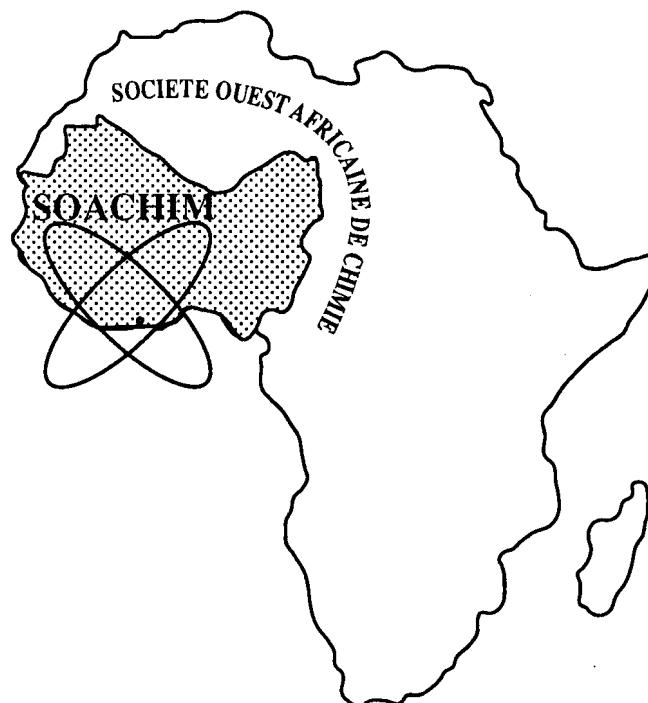


*Electroanalyse du propyl parabène par un capteur électrochimique à base de pâte de carbone graphite modifiée par le *Phyllanthus amarus**

**Teadouanka Luciano Loua, Olivier François Aristide Bertrand Koffi,
Bernadette Ehui Avo Bilé , Sakina Touzara, Abdelilah Chtaini,
De Serifou Matyla, Koffi Jules N'Da**

*Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie
J. Soc. Ouest-Afr. Chim. (2026), 055 : 1 - 10
31^{ème} Année, 2026*



ISSN 0796-6687
Code Chemical Abstracts : JSOCF2
Cote INIST (CNRS France) : <27680>
Site Web: <http://www.soachim.info>

Electroanalyse du propyl parabène par un capteur électrochimique à base de pâte de carbone graphite modifiée par le *Phyllanthus amarus*

Teadouanka Luciano Loua¹, Olivier François Aristide Bertrand Koffi^{1*}, Bernadette Ehui Avo Bilé¹, Sakina Touzara², Abdelilah Cctaini², De Serifou Matyla¹, Koffi Jules N'Da¹

¹*Laboratoire de Constitution et Réaction de la Matière, Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de Cocody, Côte d'Ivoire.*

²*Equipe d'Electrochimie Moléculaire et Matériaux Inorganiques, Faculté des sciences et Technologie de Beni Mellal, Université Sultan Moulay Slimane, Maroc*

(Reçu le 10/10/2025 – Accepté après corrections le 28/01/2026)

Résumé : Le propylparabène est un conservateur largement utilisé, mais il peut présenter des effets nocifs pour la santé humaine, notamment des réactions allergiques et une perturbation du système endocrinien. Il est suspecté d'imiter l'action des œstrogènes, ce qui pourrait affecter la reproduction. Face à ces risques potentiels, la mise en place de dispositifs fiables pour prévenir toute contamination par ce composé apparaît nécessaire. L'objectif de ce travail est de développer un capteur électrochimique capable de détecter efficacement le propylparabène dans le milieu analytique. Ce capteur électrochimique a été élaboré à partir d'une électrode à base de poudre de carbone graphite, dont la surface a été modifiée à l'aide d'une plante, le *Phyllanthus amarus*. Les techniques électrochimiques utilisées sont la voltammetrie cyclique et la voltammetrie à ondes carrées. L'électrode synthétisée a été soumise à une caractérisation physique et électrochimique. L'étude électrochimique a permis d'évaluer l'influence de la concentration du propylparabène sur la réponse de l'électrode de travail et de déterminer la limite de détection du capteur, estimée à $1,45 \times 10^{-7}$ mol·L⁻¹. Ce travail met en évidence l'intérêt de l'électrochimie verte, en limitant l'utilisation de produits chimiques toxiques et en proposant une méthode de détection accessible, durable et respectueuse de l'environnement.

