

# SYMPÔSIEUM DE GÉNIE ÉLECTRIQUE 2025



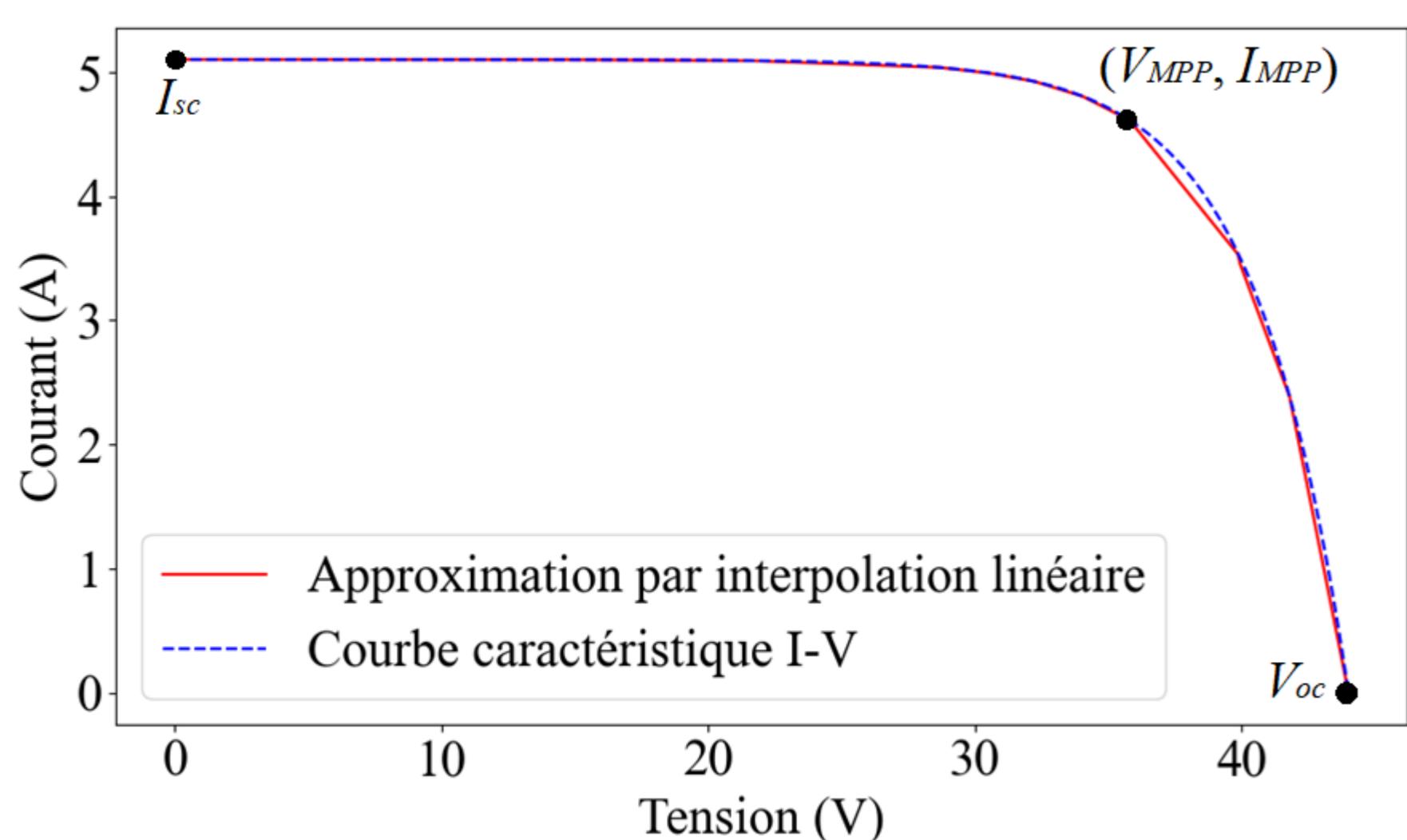
## DÉVELOPPEMENT D'UN ÉMULATEUR PHOTOVOLTAÏQUE OPEN-SOURCE À L'AIDE DE LA SUITE TECHNOLOGIQUE OWNTECH

Gabriel Ceolin de Brito, Dorian Bretaudeau, Pierre Grenouillet, Amine Radi, Vitor Henriques Mazur Matheus, Noemi Lanciotti, Giacomo Galli, Loïc Queval  
gabriel.ceolindebrito@student.cs.fr

### INTRODUCTION

Selon l'IEA (*International Energy Agency*), la production photovoltaïque mondiale a atteint un niveau record en 2022, augmentant de 270 TWh (+26 %) pour atteindre près de 1 300 TWh. Pour soutenir cette croissance, des innovations en R&D sont nécessaires afin d'améliorer l'efficacité et la fiabilité des systèmes énergétiques. Cet article présente un **émulateur photovoltaïque open-source** basé sur une carte OwnTech, conçu pour reproduire fidèlement le comportement électrique d'un module photovoltaïque réel. Contrairement à la plupart des solutions existantes, il utilise exclusivement du matériel *open-hardware*, des logiciels *open-software* et des données ouvertes (*open-data*), simplifiant sa mise en œuvre et réduisant significativement les coûts.

