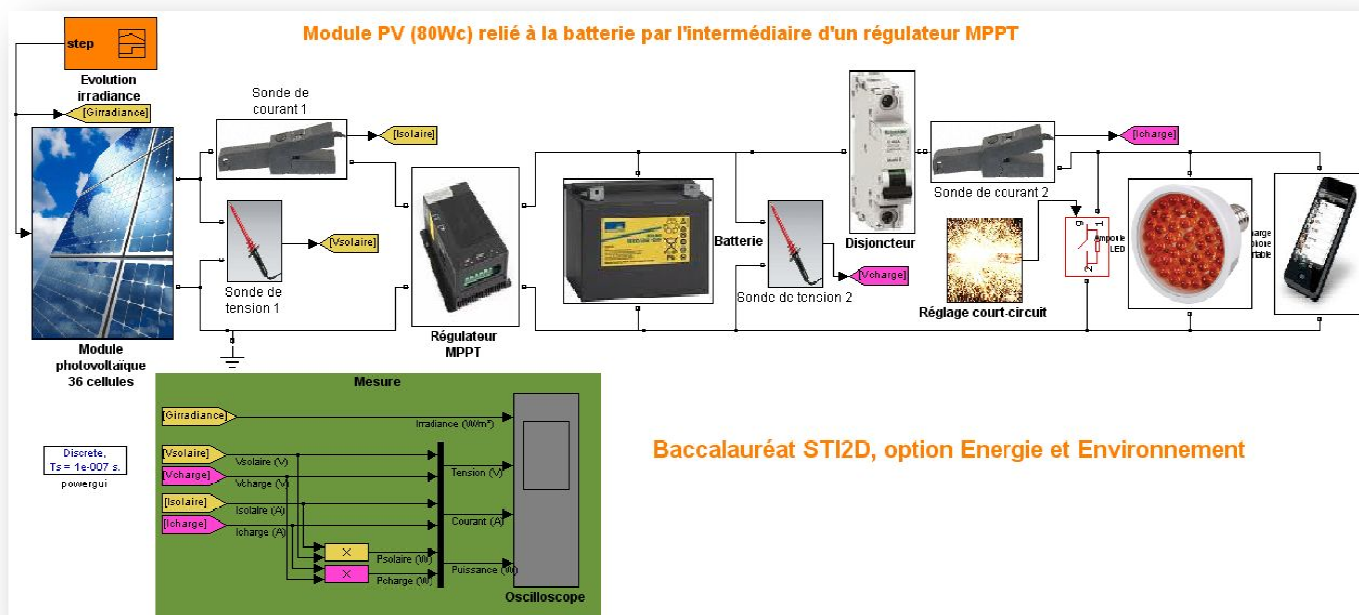




# Sciences et technologies de l'Industrie et du développement durable

Spécialité : Energie et Environnement

## Installation photovoltaïque autonome



### Objectifs

- Définir la chaîne d'énergie d'une installation photovoltaïque autonome.
- Valider le comportement énergétique d'une installation photovoltaïque autonome par simulation et comparaisons des résultats avec des expérimentations sur site.
- Analyser, comprendre et optimiser les échanges d'énergie entre la source et la charge par simulation.
- Valider par simulation la protection de la charge contre les surcharges et les courts-circuits.

### Contexte

Les installations photovoltaïques autonomes sont de plus en plus nombreuses, nous les trouvons :

- Dans des installations isolées ou le réseau est inaccessible : plaisance, camping, chalet en montagne, bouée en mer, station météo...
- Dans des installations où l'énergie PV est suffisante et évite de creuser des tranchées pour les relier au réseau : horodateurs solaires, panneaux de signalisation, bornes lumineuses solaires, lampadaires...
- Applications spatiales, alimentation des satellites, station spatiale internationale...
- Applications dans le domaine de la recherche : voiture solaire, avion solaire...