Mots clés : propylparabène ; capteur électrochimique ; électrochimie verte ; voltammetrie à ondes carrés ; *phyllanthus amarus*

Electroanalysis of propyl paraben using an electrochemical sensor based on graphite carbon paste modified with *Phyllanthus amarus*

Abstract: Propylparaben is a widely used preservative; however, it is suspected to pose adverse effects on human health, particularly endocrine disruption associated with its estrogenic activity. In view of these potential risks, the development of reliable methods for its detection is necessary. The objective of this work is to develop an electrochemical sensor for the efficient detection of propylparaben. The sensor was fabricated using a graphite carbon powder-based electrode, whose surface was modified with the plant *Phyllanthus amarus*. Cyclic voltammetry and square wave voltammetry were employed as electrochemical techniques. The synthesized electrode was subjected to physical and electrochemical characterization. The electrochemical study evaluated the influence of propylparaben concentration on the response of the working electrode and enabled the determination of the detection limit, estimated at 1.45×10^{-7} mol·L⁻¹. This work highlights the relevance of green electrochemistry by reducing the use of toxic chemical reagents and proposing a simple, sustainable, and environmentally friendly detection method.

Keywords: Propylparaben; electrochemical sensor; green electrochemistry; square wave voltammetry; *Phyllanthus amarus*

* Auteur correspondant : bofak175@yahoo.fr

1. Introduction

En cosmétique, les parabènes les plus utilisés sont l'éthyl parabène, le propyl parabène, le butyl parabène et l'isobutyl parabène. Le méthyl et le propyl parabène sont principalement utilisés dans les médicaments [1]. Une étude américaine a démontré que l'exposition de la population aux parabènes par l'intermédiaire des médicaments et des cosmétiques étaient importantes. De plus leur présence dans les cellules cancéreuses mammaires, interroge quant à leur rôle dans le développement de certaines catégories de cancers [2].

Les rejets provenant des secteurs de production représentent une source directe de pollution environnementale. Cependant, à ce jour, les rejets réels n'ont pas été quantifiés. Certaines recherches indiquent une concentration plus élevée de parabènes dans les zones côtières ou de rivière à proximité d'industries [3-6].

L'utilisation de produits contenant des parabènes entraîne une pollution indirecte de l'environnement parce que les parabènes présents dans les cosmétiques et les produits d'hygiène personnelle (gel douche, shampoing, dentifrice, etc.) sont chaque jour déversés dans les eaux usées domestiques.

Oishi et al., ont montré à travers une étude faite sur les rats que le propyl parabène avait des effets néfastes sur le taux des spermatozoïdes et la testotérone [7].

Vo et al., dans une étude menée sur des jeunes rates ont montré que le propyl parabène semblerait entraîner une hypertrophie du myomètre, sans effet sur le poids de l'utérus [8].

Barr L et al., ont essayé de mettre en évidence un éventuel lien entre les parabènes et les cancers [9]. Ainsi, cinq parabènes différents ont été retrouvés dans des tissus de cancer du sein. Harvey et Everett ont tenté d'expliquer cette présence des parabènes dans les tissus par le phénomène de l'absorption cutanée, les parabènes étant capables de traverser la barrière cutanée après une application répétée de produits cosmétiques, puis de se distribuer systématiquement dans l'organisme sans être totalement métabolisés, ce qui favoriserait leur accumulation dans les tissus mammaires [10].

Ces substances étant soupçonnées d'être dangereuses pour l'homme et même pour les animaux. Elles suscitent des inquiétudes chez les consommateurs, ainsi il est impérieux d'élaborer des dispositifs rapides et efficaces pour sa détection afin de préserver la santé des populations. L'atteinte de cet objectif pourrait se faire par la mise au point de

capteurs électrochimiques susceptibles de détecter le propylparabène, ces dispositifs offrant une alternative attractive aux méthodes chromatographiques classiques en raison de leur faible coût, de leur rapidité d'analyse, de leur simplicité expérimentale et de leur capacité à détecter des analytes à l'état de traces. Cette détection préventive pourrait se faire à l'aide de capteurs électrochimique. Il s'agit donc de mettre au point une électrode à pâte de carbone modifiée par le *Phyllanthus amarus* pour la détection du propylparabène en milieu aqueux.

