

Plateforme de simulation informatique DEVS/Java

Présentation de la version 1.0 — 2024 · mise à jour de septembre 2026

Ce programme informatique a été conçu pour accompagner et illustrer la **thèse de doctorat** intitulée :

« Modélisation et simulation des systèmes naturels qui influencent le rendement des panneaux solaires photovoltaïques »

Thèse préparée à l'École doctorale des Sciences et Technologies du Mali (EDSTM), Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako (USTTB), Faculté des Sciences et Techniques. La plateforme est **développée et présentée par Dr Doumbia Niamakolo dit Tiemoko pour accompagner et illustrer ses expérimentations.**

Elle poursuit deux grands types d'objectifs.

Objectifs principaux

- Mettre en place une plateforme de simulation DEVS en Java, destinée à modéliser et analyser le comportement des systèmes photovoltaïques.
- Disposer d'un outil complet, comprenant les codes sources ainsi que la documentation technique et explicative.
- Contribuer à la détermination des sites optimaux d'installation des systèmes solaires photovoltaïques.
- Aider à la prédiction et à l'optimisation du rendement énergétique des installations solaires en fonction des conditions environnementales.

Objectifs auxiliaires

- Proposer une interface conviviale et interactive permettant de simuler, visualiser et analyser l'impact de différents paramètres naturels (ensoleillement, température, vent, etc.) sur la performance des panneaux solaires.
- Mettre en évidence les corrélations entre les conditions climatiques et le rendement énergétique global.
- Servir d'outil de démonstration, d'expérimentation et de validation des résultats obtenus dans le cadre du travail de recherche associé à la thèse.

Disponibilité de la plateforme

Version	Utilisation
Logiciel Java (version 1.0)	Windows, macOS et Linux : fichier unique SimulationTVS2025.jar, avec lanceurs, base de données SQLite et scripts d'installateurs (Java 8 ou plus récent).
Application web et mobile	Navigateur, tablette et téléphone (Android, iPhone), installable sur l'écran d'accueil et utilisable hors connexion.
Site de présentation	Documents, rapports, vidéo de démonstration, publications et communications de la thèse.

Fenêtre de mot de passe

L'accès à la plateforme est lié à un mot de passe, et son utilisation peut être limitée (nombre d'ouvertures et durée de la licence).

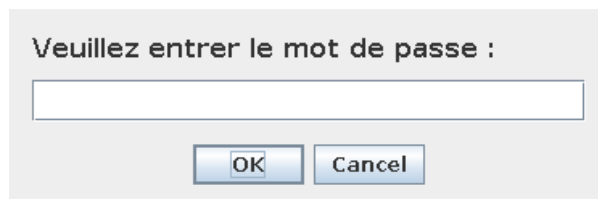


Figure 1 — Fenêtre de connexion

Fenêtre d'accueil

Cette fenêtre oriente les utilisateurs de la plateforme. Elle affiche la date du jour et la version de la plateforme (Version 1.0 — 2024), une illustration des facteurs naturels étudiés (rayonnement solaire, température, vent, poussière, humidité) et trois accès : Saisie des données, Lancer la simulation et Quitter. Le bandeau noir et or rappelle l'auteur de la plateforme.

