



DYNAMIQUE TEMPORELLE, EFFET CUMULE ET MODELISATION DES REPONSES BIOLOGIQUES INDUITES PAR LES EXTRAITS DE *DESMODIUM UNCINATUM*

¹ RANAIVOSON Miharimbola Fiononamalala, ² RAZAFIARISERA Ralay Tiana, ³ RAKOTOSON Tolontsoa, ⁴ TOVONIRINA Mamiharizo Jackie

- 1- UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
- 2- ESPA - UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
- 3- UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
- 4- UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

RESUME : La présente étude analyse la dynamique temporelle, l'effet cumulé et la modélisation des réponses biologiques induites par les extraits de *Desmodium uncinatum* collectés dans le District d'Arivonimamo de la région d'Itasy sur une période de huit semaines. Les profils temporels montrent que l'extrait aqueux à chaud (EAC) maintient des valeurs élevées de 1,17 aux semaines S1 à S3, puis se stabilise autour de 0,93–0,94 avant d'atteindre 0,88 en S8. L'extrait aqueux à froid (EAF) passe de 1,15 en S1 et S3 à 0,49 en S8. Les extraits méthanolique (EM) et hexanique (EH) diminuent respectivement de 0,30 à 0,12 et de 0,30 à 0,09 entre S1 et S8, tandis que le témoin reste compris entre 0,24 et 0,35. L'effet cumulé (AUC) est maximal pour EAC (8,07) et EAF (7,17), représentant respectivement 339 % et 301 % du témoin (2,38). La modélisation indique une constante exponentielle k de 0,196 pour EH ($t_{1/2} = 3,54$ semaines) et de 0,127 pour EM ($t_{1/2} = 5,45$ semaines). Ces résultats confirment une différenciation marquée des dynamiques biologiques selon la nature des extraits.

Mots-clés : *Desmodium uncinatum* ; dynamique temporelle ; région d'Itasy ; aire sous la courbe ; modélisation exponentielle ; analyse statistique

ABSTRACT: This study analyzes the temporal dynamics, cumulative effect, and modeling of biological responses induced by extracts of *Desmodium uncinatum* collected in the District of Arivonimamo (Itasy region) over an eight-week period. The temporal profiles show that the hot aqueous extract (HAE) maintained high values of 1.17 from weeks W1 to W3, then stabilized around 0.93–0.94 before reaching 0.88 at W8. The cold aqueous extract (CAE) decreased from 1.15 at W1 and W3 to 0.49 at W8. The methanolic (ME) and hexane (HE) extracts declined from 0.30 to 0.12 and from 0.30 to 0.09, respectively, between W1 and W8, while the control remained between 0.24 and 0.35. The cumulative effect (AUC) was highest for HAE (8.07) and CAE (7.17), representing 339% and 301% of the control (2.38), respectively. Modeling indicated an exponential constant k of 0.196 for HE ($t_{1/2} = 3.54$ weeks) and 0.127 for ME ($t_{1/2} = 5.45$ weeks). These results confirm a marked differentiation in biological dynamics depending on the nature of the extracts.

Keywords: *Desmodium uncinatum*; temporal dynamics; Itasy region; area under the curve; exponential modeling; statistical analysis.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.19910091>

1 Introduction

L'étude des réponses biologiques induites par les extraits végétaux constitue un axe majeur dans la valorisation des ressources phytogénétiques et le développement de solutions alternatives aux intrants chimiques de synthèse. Les métabolites secondaires produits par les plantes jouent un rôle central dans les interactions écologiques, notamment dans les mécanismes de défense contre les herbivores et les agents pathogènes [1]. Parmi ces composés, les terpènes, flavonoïdes et composés phénoliques sont reconnus pour leurs propriétés bioactives et leur contribution aux effets répulsifs ou toxiques observés chez de nombreuses espèces végétales [2]. Le genre *Desmodium* (Fabaceae) occupe une place particulière dans les systèmes agroécologiques tropicaux en raison de son rôle dans la lutte biologique intégrée et la gestion durable des ravageurs [3]. *Desmodium uncinatum* est notamment associé à la production de composés volatils tels que le β -ocimène et le (E)-4,8-diméthyl-1,3,7-nonatriène, impliqués dans des mécanismes de répulsion et d'interférence comportementale chez certains insectes phytophages [4]. Toutefois, au-delà de l'identification qualitative des métabolites, l'analyse de la dynamique temporelle des réponses biologiques constitue un outil essentiel pour comprendre la persistance et l'intensité des effets induits [5]. Madagascar, reconnu pour son exceptionnelle biodiversité, offre des conditions écologiques variées susceptibles d'influencer la biosynthèse des métabolites secondaires [6]. Le District d'Arivonimamo dans la région d'Itasy représente un environnement agroécologique spécifique caractérisé par des variations édaphiques et climatiques pouvant moduler la composition chimique des espèces locales. Dans ce contexte, l'évaluation intégrée de la dynamique temporelle, de l'effet cumulé et de la modélisation mathématique des réponses biologiques apparaît pertinente pour mieux comprendre le potentiel bioactif de *Desmodium uncinatum* collecté dans cette zone. L'application conjointe d'indicateurs synthétiques tels que l'aire sous la courbe (AUC) et de modèles cinétiques exponentiels ou linéaires permet d'interpréter finement l'évolution des réponses biologiques et d'identifier les mécanismes sous-jacents [7]. Ainsi, la présente étude vise à analyser la dynamique temporelle et l'effet cumulé des extraits de *Desmodium uncinatum* provenant du District d'Arivonimamo dans la région d'Itasy, en s'appuyant sur une approche de modélisation statistique rigoureuse.