2. Matériels et méthodes

2.1. Réactifs et solutions

Le modifiant utilisé pour élaborer nos électrodes est le phyllanthus amarus. Cette plante fait l'objet de plusieurs travaux de recherche dans le monde pour ses vertus à usages alimentaires et médicinales [11]. En raison de sa richesse en composés bioactifs et de ses multiples avantages, le *Phyllanthus amarus* a été retenu comme modifiant naturel de l'électrode de travail. En effet, L'utilisation de *Phyllanthus amarus* comme modifiant naturel confère à l'électrode une surface riche en composés phénoliques électroactifs. L'utilisation de composés phénoliques naturels comme modifiants électrochimiques améliore l'adsorption des analytes et le transfert d'électrons à la surface de l'électrode, conduisant à une sensibilité et une sélectivité accrue du capteur [12].



Figure 1 : Feuilles du *Phyllanthus amarus*

La poudre de carbone graphite a été obtenue auprès de Sigma-Aldrich avec une pureté de 99%. L'eau distillée a été utilisée pour préparer toutes les solutions.

Le sulfate de sodium a été utilisé pour constituer le milieu analytique. Sa pureté et sa masse molaire sont respectivement 99% et 142,03 g/mol. Il a été fourni par la société Prolabo.

Le propylparabène est d'une pureté de 99% et de masse molaire égale à 180,21 g/mol. Ce produit a été fourni par la société Chimitec.

2.2. Appareillage

Les études électrochimiques ont été réalisées à l'aide d'un potentiosstat MiniEC2 type plug and play piloté par un logiciel (Dorado 2019) permettant l'obtention des données. La contre électrode est un fil de platine enroulé. L'électrode de référence utilisée est une électrode au calomel saturé (ECS). L'électrode de référence est mise dans un luggin capillaire dont l'extrémité est placée très proche de l'électrode de travail afin de réduire la chute ohmique [13]. L'électrode de travail est une électrode à pâte de carbone modifiée par le *Phyllanthus amarus* (EPCphy).

2.3. Préparation des électrodes

Les feuilles de *Phyllanthus amarus* ont été séchées à l'air libre dans un endroit dépourvu des rayons solaires pendant plus de trois semaines. Une fois séchées, Ces feuilles ont subi le broyage dans le mixeur Jiasound. Après le broyage, les échantillons sont passés au tamis à mailles inférieures à 100 µm pour avoir une poudre de diamètre plus fine. La poudre de *Phyllanthus amarus* a été ajoutée à la poudre de carbone graphite à une proportion de 3% de la poudre de carbone graphite. La poudre commerciale de carbone graphite et la poudre de *Phyllanthus amarus* ont été mélangées avec le liant, l'huile de paraffine et avec le solvant, l'éthanol absolu.

La pâte obtenue a été utilisée pour remplir la cavité de l'électrode (support creux qui porte la tige de carbone ; surface = 0,1256 cm²). Cette tige assure le contact électrique avec la pâte. Une fois l'électrode fabriquée (EPCphy), elle est séchée à température ambiante avec soin pendant 24 heures. Une fois sèche, un polissage mécanique de la surface de cette électrode est réalisé sur papier lisse avant son utilisation pour éliminer toutes les irrégularités et obtenir une surface régulière.

2.4. Procédure analytique

La solution a été désoxygénée en la barbotant avec le gaz d'azote pendant environ 10 minutes avant la mise en œuvre de l'expérience.

L'électrode modifiée (EPCphy) a été ensuite caractérisée en présence du propylparabène par la voltammetrie cyclique et la voltammetrie à ondes carrées. La surface des électrodes a été observée à l'aide d'un microscope optique LEICA EZ4HD piloté par un logiciel LAS EZ. Le grossissement utilisé est de 10/0.25.

La poudre de carbone graphite mélangée à celle du *Phyllanthus amarus* à une proportion de 3% de la poudre de carbone graphite a été observée au microscope électronique à balayage (MEB). En effet,

plusieurs proportions du *Phyllanthus amarus* ont été utilisées, à savoir 3%, 5%, 7% et 10%. L'électrode modifiée à 3% a montré une meilleure intensité du pic d'oxydation en présence du propylparabène.

L'optimisation des paramètres analytiques et voltammétriques a été réalisée de manière systématique en faisant varier un paramètre à la fois, tandis que les autres étaient maintenus constants. Le critère d'optimisation retenu est l'intensité du courant de pic d'oxydation, associée à une bonne définition du signal et à un faible bruit de fond.

