

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
LAIRINI Sanae	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	PES	Président
BAKKALI Mohammed	Faculté des Sciences et Techniques, Al Hoceima	PES	Rapporteur
EL GAIDOUMI Abdelali	Ecole Supérieure de Technologie, Khénifra	MCH	Rapporteur
MEJBAR Fatiha	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	MCH	Rapporteur
HARKI El Houssaine	Faculté des Sciences et Techniques, Fès	PES	Examineur
MIYAH Youssef	Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé, Fès	MC	Invité
BOUSLAMTI Rabia	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	PES	Co-directeur de thèse
ENNABILI abdeslam	Ecole Supérieure de Technologie, Fès	PES	Directeur de thèse



Résumé :

Contexte et objectif : L'introduction de *Pistia stratiotes* L. dans l'oued Al Jawahir (Fès) en 2012 illustre la menace croissante que représentent les espèces exotiques envahissantes pour les zones humides marocaines. L'objectif principal de cette thèse est d'étudier le comportement invasif de *P. stratiotes* dans l'oued Al Jawahir (Fès), d'évaluer l'efficacité de différentes méthodes de contrôle, et d'explorer le potentiel de valorisation de sa biomasse pour l'adsorption de colorants et ses propriétés antioxydantes et antibactériennes. **Méthodes :** Une prospection et un échantillonnage *in situ* pour des analyses biométriques et fonctionnelles de la plante, accompagnée d'une caractérisation physico-chimique de l'eau, ont été réalisés. Des tests expérimentaux *ex situ* ont été menés pour évaluer l'efficacité de trois méthodes de lutte ainsi que l'effet de la fragmentation sur le développement de la plante. Parallèlement, des extraits de *P. stratiotes* et de *Lemna minor* ont été étudiés pour leurs activités antibactériennes (CMI), antioxydantes (DPPH, CAT, ABTS). Enfin, le potentiel de la biomasse de *P. stratiotes* comme adsorbant a été exploré à travers des tests d'adsorption de colorants (Noir d'Eriochrome T et Cristal Violet). **Résultats :** Une forte corrélation a été observée entre la surface photosynthétique totale et le produit de la longueur par la largeur maximale de la feuille externe ($R^2 = 0.70$) de *P. stratiotes* ainsi qu'entre la biomasse totale et la taille de la plante ($R^2 = 0.71$), avec une production moyenne de matière sèche estimée à $67.54 \pm 26.35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Toutefois, les teneurs minérales totales relativement faibles en azote ($11.46 \pm 4.55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) et en phosphore ($0.83 \pm 0.33 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) classent cette espèce parmi les plantes aquatiques les moins productives des zones humides marocaines. Le chaulage s'est révélé le plus performant, entraînant une élimination complète de la plante (-100 %), suivi du drainage (-71.49 %) et de l'aération de surface (-44.5 %). En milieu eutrophe, la plante atteignait une hauteur moyenne de $19.9 \pm 8.97 \text{ cm}$, contre seulement $7.06 \pm 1.21 \text{ cm}$ et $6.32 \pm 2.41 \text{ cm}$ respectivement sous aération de surface et en cas de drainage. La fragmentation de la plante stimule de manière significative la croissance des rosettes mères et filles, favorisant ainsi une propagation végétative rapide. Par ailleurs, les extraits éthanoliques combinés de *P. stratiotes* et *L. minor* à parts égales (50/50) ont présenté les plus fortes concentrations en composés phénoliques totaux (34.91 mg Eq Ag/g) et en flavonoïdes (39.57 mg Eq Q/g), ainsi qu'une activité antioxydante optimale ($\text{CI}_{50} = 1.485 \text{ mg/mL}$; capacité antioxydante totale = $76.59 \text{ mg Eq AAs/g}$), mettant en évidence un effet synergique notable. D'un point de vue antimicrobien, les racines de *P. stratiotes* se sont révélées particulièrement actives contre *Bacillus subtilis* (CMI = 0.0195 mg/mL), tandis que le mélange 75/25 (*P. stratiotes*/ *L. minor*) s'est montré efficace contre *Pseudomonas aeruginosa* (CMI = 0.0391 mg/mL) et l'ensemble des extraits testés s'est révélé peu efficace contre *Escherichia coli*. Enfin, les feuilles de *P. stratiotes* ont permis d'éliminer jusqu'à 99.51 % du colorant cationique Cristal Violet, tandis que les racines ont atteint un taux de 98.90 %. Pour le colorant anionique noir d'Eriochrome T, les taux d'adsorption s'élèvent respectivement à 88.13 % pour les feuilles et 80.13 % pour les racines. Les analyses par SEM-EDX, FTIR et DRX ont révélé une surface poreuse enrichie en groupes fonctionnels actifs, confirmant des propriétés d'adsorption favorables. L'équilibre est atteint seulement en 40 min, et la capacité d'adsorption demeure élevée après plusieurs cycles d'utilisation. **Conclusion :** En termes de biomasse et d'accumulation d'azote et de phosphore, *P. stratiotes* n'a pas encore atteint ses performances idéales par rapport à son climat d'origine, offrant ainsi des opportunités pour des actions d'éradication efficaces. Sa gestion ouvre des voix importantes de valorisation de sa biomasse en tant que source d'antibactériens, antioxydants et de bioadsorbants.