### MODÈLE DE PANNEAU PHOTOVOLTAÏQUE

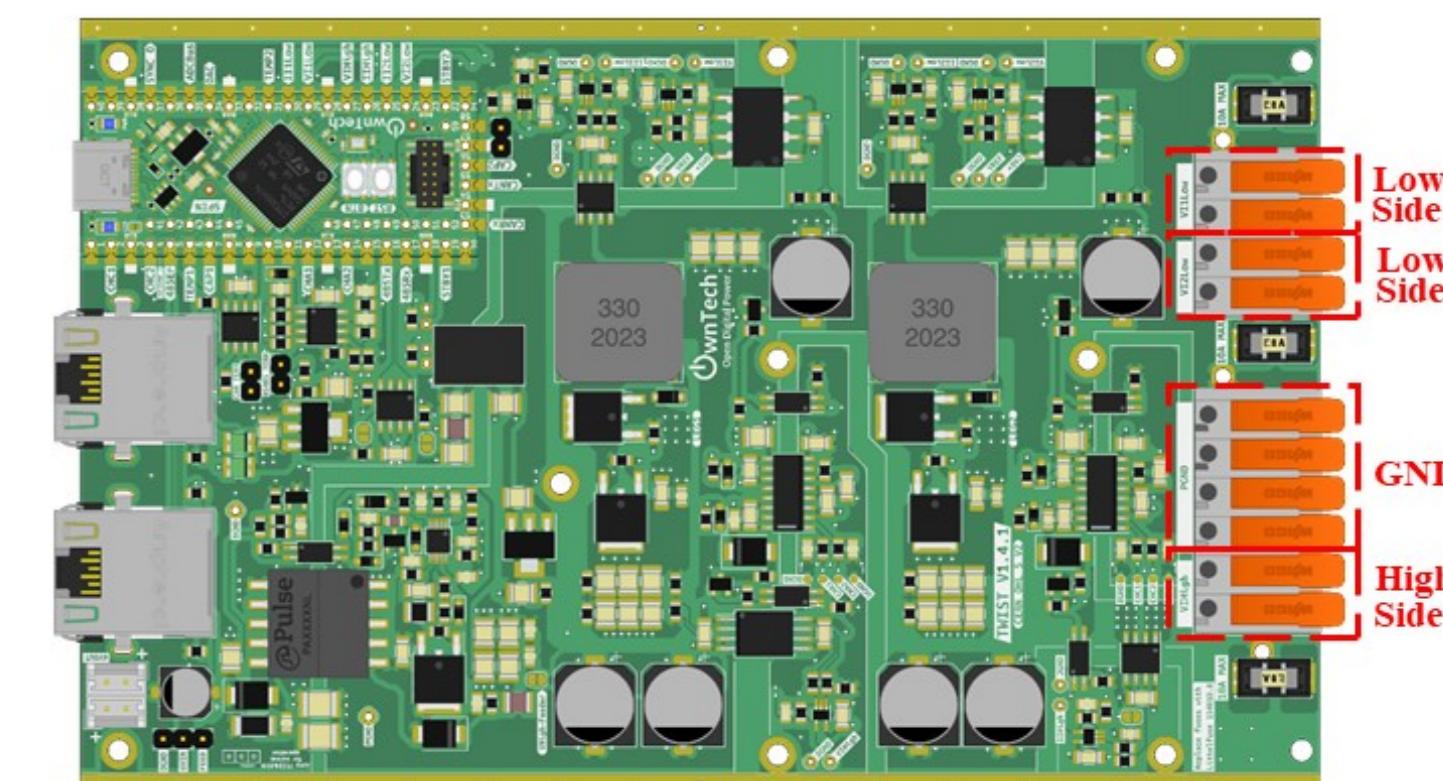