La nature et la concentration de l'électrolyte support ont été optimisées afin d'assurer une conductivité adéquate et une réponse électrochimique stable. Le pourcentage du modifiant *Phyllanthus amarus* incorporé dans l'électrode à pâte de carbone a été ajusté pour maximiser le courant de pic sans altérer la conductivité de l'électrode. Le potentiel initial et la plage de potentiel ont été choisis de manière à inclure le domaine d'oxydation du propylparabène tout en évitant les réactions électrochimiques parasites.

Les paramètres de la voltammetrie à ondes carrées, notamment la vitesse de balayage, le pas de potentiel, la fréquence et l'amplitude, ont également été optimisés afin d'améliorer la sensibilité, la résolution du signal et la reproductibilité des mesures.

L'influence de la concentration du propylparabène a été étudiée pour exprimer la variation de la densité de courant en fonction de la concentration du propylparabène. Cette variation nous permettrait donc de calculer la limite de détection (LD) qui traduit la plus petite quantité de propylparabène que notre électrode de travail est capable de détecter.

La limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) ont été calculées en utilisant les formules issues des travaux de Miller et Miller [14]. Dans ces travaux, il a été montré que la déviation standard du courant moyen (SD) mesuré lors de la mesure voltammétrique peut être déterminée par l'équation (1). A partir de SD, la limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) peuvent être respectivement calculées à partir des équations (2) et (3).

$$\text{SD} = \frac{1}{(n-2)} \sum_{j=1}^n (i_j - I_j)^2 \quad (1)$$

$$\text{LD} = 3 \times \frac{\text{SD}}{\text{Pente}} \quad (2)$$

$$\text{LQ} = 10 \times \frac{\text{SD}}{\text{Pente}} \quad (3)$$

Où i_j est la valeur expérimentale du courant identifié à la manipulation j et I_j est la valeur correspondante

calculée à la même concentration en utilisant l'équation de calibration.

n est le nombre de mesure effectué ; Pente est la pente de l'équation de calibration.

La répétabilité du capteur a été évaluée à partir du calcul de la déviation standard relative (DSR). À cet effet, six concentrations successives de propylparabène (0,97 ; 1,93 ; 3,90 ; 3,86 ; 4,83 et 5,80 µM) ont été analysées à l'aide de la même électrode à pâte de carbone modifiée (*EPCPhy*), la surface de l'électrode étant polie après chaque mesure. La déviation standard relative a été calculée selon l'expression suivante :

$$\text{RSD (\%)} = 100 \times \frac{\text{SD}}{\text{Cmoy}} \quad (4)$$

Avec RSD : Relative Standard Deviation (Ecart type standard relatif) ; SD : Ecart type standard ; Cmoy : Concentration moyenne calculée.

La sélectivité du capteur électrochimique a été évaluée en présence d'ions interférents. À cet effet, des solutions contenant simultanément 0,05 mM de propylparabène (PP) et un interférent à une concentration vingt fois supérieure (1 mM) ont été préparées dans une solution de sulfate de sodium 0,1 M (Na_2SO_4). L'influence de chaque interférent sur le signal électrochimique du PP a été déterminée par le calcul du taux d'interférence à l'aide de l'équation suivante [15] :

$$X (\%) = 100 \left(\frac{i'}{i} - 1 \right) \quad (5)$$

où i et i' représentent respectivement les courants de pic enregistrés en l'absence et en présence de l'interférent.

Le capteur électrochimique développé a été appliqué à l'analyse d'échantillons d'eau du robinet. Ces échantillons ont été enrichis en propylparabène à des concentrations comprises entre 1,5 et 5,8 µM (1,5 ; 2,0 ; 2,5 ; 3,0 ; 4,0 et 5,8 µM). Les mesures ont ensuite été réalisées par voltammetrie à ondes carrées à l'aide du capteur élaboré.

3. Résultats et discussion

3.1. Modification de la surface de l'électrode à pâte de carbone par le *phyllanthus amarus*

3.1.1. Caractérisation par la voltammetrie cyclique de EPC nue et EPCphy

L'électrode à pâte de carbone modifiée par le *Phyllanthus amarus* (EPCphy) a été caractérisée par la voltammetrie cyclique. Ce voltammogramme a été ensuite superposé à celui de l'électrode nue (EPC nue) pour s'assurer effectivement de la modification de sa surface. La figure 2 montre la superposition des voltammogrammes cycliques.

