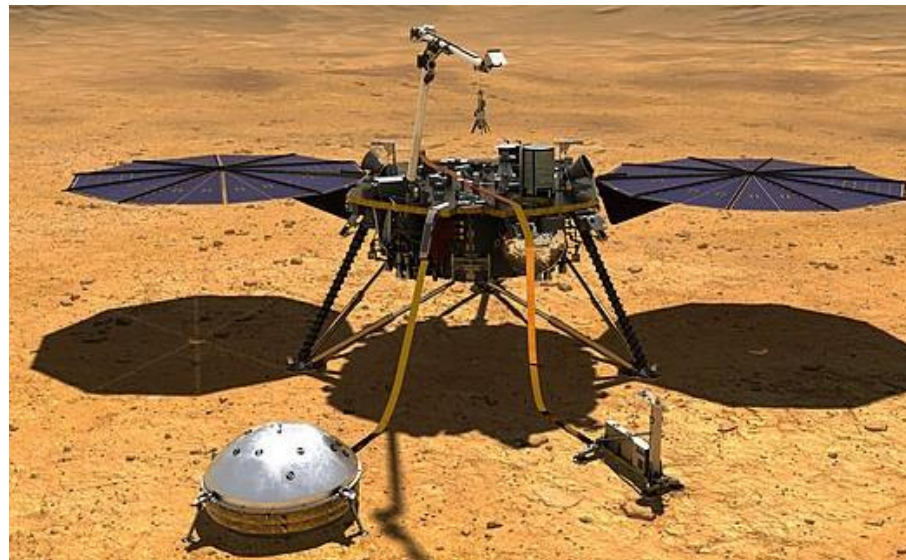
Risques

Coupure/Insuffisance d'énergie électrique

Problématique

Comment assurer une autonomie
énergétique suffisante et pérenne de la
sonde InSight, visant à limiter la décharge
des batteries pour tenir le temps de la
mission à 4 ans.

Sonde InSight



Source : NASA

Plan

I/ Mise en situation et problématique



II/ Anatomie de la sonde

- ❖ Génération énergétique
- ❖ Stockage
- ❖ Instrumentation

III/ Contexte énergétique du système

- ❖ Fonctionnement énergétique
- ❖ Optimisation énergétique par unité de temps : puissance

IV/ Modélisation de la chaîne d'énergie

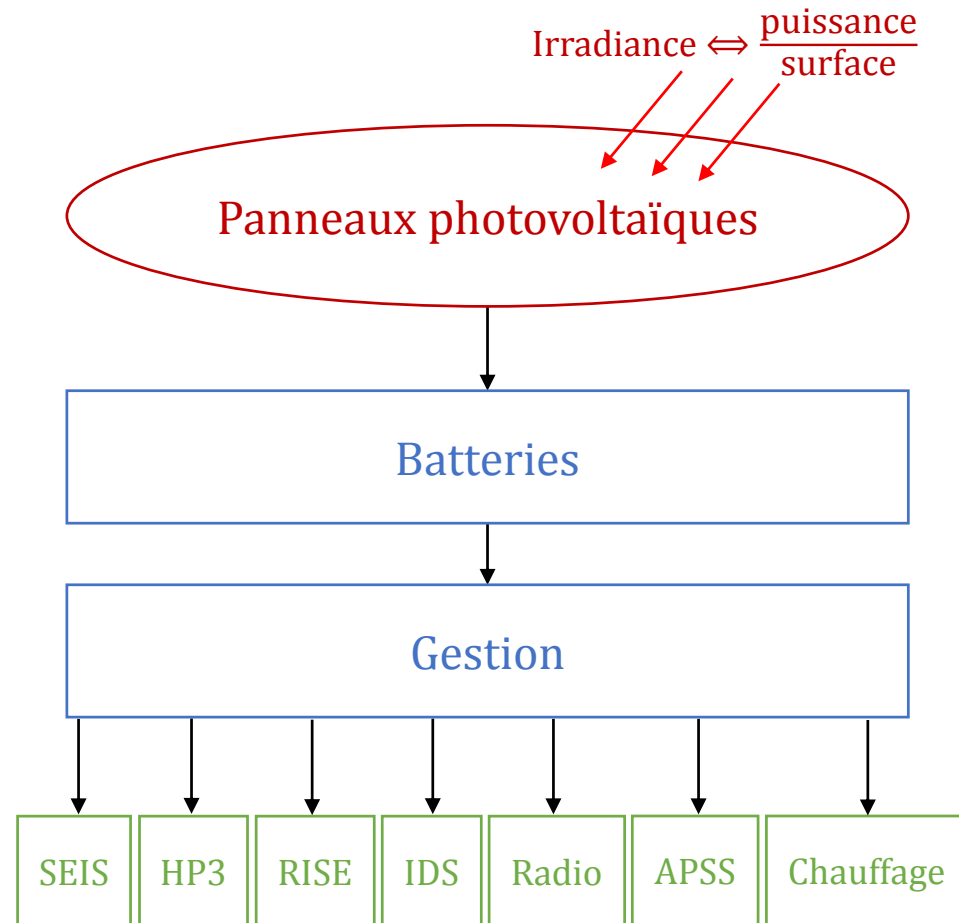
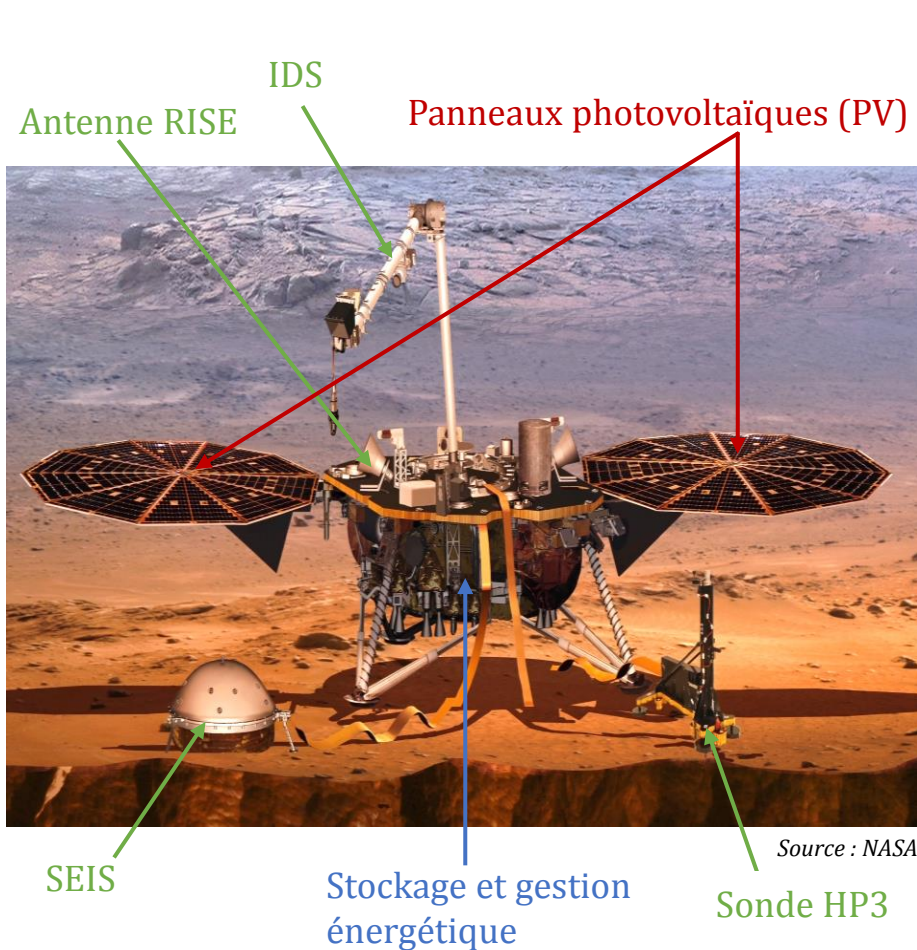
- ❖ Apport énergétique
- ❖ Stockage
- ❖ Traitement
- ❖ Alimentation de l'équipement