## Outils

- Matlab Simulink avec :
  - SimElectronics
  - SimPowerSystems
  - Stateflow
- Dossier ressource
- Vidéos flash sur la présentation des modèles Matlab
  - Presentation\_Simulation\_Matlab\_Partie1 (durée 5 minutes)
  - Presentation\_Simulation\_Matlab\_Partie2 (durée 10 minutes)

Pour les essais sur site :

- Un module photovoltaïque mono ou polycristallin
- Une batterie solaire
- Un rhéostat de 100Ω
- Un solarimètre
- Un thermomètre infrarouge
- Un tableur
- Multimètre et pince Ampéremétrique RMS
- Un régulateur MPPT

## Durée

Activité 1 : Approche fonctionnelle → 1 heure

Activité 2 : Etude d'une installation solaire photovoltaïque autonome sur site → 2 heures

Activité 3 : Simulation d'une installation solaire photovoltaïque autonome → 1 heure 30

Activité 4 : Simulation d'un court-circuit sur une batterie → 0 heure 30

Activité 5 : Rédiger des documents pour les élèves → 1 heure

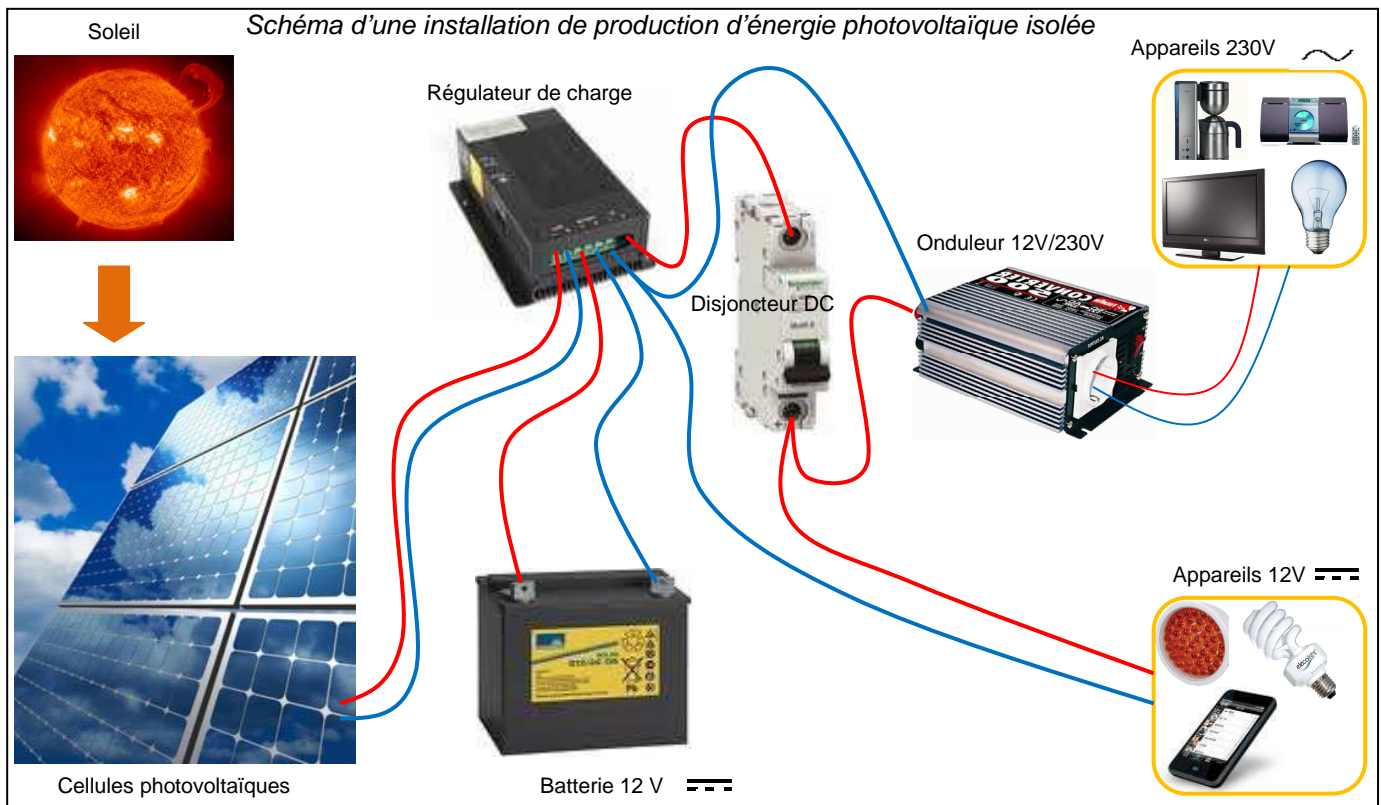
6 heures sont nécessaires pour effectuer le TP complètement, 4 heures si la partie expérimentation sur site n'est pas effectuée.

