

Mise en situation et problématique

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

Besoin

Nécessite un apport en énergie électrique

Contrôles

Surveillance de la consommation d'énergie
Surveillance état des batteries

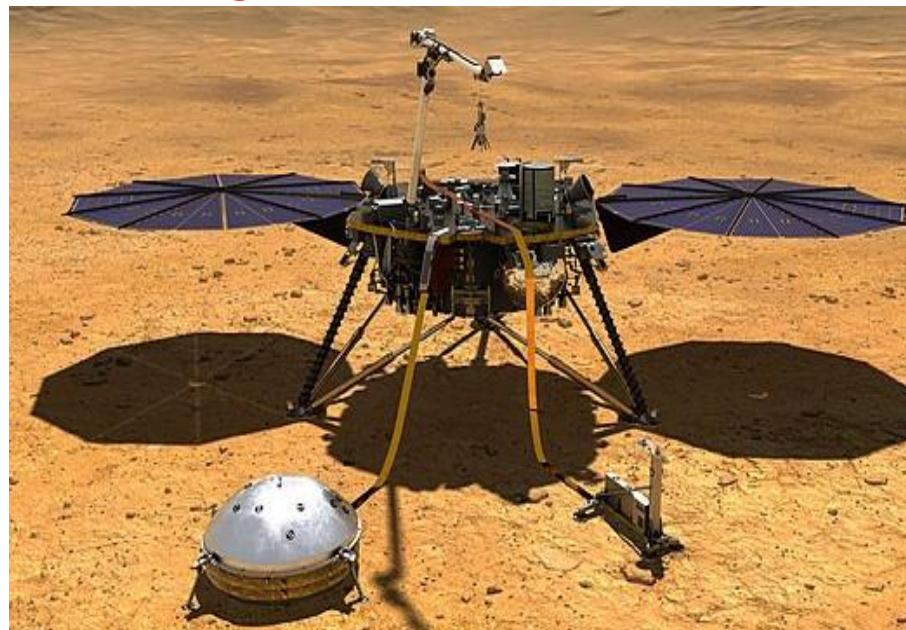
Risques

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/ Le système énergétique

- ❖ Fonctionnement énergétique
- ❖ Optimisation de la puissance

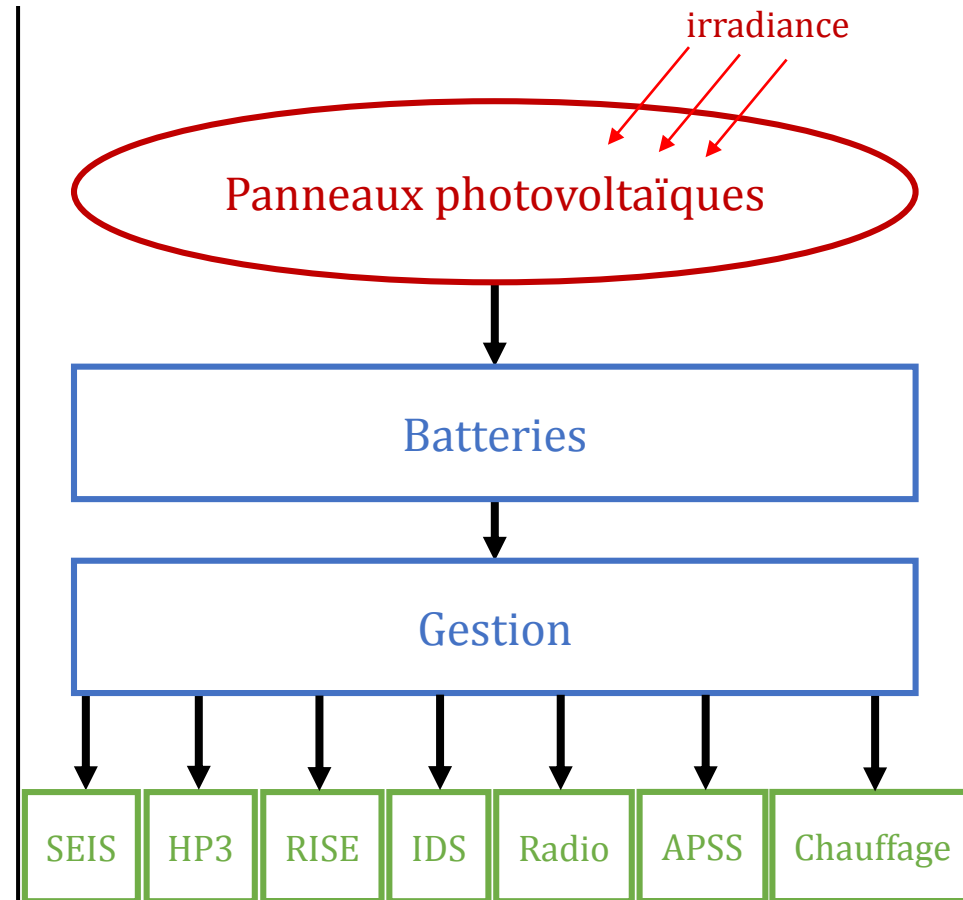
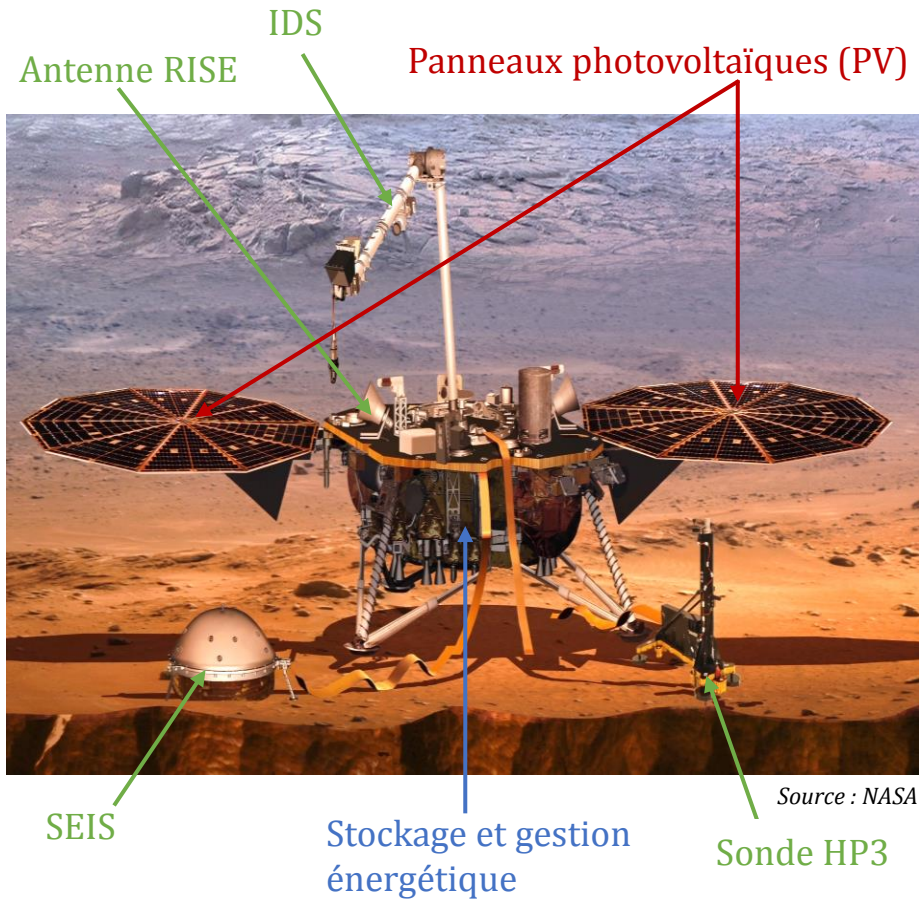
IV/ Modélisation

