

# JOURNÉES NATIONALES DU PHOTOVOLTAÏQUE 2025

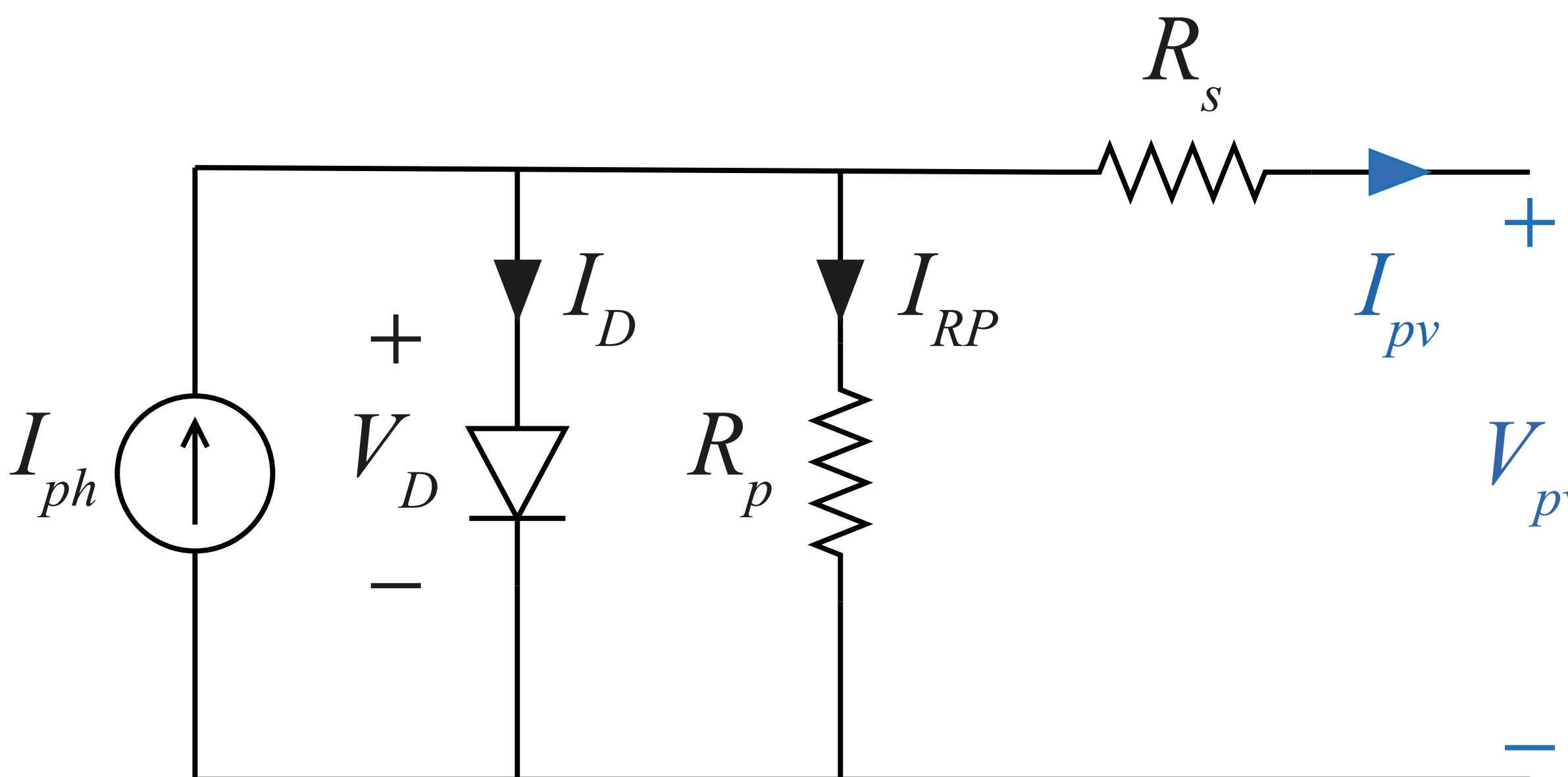
## Prise en compte de la variation de température et de l'irradiance dans un émulateur *open-source* basé sur la suite technologique OwnTech

Gabriel Ceolin de Brito, Noemi Lanciotti, Giacomo Galli, Loïc Queval  
gabriel.ceolindebrito@student-cs.fr