## Pré-requis

Les enseignements transversaux avec notamment :

- ET21 : Constituants d'un système
  - Module ET212 : Produire, stocker et distribuer l'énergie électrique
- ET24 : Modèle de comportement d'un système
  - Module ET243 : Simulation comportementale
  - Module ET244 : Validation de performance/ Mesure d'écart modèle /réel.

## ACTIVITE 1 : Approche fonctionnelle.

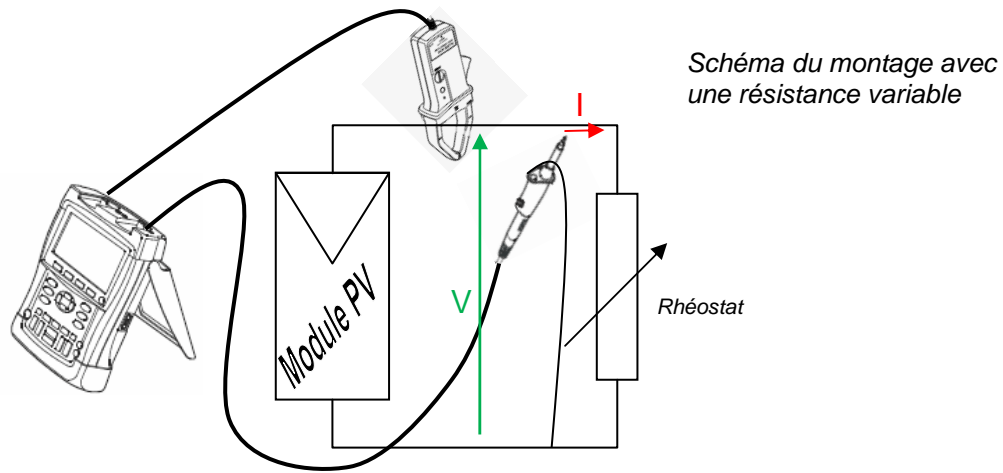


1. A partir du schéma ci-dessus et du dossier ressource compléter le document réponse N°1 « Chaîne d'énergie d'une installation photovoltaïque autonome » avec le nom des composants qui réalisent les différentes fonctions.
2. Indiquer sur le document réponse N°1 la nature de l'énergie :
  - Energie rayonnante
  - Energie électrique continue
  - Energie électrique alternative
3. Sur le document réponse N°1 indiquer par une flèche rouge le transfert de l'énergie de la source aux charges pendant la journée.
4. Sur le document réponse N°1 indiquer par une flèche bleue le transfert de l'énergie de la source aux charges pendant la nuit.

## ACTIVITE 2 : Etude d'une installation solaire photovoltaïque autonome sur site.

### Relever de la caractéristique $I=f(V)$ d'un module PV

5. Câbler le schéma de mesure ci-dessous afin de relever la caractéristique  $I=f(V)$  du module PV.



6. Relever et tracer la caractéristique  $I=f(V)$ , préciser l'irradiance et la température du module sur la caractéristique.