La superposition des courbes voltamétriques sur la figure 2 montre une nette différence. Ainsi, le dégagement de dioxygène sur l'EPC nue commence au potentiel 0,6 V/ECS tandis que pour l'EPCphy, le potentiel de dégagement de dioxygène est à 0,8 V/ECS. Dans le sens retour, le dégagement de dihydrogène pour l'EPC nue est au voisinage de -0,4 V/ECS tandis que pour l'EPCphy ce dégagement s'effectue aux environs de 0 V/ECS. Les deux courbes ne sont pas superposables, ce qui confirme que le *Phyllanthus amarus* a bien modifié la surface de l'électrode.

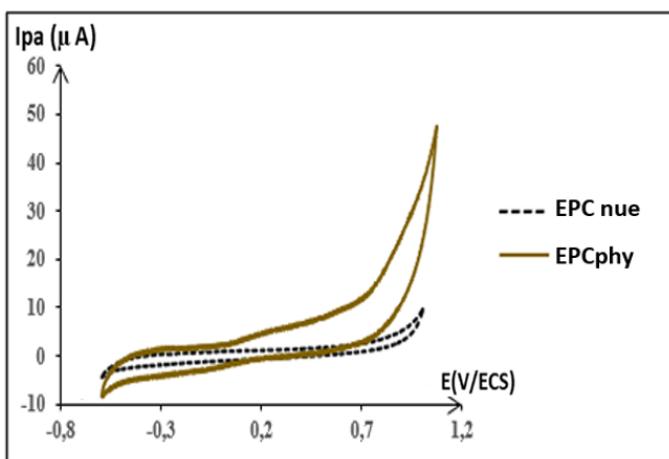


Figure 2 : Superposition des voltammogrammes de EPC nue et EPCphy dans Na_2SO_4 à 0,1M, $v=100\text{mV/s}$, de -0,6V/ECS à 1,1 V/ECS

3.1.2. Caractérisations physiques de EPC nue et EPCphy

3.1.2.1. Au microscope optique

Les surfaces de l'électrode avant et après modification ont été photographiées à l'aide d'un microscope optique LEICA EZ4HD piloté par un logiciel LAS EZ (figure 3).

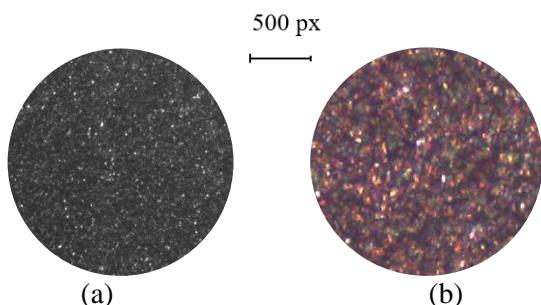


Figure 3 : Microscopie optique (grossissement 10/0.25) : (a) Electrode à pâte de carbone (EPC nue) ; (b) Après modification (EPCphy)

La figure 3 présente les surfaces de l'électrode à pâte de carbone mère (EPC nue) et de l'électrode à pâte de carbone modifiée par le *Phyllanthus amarus* (EPCphy) à 3%. L'EPCphy présente une surface de coloration rouge violacée sur toute sa surface, ce qui pourrait être le fait de la présence du *Phyllanthus amarus* associé à la poudre de carbone.

3.1.2.2. Au microscope électronique à balayage (MEB)

Les micrographies de la microscopie électronique à balayage (MEB) de la poudre pour l'élaboration de l'électrode à pâte de carbone modifiée par le *Phyllanthus amarus* montrent une microstructure

fibreuse résolue à 20 µm (figure 4A). Par contre, la figure 4B, avec un grossissement de 2 µm montre la présence des nanofibres en forme de feuillet filiforme et condensée à la surface du fait de la poudre de *Phyllanthus amarus* obtenue à partir des feuilles de la plante. Cette poudre pourrait présenter des fragments de tissus végétaux tels que des cellules allongées ou des vaisseaux observables à la surface du mélange. Cette surface paraît donc irrégulière avec une présence importante de pores dû à la disposition en lamelle des fibres reparties à la surface^[16]. Ces fibres représentant des particules de formes presque homogènes mais de tailles différentes pouvant favoriser certaines propriétés électroactives de l'électrode à élaborer. Ces différentes fibres pourraient jouer un rôle important dans l'application de l'électrode modifiée^[17].

3.2. Caractérisation électrochimique de EPCphy en présence du propylparabène

L'électrode modifiée (EPCphy) a été caractérisée en présence du propylparabène (PP). La figure 5 présente les voltammogrammes cycliques de l'électrode à pâte de carbone modifiée par le *Phyllanthus amarus* sans et en présence du propylparabène. On note la présence d'une vague d'oxydation dans le sens aller au potentiel de 0,7 V/ECS.