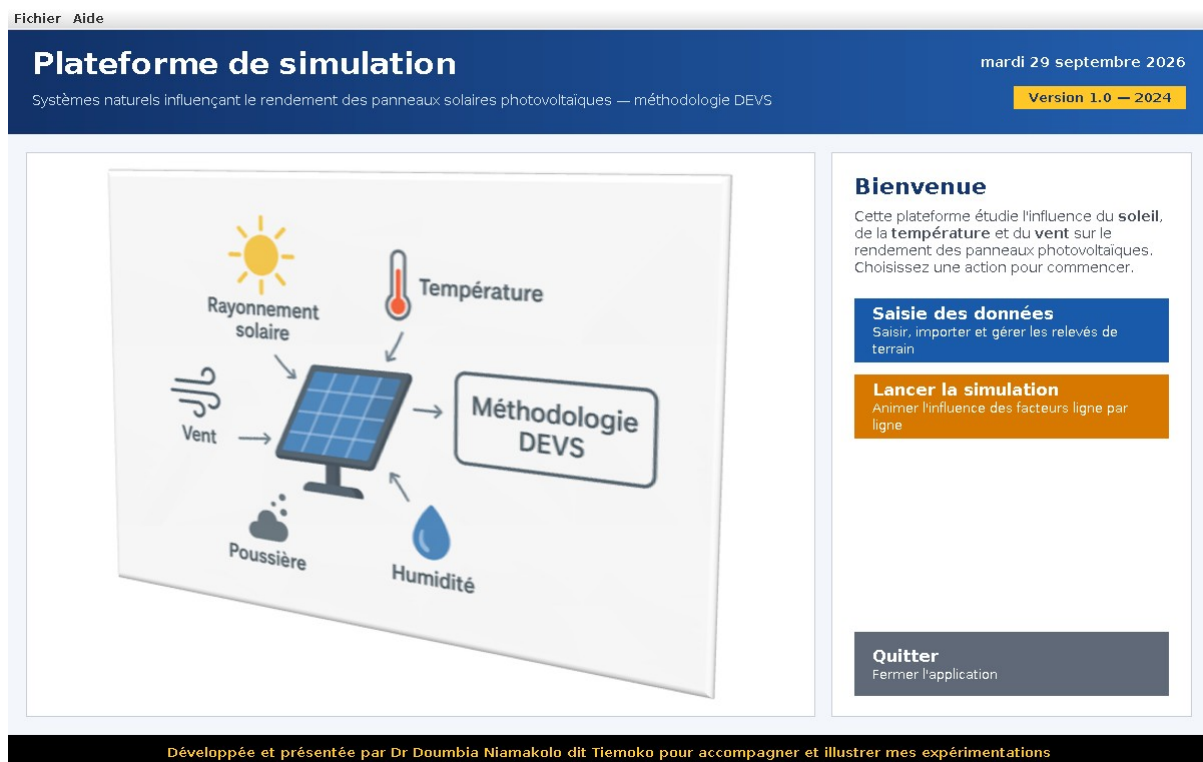


Figure 2 — Fenêtre d'accueil (version 1.0)

Fenêtre de la météo

Cette fenêtre permet d'agir sur la sélection aléatoire des états des systèmes, en fixant les plages de valeurs du soleil (W/m^2), de la température ($^{\circ}C$) et du vent (m/s).

Saisie des valeurs de ...

Soleil

Température

Vent



Développée et présentée par Dr Doumbia Niamakolo dit Tiemoko pour accompagner et illustrer mes expérimentations

Valider

Envoyer

Fermer

Figure 3 — Saisie des plages de valeurs de la météo

Fenêtre de saisie des données

Saisie des relevés d'enquête

Soleil · Température · Vent — relevés de terrain pour la simulation du rendement des panneaux photovoltaïques

29/09/2026 17:29:30

N° de à Dates du au Rechercher

Saisie d'un relevé

Numéro

Date

Soleil (W/m^2)

Température ($^{\circ}C$)

Vent (m/s)