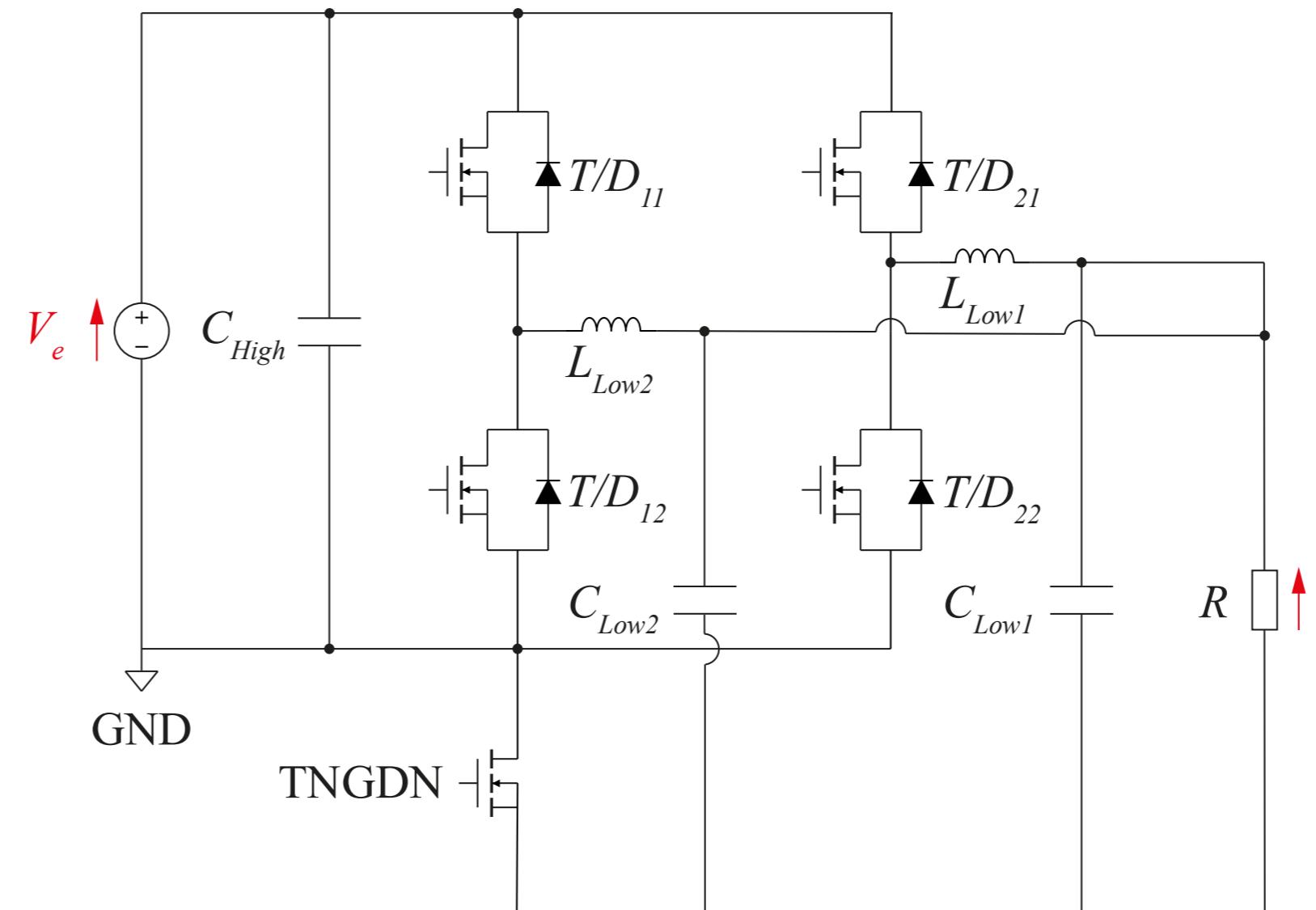