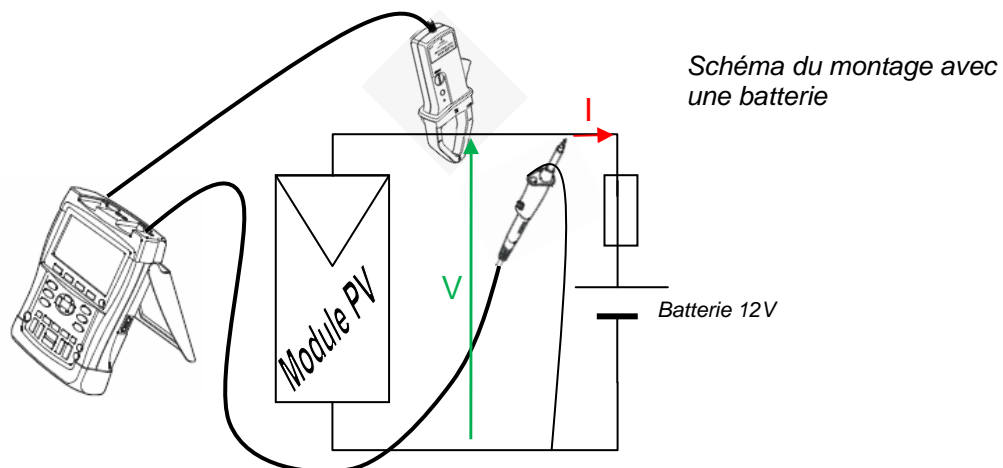
Procédure à suivre pour relever la caractéristique  $I=f(V)$

- Relever l'irradiance à l'aide d'un solarimètre
- Relever la température du module avec un thermomètre infrarouge
- Faire varier  $V_{\text{module}}$  avec le rhéostat et reporter  $V_{\text{module}}$  et  $I_{\text{module}}$  dans un tableau
- Préciser la valeur de  $V_{\text{oc}}$  et  $I_{\text{sc}}$

7. A partir des relevés  $I=f(V)$  tracer la caractéristique  $P=f(V)$ . Indiquer sur ces caractéristiques le point de fonctionnement optimal, c'est-à-dire celui pour lequel les cellules délivrent la puissance maximale. Pour quelle valeur de tension obtient-on la puissance maximale ?

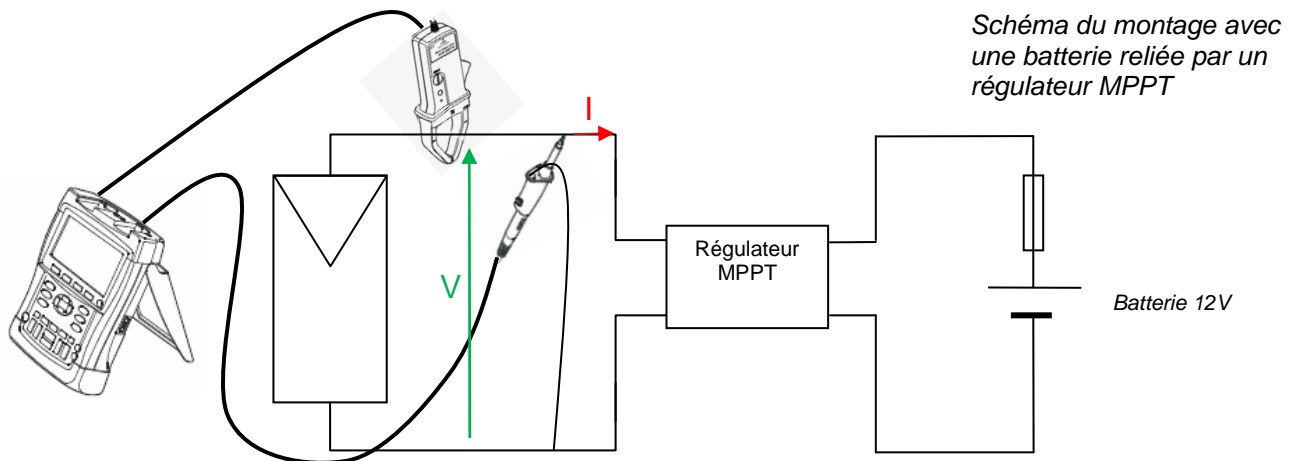
### Point de fonctionnement de l'ensemble source-charge

*La batterie est directement reliée au module photovoltaïque*



8. Câbler le schéma de mesure ci-dessus.
9. Relever  $V$  et  $I$ , calculer  $P$ , reporter le point de fonctionnement sur la caractéristique  $P=f(V)$ .