Actions sur le tableau

Ajouter Mettre à jour

Supprimer Annuler

Initialiser Balayer table

Base de données

Enregistrer BD Charger

Importer CSV Actualiser

Réindexer la BD Vider BD

Relevés

Date	Numero	Soleil	Température	Vent
01-01-23 au 30-...	1	400	34	10
01-01-23 au 30-...	2	400	34	10
01-01-23 au 30-...	3	400	29	8
01-01-23 au 30-...	4	399	36	9
01-01-23 au 30-...	5	399	36	9
01-01-23 au 30-...	6	450	30	8
01-01-23 au 30-...	7	400	30	8
01-01-23 au 30-...	8	400	34	10
01-01-23 au 30-...	9	400	34	13
01-01-23 au 30-...	10	550	30	8
01-01-23 au 30-...	11	400	34	13
01-01-23 au 30-...	12	399	36	9
01-01-23 au 30-...	13	350	25	10
01-01-23 au 30-...	14	380	9	2
01-01-23 au 30-...	15	811	34	14
01-01-23 au 30-...	16	801	33	9
01-01-23 au 30-...	17	801	31	9

Nombre de lignes : 2160

Seuils de référence

	Vert min	Vert max	Jaune max
Soleil (W/m^2)	400	800	1000
Température ($^{\circ}C$)	10	30	45
Vent (m/s)	3	8	15

Analyse et commentaires

50 % Favorables (1080) 30 % Moins favorables (657) 20 % Défavorables (423)

Position de chaque facteur par rapport aux seuils

Soleil 19 % 78 % 19 %

Température 81 % 19 %

Vent 60 % 39 %

Relevé n° 4 — Défavorable

Soleil 399 W/m^2 (trop faible) · Température 36 $^{\circ}C$ (zone jaune) · Vent 9 m/s (zone jaune)

Facteur le plus contraignant : soleil. Cellule $\approx 41^{\circ}C$: puissance estimée 37 % ($\approx 150 W$ pour 400 W/m^2).

Commentaires sur l'ensemble des 2160 relevés

■ Soleil : irradiance moyenne de 601 W/m^2 (de 300 à 1000). 77,9 % des relevés sont dans la zone optimale (400 à 800 W/m^2), 2,6 % en zone jaune et 19,4 % sous 400 W/m^2 . L'ensoleillement est globalement favorable à la production.

■ Température : moyenne de 29,3 $^{\circ}C$ (de 9 à 46 $^{\circ}C$). 18,8 % des relevés dépassent 30 $^{\circ}C$ et 0,5 % sont sous 10 $^{\circ}C$. La température reste le plus souvent dans une plage favorable au rendement.

■ Vent : vitesse moyenne de 8,6 m/s . 60,0 % des relevés sont dans la zone optimale (3 à 8 m/s), 38,8 % en vent soutenu et 1,2 % en vent trop faible. 0,0 % des relevés dépassent 15 m/s : contrôler les fixations et les structures.

Simulation et impression

Envoyer à la simulation

Lancer la simulation

Imprimer les statistiques

Fermer

Développée et présentée par Dr Doumbia Niamakolo dit Tiemoko pour accompagner et illustrer mes expérimentations

Figure 4 — Saisie des relevés d'enquête, avec analyse et commentaires automatiques

Plusieurs possibilités sont offertes à ce niveau :

1. Saisir les données des relevés pour les stocker dans la base de données ou les envoyer directement au simulateur.
2. Importer des fichiers CSV pour les stocker ou les envoyer directement au simulateur.
3. Recevoir les données du simulateur en vue de les retraiter ou de les stocker dans la base.
4. Modifier les données reçues selon le besoin de l'utilisateur.
5. Afficher ou imprimer en PDF les données stockées ou envoyées par le simulateur.

6. Paramétrer les seuils de référence des facteurs (vert min, vert max, jaune max) selon le besoin de l'utilisateur.
7. Afficher ou imprimer les statistiques des données reçues ou introduites dans la base : la page de statistiques est imprimée en premier, suivie des relevés de terrain.
8. Trier la table des données par colonnes afin de les envoyer au simulateur.
9. Stocker les données par paquet.
10. Charger toutes les données de la base dans la table afin de les traiter.
11. Rechercher les données par intervalles de numéros ou par dates.
12. **Analyser automatiquement les relevés (nouveau)** : part des relevés favorables, moins favorables et défavorables, position de chaque facteur par rapport aux seuils, commentaires par facteur, bilan, recommandations et commentaire détaillé de la ligne sélectionnée.