- $V_{oc}$  : Tension de circuit ouvert
- $I_{sc}$  : Courant de court-circuit
- $V_{MPP}$  : Tension au point de puissance maximale
- $I_{MPP}$  : Courant au point de puissance maximale

$$I(V) = I_{sc} \cdot \left(1 - e^{-\frac{V-V_{oc}}{c}}\right)$$

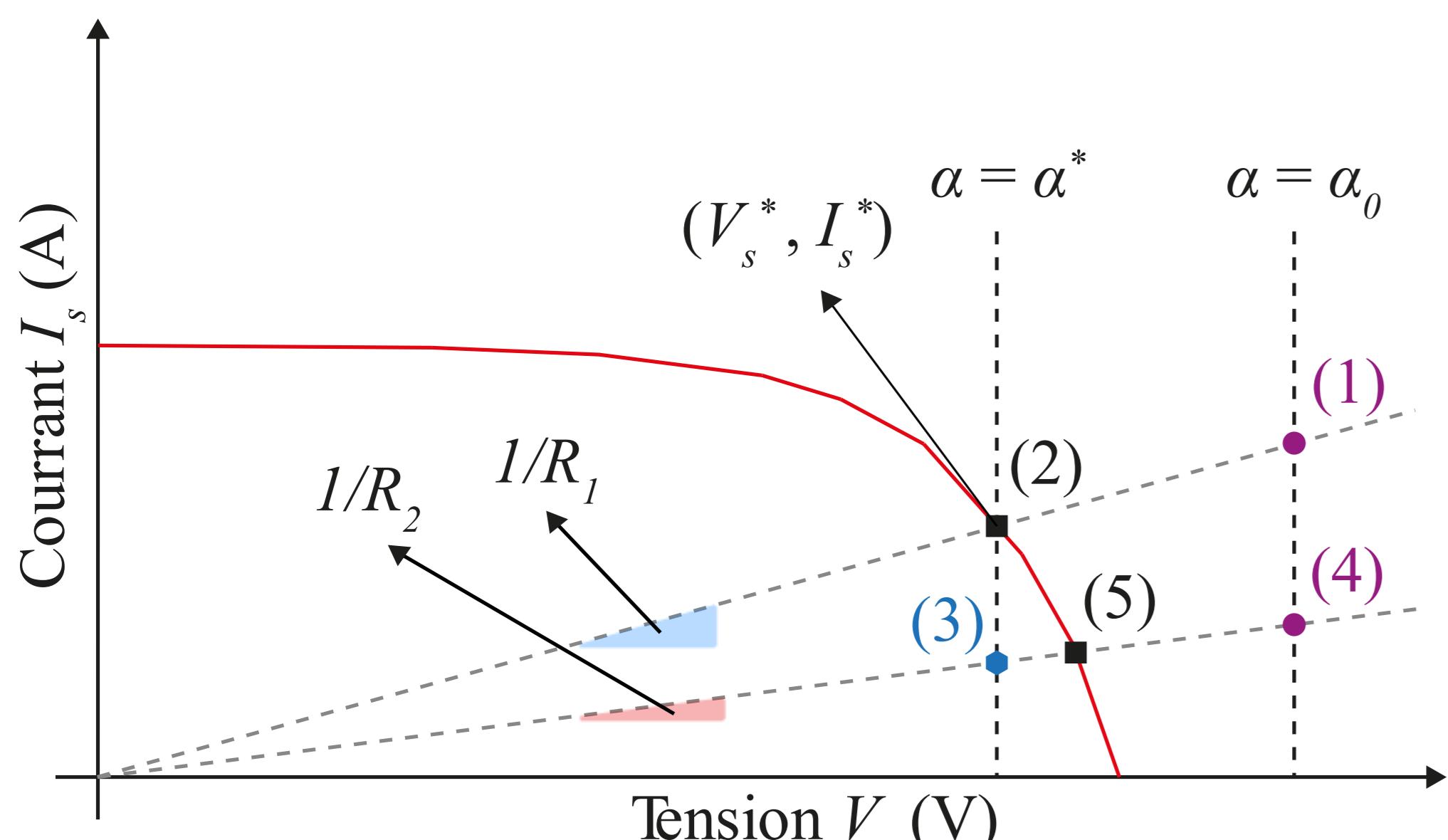
$$c = -\frac{V_{oc}-V_{MPP}}{\ln\left(1-\frac{I_{MPP}}{I_{sc}}\right)}$$

