

SYMPOSIUM DE GÉNIE ÉLECTRIQUE 2025



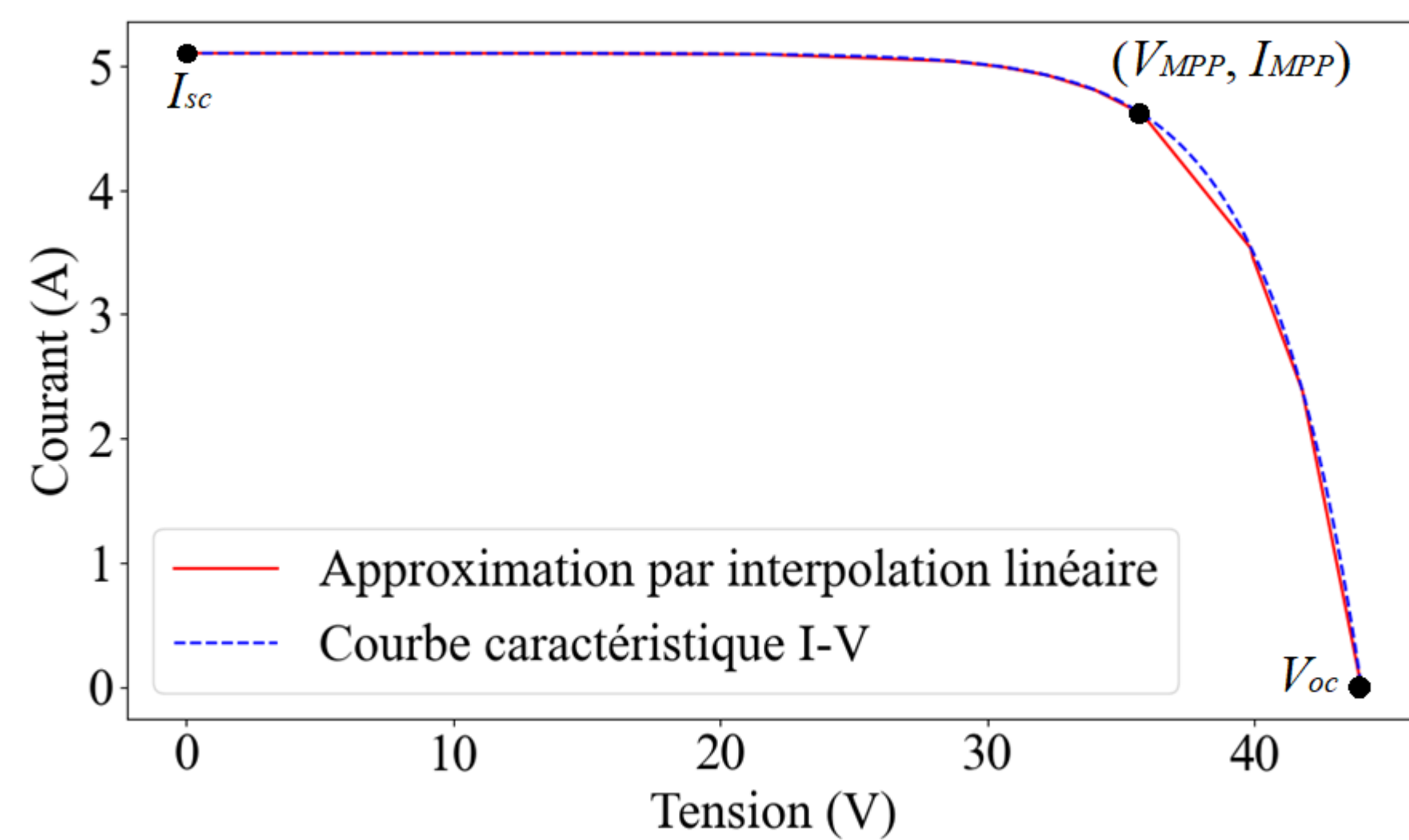
DÉVELOPPEMENT D'UN ÉMULATEUR PHOTOVOLTAÏQUE *OPEN-SOURCE* À L'AIDE DE LA SUITE TECHNOLOGIQUE OWNTECH