NB : SQLite est utilisée comme base de données. C'est une base de données SQL (Structured Query Language) qui ne nécessite pas de serveur séparé : elle stocke les données dans un fichier unique sur le disque, ce qui la rend très simple à utiliser et portable.

Simulateur

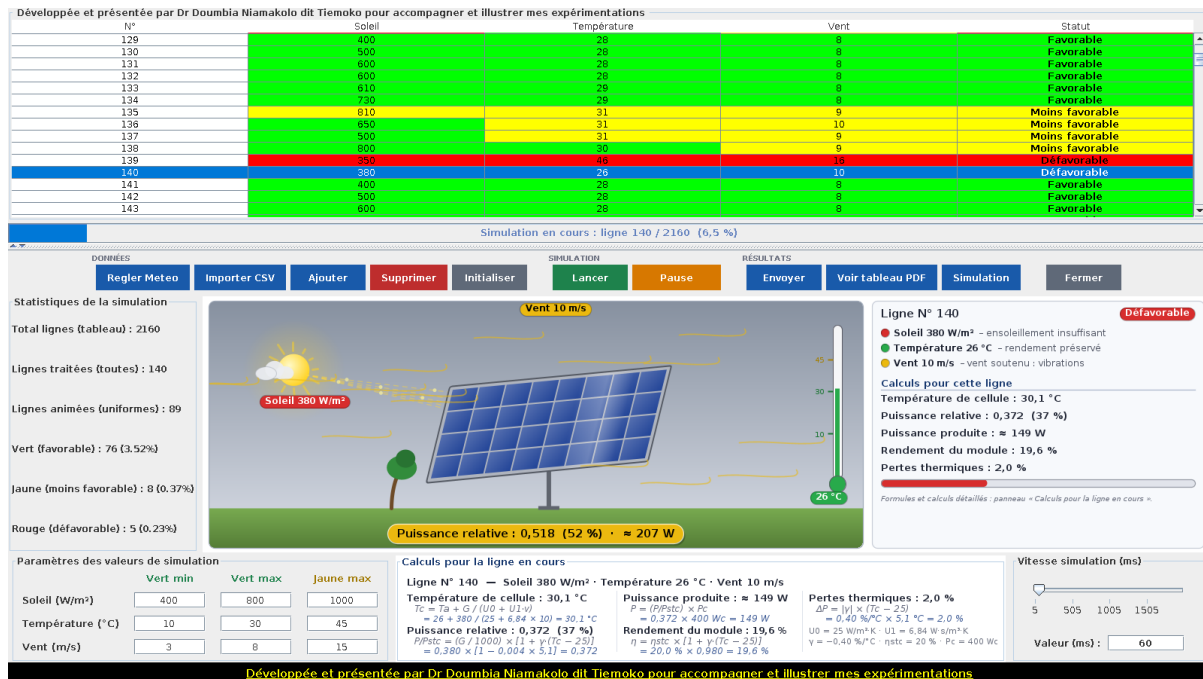


Figure 5 — Fenêtre de simulation pendant le parcours des lignes

Fenêtre de simulation

À ce niveau, il y a plusieurs possibilités :