- ❖ Acquisition énergétique
- ❖ Stockage
- ❖ Traitement
- ❖ Charges électriques

V/ Conclusion

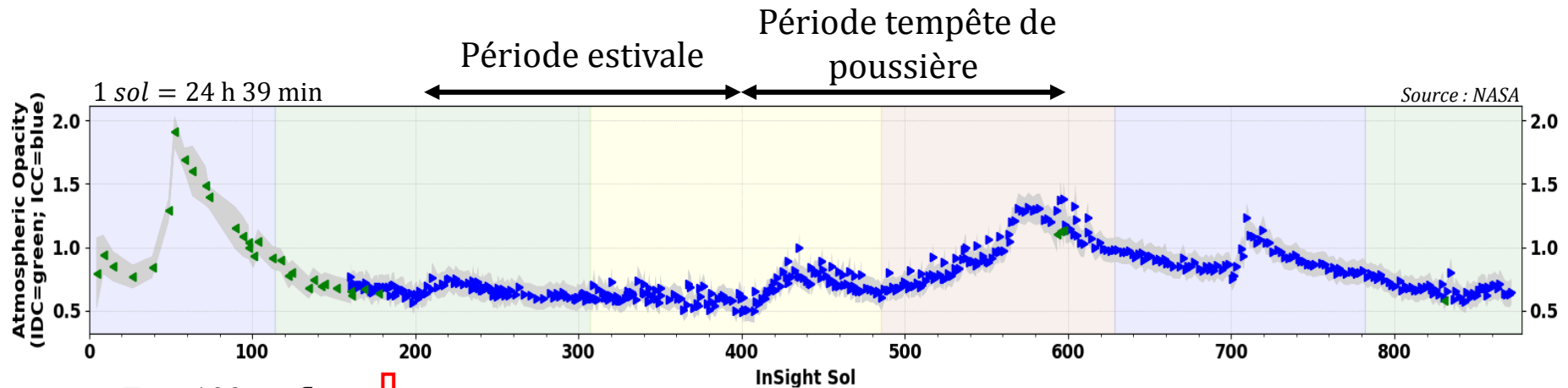
- ❖ Résultat du modèle équivalent
- ❖ Analyse et réponse à la problématique