V/ Conclusion

- ❖ Résultat du modèle équivalent
- ❖ Analyse et réponse à la problématique

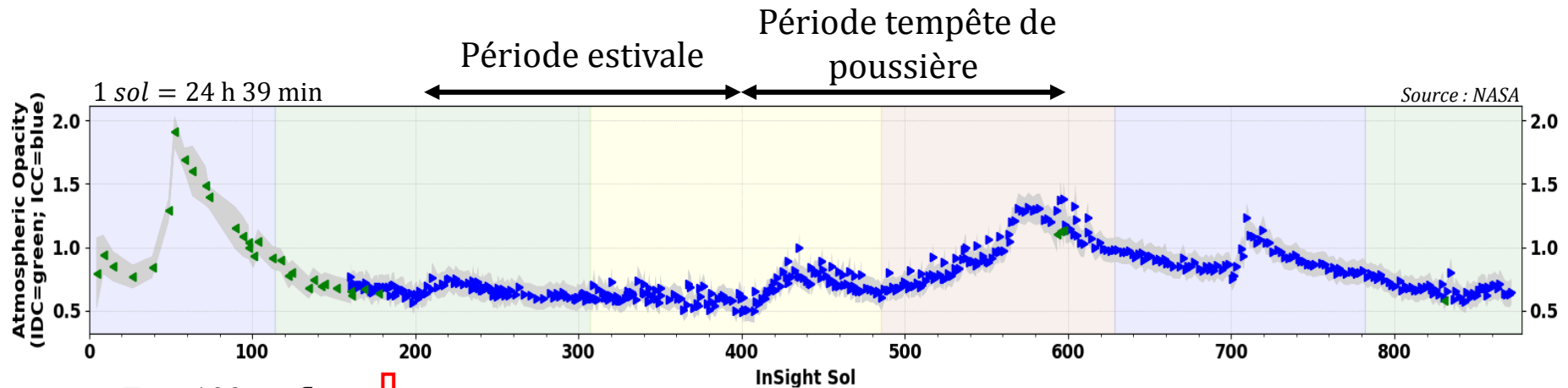


Anatomie de la sonde



La connexion entre les différents organes de la sonde est assurée par des bus continus