1. Agir sur la fréquence aléatoire de sélection des états (bouton Régler Météo).
2. Paramétrer les facteurs naturels à l'aide des seuils de référence : chaque valeur est colorée en vert (favorable), jaune (moins favorable) ou rouge (défavorable).
3. Réceptionner les données CSV et celles du formulaire pour la simulation, ajouter ou supprimer des lignes.
4. Lancer la simulation, la mettre en pause, la reprendre et régler sa vitesse (en millisecondes par ligne).
5. Suivre la progression : la ligne en cours reste toujours visible dans le tableau (ligne bleue), une barre de progression indique la ligne et le pourcentage, et la fin de la simulation est signalée.
6. Lire le statut de chaque ligne (Favorable, Moins favorable, Défavorable), déterminé par le facteur le plus contraignant.
7. Observer le panneau solaire animé, qui réagit ligne par ligne au soleil, à la température et au vent, avec la puissance relative et la puissance produite.
8. Consulter les formules et les calculs de la ligne en cours (température de cellule, puissance relative, puissance produite, rendement, pertes thermiques).
9. Visualiser les statistiques de la simulation.
10. Envoyer les données de simulation, en passant par le tableau d'affichage, à la base de données en vue de les stocker.
11. Imprimer les lignes du tableau de simulation, le rapport statistique et les résultats de la simulation.

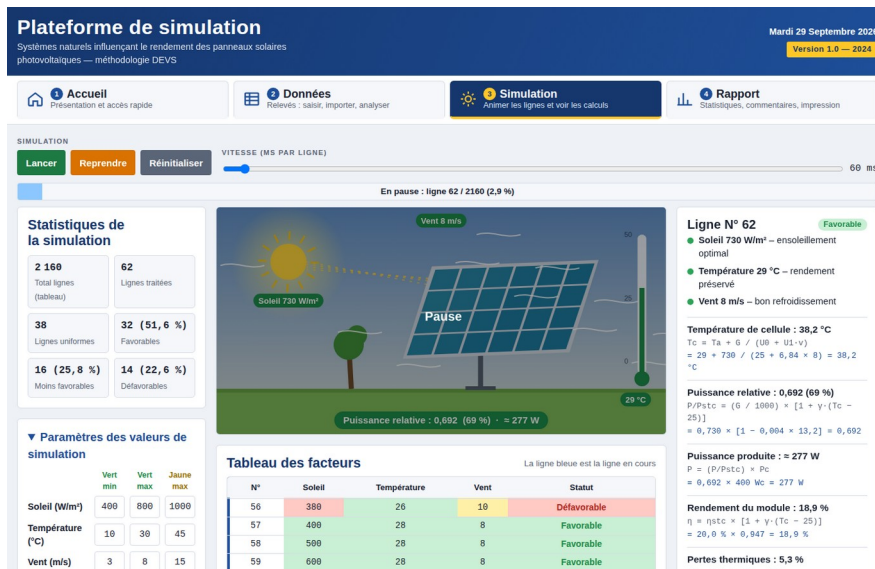
Formules de calcul utilisées

Grandeur	Formule	Paramètres
Température de cellule	$T_c = T_a + G / (U_0 + U_1 \cdot v)$	Modèle de Faiman : $U_0 = 25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $U_1 = 6,84 \text{ W} \cdot \text{s/m}^3 \cdot \text{K}$
Puissance relative	$P/P_{stc} = (G/1000) \times [1 + \gamma \cdot (T_c - 25)]$	$\gamma = -0,40 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ (silicium cristallin)
Puissance produite	$P = (P/P_{stc}) \times P_c$	$P_c = 400 \text{ Wc}$ (panneau de référence)
Rendement du module	$\eta = \eta_{stc} \times [1 + \gamma \cdot (T_c - 25)]$	$\eta_{stc} = 20 \text{ \%}$
Pertes thermiques	$\Delta P = \gamma \times (T_c - 25)$	en % de la puissance

Seuils de référence par défaut : soleil 400 à 800 W/m² (jaune jusqu'à 1000), température 10 à 30 °C (jaune jusqu'à 45), vent 3 à 8 m/s (jaune jusqu'à 15).

Application web et mobile

La plateforme existe aussi en version web, utilisable sur ordinateur, tablette et téléphone (Android, iPhone), sans installation. Elle reprend les mêmes règles de calcul et offre quatre espaces : Accueil, Données (saisie, import CSV, analyse), Simulation (panneau animé, calculs, statistiques, seuils) et Rapport (synthèse, commentaires, impression).