Anatomie de la sonde



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

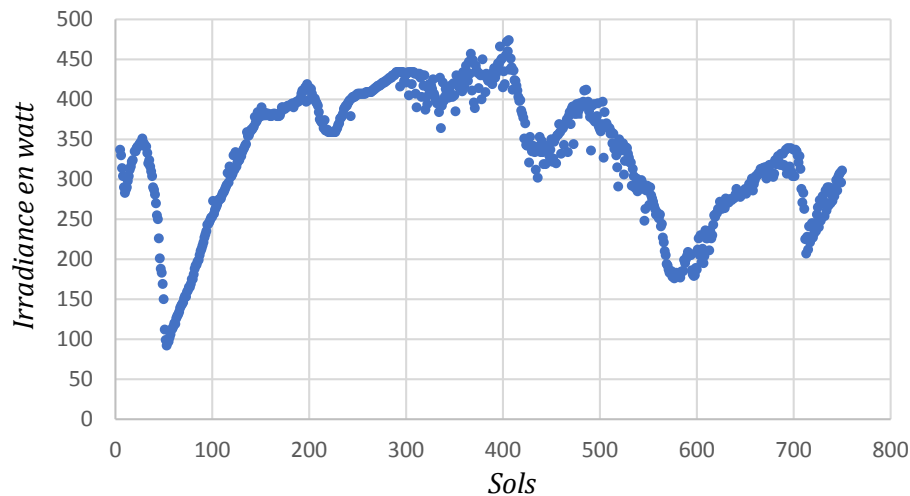
Fonctionnement énergétique



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

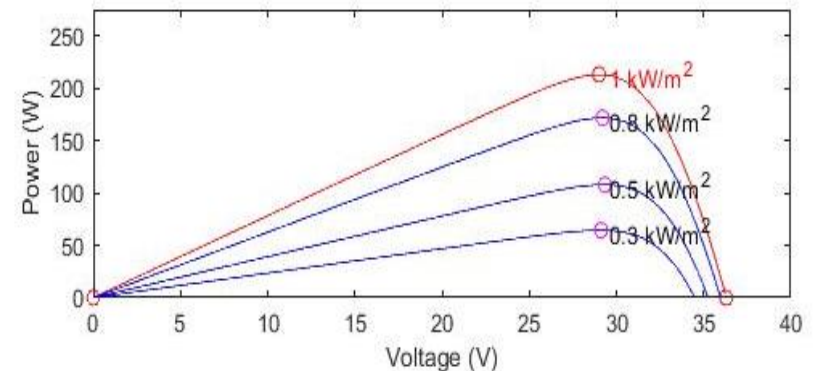
$$P_{S,Mars} = 586 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \downarrow \quad I_r = T_r \cdot P_{S,Mars}$$

Irradiance en fonction des sols



$$\langle P_{min} \rangle = 92 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad \langle P_{max} \rangle = 474 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

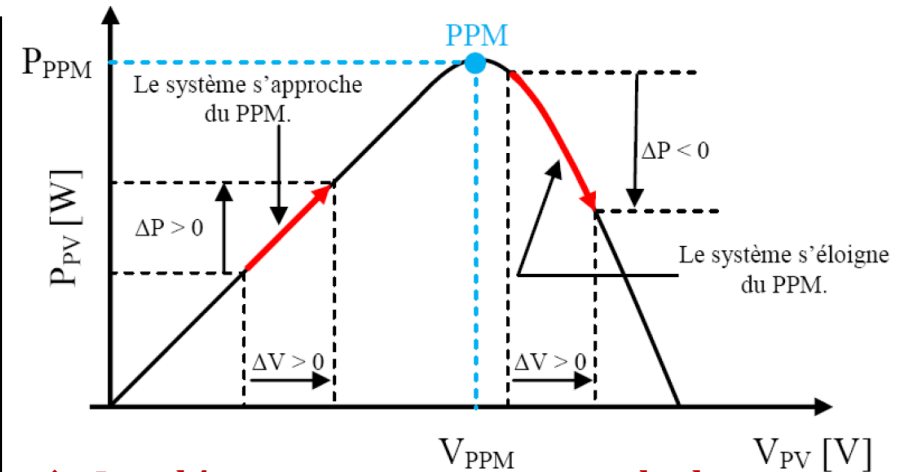
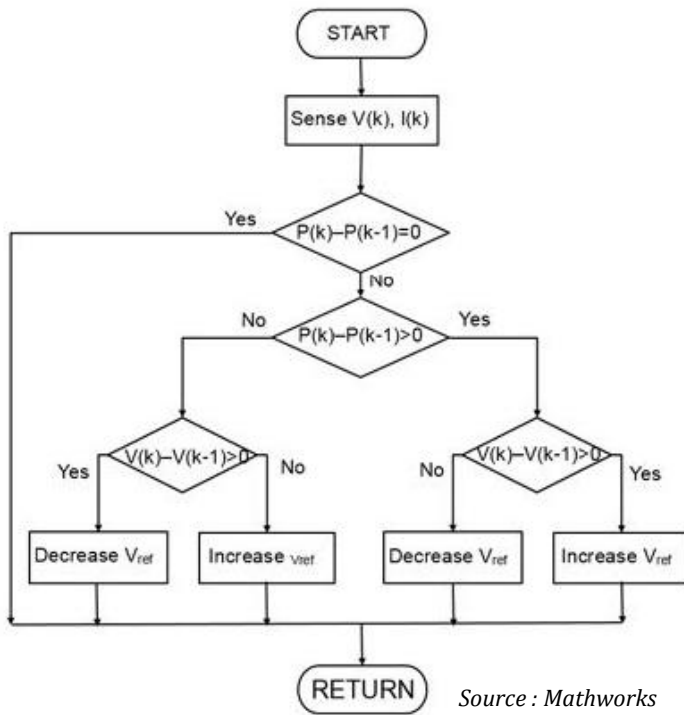
$$P_{moy} = 330 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$