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

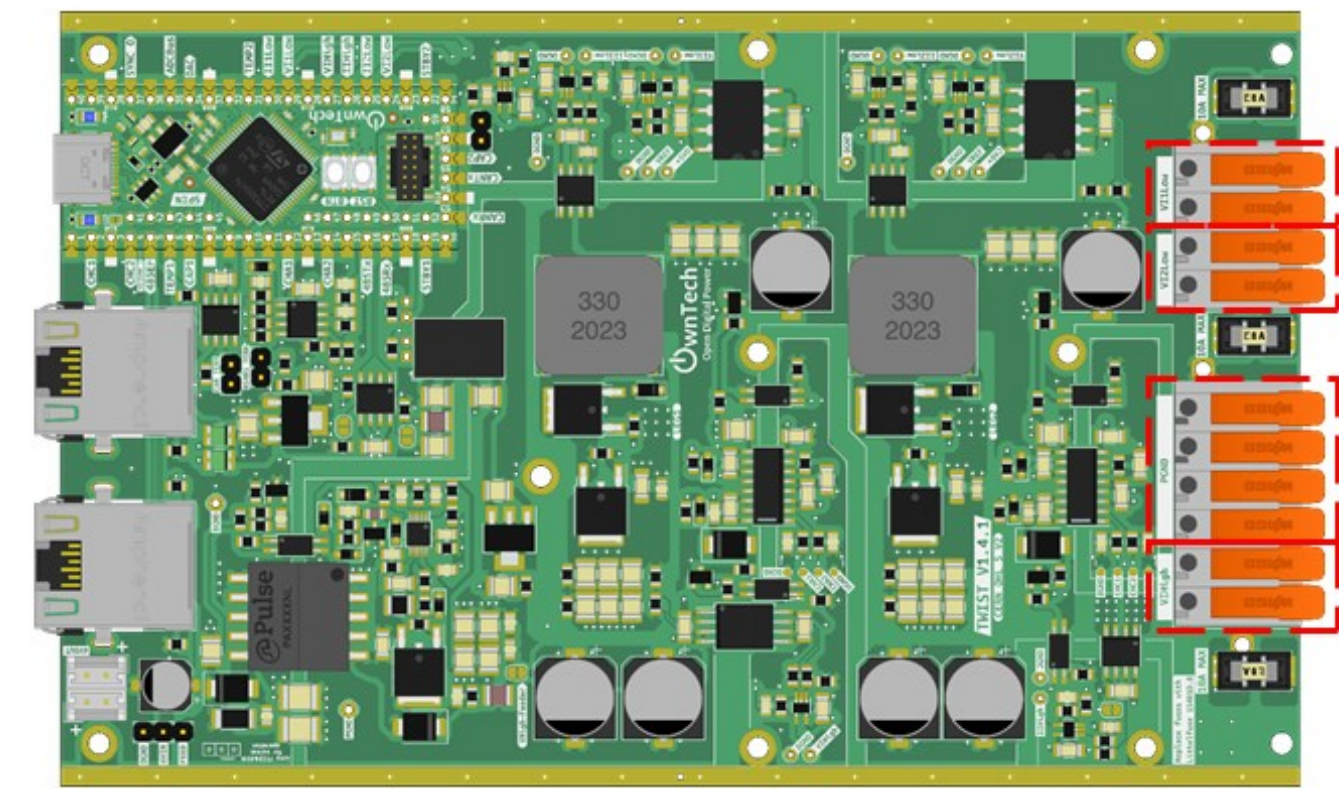
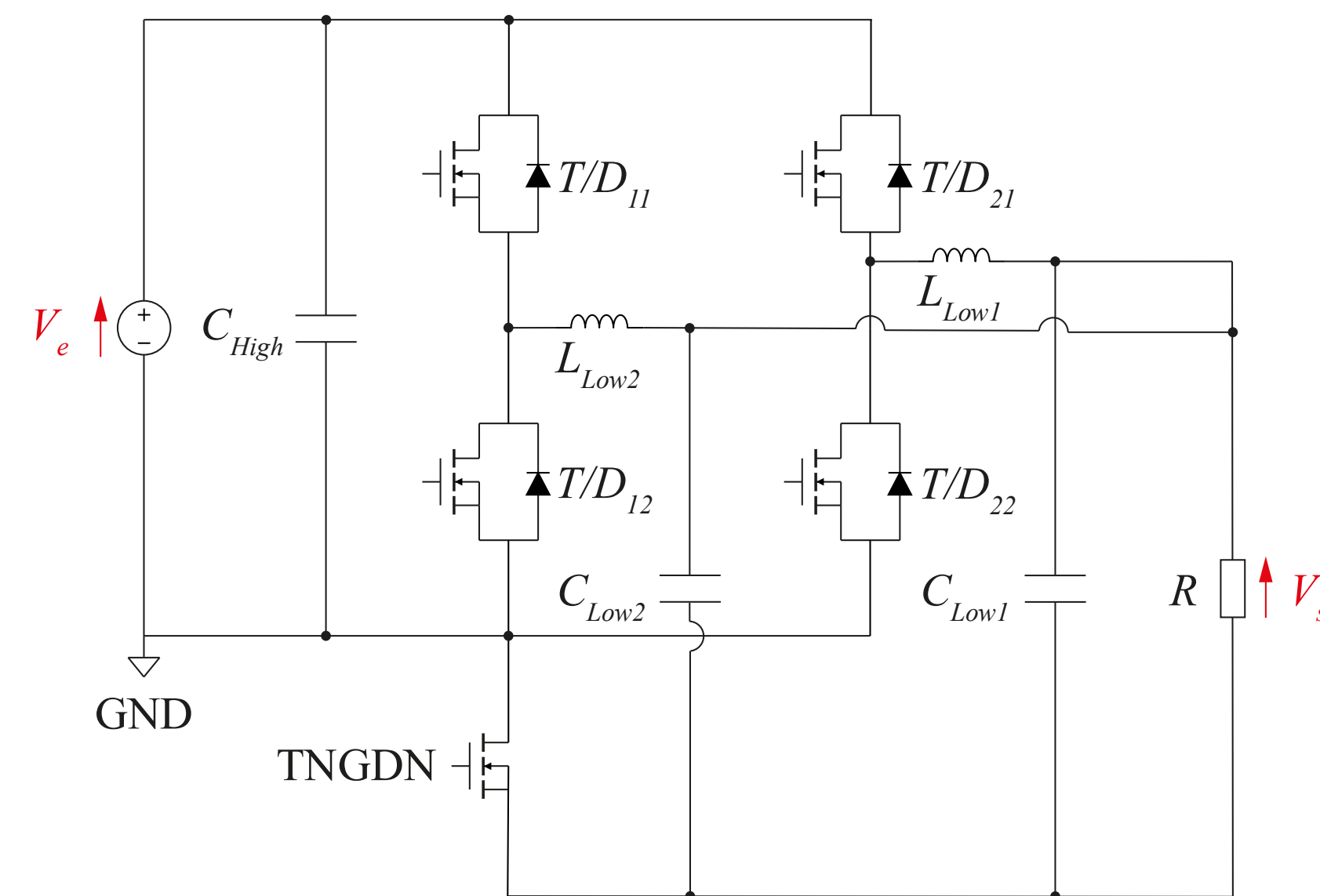