### CARTE OWNTECH

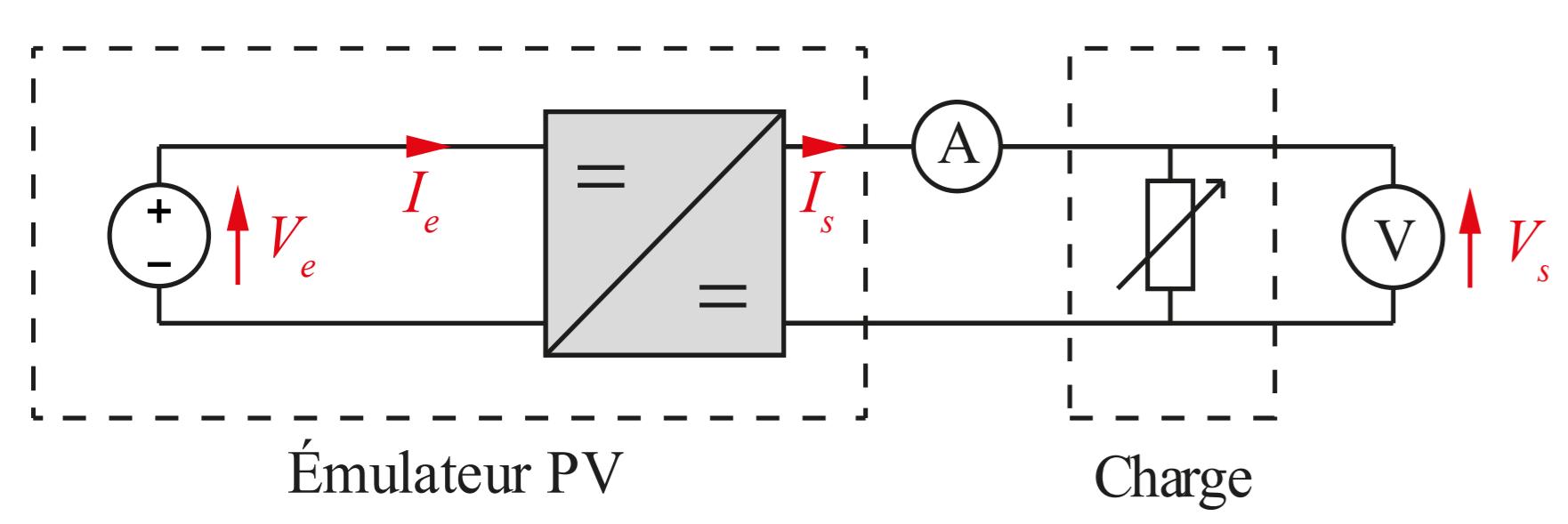
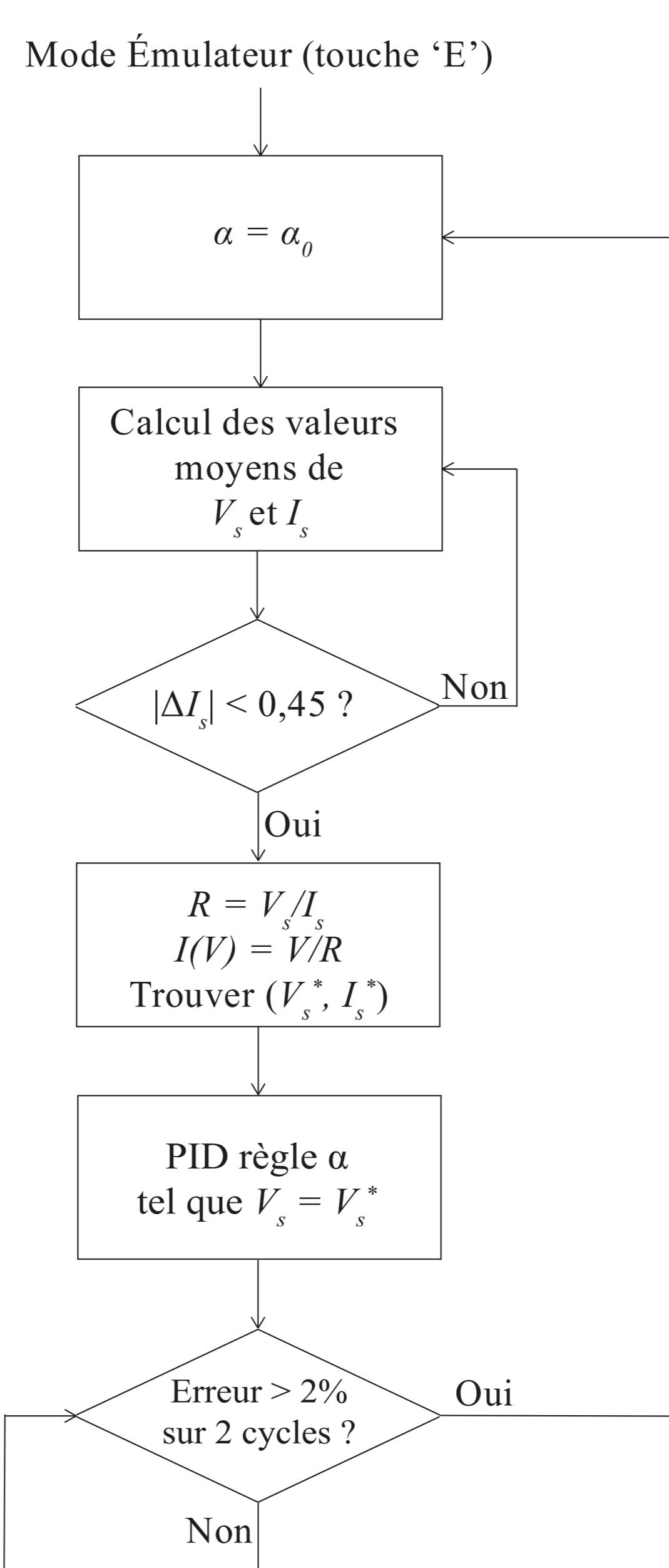


- $V_{high}$  : de 12 à 100 V
- $V_{low}$  : de 12 à 72 V
- $I_{high,low}$  : Courant maximal à 8 A par side