2 Matériels et méthodes

2.1 Matériels

L'étude a été réalisée à partir de 250 échantillons de *Desmodium uncinatum* collectés dans quatre localités distinctes du district d'Arivonimamo, dans la région d'Itasy. Les parties aériennes des plantes ont été soigneusement récoltées, nettoyées puis séchées à température ambiante dans un environnement ventilé et protégé de la lumière afin de préserver leurs constituants bioactifs. Une fois le séchage complet, les échantillons ont été finement broyés en vue des étapes d'extraction. Les procédés d'extraction ont été effectués par macération en utilisant des solvants de polarité différenciée, incluant un solvant organique non polaire, un solvant organique polaire ainsi que de l'eau distillée. Les extraits obtenus ont ensuite été filtrés, concentrés sous pression réduite et conservés à température contrôlée jusqu'à leur utilisation dans les analyses biologiques et cinétiques. L'ensemble des expérimentations a été conduit au laboratoire de Biochimie Fondamentale et Appliquée de l'Université d'Antananarivo.

2.2 Méthodes

La stratégie d'échantillonnage adoptée reposait sur un plan stratifié spatial visant à garantir une représentativité écologique tout en réduisant les biais liés aux corrélations spatiales et aux effets d'agrégation susceptibles d'influencer les analyses statistiques ultérieures [8]. Les sites de collecte ont été sélectionnés en tenant compte des variations d'altitude, du type de sol et des pratiques culturales, assurant ainsi une diversité environnementale pertinente. Les prélèvements ont été réalisés selon une approche d'échantillonnage aléatoire systématique, permettant d'obtenir une distribution équilibrée des échantillons et de limiter les biais potentiels lors du traitement des données. Les réponses biologiques ont été mesurées de manière hebdomadaire sur une période de huit semaines. Les données collectées ont été organisées sous forme de matrices temporelles, facilitant le calcul des moyennes, des intervalles de confiance à 95 %, de l'aire sous la courbe (AUC) ainsi que des paramètres cinétiques associés. L'estimation de l'AUC a été réalisée par intégration numérique selon la méthode des trapèzes, une approche largement utilisée pour quantifier les effets cumulés dans les études biologiques longitudinales [9]. Le traitement des données a été effectué à l'aide du langage Python au sein de

l'environnement Jupyter Notebook, garantissant la traçabilité et la reproductibilité des analyses [10]. Les bibliothèques NumPy et Pandas ont été mobilisées pour la structuration et la manipulation des matrices de données [11], tandis que SciPy a été utilisée pour l'ajustement non linéaire des modèles exponentiels et l'estimation des intervalles de confiance des paramètres [12]. Les représentations graphiques et la visualisation des dynamiques temporelles ont été réalisées à l'aide des bibliothèques Matplotlib et Seaborn, permettant une interprétation statistique rigoureuse des tendances observées [13]. Enfin, la comparaison des modèles a été effectuée à l'aide du critère d'information d'Akaike afin d'identifier le modèle présentant le meilleur compromis entre qualité d'ajustement et parcimonie. Cette démarche méthodologique intégrée a été mise en œuvre dans le but d'assurer la robustesse analytique, la validité statistique et la reproductibilité des résultats relatifs à la dynamique temporelle et à la modélisation des réponses biologiques induites par les extraits de *Desmodium uncinatum*.