Optimisation de la puissance

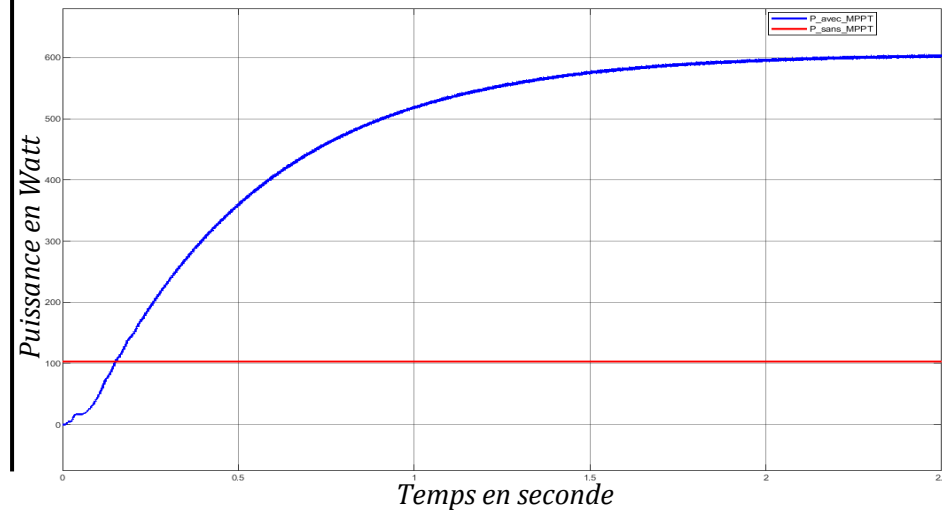
MPPT : Maximum power point tracker
(recherche de la puissance maximale)

❖ Algorithmes (P&O)



❖ Implémentation sous simulink

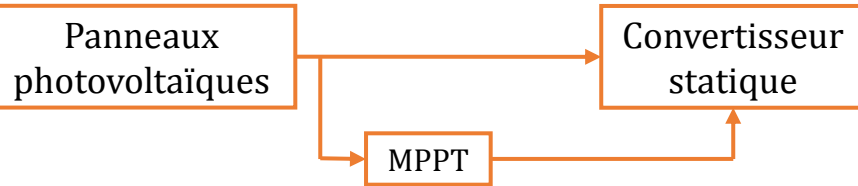
Puissance avec et sans MPPT en fonction du temps



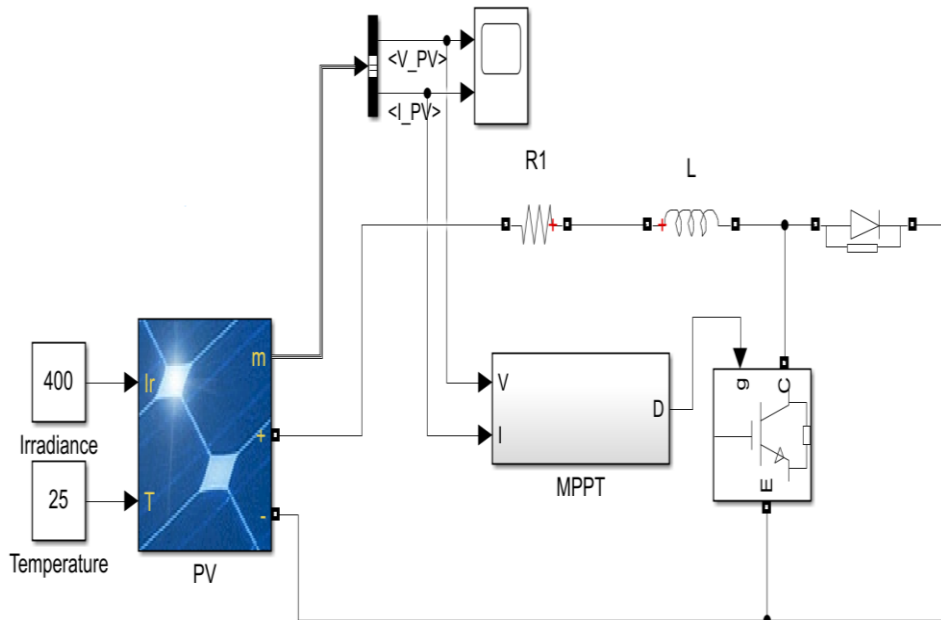
$$\bullet \langle P_{MPPT} \rangle = 475 \text{ W} \quad \bullet \langle P_{wMPPT} \rangle = 105 \text{ W}$$