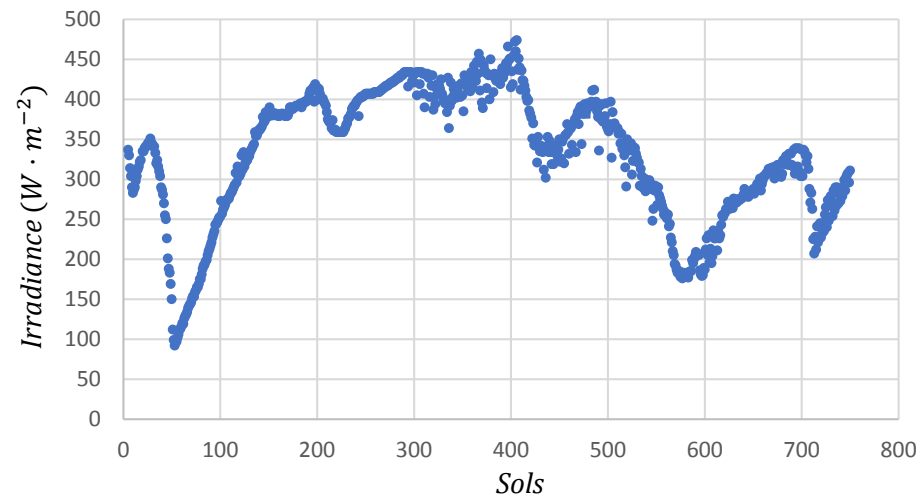
Fonctionnement énergétique



$$T_r = 100 \cdot e^{-\tau}$$

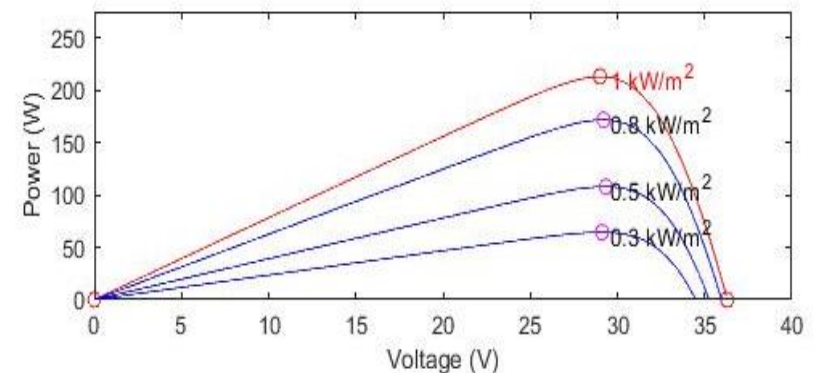
$$P_{S,Mars} = 586 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \downarrow \quad I_r = T_r \cdot P_{S,Mars}$$

Irradiance en fonction des sols



$$\langle P_{min} \rangle = 97 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \langle P_{max} \rangle = 477 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

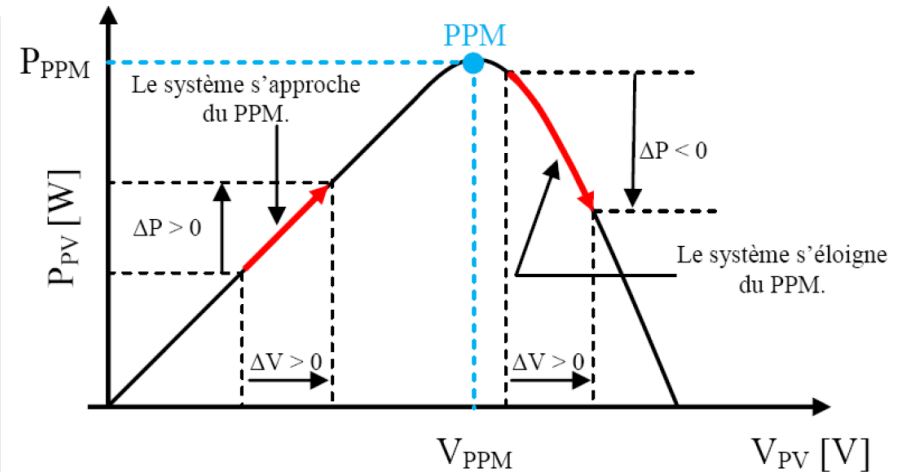
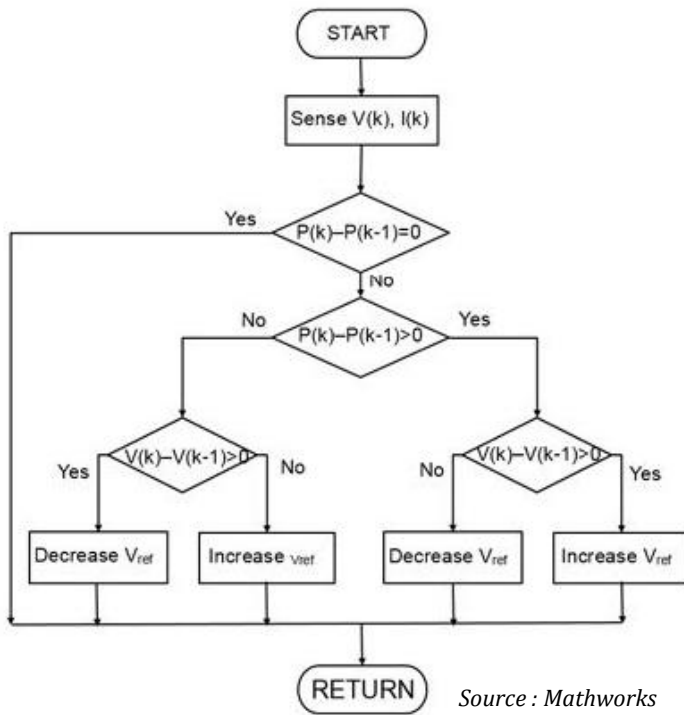
$$P_{moy} = 330 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