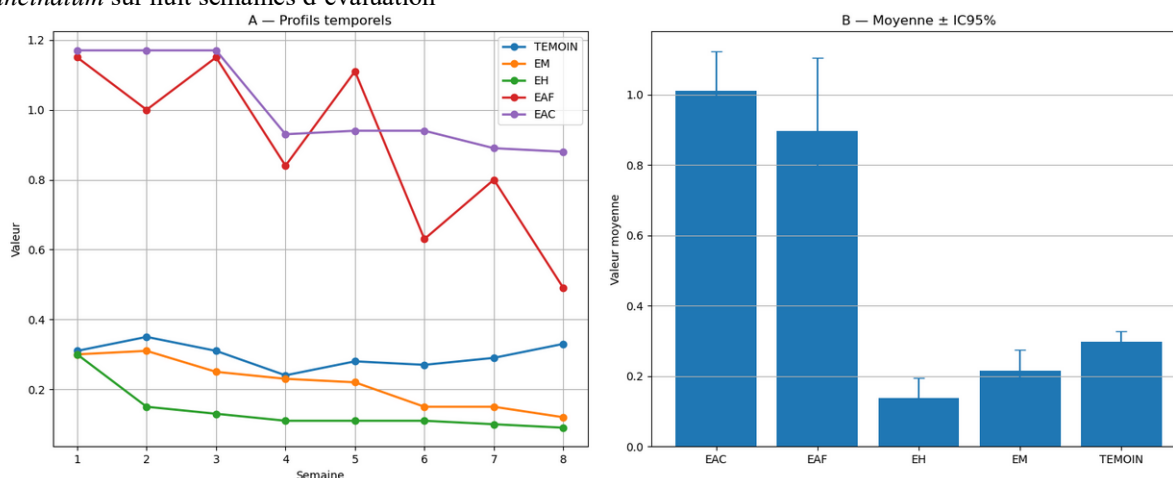
3 Résultats et discussions

3.1 Résultats

3.1.1 Dynamique temporelle et comparaison des valeurs moyennes (\pm IC95 %) des extraits de *Desmodium uncinatum* sur huit semaines d'évaluation

La figure ci-dessous illustre l'évolution temporelle des valeurs mesurées pour les différents extraits de *Desmodium uncinatum* sur une période de huit semaines, ainsi que la comparaison de leurs moyennes globales accompagnées des intervalles de confiance à 95 %. Le graphique des profils temporels permet d'apprécier la dynamique d'évolution hebdomadaire, tandis que l'histogramme synthétise les performances moyennes relatives de chaque traitement.

Figure 1: Dynamique temporelle et comparaison des valeurs moyennes (\pm IC95 %) des extraits de *Desmodium uncinatum* sur huit semaines d'évaluation



Source : Auteur 2026

Interprétation

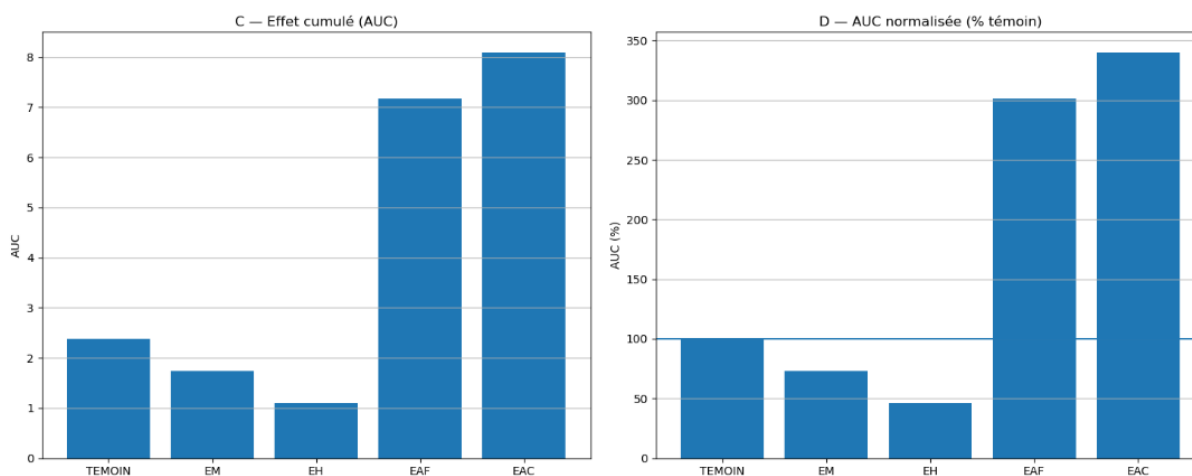
L'analyse des données révèle que certaines universités, notamment Antsiranana, affichent des performances. L'analyse des profils temporels met en évidence des comportements distincts selon les extraits. L'extrait aqueux à chaud (EAC) présente les valeurs les plus élevées et relativement stables, débutant à 1,17 en semaine 1, maintenant 1,17 jusqu'en semaine 3, puis se stabilisant autour de 0,93–0,94 entre les semaines 4 et 6 avant d'atteindre 0,88 en semaine 8. L'extrait aqueux à froid (EAF) montre également des valeurs initiales élevées de 1,15 en semaines 1 et 3, suivies d'une diminution progressive jusqu'à 0,49 en semaine 8. À l'inverse, l'extrait hexanique (EH) présente une décroissance rapide, passant de 0,30 en semaine 1 à 0,09 en semaine 8, traduisant une diminution marquée au cours du temps. L'extrait méthanolique (EM) évolue de 0,30 à 0,12 entre les semaines 1 et 8, indiquant une baisse modérée mais régulière. Le témoin reste relativement stable, oscillant entre 0,24 et 0,35 sur l'ensemble de la période. L'analyse des moyennes globales confirme ces tendances. L'extrait EAC présente la moyenne la plus élevée, proche de 1,01, suivi de EAF avec environ 0,90. Les extraits EM et EH affichent respectivement des moyennes d'environ 0,21 et 0,14, tandis que le témoin se situe autour de 0,29. Les intervalles de confiance à 95 % indiquent une variabilité plus importante pour EAC et EAF, traduisant des fluctuations temporelles plus marquées, alors que EH présente une dispersion plus faible en fin de période. Ces