La caractérisation de la même électrode a été réalisée en utilisant la voltammetrie à ondes carrées. (figure 6). En présence du propylparabène dans le milieu analytique, on obtient un pic anodique au voisinage de 0,7 V/ECS. Ceci confirme les résultats obtenus avec la voltammetrie cyclique.

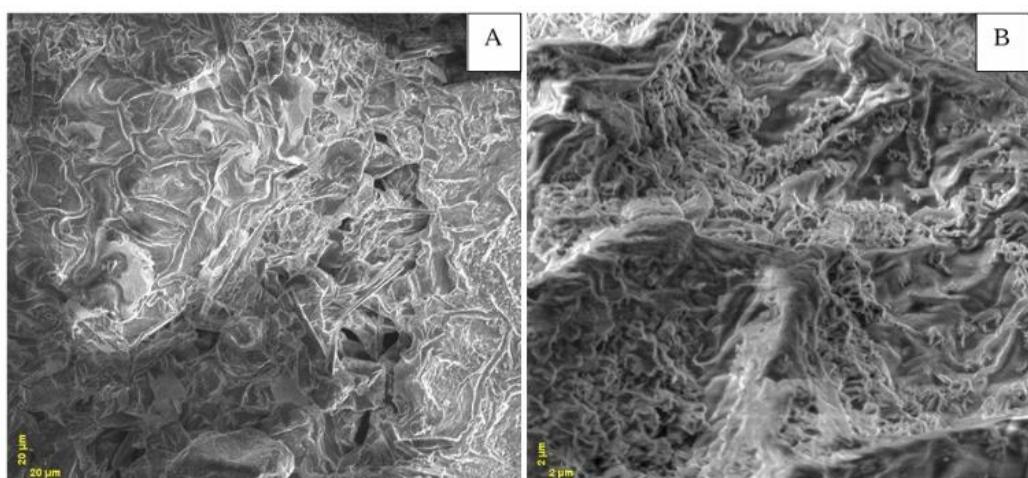


Figure 4 : Images de MEB de la poudre pour l'élaboration de l'électrode à pâte de carbone modifiée par le *Phyllanthus amarus* obtenue à 20 µm (A) : et à 2 µm (B).

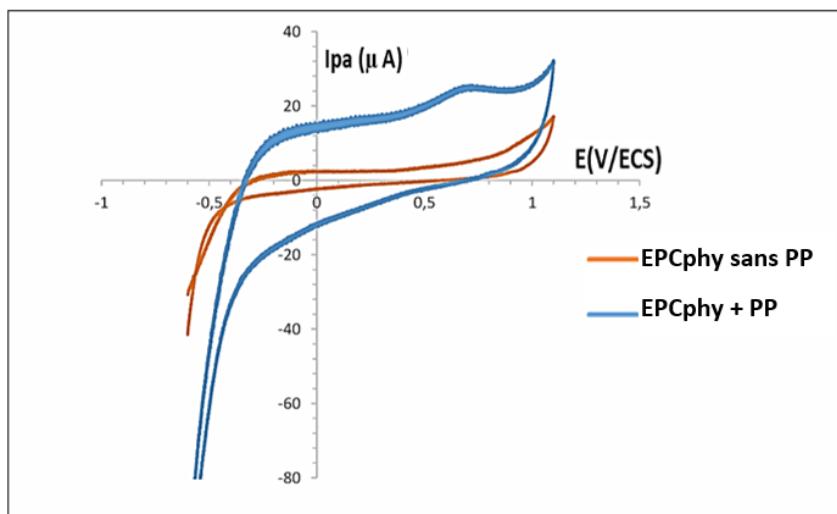


Figure 5 : Superposition des voltammogrammes cycliques de EPCphy sans le PP et EPCphy en présence du (PP) dans Na_2SO_4 0.1 M, $v = 100\text{mV/s}$, de - 0,6V/ECS à 1,1 V/ECS