Optimisation de la puissance

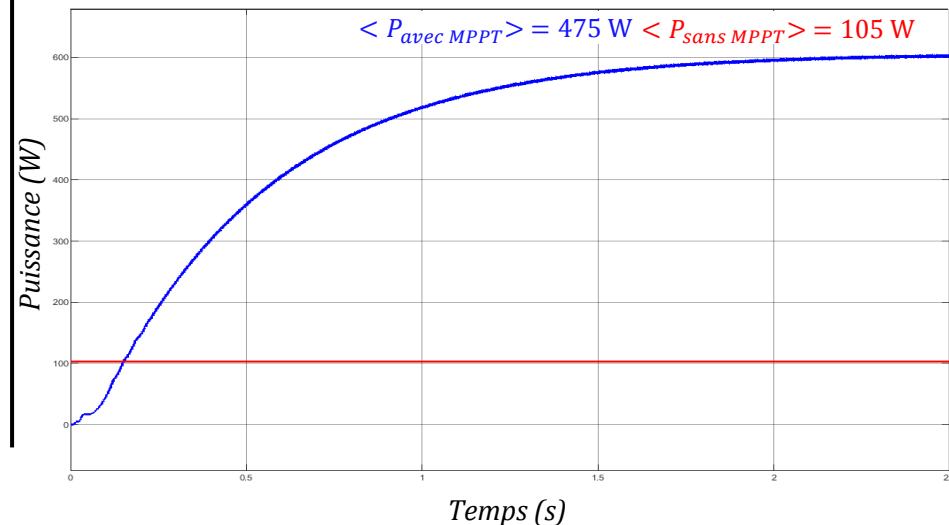
MPPT : Maximum power point tracker
(recherche de la puissance maximale)

❖ Algorithmes (P&O)