résultats suggèrent une différence significative de comportement dynamique entre les fractions d'extraction. Les extraits aqueux, en particulier EAC, conservent des valeurs élevées sur la durée, ce qui peut refléter la présence de composés actifs plus stables ou plus persistants. En revanche, la décroissance rapide observée pour EH et EM pourrait indiquer une activité initiale suivie d'une diminution progressive, possiblement liée à la nature chimique des métabolites extraits. L'ensemble de ces observations souligne l'influence déterminante du solvant d'extraction sur la dynamique temporelle et la performance moyenne des extraits de *Desmodium uncinatum*.

3.1.2 Comparaison de l'effet cumulé (AUC) et de l'AUC normalisée (% témoin) des extraits de *Desmodium uncinatum* sur la période expérimentale.

La figure ci-dessous présente l'effet cumulé des différents extraits de *Desmodium uncinatum* calculé sous forme d'aire sous la courbe (AUC) sur l'ensemble des huit semaines d'expérimentation, ainsi que la normalisation de ces valeurs en pourcentage par rapport au témoin. L'aire sous la courbe constitue un indicateur synthétique intégrant la dynamique temporelle globale et permettant une comparaison quantitative robuste entre traitements.

Figure 2: Comparaison de l'effet cumulé (AUC) et de l'AUC normalisée (% témoin) des extraits de *Desmodium uncinatum* sur la période expérimentale