- V_{oc} : Tension de circuit ouvert
- I_{sc} : Courant de court-circuit
- V_{MPP} : Tension au point de puissance maximale
- I_{MPP} : Courant au point de puissance maximale

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

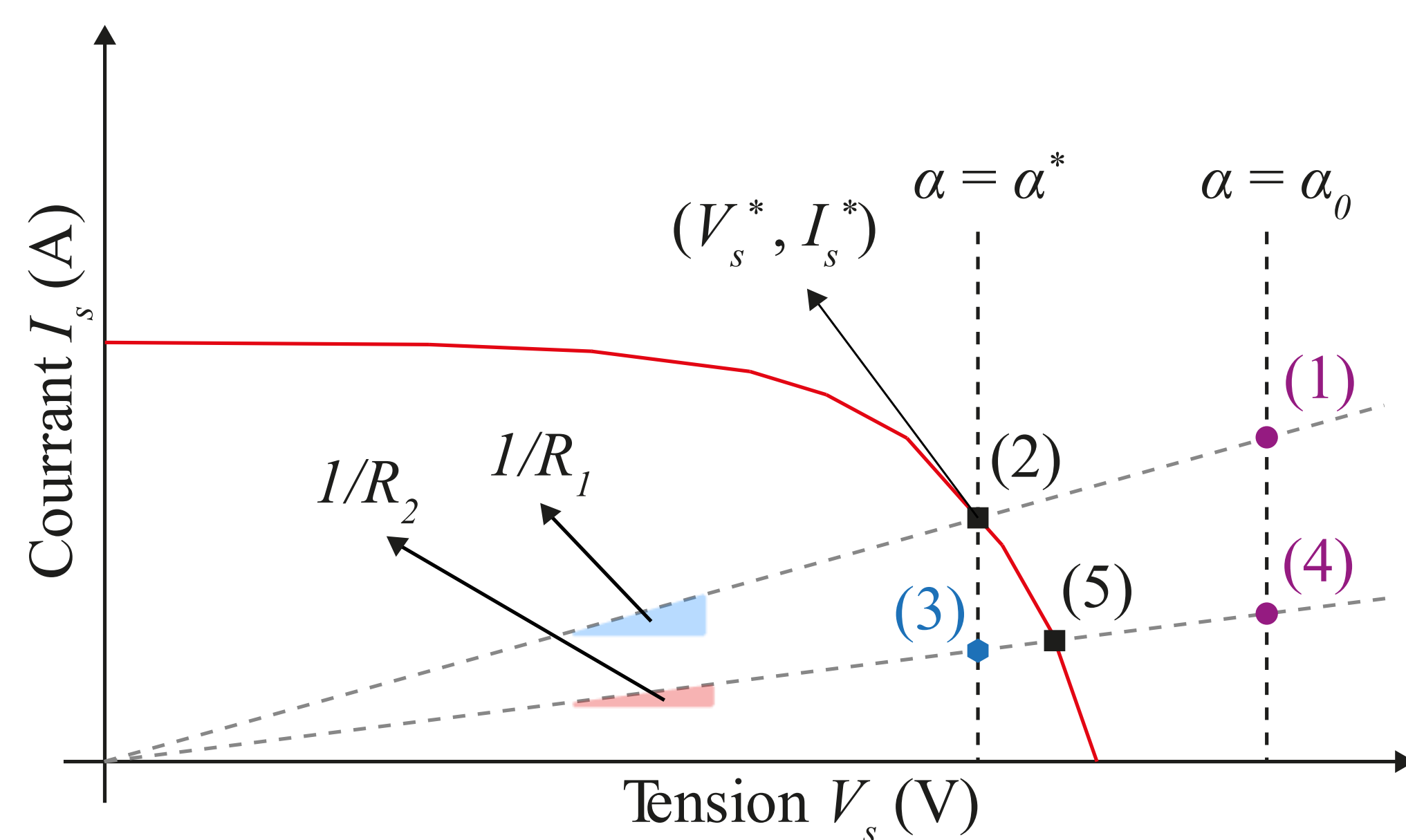
$$c = -\frac{V_{oc} - V_{MPP}}{\ln\left(1 - \frac{I_{MPP}}{I_{sc}}\right)}$$