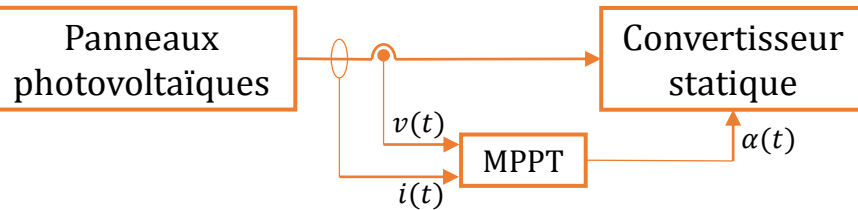
❖ Implémentation sous Simulink

Puissance avec et sans MPPT en fonction du temps

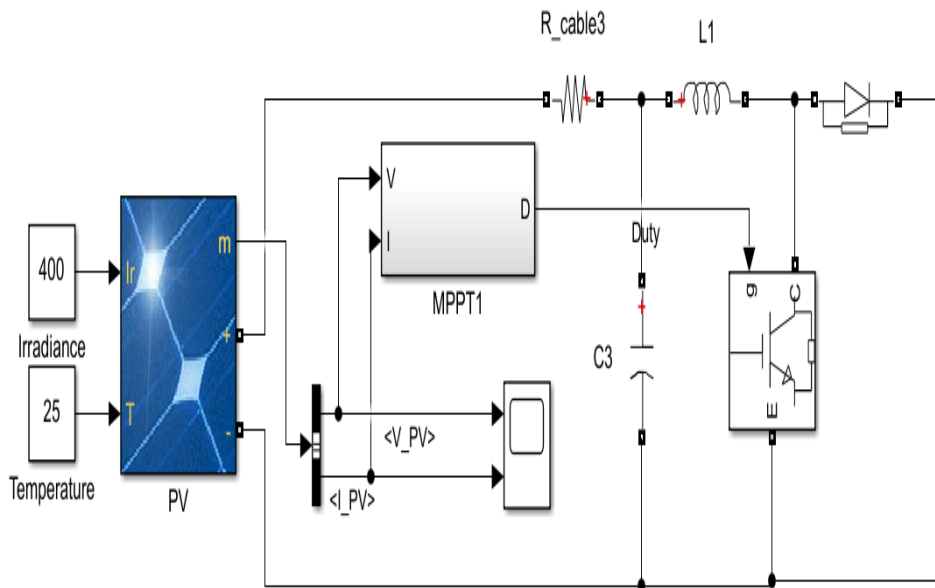


Étude d'un modèle équivalent : apport énergétique

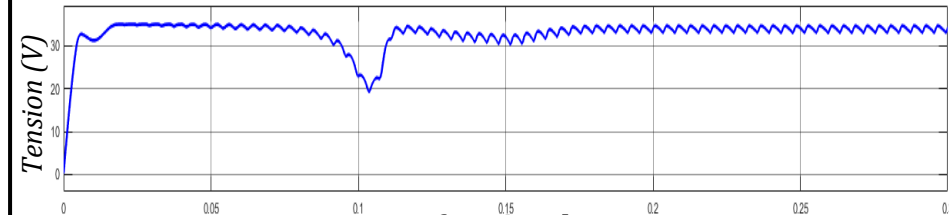
❖ Schéma bloc



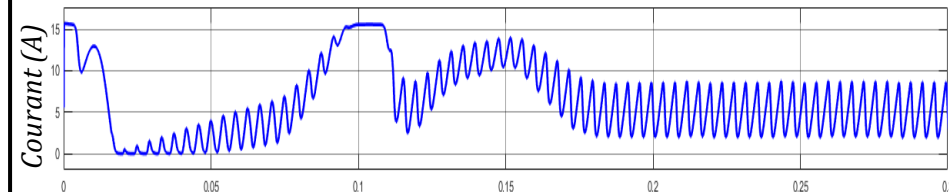
❖ Modèle Simulink



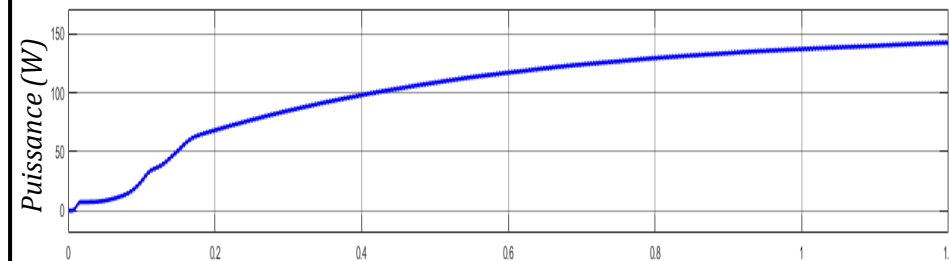
V_PV en fonction du temps



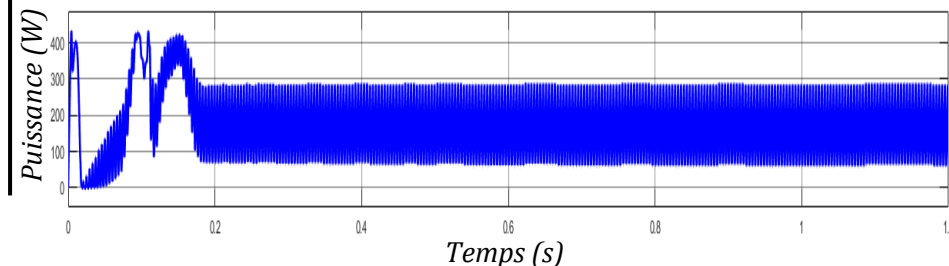
I_PV en fonction du temps



Puissance de sortie en fonction du temps

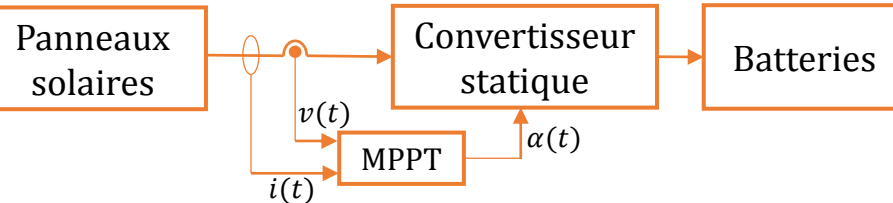


Puissance d'entrée en fonction du temps

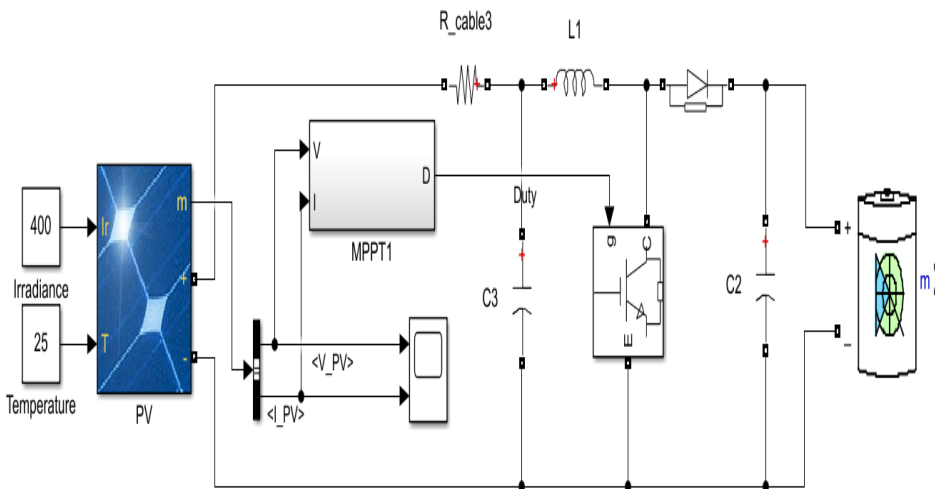


Étude d'un modèle équivalent : stockage

❖ Schéma bloc

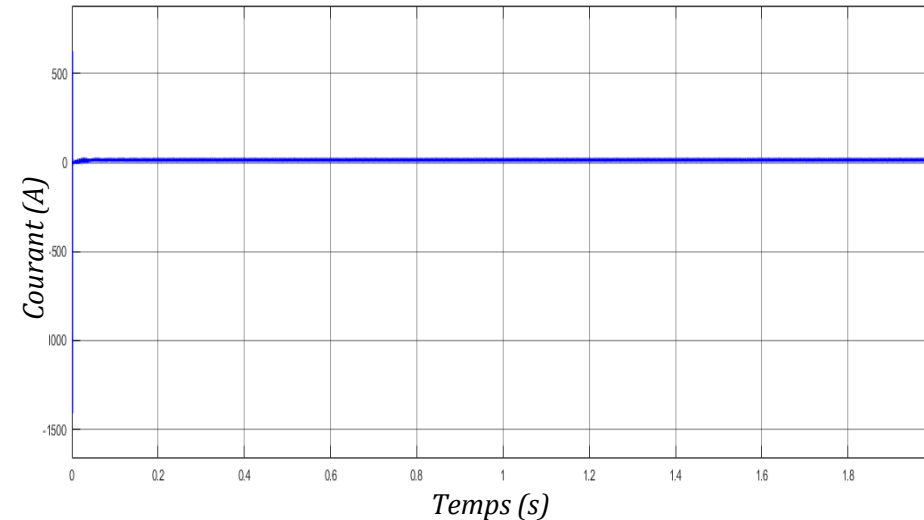