*La batterie est reliée au module par l'intermédiaire d'un régulateur MPPT*



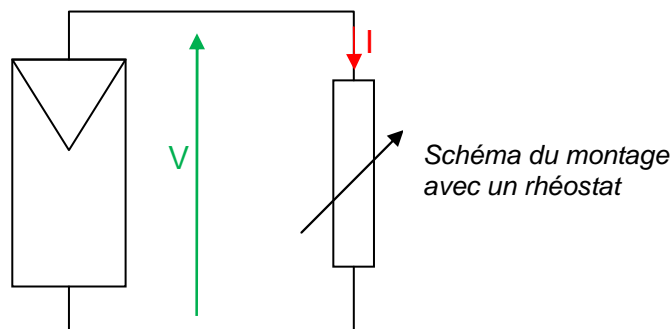
10. Câbler le schéma de mesure ci-dessus.

11. Relever  $V$  et  $I$ , calculer  $P$ , reporter le point de fonctionnement sur la caractéristique  $P=f(V)$ .

12. Comparer les résultats, conclure.

### ACTIVITE 3 : Simulation d'une installation solaire photovoltaïque autonome

#### Influence de l'irradiance sur un module photovoltaïque



13. A l'aide de la simulation Matlab intitulée SIMU\_PV.mdl vous allez tracer les courbes  $I=f(V)$  et  $P=f(V)$  pour différentes valeurs d'irradiance 200, 400, 600, 800 et 1000W/m<sup>2</sup> avec une température constante de 25°C. Vous pouvez imprimer vos courbes ou compléter le document réponse N°2 (les courbes sur le document réponse N°2 correspondent au module BP 380 de 80 Wc). Pour chaque courbe vous indiquerez  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $P_{mpp}$ ,  $V_{mpp}$  et  $I_{mpp}$ .

14. Que remarquez-vous ?

#### Influence de la température sur un module photovoltaïque

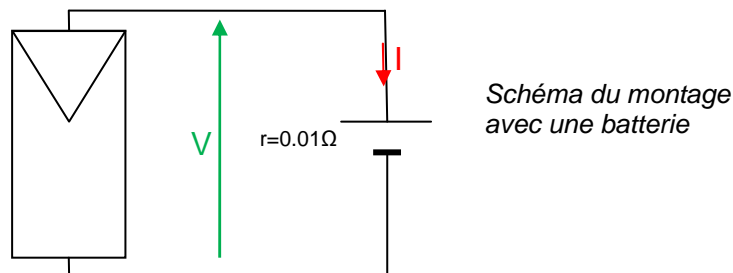
15. Toujours avec la simulation SIMU\_PV.mdl vous allez tracer les courbes  $I=f(V)$  et  $P=f(V)$  pour différentes températures -15, 5, 25, 45 et 65°C avec une irradiance constante de 1000W/m<sup>2</sup>. Vous pouvez imprimer vos courbes ou compléter le document réponse N°3 (les courbes sur le document réponse N°3 correspondent au module BP 380 de 80 Wc). Pour chaque courbe vous indiquerez  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$ ,  $P_{mpp}$ ,  $V_{mpp}$  et  $I_{mpp}$ .

16. Que remarquez-vous ?

17. Pour une irradiance de  $1000\text{W/m}^2$ , calculer en pourcentage la perte de puissance du module pour une température de 0 et  $65^\circ\text{C}$ . Conclure.
18. Exercice : Nous allons comparer la puissance fournie par le module lors d'une belle journée d'été et d'hiver. Les deux relevés sont effectués à midi solaire. Au mois de février nous relevons une irradiance de  $923\text{W/m}^2$  et une température du module de  $5^\circ\text{C}$ , au mois d'août nous relevons une irradiance de  $982\text{W/m}^2$  et une température du module de  $60^\circ\text{C}$ . Le  $P_{\text{mpp}}$  est-il obtenu au mois d'août ou au mois de février ?
19. Comparer les caractéristiques réelles  $I=f(V)$  et  $P=f(V)$  relevées dans l'activité N°2 avec les caractéristiques obtenues avec la simulation.