CARTE OWNTECH



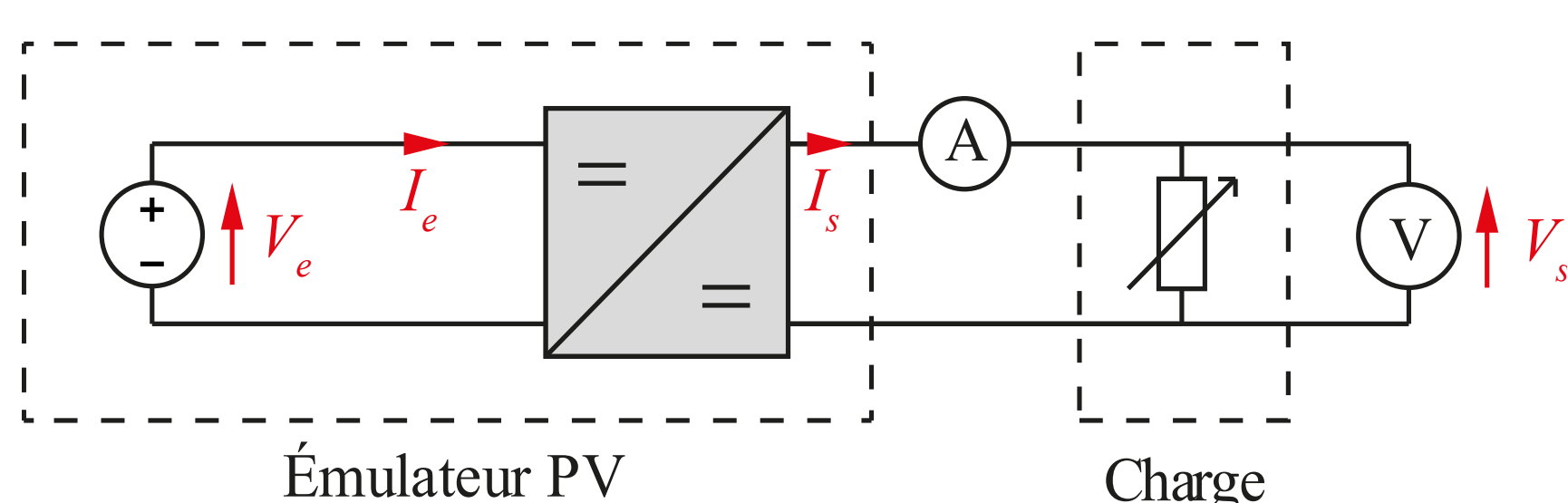
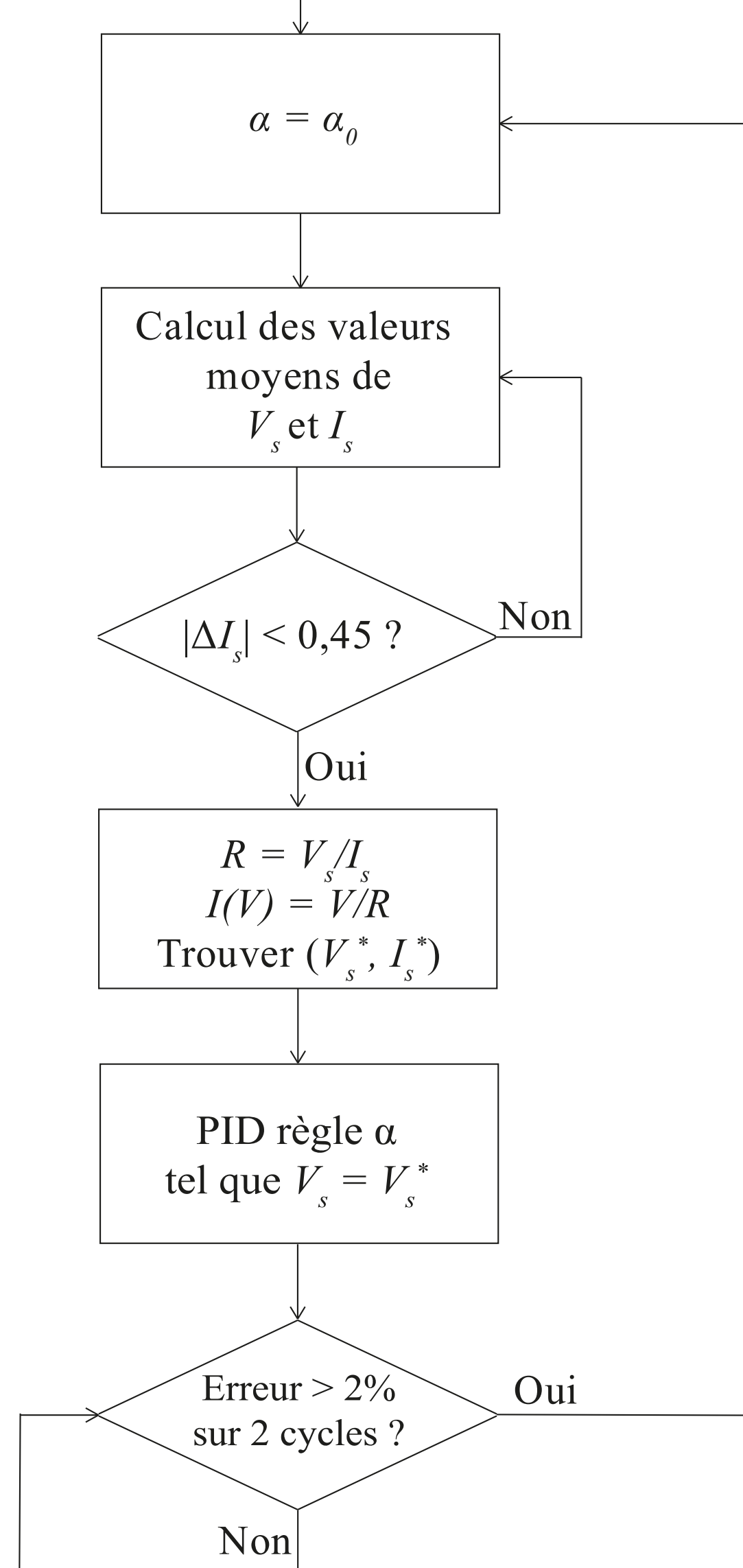
- V_{high} : de 12 à 100 V
- V_{low} : de 12 à 72 V
- $I_{high,low}$: Courant maximal à 8 A par side

ÉMULATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

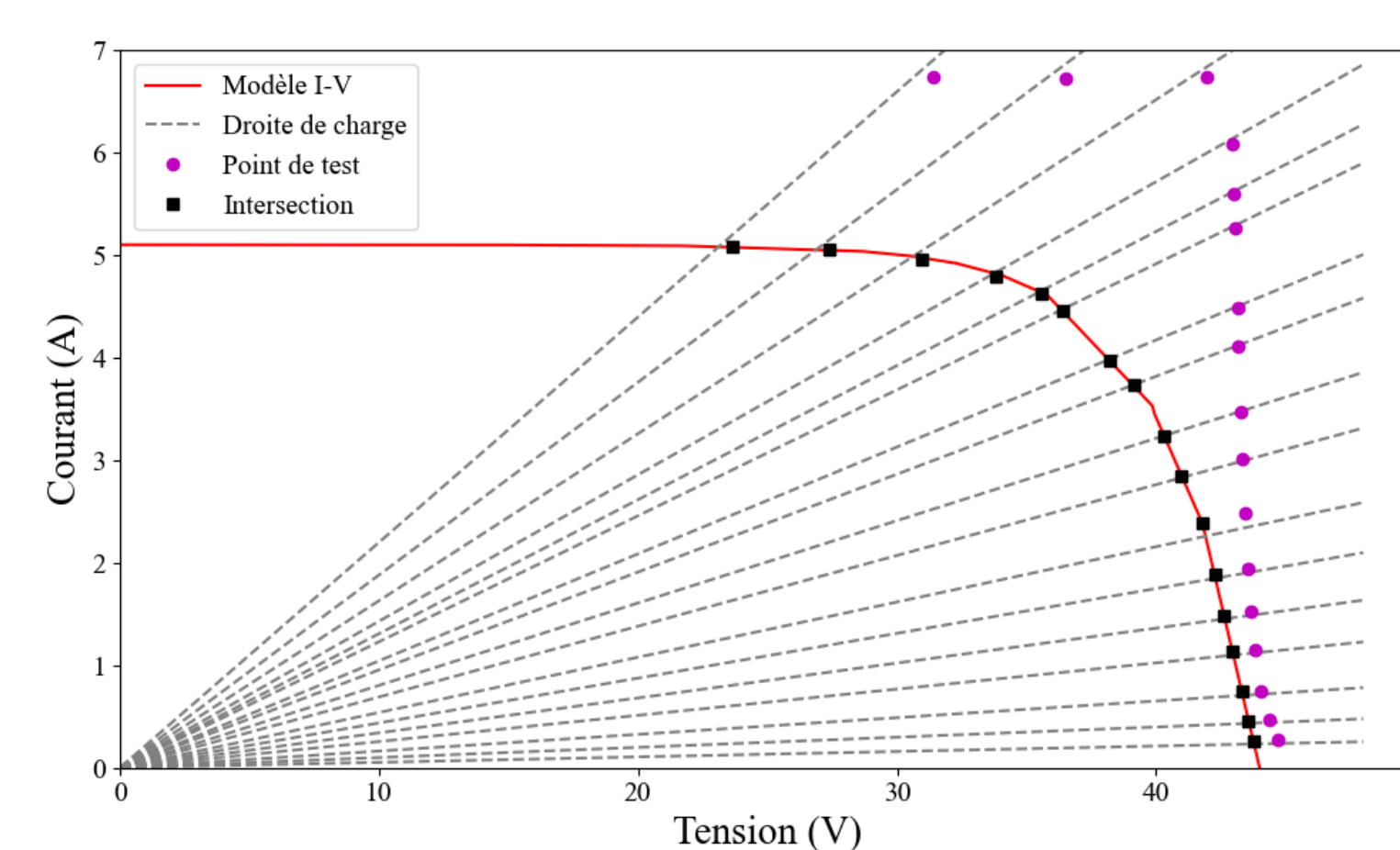


1. Le rapport cyclique initial $\alpha = \alpha_0$ est appliqué, ce qui génère une droite de charge passant par l'origine
2. Le PID ajuste alors le rapport cyclique (α) pour atteindre le point de fonctionnement (V_s^* , I_s^*) sur la courbe I-V
3. Si la charge est modifiée, le point de fonctionnement se déplace vers (3)
4. 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 α_0
5. Le PID réajuste ensuite le rapport cyclique permettant au système de fonctionner à nouveau comme un émulateur photovoltaïque