Source : Auteur 2026

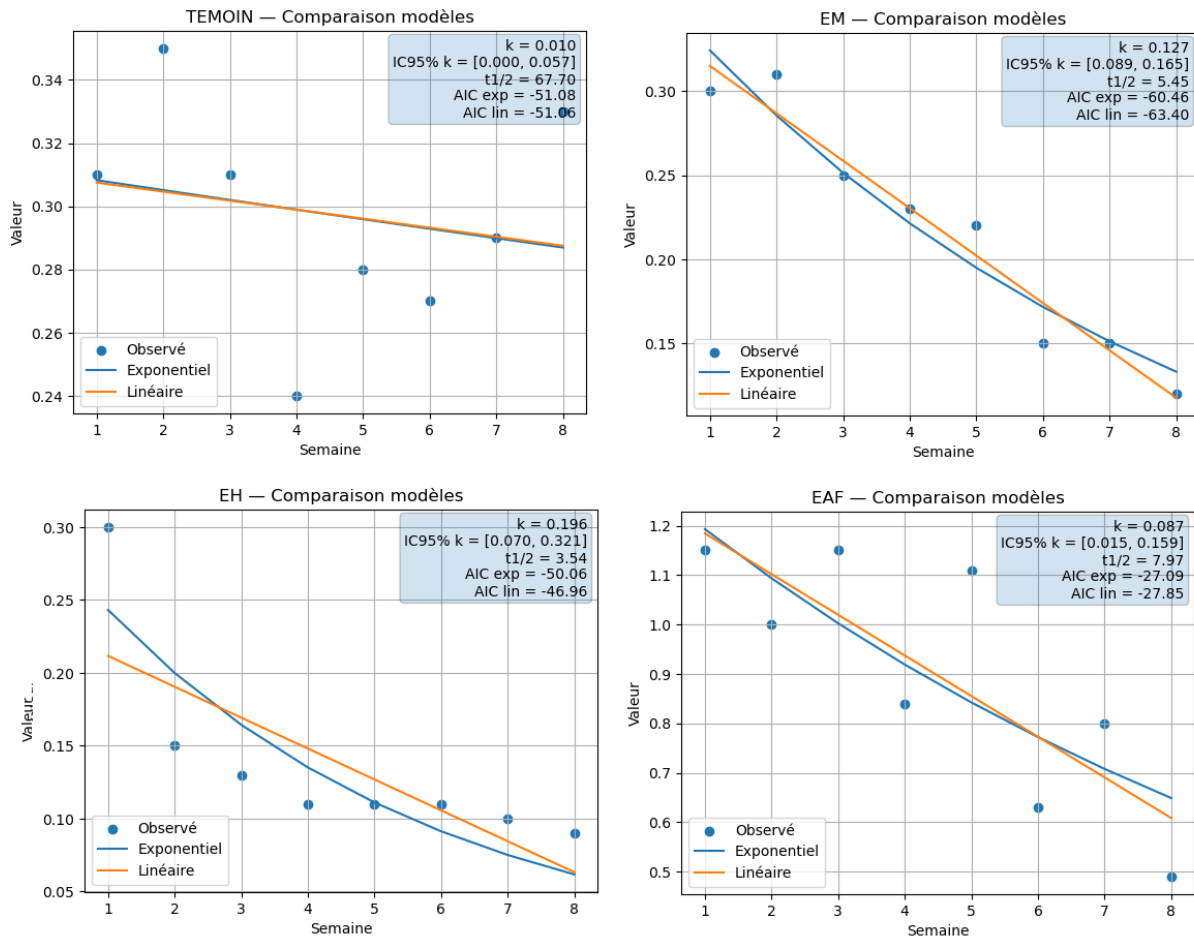
Interprétation

L'analyse des valeurs cumulées montre que l'extrait aqueux à chaud (EAC) présente l'AUC la plus élevée, avec une valeur d'environ 8,07, suivi de l'extrait aqueux à froid (EAF) avec 7,17. À l'opposé, l'extrait hexanique (EH) affiche la valeur cumulée la plus faible, proche de 1,10, tandis que l'extrait méthanolique (EM) présente une valeur intermédiaire d'environ 1,73. Le témoin se situe à 2,38. Cette hiérarchisation indique une différence marquée entre les fractions aqueuses et les extraits organiques. La normalisation des AUC par rapport au témoin met davantage en évidence ces écarts relatifs. L'extrait EAC atteint environ 339 % du témoin, tandis que EAF représente près de 301 %. En revanche, EM correspond à environ 73 % du témoin et EH à 46 %, indiquant des valeurs cumulées nettement inférieures à la référence expérimentale. Cette différenciation souligne une performance globale plus marquée des fractions aqueuses sur la durée de l'étude. Ces résultats confirment que la polarité du solvant d'extraction influence fortement l'intensité et la persistance de l'effet mesuré. Les extraits aqueux, en particulier EAC, présentent une contribution cumulative nettement supérieure, suggérant la présence de composés bioactifs stables ou synergiques. À l'inverse, les fractions hexanique et méthanolique montrent un effet cumulé plus limité, traduisant soit une moindre concentration en composés actifs, soit une dynamique temporelle plus courte. L'approche par AUC permet ainsi d'intégrer la dimension temporelle dans l'évaluation comparative des extraits de *Desmodium uncinatum* et renforce l'interprétation globale des différences observées entre traitements.

3.1.3 Comparaison des modèles exponentiel et linéaire appliqués à la dynamique temporelle des extraits de *Desmodium uncinatum*

La figure ci-après illustre présente l'ajustement comparatif des modèles exponentiel et linéaire aux données temporelles obtenues pour le témoin et les extraits EM, EH et EAF sur une période de huit semaines. Les paramètres cinétiques estimés, incluant la constante de décroissance k , son intervalle de confiance à 95 %, la demi-vie théorique ($t_{1/2}$) ainsi que les critères d'information d'Akaike (AIC), permettent d'évaluer la pertinence relative des modèles et d'interpréter la dynamique d'évolution observée.