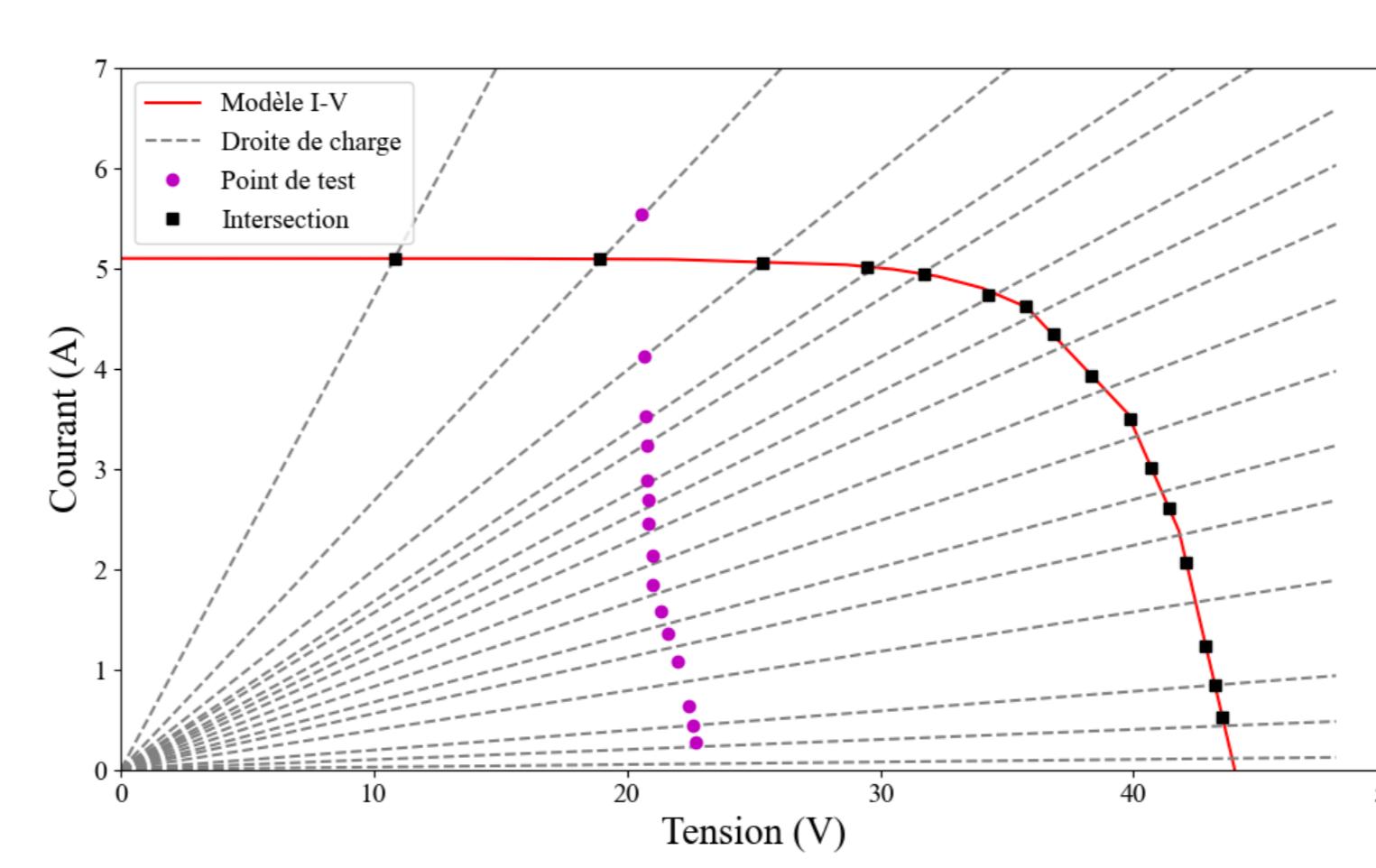