❖ Modèle Simulink

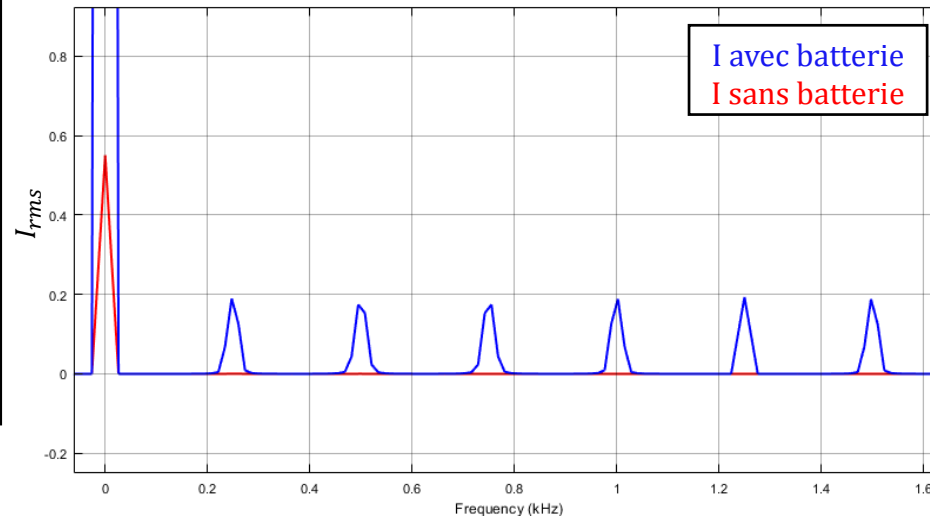


$SOC_i = 45\%$, $V_{nominal} = 24\text{ V}$, $Capacité = 50\text{ Ah}$

Courant en fonction du temps

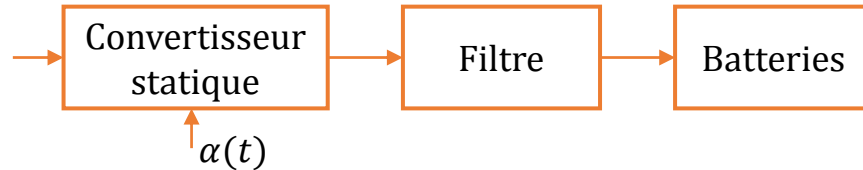


Analyse spectrale



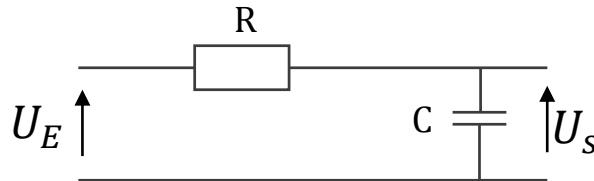
Étude d'un modèle équivalent : traitement

❖ Schéma bloc

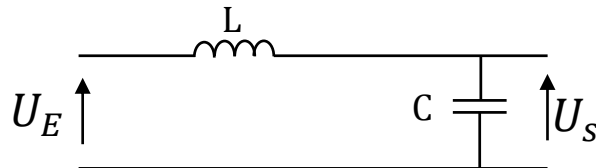


❖ Choix du filtre

Passe-bas d'ordre 1 :

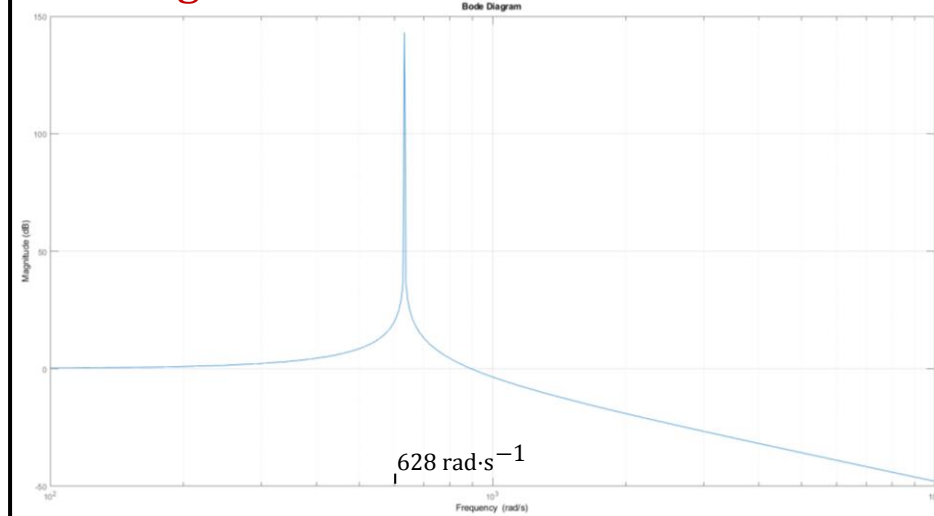


Passe-bas d'ordre 2 :

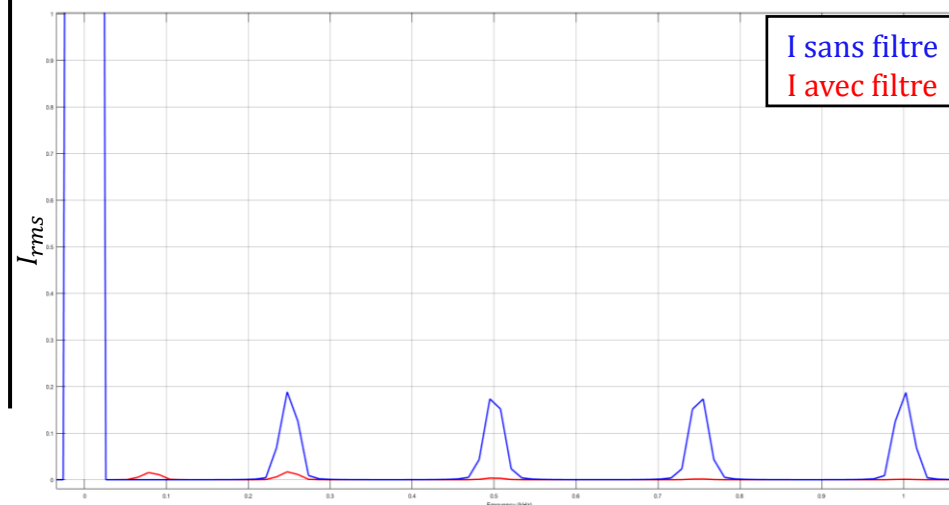


$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2} \quad L = 2,5 \text{ mF et } C = 1 \text{ mF}$$
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 628 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}, H_0 = 1$$