### INTRODUCTION

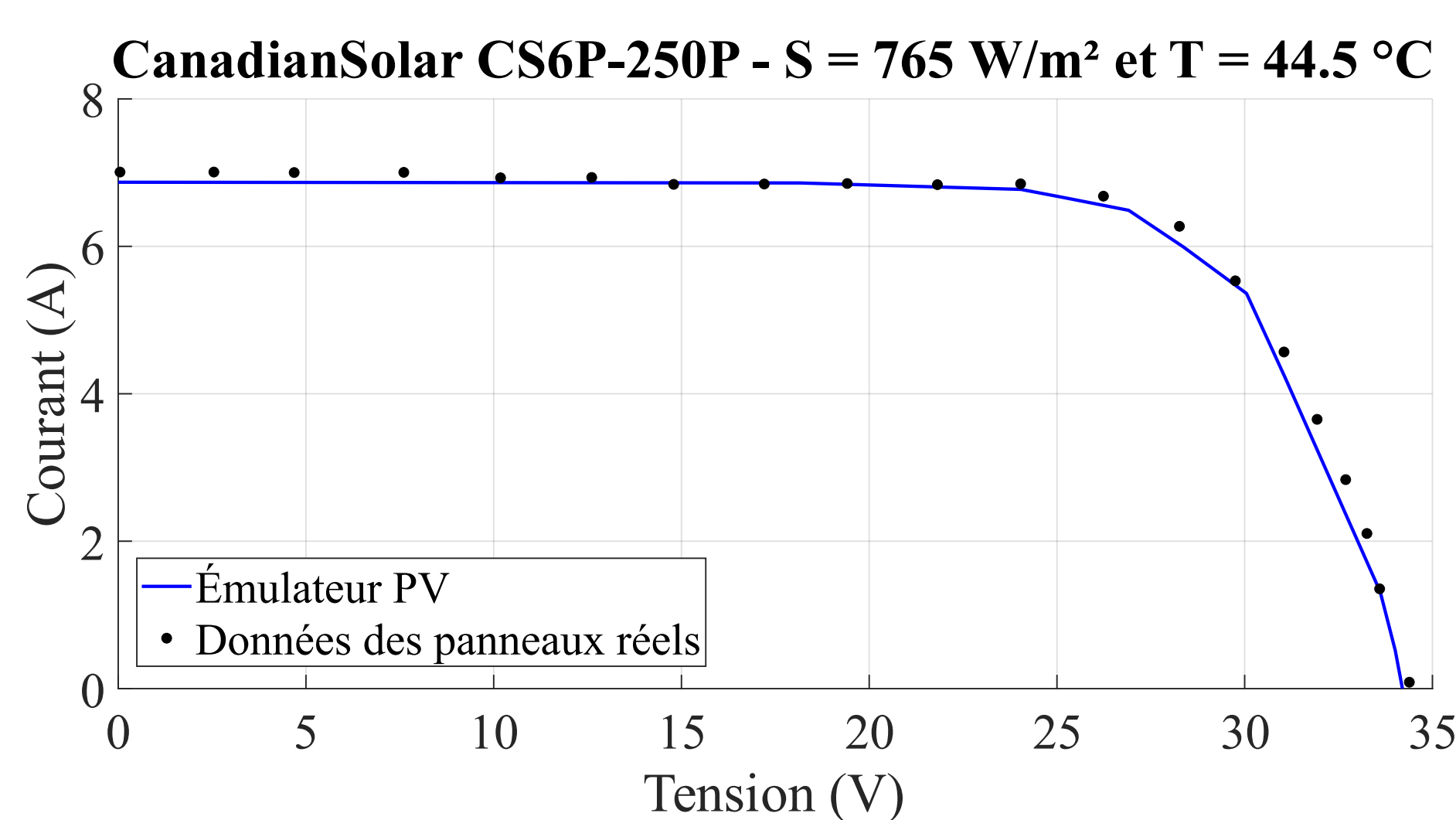
Compte tenu de l'importance de l'**irradiance** et de la **température** dans l'étude des performances des panneaux photovoltaïques, ce travail a pour objectif d'intégrer la variation de ces deux grandeurs dans un **émulateur photovoltaïque *open-source***, basé sur la technologie **OwnTech** et précédemment développé dans [1]. La principale nouveauté de cette version réside dans l'expression mathématique de la courbe caractéristique I-V, issue d'un modèle électrique à une diode. Cette approche permet à l'émulateur de s'adapter automatiquement au point de fonctionnement correspondant aux conditions choisies, en s'appuyant uniquement sur les données fournies par les fiches techniques (*datasheets*) des modules photovoltaïques.