Figure 3: Comparaison des modèles exponentiel et linéaire appliqués à la dynamique temporelle des extraits de *Desmodium uncinatum*



Source : Auteur 2026

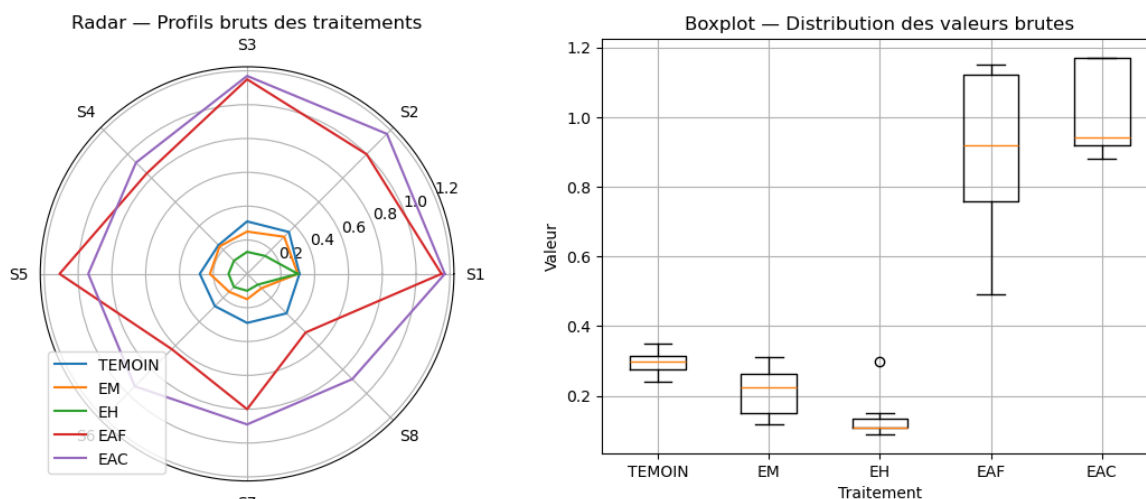
Interprétation

Pour le témoin, la constante k estimée à 0,010 avec un intervalle de confiance compris entre 0,000 et 0,057 indique une décroissance très faible, ce qui se traduit par une demi-vie théorique élevée de 67,70 semaines. Les valeurs d'AIC pour les modèles exponentiel (-51,08) et linéaire (-51,06) sont pratiquement équivalentes, suggérant l'absence d'une dynamique marquée et confirmant la relative stabilité des valeurs observées. L'extrait méthanolique (EM) présente une constante k de 0,127 avec un intervalle de confiance de [0,089 ; 0,165] et une demi-vie de 5,45 semaines. La comparaison des AIC montre une valeur plus faible pour le modèle linéaire (-63,40) que pour le modèle exponentiel (-60,46), indiquant que la décroissance observée suit davantage une tendance linéaire qu'exponentielle. L'extrait hexanique (EH) affiche la constante de décroissance la plus élevée, $k = 0,196$, avec un intervalle de confiance de [0,070 ; 0,321], correspondant à une demi-vie de 3,54 semaines. Le modèle exponentiel présente un AIC plus faible (-50,06) que le modèle linéaire (-46,96), ce qui confirme une dynamique de type exponentiel caractérisée par une diminution rapide en début de période suivie d'un ralentissement progressif. L'extrait aqueux à froid (EAF) présente une constante k de 0,087 avec un intervalle de confiance de [0,015 ; 0,159] et une demi-vie estimée à 7,97 semaines. Les valeurs d'AIC sont proches (-27,09 pour l'exponentiel et -27,85 pour le linéaire), indiquant une dynamique intermédiaire pouvant être décrite par les deux modèles, avec une légère préférence pour l'ajustement linéaire. Dans l'ensemble, ces résultats montrent que la nature de la décroissance temporelle dépend du type d'extrait et donc probablement de la composition chimique des fractions étudiées. L'extrait hexanique présente une cinétique rapide compatible avec un mécanisme de décroissance exponentielle, tandis que l'extrait méthanolique et, dans une moindre mesure, l'extrait aqueux à froid, suivent davantage une tendance linéaire. Cette différenciation cinétique souligne l'importance de l'approche modélisatrice dans l'interprétation des dynamiques biologiques associées aux extraits de *Desmodium uncinatum* et met en évidence la diversité des mécanismes d'action potentiels selon la nature chimique des fractions.

3.1.4 Représentation radiale des profils hebdomadaires et distribution statistique des valeurs brutes des extraits de *Desmodium uncinatum*

La figure suivante illustre la variabilité des valeurs mesurées pour les différents extraits de *Desmodium uncinatum* à travers une représentation radar des profils hebdomadaires et un diagramme en boîte résumant la distribution statistique des données brutes sur l'ensemble de la période expérimentale. La représentation radiale permet de visualiser simultanément l'intensité relative des valeurs enregistrées entre les semaines S1 et S8, tandis que le boxplot met en évidence la dispersion, la médiane et l'étendue des données pour chaque traitement.