Mots clés : Plantes invasives, Zones humides, Ecologie fonctionnelle, Activité antibactérienne, Activité antioxydante, Adsorption, *Lemna minor*, Maroc.

Behavior, control, and potential uses of *Pistia stratiotes* L., an invasive plant in the Al Jawahir River, Fez

Abstract :

Background and Objective: The introduction of *Pistia stratiotes* L. into wadi Al Jawahir (Fès) in 2012 illustrates the growing threat posed by invasive alien species to Moroccan wetlands. The main objective of this thesis is to study the invasive behavior of *P. stratiotes* in the Oued Al Jawahir (Fès), to evaluate the effectiveness of different control methods, and to explore the potential valorization of its biomass for dye adsorption as well as its antioxidant and antibacterial properties. **Methods:** Field surveys and *in situ* sampling were conducted for biometric and functional analyses of the plant, alongside a physicochemical characterization of the water. *Ex situ* experimental tests were carried out to assess the efficiency of three control methods and the effect of fragmentation on plant development. In parallel, extracts of *P. stratiotes* and *Lemna minor* were analyzed for their antibacterial (MIC), antioxidant (DPPH, CAT, ABTS) activities. Finally, the adsorption potential of *P. stratiotes* biomass was investigated through dye adsorption tests (Eriochrome Black T and Crystal Violet). **Results:** A strong correlation was observed between the total photosynthetic area and the product of leaf length and maximum width of *P. stratiotes*' outer leaf ($R^2 = 0.70$), as well as between total biomass and plant size ($R^2 = 0.71$), with an average dry matter production estimated at $67.54 \pm 26.35 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. However, relatively low total nitrogen ($11.46 \pm 4.55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) and phosphorus ($0.83 \pm 0.33 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) contents classify this species among the least productive aquatic plants in Moroccan wetlands. Liming proved to be the most effective control method, resulting in complete plant elimination (-100%), followed by drainage (-71.49%) and surface aeration (-44.5%). In eutrophic conditions, the plant reached an average height of $19.9 \pm 8.97 \text{ cm}$, compared to only $7.06 \pm 1.21 \text{ cm}$ and $6.32 \pm 2.41 \text{ cm}$ under surface aeration and drainage, respectively. Fragmentation significantly stimulated the growth of both mother and daughter rosettes, thus promoting rapid vegetative spread. Furthermore, combined ethanolic extracts of *P. stratiotes* and *L. minor* in equal proportions (50/50) showed the highest concentrations of total phenolic compounds (34.91 mg GAE/g) and flavonoids (39.57 mg QE/g), as well as optimal antioxidant activity ($\text{IC}_{50} = 1.485 \text{ mg/mL}$; total antioxidant capacity = 76.59 mg AAE/g), highlighting a notable synergistic effect. In terms of antimicrobial activity, *P. stratiotes* roots were particularly effective against *Bacillus subtilis* (MIC = 0.0195 mg/mL), while the 75/25 mixture (*P. stratiotes*/*L. minor*) proved effective against *Pseudomonas aeruginosa* (MIC = 0.0391 mg/mL). All tested extracts showed low activity against *Escherichia coli*. Finally, *P. stratiotes* leaves removed up to 99.51% of the cationic dye CV, while roots achieved 98.90%. For the anionic dye BET, adsorption rates reached 88.13% for leaves and 80.13% for roots. SEM-EDX, FTIR, and XRD analyses revealed a porous surface enriched with active functional groups, confirming favorable adsorption properties. Equilibrium was reached in only 40 minutes, and adsorption capacity remained high after several reuse cycles. **Conclusion:** In terms of biomass and nitrogen and phosphorus accumulation, *P. stratiotes* have not yet reached its optimal performance compared to its native climate, thus offering opportunities for effective eradication strategies. Its management also opens promising avenues for biomass valorization as a source of antibacterial, antioxidant, and bioadsorbent agents.

Key words: Invasive plants, Wetlands, Functional ecology, Antibacterial activity, Antioxidant activity, Adsorption, *Lemna minor*, Morocco.