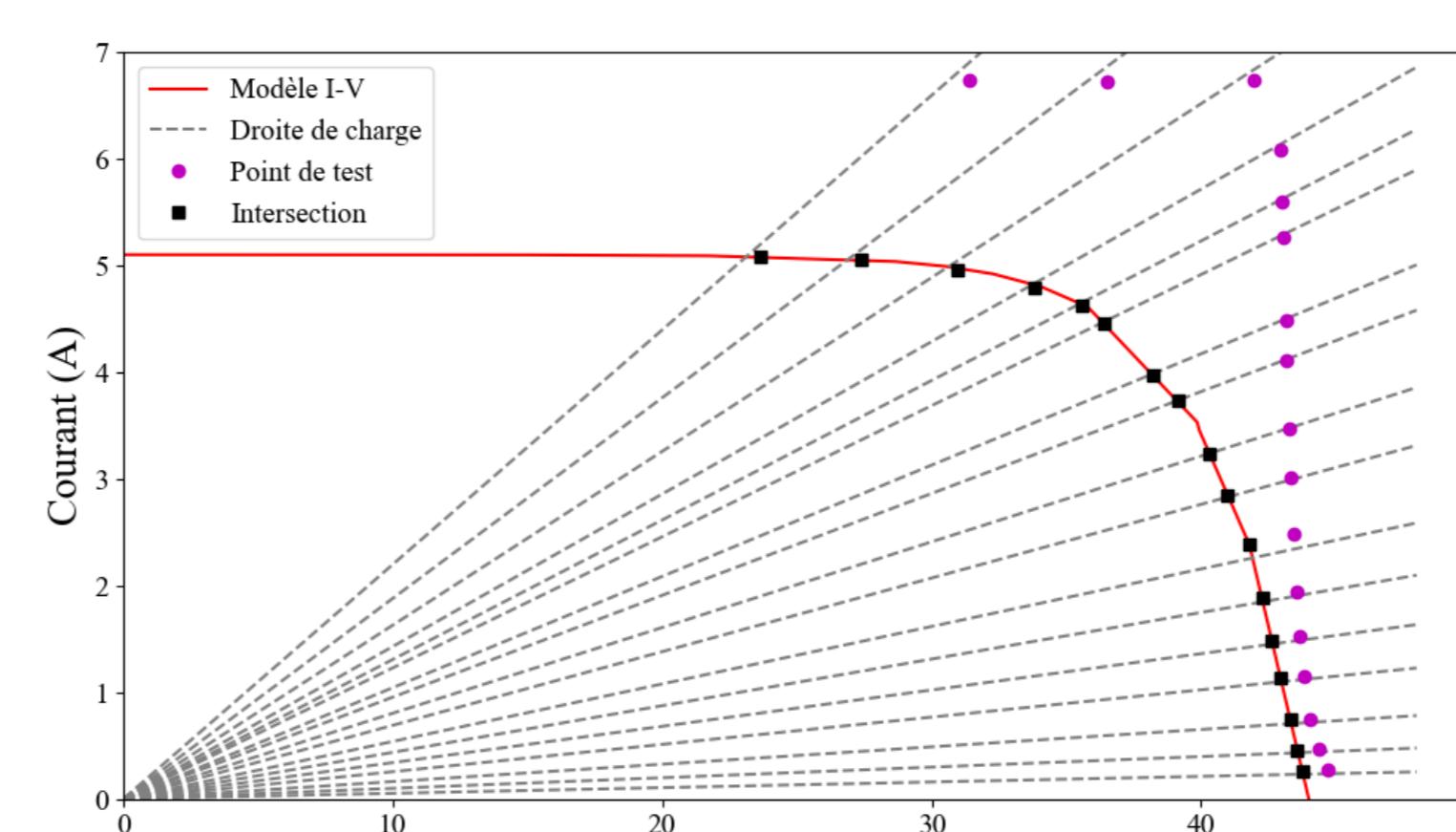
### ÉMULATEUR PHOTOVOLTAÏQUE