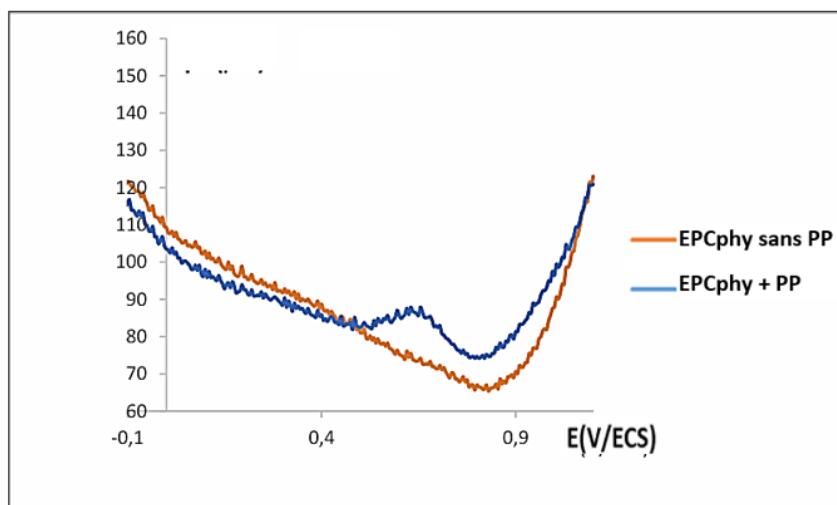
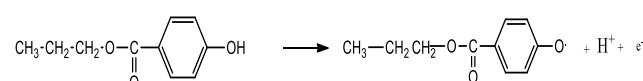


Figure 6 : Voltammétrie à ondes carrées de l'électrode à pâte de carbone modifiée au *Phyllanthus amarus* en présence et en absence du propylparabène dans une solution de Na_2SO_4 0,1M, amplitude =50 mV ; $f=25$ Hz ; pas de potentiel = 5 mV

Nous constatons bien une modification de l'allure du voltammogramme à ondes carrées en présence du propylparabène. En sa présence, nous observons une vague d'oxydation dont le pic est aux environs de 0,7 V/ECS, en accord avec les résultats obtenus par la voltammétrie cyclique.

L'équation d'oxydation possible du propylparabène est^[18]



3.3. Effet de la variation de la concentration du propylparabène

La figure 7 présente le comportement électrochimique de l'EPCphy dans une solution de sulfate de sodium contenant des concentrations variables de propylparabène à une vitesse de

balayage de 100 mV /s. La teneur en méthylparabène en μM varie de 1,6 μM à 5,5 μM . Selon la figure 7, le phénomène est plus prononcé avec l'augmentation de la concentration du propylparabène. Lorsque le propylparabène est présent, la vague est importante, avec une augmentation de la densité du courant autour de 0,7 V/ECS, ce qui révèle l'oxydation du propylparabène.

Ces résultats se confirment par la caractérisation de notre électrode par la voltammétrie à ondes carrées en présence du propylparabène à différentes concentrations (figure 8).

Le potentiel varie de -0,6 V/ECS à 1,1 V/ECS. La figure 8 présente la superposition des voltammogrammes obtenus. L'évolution du Voltammogramme à ondes carrées avec propylparabène est évidente. En présence de propylparabène, une vague d'oxydation se produit

avec un pic à environ 0,7 V/ECS, ce qui corrobore les résultats de la voltammetrie cyclique.

Nous observons aux alentours du potentiel de 0,7 V/ECS, une croissance de l'intensité du pic d'oxydation lorsque la concentration du propylparabène augmente.

En fonction des concentrations de propylparabène, le tracé du courant de vague d'oxydation présente une droite avec un coefficient de détermination de 0,9907 (figure 9), avec une limite de détection de $1,45 \cdot 10^{-7}$ M et une limite de quantification $4,83 \cdot 10^{-7}$ M.

La limite de détection calculée dans ce travail a été comparée à celles d'autres capteurs dans le tableau I. La limite de détection obtenue avec l'électrode EPCPhy ($1,45 \times 10^{-7}$ mol·L⁻¹) est inférieure à celles rapportées pour la microélectrode en fibre de carbone et l'électrode à goutte pendante de mercure [19-20], soulignant l'efficacité de la modification par le *Phyllanthus amarus*. Cette performance, combinée à l'absence de matériaux toxiques, confère à ce capteur un intérêt particulier dans le cadre de l'électrochimie verte.