Résultats obtenus

À l'issue du développement de la plateforme, on a obtenu :

1. **Une application fonctionnelle et complète**, développée en Java, basée sur le formalisme DEVS, capable de modéliser et de simuler le comportement d'un système photovoltaïque sous différents scénarios climatiques, et disponible sur Windows, macOS, Linux ainsi qu'en version web et mobile.
2. **Une interface utilisateur intuitive**, permettant de saisir ou importer des données climatiques (ensoleillement, température, vent, etc.), de visualiser les simulations sous forme de tableaux, d'animations, de graphes et de statistiques de performance, et de comparer différents sites.
3. **Des résultats de simulation exploitables**, montrant clairement les variations du rendement énergétique selon les paramètres naturels et les relations entre les conditions environnementales et la performance des panneaux.

4. **Un outil de référence scientifique et pédagogique**, pouvant servir à la recherche (modélisation, validation des modèles des systèmes naturels), à la formation (expérimentation et visualisation du comportement des systèmes solaires) et à la prise de décision dans les projets d'installation photovoltaïque.

Résultats de la simulation des relevés (01-01-2023 au 30-06-2023)

Indicateur	Valeur
Relevés simulés	2160
Favorables (3 facteurs verts)	1080 (50,0 %)
Moins favorables (au pire jaune)	657 (30,4 %)
Défavorables (au moins un rouge)	423 (19,6 %)
Puissance relative moyenne (P/P _{stc})	0,571 (≈ 228 W pour 400 W _c)
Température de cellule moyenne / pertes thermiques	36,6 °C / 4,6 %
Facteur le plus pénalisant	Soleil (99,3 % des lignes défavorables)

Valorisation scientifique

- **Article** : « Contribution of Combinational Logic to the Autonomous Behavior of DEVS Systems: Application to Photovoltaic Solar Panels », International Journal of Electrical Engineering and Ethics (IJEET), ISSN 2456-9771, volume 8, numéro 6, 2025 (réf. IJEET-V8I6P5).
- **MSAS 2026** : « Intégration de la logique combinatoire dans les systèmes DEVS pour le comportement autonome des panneaux photovoltaïques », 15e Symposium Malien sur les Sciences Appliquées, Bamako, 2 au 7 août 2026 — article publié (papier n° 11).
- **IEC-2026** : « Contribution à l'installation d'une mini-centrale hybride solaire à Kabala en Commune V (Bamako, Mali) : simulation multi-facteurs à l'aide d'une plateforme DEVS-JAVA », 6e Instant de l'Enseignant-Chercheur, Université de Ségou, 25 avril 2026.

Conclusion

La mise en place d'une plateforme de simulation DEVS/Java pour l'étude et l'optimisation des systèmes photovoltaïques constitue une approche novatrice et scientifique permettant de mieux comprendre le comportement de ces systèmes sous diverses conditions environnementales.

Grâce à la modélisation par événements discrets (DEVS), le système est décrit de manière hiérarchique et modulaire, facilitant ainsi la compréhension, la simulation et l'évolution du modèle. Cette approche offre une grande flexibilité pour intégrer de nouveaux paramètres ou étendre la simulation à d'autres sources d'énergie renouvelable.

L'outil développé vise non seulement à fournir des résultats de simulation fiables, mais aussi à servir d'appui à la décision dans le choix des sites d'installation et dans la prévision du rendement énergétique. De plus, la plateforme se veut interactive et pédagogique, offrant une interface intuitive adaptée aux besoins des chercheurs, ingénieurs et étudiants.

En somme, ce travail contribue à la valorisation de l'énergie solaire par l'apport d'un outil numérique complet, combinant modélisation, simulation et visualisation, dans la perspective d'une meilleure exploitation du potentiel photovoltaïque.

Développée et présentée par Dr Doumbia Niamakolo dit Tiemoko pour accompagner et illustrer mes expérimentations