### MODÈLE MATHÉMATIQUE DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

$$I_{pv} = I_{ph}^{ref} \left( \frac{S}{S^{ref}} \right) [1 + \alpha(T - T^{ref})] - I_{s0}^{ref} \left( \frac{T}{T^{ref}} \right)^3 \left( e^{\frac{q(R_s I_{pv} + V_{pv})}{AkT}} - 1 \right) e^{\frac{q}{Ak} \left( E_{G0} - \frac{k_1 T^2}{t + k_2} \right) \left( \frac{1}{T^{ref}} - \frac{1}{T} \right) - \frac{R_s I_{pv} - V_{pv}}{R_p}} \quad [2]$$


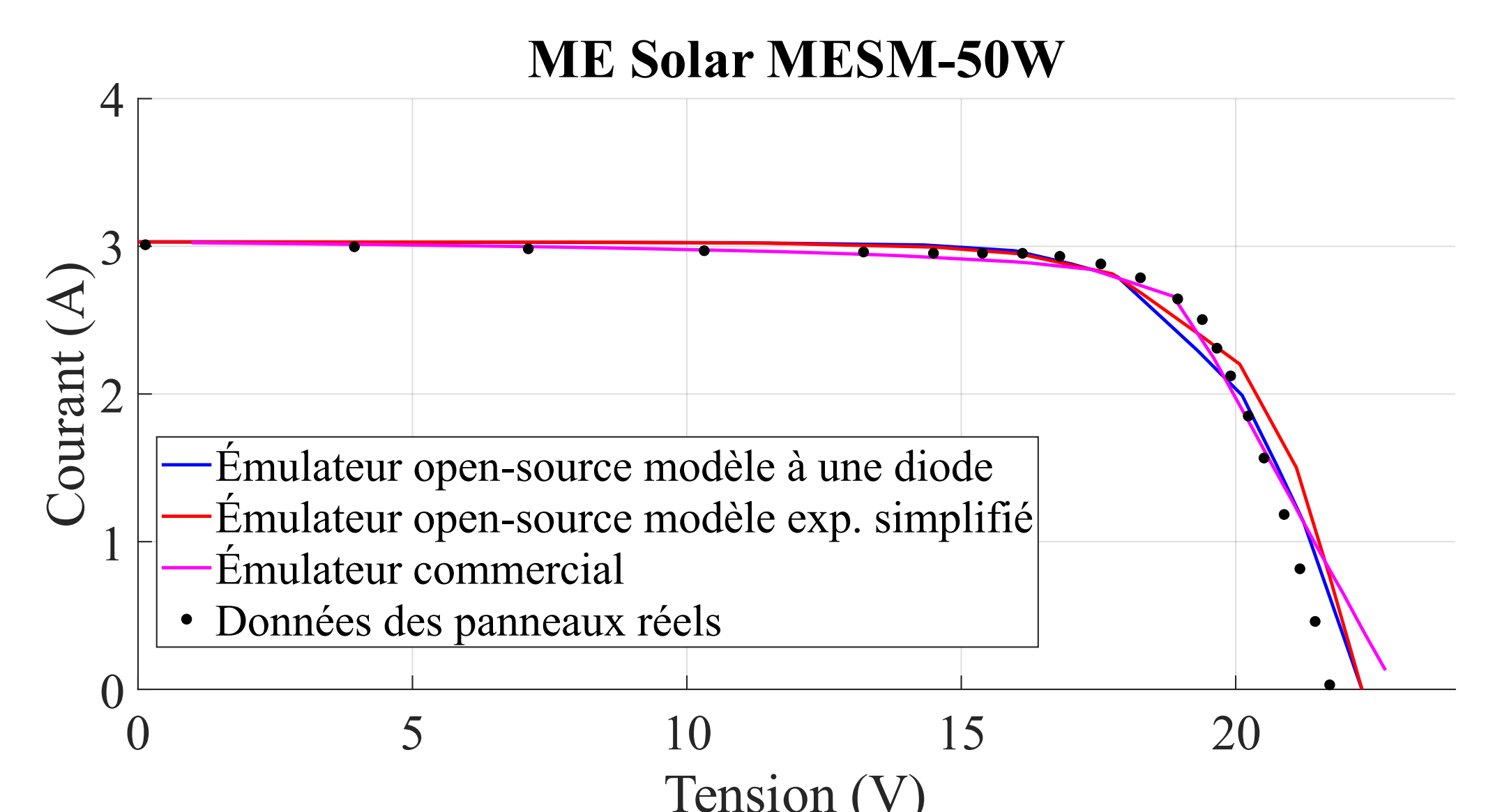
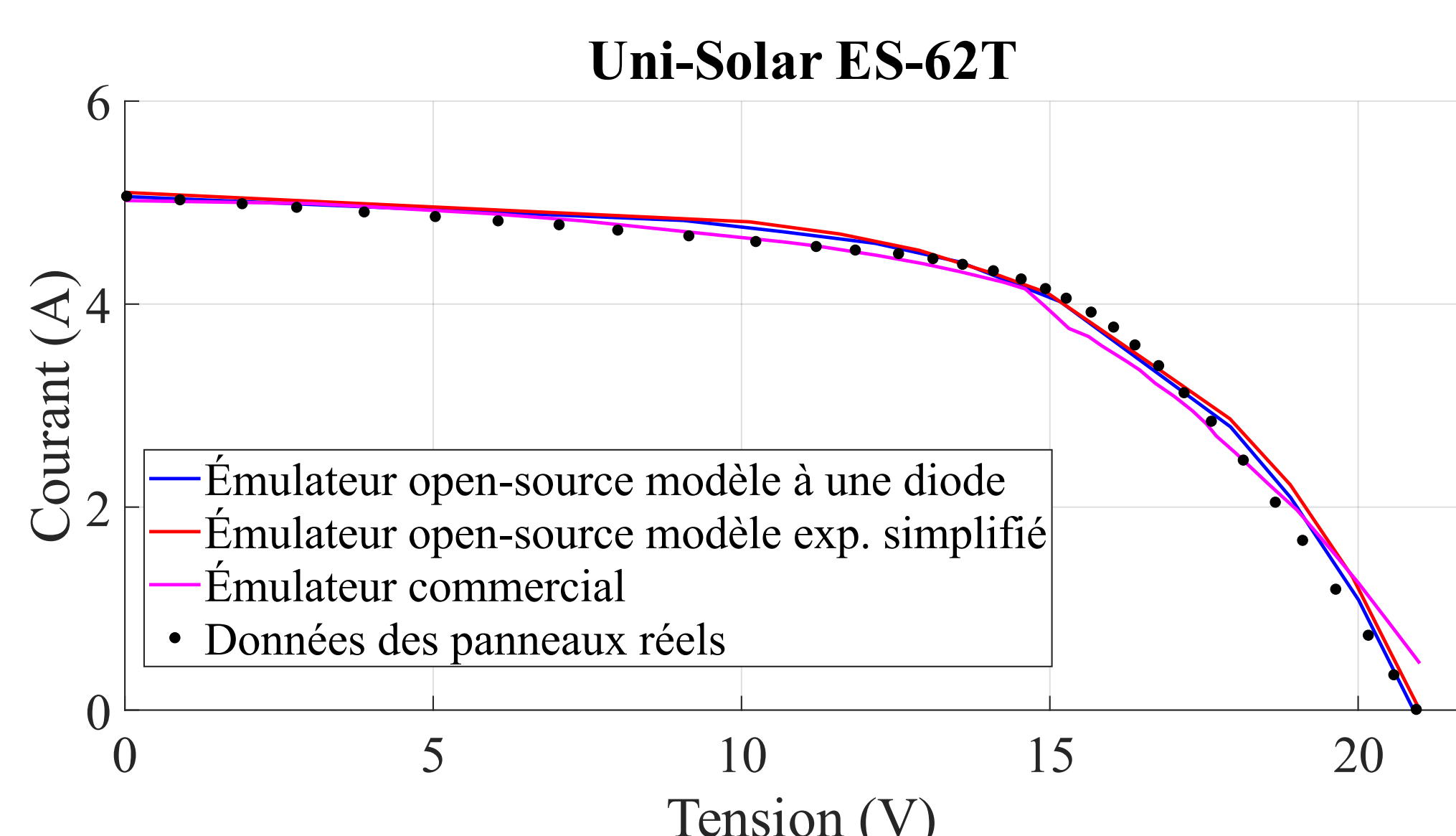
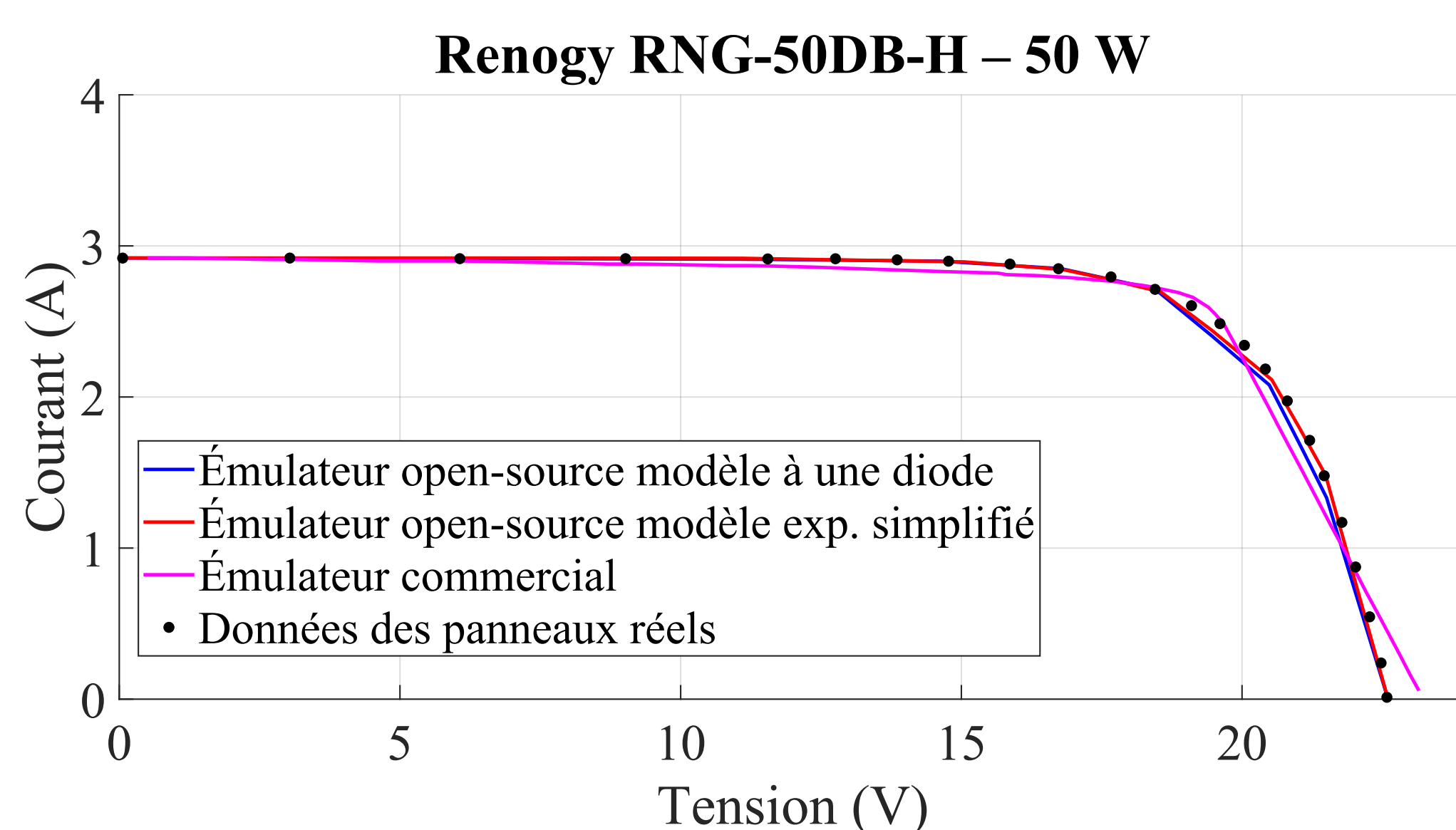
$$\left\{ \begin{array}{l} I_{ph}^{ref} - I_{s0}^{ref} \left( e^{\frac{q R_s I_{sc}^{ref}}{AkT^{ref}}} - 1 \right) - \frac{R_s I_{sc}^{ref}}{R_p} = I_{sc}^{ref} \\ I_{ph}^{ref} - I_{s0}^{ref} \left( e^{\frac{q V_{oc}^{ref}}{AkT^{ref}}} - 1 \right) - \frac{V_{oc}^{ref}}{R_p} = 0 \\ I_{ph}^{ref} - I_{s0}^{ref} \left( e^{\frac{q(R_s I_{mp}^{ref} + V_{mp}^{ref})}{AkT^{ref}}} - 1 \right) - \frac{R_s I_{mp}^{ref} + V_{mp}^{ref}}{R_p} = I_{mp}^{ref} \\ R_s + \frac{q I_{s0}^{ref} R_p (R_s - R_p)}{AkT^{ref}} e^{\frac{q I_{sc}^{ref}}{AkT^{ref}}} = 0 \\ I_{ph}^{ref} - \frac{2V_{mp}^{ref}}{R_p} - I_{s0}^{ref} \left( \left[ 1 + \frac{q(V_{mp}^{ref} - R_s I_{mp}^{ref})}{AkT^{ref}} \right] e^{\frac{q(R_s I_{mp}^{ref} + V_{mp}^{ref})}{AkT^{ref}}} - 1 \right) = 0 \end{array} \right.$$