❖ Diagramme de Bode



Analyse spectrale

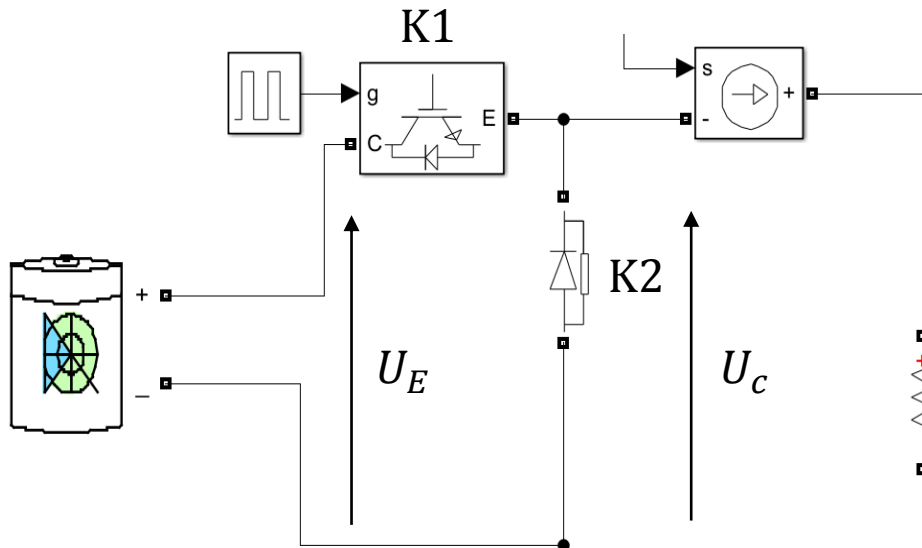


Étude d'un modèle équivalent : alimentation instruments

❖ Schéma bloc

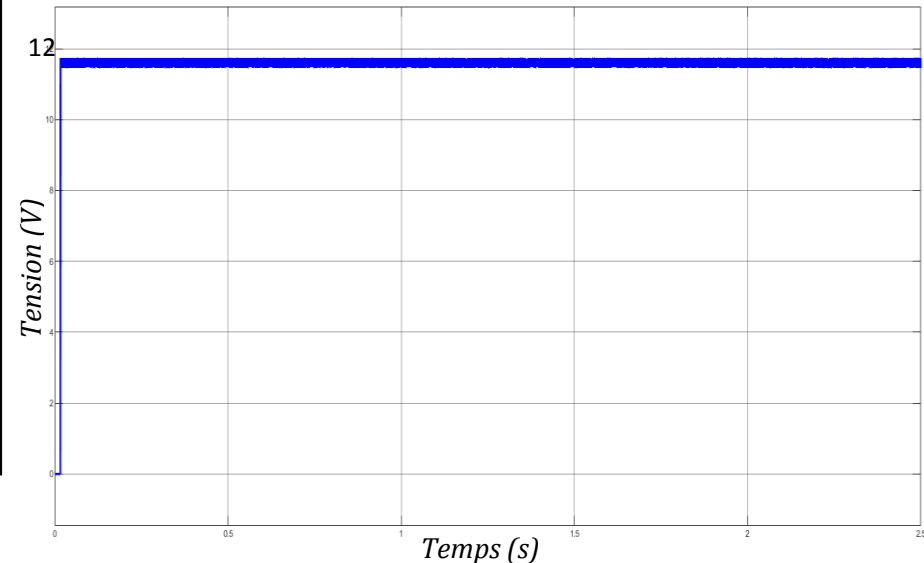
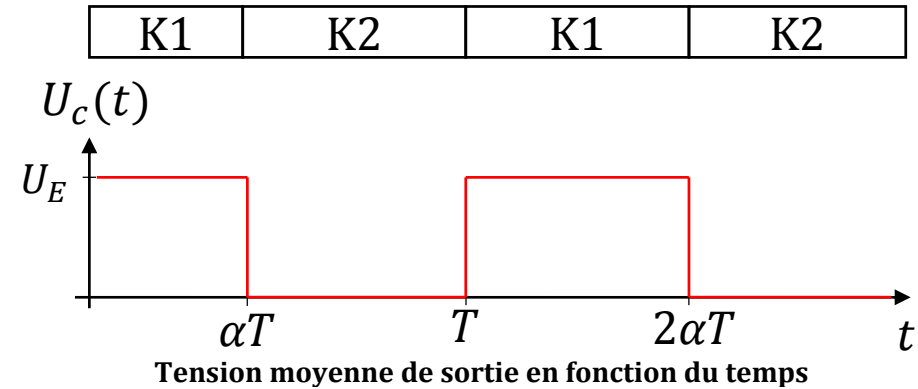