Étude d'un modèle équivalent : Acquisition énergétique

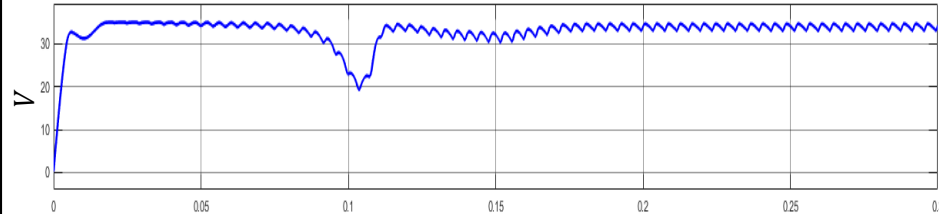
❖ Schéma bloc



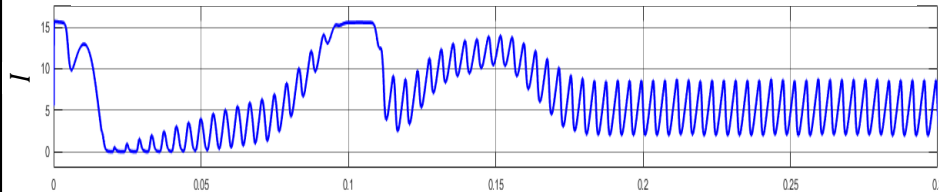
❖ Étude du convertisseur statique



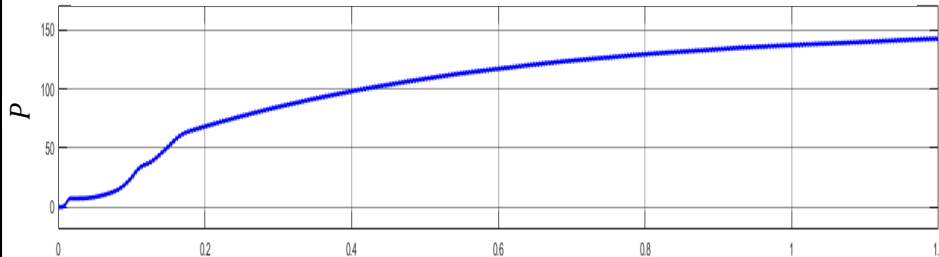
V_PV en fonction du temps



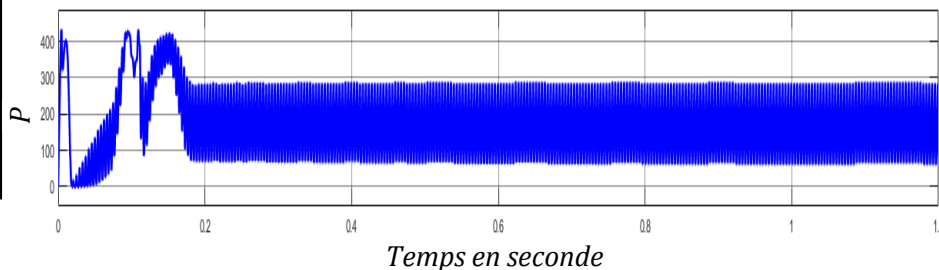
I_PV en fonction du temps



Puissance de sortie en fonction du temps

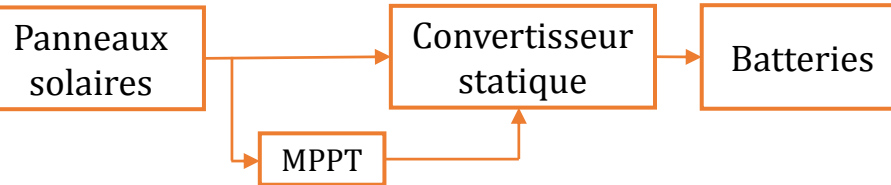


Puissance d'entrée en fonction du temps