### Point de fonctionnement de l'ensemble source charge

**Le module PV est directement relié à la batterie**



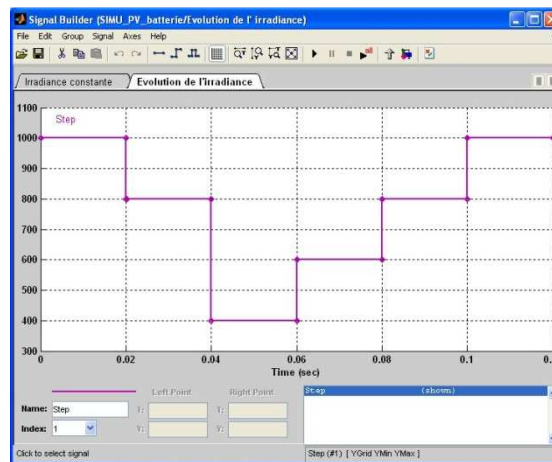
20. Dans la simulation intitulée SIMU\_PV\_batterie nous allons constater l'influence de la tension d'une batterie sur la puissance délivrée par un module photovoltaïque. Nous rechercherons le  $P_{\text{mpp}}$  en faisant varier la tension de la batterie. La température du module est égale à  $25^\circ\text{C}$  et l'irradiance à  $1000\text{W/m}^2$ . Pour différentes valeurs de la tension de la batterie, mesurer la puissance transmise par le module PV à la batterie. Et compléter le tableau ci-dessous.

E batt	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ptransmise											

21. Quelle est la fem de la batterie permettant d'obtenir la plus grande puissance transmise ?
22. Placer ce point de fonctionnement sur la courbe  $P=f(V)$  sur le document réponse N°2, les résultats sont-ils conformes à ceux attendus ?
23. La tension de la batterie vaut environ  $13\text{V}$ , le point de fonctionnement de l'ensemble batterie module est-il optimum ? Calculer le pourcentage de perte.
24. Tracer sur les courbes  $P=f(V)$  des documents réponses N°2 et N°3 une droite à  $U_{\text{bat}} = 13\text{V}$ , observer les points de fonctionnement pour différentes irradiances et températures, conclure ?
25. Vérifier le point de fonctionnement obtenu lors des relevés expérimentaux de l'activité 2 avec la simulation
26. Quelles solutions pourrions-nous envisager pour améliorer le placement de ce point de fonctionnement ?

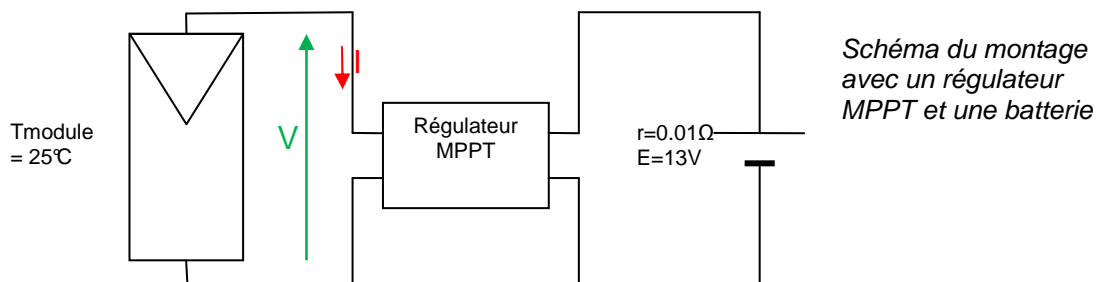


27. La simulation dure 120ms, nous allons considérer que ces 120ms correspondent à 2 heures de temps réel. La température du module est de 25°C,  $E_{\text{batterie}} = 13\text{V}$ . Sur la simu double-cliquer sur le BP de commande afin de simuler le cycle ci-dessous. Lancer la simulation, pour chaque irradiance relever la puissance solaire.