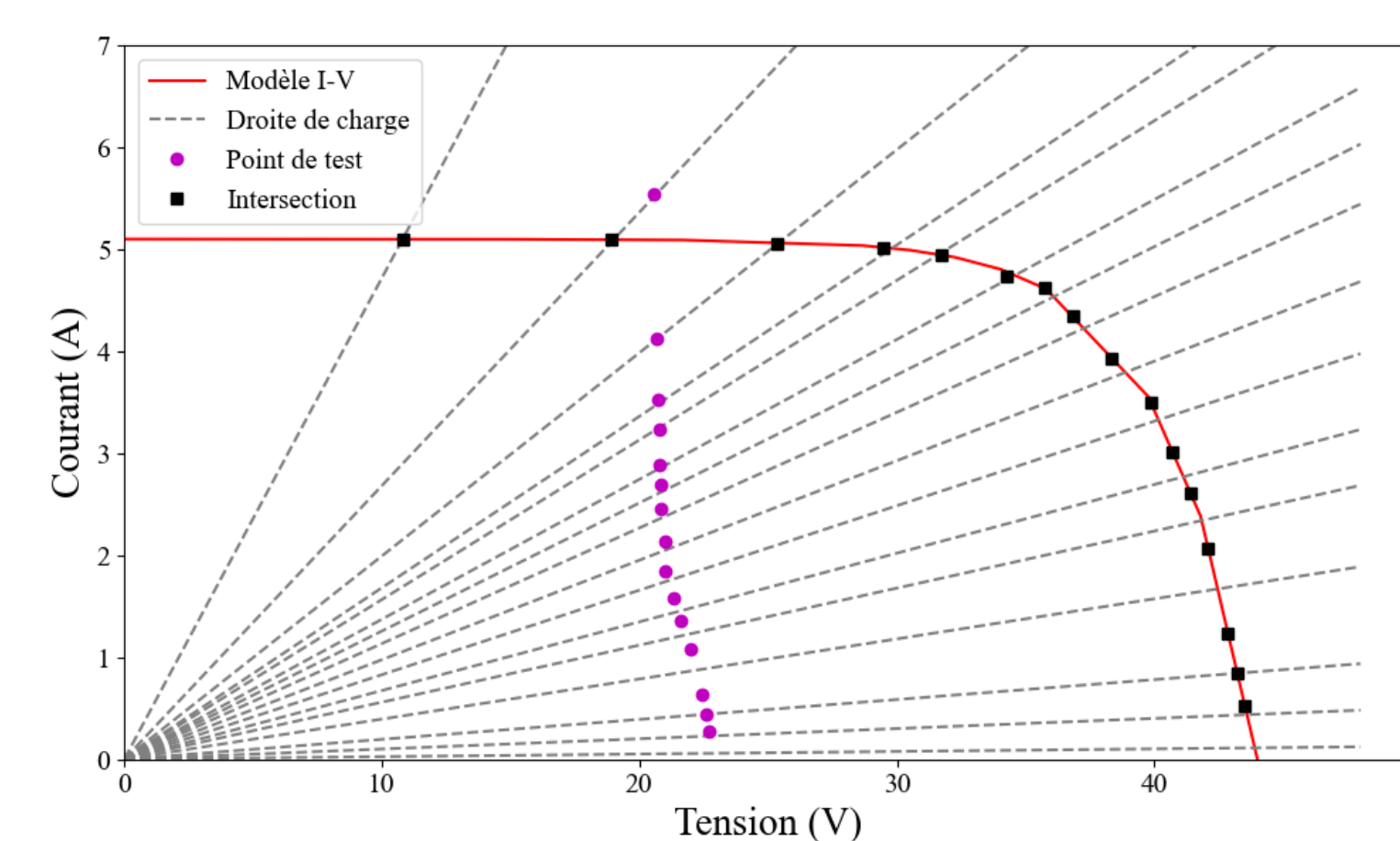
Mode Émulateur (touche 'E')