### ÉMULATEUR PHOTOVOLTAÏQUE



| Kyocera KC85TS - Charge R       |                                 |                    |        |            |  |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------|------------|--|
| V <sub>s</sub> <sup>*</sup> (V) | I <sub>s</sub> <sup>*</sup> (A) | R <sup>*</sup> (Ω) | R (Ω)  | Erreur (%) |  |
| 12,118                          | 5,333                           | 2,272              | 2,274  | 0,10       |  |
| 14,292                          | 5,317                           | 2,688              | 2,785  | 3,47       |  |
| 15,697                          | 5,272                           | 2,977              | 3,110  | 4,27       |  |
| 16,649                          | 5,131                           | 3,245              | 3,346  | 3,04       |  |
| 17,420                          | 5,007                           | 3,479              | 3,609  | 3,60       |  |
| 17,944                          | 4,654                           | 3,855              | 3,982  | 3,18       |  |
| 18,910                          | 4,005                           | 4,721              | 4,965  | 4,92       |  |
| 19,494                          | 3,613                           | 5,396              | 5,649  | 4,47       |  |
| 20,139                          | 2,734                           | 7,366              | 8,127  | 9,37       |  |
| 20,592                          | 2,091                           | 9,849              | 11,115 | 11,39      |  |
| 21,185                          | 0,979                           | 21,637             | 33,871 | 36,12      |  |

| Kyocera KC85TS - Charge R+L     |                                 |                    |        |            |  |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------|------------|--|
| V <sub>s</sub> <sup>*</sup> (V) | I <sub>s</sub> <sup>*</sup> (A) | R <sup>*</sup> (Ω) | R (Ω)  | Erreur (%) |  |
| 10,992                          | 5,337                           | 2,060              | 2,112  | 2,46       |  |
| 13,190                          | 5,330                           | 2,475              | 2,521  | 1,82       |  |
| 15,651                          | 5,277                           | 2,966              | 2,990  | 0,82       |  |
| 16,573                          | 5,143                           | 3,223              | 3,314  | 2,74       |  |
| 17,421                          | 5,006                           | 3,480              | 3,611  | 3,64       |  |
| 18,000                          | 4,617                           | 3,899              | 3,870  | 0,74       |  |
| 18,449                          | 4,315                           | 4,275              | 4,431  | 3,52       |  |
| 18,968                          | 3,967                           | 4,782              | 5,054  | 5,39       |  |
| 19,472                          | 3,627                           | 5,368              | 5,616  | 4,42       |  |
| 19,864                          | 3,124                           | 6,360              | 6,741  | 5,66       |  |
| 20,225                          | 2,612                           | 7,745              | 8,453  | 8,38       |  |
| 20,598                          | 2,083                           | 9,888              | 11,060 | 10,59      |  |
| 21,223                          | 0,907                           | 23,405             | 38,291 | 38,88      |  |



### CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'émulateur photovoltaïque *open-source* développé s'est montré capable d'émuler efficacement des panneaux solaires **à toute température et irradiance**. Les résultats obtenus, **comparables à ceux d'un émulateur commercial et aux données réelles**, confirment sa fiabilité. Des travaux futurs viseront à étudier son comportement avec des **charges électromécaniques dynamiques** et, surtout, à concevoir un **algorithme embarqué** capable d'effectuer l'émulation entièrement sur la carte SPIN.

### RÉFÉRENCES

- [1] G. C. de Brito *et al.*, "Développement d'un émulateur photovoltaïque open-source à l'aide de la suite technologique OwnTech", *Symposium de Génie Électrique (SGE 2025)*, Toulouse, France, Jul. 1–3, 2025.
- [2] M. M. da Silva, "Introducing INEP PVSim: A Free Offline Application to Assess the Effects of Parameter Variations on the I-V Curves of Photovoltaic Modules", *Eletrônica de Potência*, vol. 30, p. e202549, Aug. 2025.