Figure 4: Représentation radiale des profils hebdomadaires et distribution statistique des valeurs brutes des extraits de *Desmodium uncinatum*



Source : Auteur 2026

Interprétation

L'analyse radar met en évidence une amélioration globale des taux de réussite entre 2016 et 2020 dans la majorité. Le profil radar montre que l'extrait aqueux à chaud (EAC) présente les valeurs les plus élevées et les plus homogènes sur l'ensemble des semaines, avec des valeurs initiales de 1,17 aux semaines S1, S2 et S3, puis un maintien autour de 0,93–0,94 entre S4 et S6, avant d'atteindre 0,88 en S8. L'extrait aqueux à froid (EAF) affiche également des valeurs élevées en début de période, notamment 1,15 en S1 et S3, suivies d'une diminution progressive jusqu'à 0,49 en S8. En comparaison, l'extrait méthanolique (EM) varie entre 0,30 en S1 et 0,12 en S8, traduisant une tendance décroissante modérée, tandis que l'extrait hexanique (EH) présente les valeurs les plus faibles, diminuant de 0,30 en S1 à 0,09 en S8. Le témoin demeure relativement stable, oscillant entre 0,24 et 0,35. Le diagramme en boîte confirme ces observations en mettant en évidence des médianes nettement distinctes entre les traitements. L'extrait EAC présente une médiane proche de 0,94 avec une dispersion modérée, traduisant une relative stabilité des valeurs. L'extrait EAF affiche une médiane d'environ 0,92 mais avec une étendue plus large, reflétant la variabilité temporelle observée. Les extraits EM et EH montrent des médianes respectives proches de 0,21 et 0,11, tandis que le témoin présente une médiane d'environ 0,29. La dispersion plus faible observée pour EH indique une décroissance rapide suivie d'une stabilisation à des valeurs basses. Ces résultats confirment une hiérarchisation nette des extraits en termes d'intensité globale et de stabilité temporelle, les fractions aqueuses, en particulier EAC, se distinguant par des valeurs élevées et relativement constantes. La concordance entre la représentation radiale et la distribution statistique renforce l'interprétation selon laquelle la polarité du solvant d'extraction influence fortement la dynamique et l'amplitude des réponses mesurées chez *Desmodium uncinatum*.

3.2 Discussions

Les résultats obtenus mettent en évidence une différenciation marquée des réponses biologiques induites par les extraits de *Desmodium uncinatum*, tant sur le plan temporel que cumulatif. La dynamique observée montre que les extraits aqueux, en particulier l'extrait aqueux à chaud (EAC), maintiennent des valeurs élevées et relativement stables sur l'ensemble des huit semaines, avec des niveaux initiaux de 1,17 entre S1 et S3 et une stabilisation autour de 0,93–0,94 jusqu'à S6. Cette persistance suggère la présence de composés bioactifs stables,

susceptibles de maintenir une activité prolongée dans le temps. Les extraits organiques, notamment l'extrait hexanique (EH), présentent au contraire une décroissance rapide, passant de 0,30 en S1 à 0,09 en S8, traduisant une cinétique plus brève et possiblement liée à la volatilité ou à la dégradation plus rapide des métabolites lipophiles. Des comportements similaires ont été rapportés pour des extraits végétaux riches en terpènes, dont l'activité initiale intense est suivie d'une diminution progressive [14]. L'analyse de l'aire sous la courbe confirme cette hiérarchisation. L'extrait EAC atteint une AUC de 8,07, soit 339 % du témoin (2,38), tandis que l'extrait EAF atteint 7,17, correspondant à 301 % du témoin. Ces valeurs cumulées traduisent un effet global nettement supérieur pour les fractions aqueuses. L'utilisation de l'AUC comme indicateur synthétique est particulièrement pertinente dans les études longitudinales, car elle intègre à la fois l'intensité et la durée de la réponse biologique [15]. Les extraits EM et EH, avec des AUC respectives de 1,73 et 1,10, présentent des effets cumulés inférieurs au témoin, suggérant une dynamique moins soutenue sur la période étudiée. La modélisation cinétique renforce cette interprétation. La constante exponentielle k estimée à 0,196 pour EH, associée à une demi-vie de 3,54 semaines, confirme une décroissance rapide compatible avec un modèle exponentiel, comme l'indique également un AIC plus faible pour ce modèle. En revanche, l'extrait méthanolique, avec $k = 0,127$ et une demi-vie de 5,45 semaines, présente une dynamique mieux décrite par un modèle linéaire, suggérant un mécanisme d'évolution plus progressif. La comparaison des modèles par le critère d'information d'Akaike constitue une approche robuste pour sélectionner la structure mathématique la plus parcimonieuse décrivant les données biologiques [16]. Ces différences cinétiques pourraient refléter la diversité structurale des métabolites extraits. Les composés terpéniques volatils sont généralement associés à des effets rapides mais transitoires, tandis que certains composés phénoliques ou glycosylés peuvent induire des réponses plus prolongées [17]. Ainsi, la dynamique temporelle observée chez *Desmodium uncinatum* semble étroitement liée à la nature chimique des fractions étudiées. L'approche intégrée combinant analyse longitudinale, AUC et modélisation mathématique permet donc d'apporter une compréhension approfondie des mécanismes sous-jacents aux réponses biologiques induites par cette espèce.