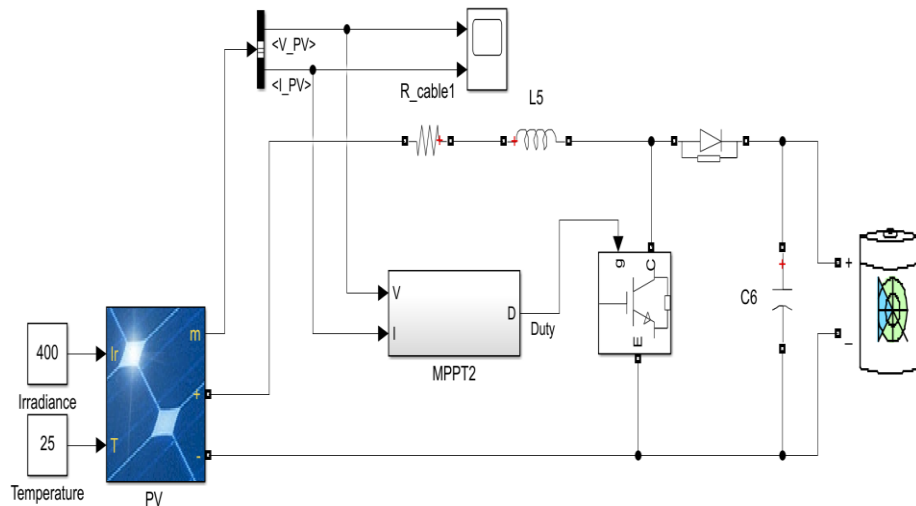


Étude d'un modèle équivalent : Stockage

❖ Schéma bloc

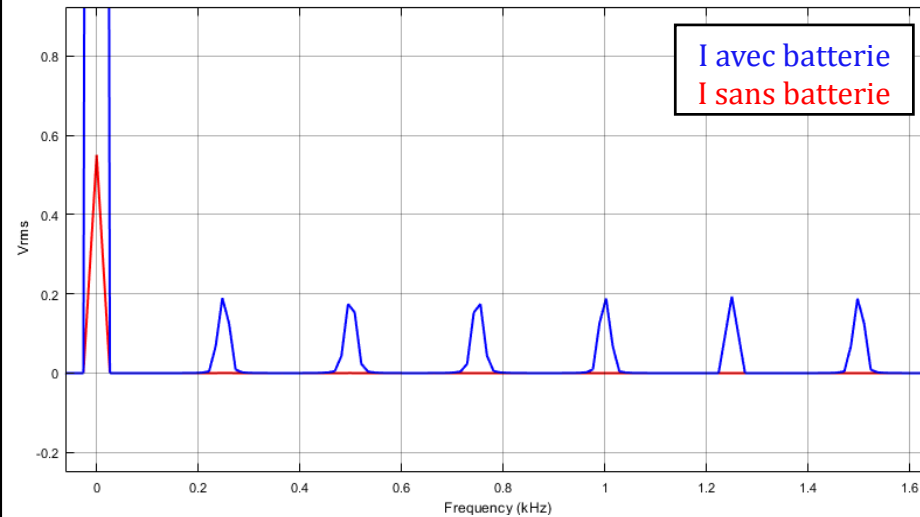


❖ Modèle Simulink

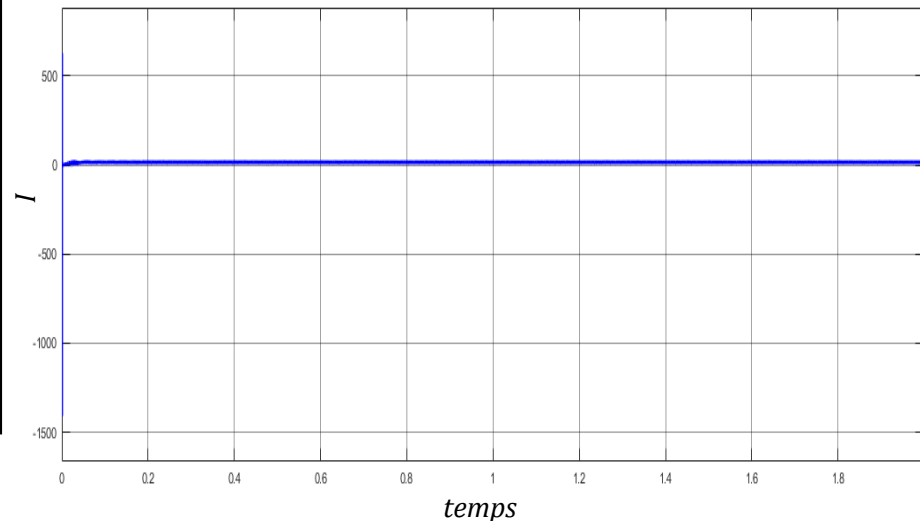


$SOC_i = 45\%$, $V_{nominal} = 24\text{ V}$, $Capacité = 50\text{ Ah}$

Analyse spectrale

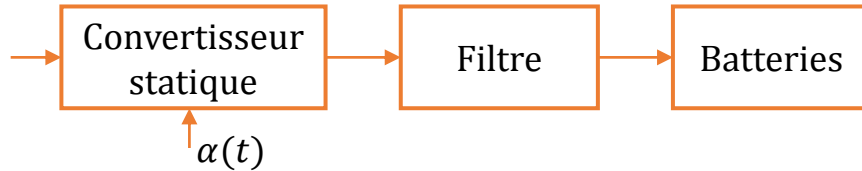


Courant en fonction du temps



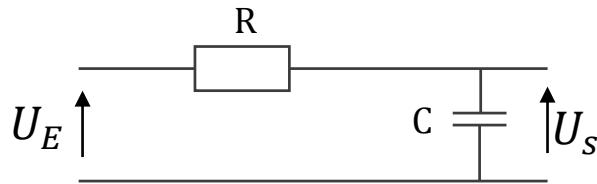
Étude d'un modèle équivalent : Traitement