28. Calculer l'énergie fournie par le module PV sur un cycle de 2 heures.

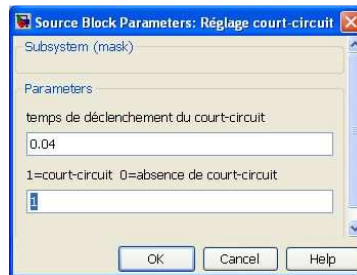
***Le module PV est relié à la batterie par l'intermédiaire d'un régulateur MPPT***



29. Dans la simulation intitulée SIMU\_PV\_MPPT\_batterie nous avons inséré un régulateur MPPT entre le module PV et la batterie. Le régulateur MPPT permet d'obtenir la puissance maximum du module quelles que soient la charge, l'irradiance et la température du module PV. L'irradiance suit la même évolution que lors de l'activité précédente. Lancer la simulation. Pour chaque irradiance, relever la puissance solaire, vérifier sur les caractéristiques  $P=f(U)$  que les points de fonctionnement se situent bien au Mpp.
30. Nous considérons à nouveau que les 120ms de la simulation correspondent à 2h de temps réel, calculer l'énergie fournie par le module PV sur un cycle.
31. Calculer le gain énergétique en pourcentage dû à l'utilisation d'un régulateur MPPT.
32. Vérifier le point de fonctionnement obtenu lors des relevés expérimentaux de l'activité 2 avec la simulation.

## ACTIVITE 4 : Simulation d'un court-circuit sur une batterie

Toujours dans la simulation SIMU\_PV\_MPPT\_batterie nous allons déclencher un court circuit sur la batterie à  $t=40\text{ms}$  de la simulation. Pour cela double-cliquer sur l'icône réglage court-circuit et compléter de la façon suivante:



33. Par calcul estimer le courant de court-circuit.

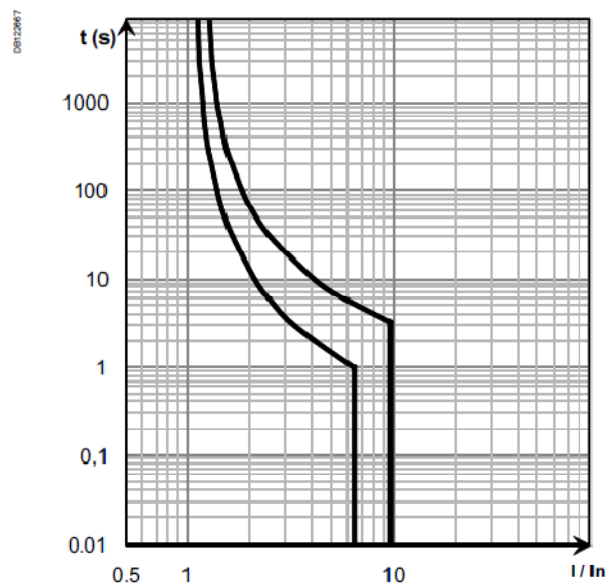
34. A l'aide de la courbe de déclenchement ci-dessous évaluer le temps de déclenchement du disjoncteur.

### Courbes

#### Courbes de déclenchement

**Courbe C suivant la norme CEI 60947-2**

- La plage de fonctionnement du déclencheur magnétique est comprise entre  $7 I_n$  et  $10 I_n$ .
- Les courbes représentent les limites de déclenchement thermiques à froid, pôles chargés et les limites de déclenchement électromagnétique, 2 pôles chargés.
- Elles s'appliquent sans déclassement.



35. Lancer la simulation, mesurer le courant de court-circuit et le temps de déclenchement du disjoncteur. Pour visualiser le courant de court-circuit cliquer sur l'icône jumelle de l'oscilloscope afin d'adapter les échelles. Comparer avec les résultats théoriques.

## ACTIVITE 5 : Rédiger des documents pour les élèves

Rédiger des fiches de formalisation des connaissances pour les élèves