4 Conclusion

La présente étude met en évidence une différenciation nette des dynamiques biologiques induites par les extraits de *Desmodium uncinatum* collecté dans le District d'Arivonimamo, région d'Itasy. L'analyse temporelle sur huit semaines révèle des comportements contrastés selon la nature du solvant d'extraction. Les extraits aqueux, en particulier l'extrait aqueux à chaud, présentent des valeurs élevées et relativement stables dans le temps, avec un effet cumulé maximal (AUC = 8,07), représentant 339 % du témoin. L'extrait aqueux à froid montre également un effet important (AUC = 7,17 ; 301 % du témoin), bien qu'accompagné d'une décroissance progressive en fin de période. À l'inverse, les extraits organiques affichent des dynamiques plus brèves, caractérisées par des constantes de décroissance plus élevées, notamment pour l'extrait hexanique ($k = 0,196$; $t_{1/2} = 3,54$ semaines), traduisant une diminution rapide de l'intensité de la réponse biologique. La comparaison des modèles exponentiel et linéaire confirme que la nature cinétique varie selon les fractions, reflétant probablement la diversité structurale des métabolites secondaires extraits. L'approche intégrée combinant analyse longitudinale, aire sous la courbe et modélisation mathématique constitue ainsi un outil robuste pour caractériser l'intensité, la persistance et la nature des réponses biologiques induites par *Desmodium uncinatum*. Ces résultats contribuent à une meilleure compréhension du potentiel bioactif de l'espèce et ouvrent des perspectives pour l'optimisation des conditions d'extraction et d'application.

REFERENCES

- [1] Wink, M. (2010) 'Functions and biotechnology of plant secondary metabolites', Annual Plant Reviews, 39, pp. 1–19.
- [2] Gershenzon, J. and Dudareva, N. (2007) 'The function of terpene natural products in the natural world', Nature Chemical Biology, 3, pp. 408–414.
- [3] Khan, Z.R. et al. (2000) 'Exploiting chemical ecology and species diversity: stem borer and striga control for maize and sorghum in Africa', Pest Management Science, 56, pp. 957–962.
- [4] Turlings, T.C.J., Tumlinson, J.H. and Lewis, W.J. (1990) 'Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps', Science, 250, pp. 1251–1253.
- [5] Motulsky, H. and Christopoulos, A. (2004) Fitting Models to Biological Data Using Linear and Nonlinear Regression. Oxford: Oxford University Press.

- [6] Ganzhorn, J.U. et al. (2001) 'The biodiversity of Madagascar: one of the world's hottest hotspots on its way out', *Oryx*, 35(4), pp. 346–348.
- [7] Burnham, K.P. and Anderson, D.R. (2002) *Model Selection and Multimodel Inference*. New York: Springer.
- [8] Thompson, S.K. (2012) *Sampling*. 3rd edn. New York: Wiley.
- [9] Motulsky, H. and Christopoulos, A. (2004) *Fitting Models to Biological Data Using Linear and Nonlinear Regression*. Oxford: Oxford University Press.
- [10] Kluyver, T. et al. (2016) 'Jupyter Notebooks – a publishing format for reproducible computational workflows', *Positioning and Power in Academic Publishing*, pp. 87–90.
- [11] McKinney, W. (2010) 'Data structures for statistical computing in Python', *Proceedings of the 9th Python in Science Conference*, pp. 51–56.
- [12] Virtanen, P. et al. (2020) 'SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python', *Nature Methods*, 17, pp. 261–272.
- [13] Hunter, J.D. (2007) 'Matplotlib: A 2D graphics environment', *Computing in Science & Engineering*, 9(3), pp. 90–95.
- [14] Isman, M.B. (2006) 'Botanical insecticides, deterrents, and repellents in modern agriculture and an increasingly regulated world', *Annual Review of Entomology*, 51, pp. 45–66.
- [15] Pruessner, J.C. et al. (2003) 'Two formulas for computation of the area under the curve represent measures of total hormone concentration versus time-dependent change', *Psychoneuroendocrinology*, 28, pp. 916–931.
- [16] Burnham, K.P. and Anderson, D.R. (2002) *Model Selection and Multimodel Inference*. New York: Springer.
- [17] Wink, M. (2010) 'Functions and biotechnology of plant secondary metabolites', *Annual Plant Reviews*, 39, pp. 1–19.