RÉSULTATS



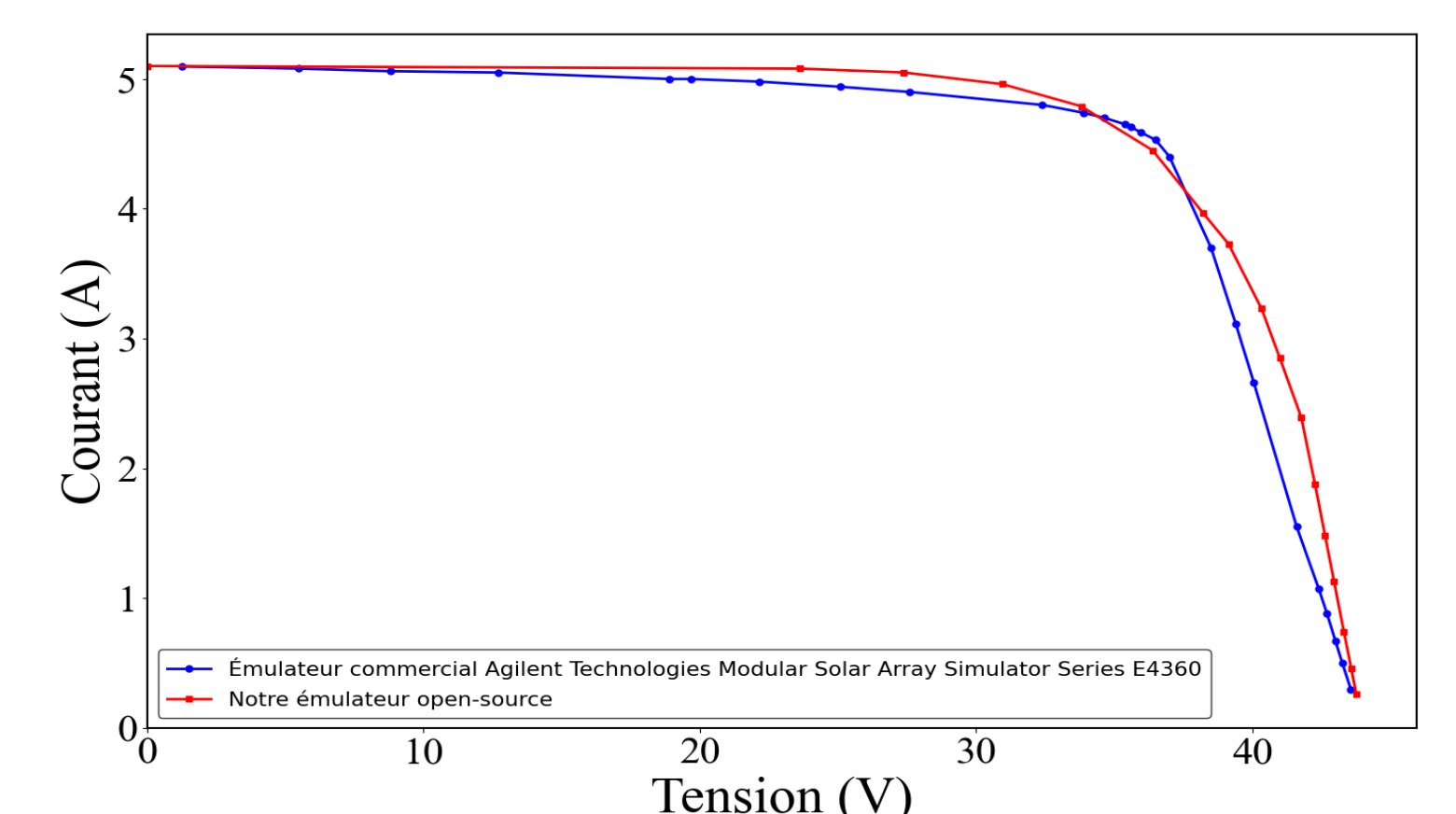
| V_s^* (V) | I_s^* (A) | R^* (Ω) | R (Ω) | Erreur (%) |
|-------------|-------------|-----------|---------|------------|
| 23,63 | 5,08 | 4,65 | 4,55 | 2,23 |
| 27,39 | 5,05 | 5,42 | 5,32 | 1,95 |
| 33,80 | 4,79 | 7,06 | 7,42 | 4,90 |
| 36,39 | 4,45 | 8,18 | 8,14 | 0,46 |
| 38,20 | 3,97 | 9,62 | 9,59 | 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^* (Ω) | R (Ω) | 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 |

Schutten Solar STM5-165 W :

- $V_{oc} = 44$ V
- $I_{sc} = 5,1$ A
- $V_{MPP} = 35,8$ V
- $I_{MPP} = 4,61$ A



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.