- Le rapport cyclique initial  $\alpha = \alpha_0$  est appliqué, ce qui génère une droite de charge passant par l'origine
- Le PID ajuste alors le rapport cyclique ( $\alpha$ ) pour atteindre le point de fonctionnement  $(V_s^*, I_s^*)$  sur la courbe I-V
- Si la charge est modifiée, le point de fonctionnement se déplace vers (3)
- Si l'erreur relative entre l'ancienne et la nouvelle charge dépasse 2%, le programme détecte un changement de charge et réinitialise le rapport cyclique à  $\alpha_0$
- Le PID réajuste ensuite le rapport cyclique permettant au système de fonctionner à nouveau comme un émulateur photovoltaïque

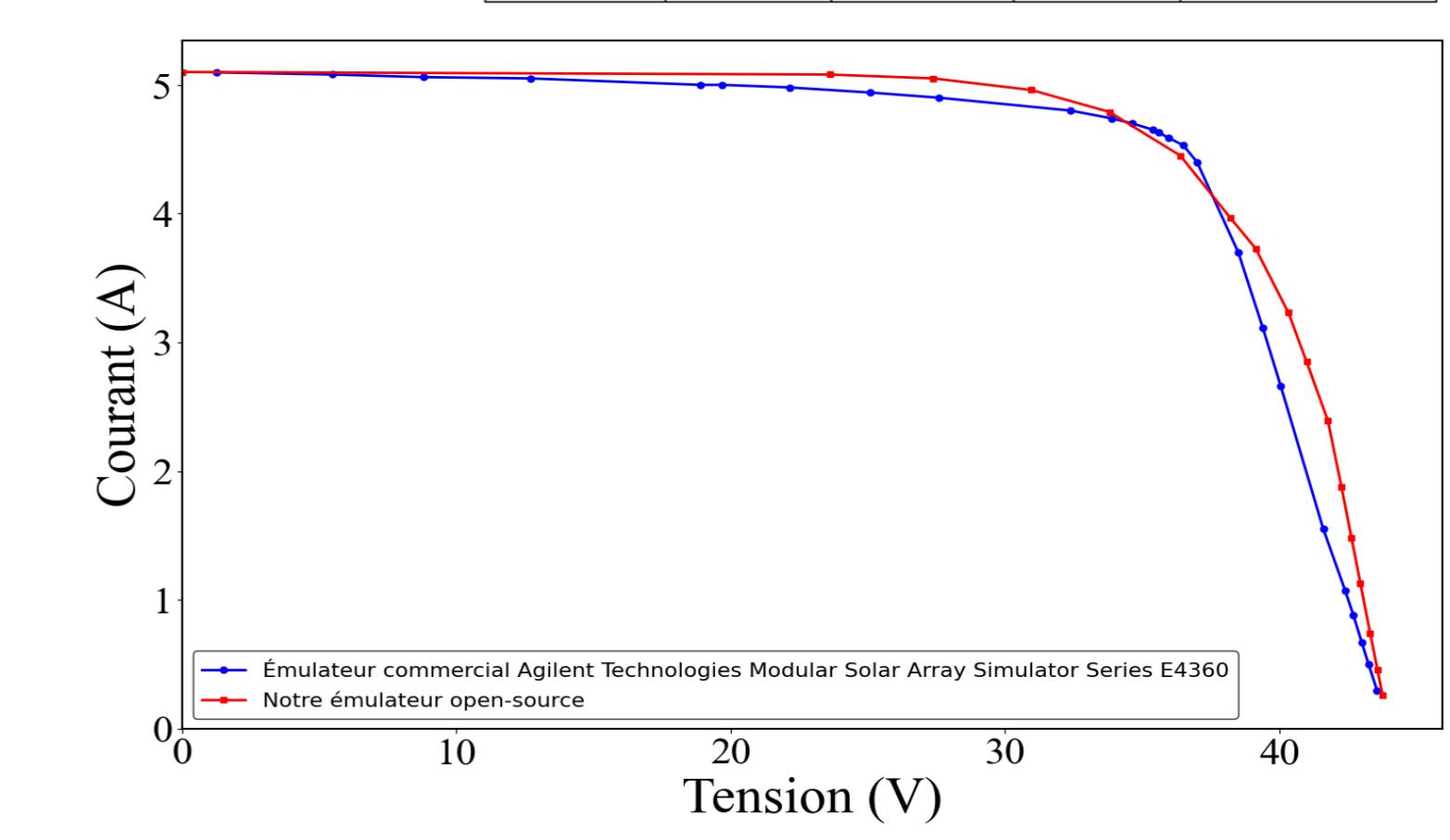


### RÉSULTATS



$V_s^*$ (V)	$I_s^*$ (A)	$R^*$ ( $\Omega$ )	$R$ ( $\Omega$ )	Erreur (%)
23,63	5,08	4,65	4,55	2,23
27,39	5,05	5,42	5,32	1,95
33,80	4,79	7,06	7,42	4,90
36,39	4,45	8,18	8,14	0,46
38,20	3,97	9,62	9,59	0,34
39,13	3,73	10,49	10,48	0,10
40,33	3,23	12,49	12,45	0,29
41,77	2,39	17,48	18,56	5,84
42,26	1,88	22,48	22,89	1,80
42,63	1,48	28,80	29,38	1,96
43,31	0,74	58,53	61,44	4,74
43,57	0,46	94,72	100,67	5,91
43,76	0,26	168,31	189,44	11,16

$V_s^*$ (V)	$I_s^*$ (A)	$R^*$ ( $\Omega$ )	$R$ ( $\Omega$ )	Erreur (%)
10,83	5,10	2,12	2,12	0,17
18,90	5,09	3,71	3,73	0,45
25,34	5,06	5,01	5,02	0,24
29,46	5,01	5,88	5,95	1,17
31,74	4,94	6,43	6,39	0,55
34,27	4,74	7,23	7,29	0,82
35,74	4,62	7,74	7,96	2,81
36,83	4,34	8,49	8,82	3,78
38,35	3,93	9,76	10,25	4,80
39,87	3,50	11,39	12,07	5,62
40,70	3,01	13,52	14,85	8,95
41,39	2,61	15,86	17,88	11,31
42,09	2,07	20,33	25,43	20,04
42,86	1,23	34,85	51,24	32,00
43,22	0,84	51,45	99,83	48,46
43,52	0,52	83,69	393,18	78,71



### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce projet développe un émulateur photovoltaïque *open-source* basé sur la technologie OwnTech et des outils libres tels que Git et C++. La reconstruction de la courbe caractéristique d'un panneau solaire Schutten Solar STM5-165 W montre une bonne fidélité au modèle mathématique choisi, avec de faibles erreurs sur la majorité des points de fonctionnement. Les essais mettent également en évidence l'influence du rapport cyclique initial, ce qui justifie des analyses complémentaires. Comparé à un émulateur commercial, l'émulateur proposé montre une réponse satisfaisante, mais reste perfectible, notamment dans l'intervalle  $V_{MPP} - V_{oc}$ . Dans ce contexte, les perspectives futures incluent l'exploration de modèles mathématiques alternatifs de la courbe caractéristique, ainsi que le test d'autres modèles de panneaux photovoltaïques, dans le but d'améliorer la précision du processus d'émulation tout en conservant la simplicité du projet.