❖ Modèle Simulink

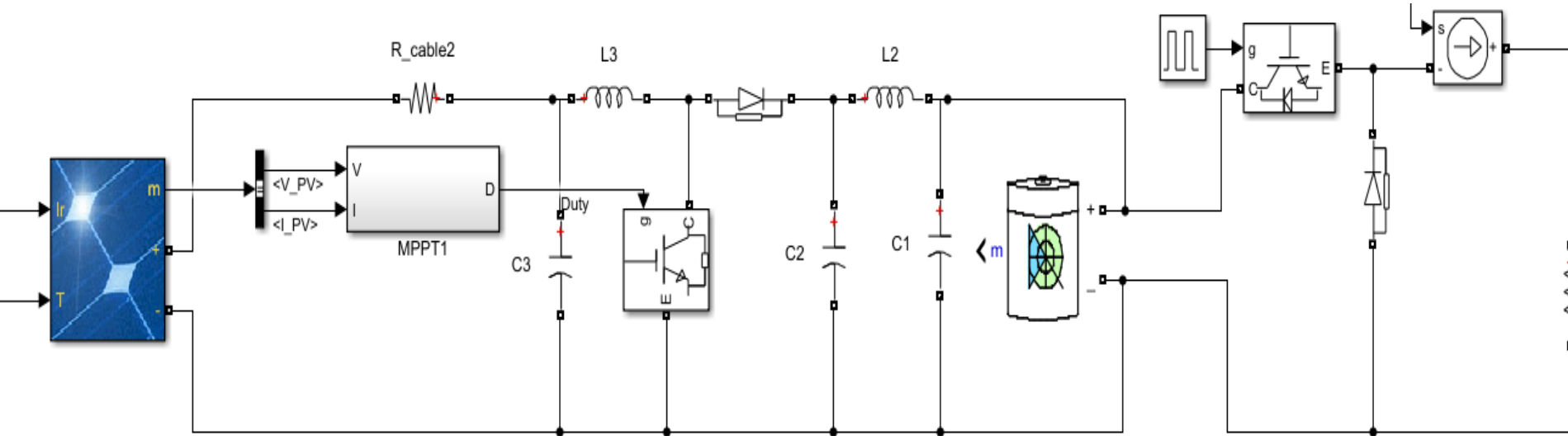


$$\langle u_c \rangle = \alpha U_E \text{ avec } \alpha \in]0; 1[\quad U_E = 24 \text{ V}$$

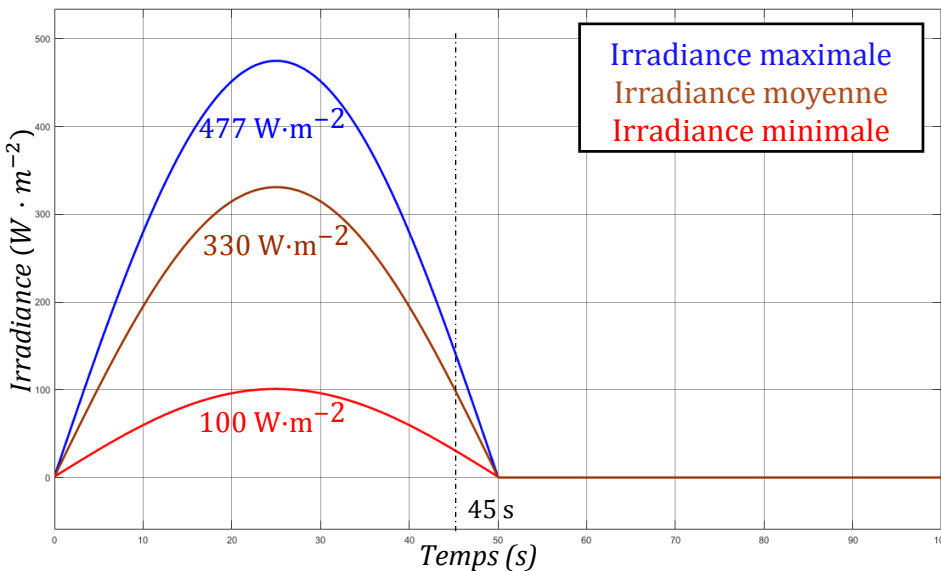
❖ Chronogrammes



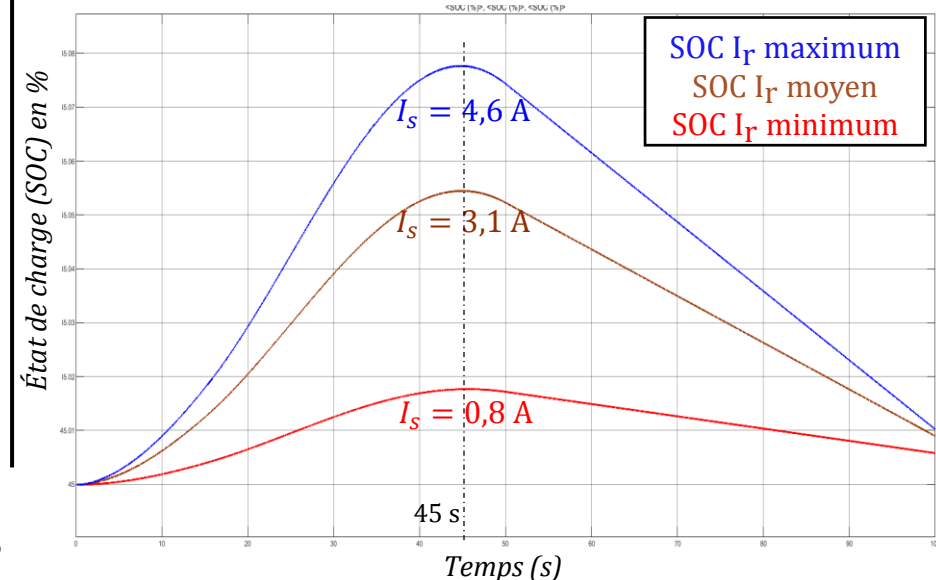
Résultat du modèle équivalent



Irradiance en fonction du temps



Etat de charge en fonction du temps



Conclusion

Rappel de la problématique : comment assurer une autonomie énergétique suffisante et pérenne de la sonde InSight, visant à limiter la décharge des batteries pour tenir le temps de la mission à 4 ans.

Objectif : consommation < production

Irradiance $477 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 4,6 \text{ A}$

Irradiance $330 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 3,1 \text{ A}$

Irradiance $97 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 0,8 \text{ A}$

Hypothèses

- ❖ Température constante
- ❖ Consommation constante
- ❖ Batterie idéale