❖ Schéma bloc



❖ Choix du filtre

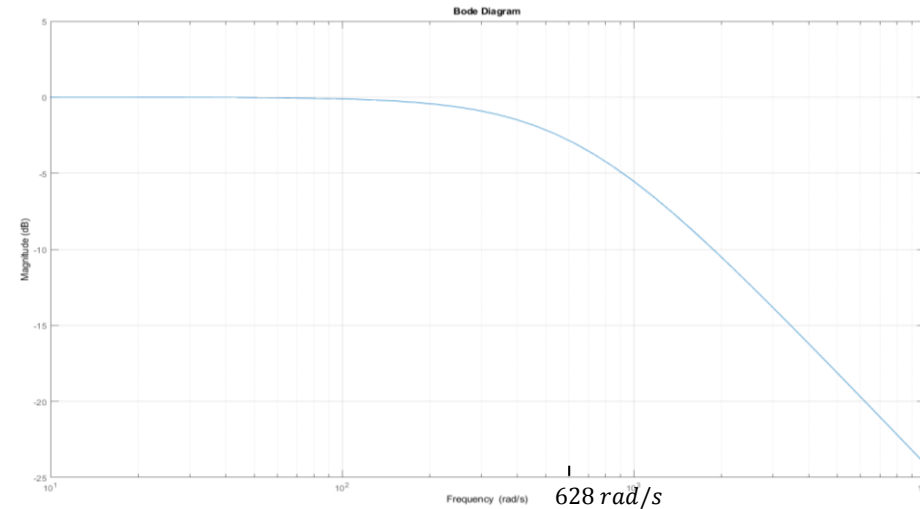
Passe-bas d'ordre 1 :



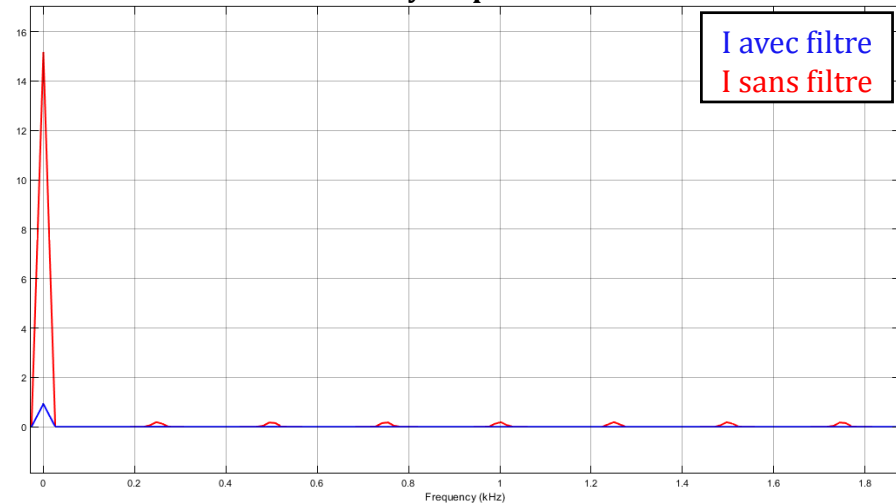
$$\underline{H}(j\omega) = \frac{H_0}{1 + \frac{j\omega}{\omega_0}} \quad R = 160 \, \Omega \text{ et } C = 10 \, \mu\text{F}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC} = 628 \, \text{rad}\cdot\text{s}, H_0 = 1$$

❖ Diagramme de Bode



Analyse spectrale

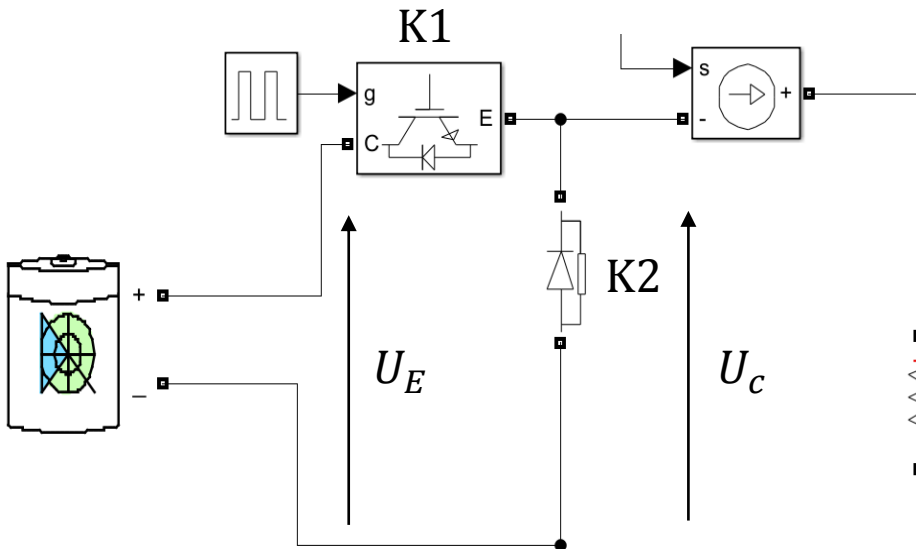


Étude d'un modèle équivalent : Alimentation instruments

❖ Schéma bloc

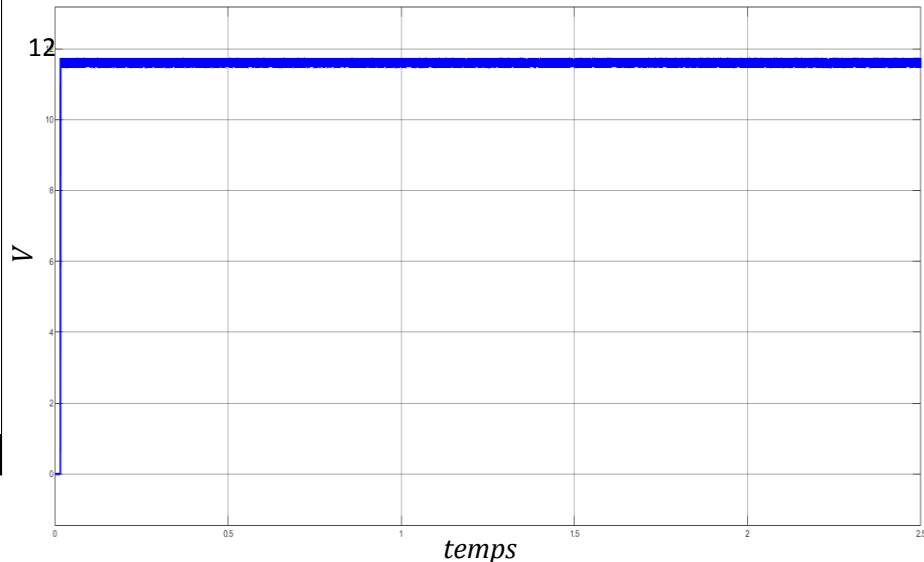
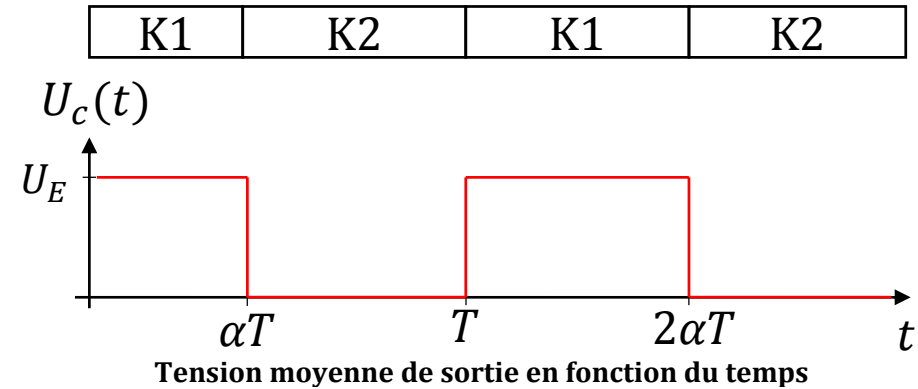


❖ Modèle Simulink



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

❖ Chronogrammes



The graph shows the variation of irradiance (in $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) over time (in hours) for three different solar panel orientations. The x-axis represents time from 0 to 10 hours, and the y-axis represents irradiance from 0 to 500 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

- Irradiance maximale (blue curve):** Represents the maximum irradiance, occurring at a 0° tilt. It peaks at approximately 477 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ around 25 hours.
- Irradiance moyenne (brown curve):** Represents the average irradiance, occurring at a 30° tilt. It peaks at approximately 330 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ around 25 hours.
- Irradiance minimale (red curve):** Represents the minimum irradiance, occurring at a 60° tilt. It peaks at approximately 100 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ around 25 hours.

All three curves show a parabolic shape, indicating a sinusoidal variation of irradiance over time, and all reach zero irradiance at 5 hours and 10 hours.

The graph shows the State of Charge (SOC) in percentage on the y-axis (ranging from 45 to 45.05) against time in hours on the x-axis (ranging from 0 to 100). Three curves are plotted for different charging currents I_s :

- $I_s = 3,1 \text{ A}$ (Blue curve): Reaches the maximum SOC of approximately 45.05% at around 45 hours.
- $I_s = 2,5 \text{ A}$ (Brown curve): Reaches the average SOC of approximately 45.042% at around 45 hours.
- $I_s = 0,8 \text{ A}$ (Red curve): Reaches the minimum SOC of approximately 45.017% at around 45 hours.

A legend in the top right corner identifies the curves: SOC I_r maximum (blue), SOC I_r moyen (brown), and SOC I_r minimum (red).

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 $477 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 3,1 \text{ A}$

Irradiance $330 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \Rightarrow I_{max} = 2,5 \text{ A}$

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

Hypothèse

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