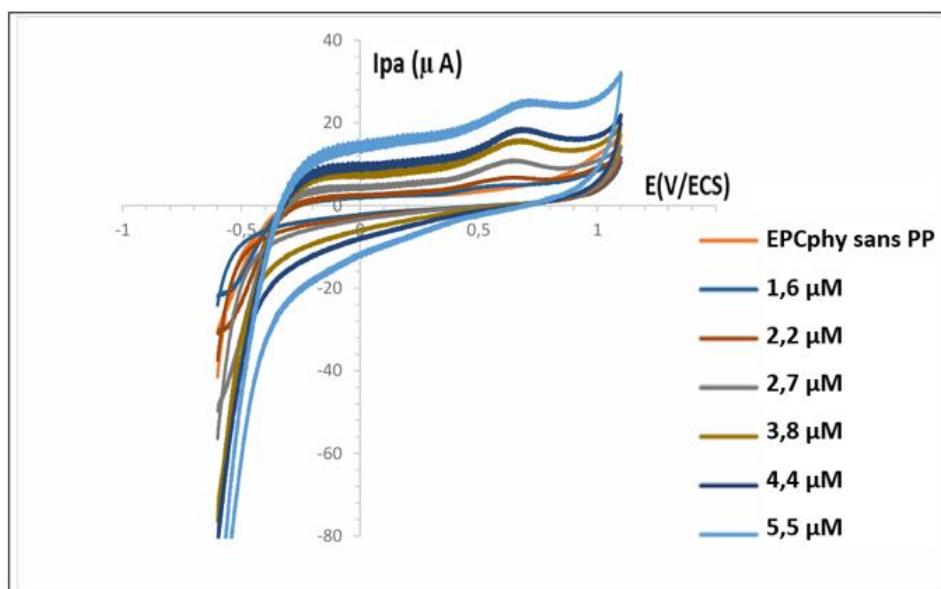


Figure 7 : Voltammogrammes cycliques de EPCphy à blanc et en présence du PP à différentes concentrations dans 25 mL de Na₂SO₄ 0,1 M ; v = 100mV /s, de - 0,6V/ECS à 1,1 V/ECS

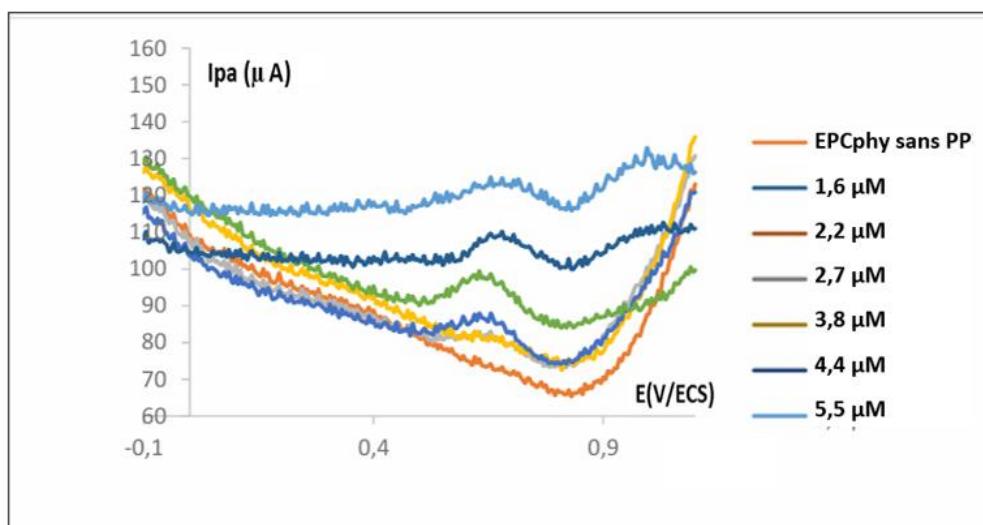


Figure 8 : Voltammetrie à ondes carrées de EPCphy à blanc et en présence du PP à différentes concentrations dans une solution de Na₂SO₄, amplitude = 50 mV ; f=25 Hz ; pas de potentiel = 5 mV

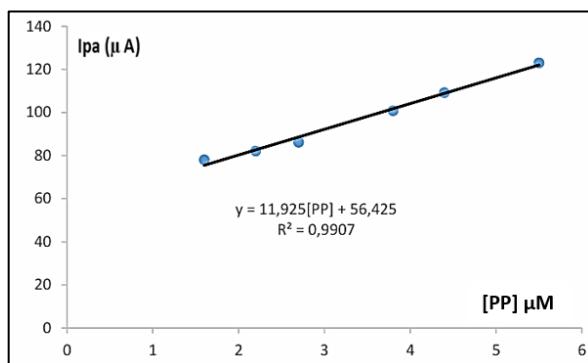


Figure 9 : Courbe d'étalonnage de la variation de la concentration de propylparabène

Tableau I : Limites de détection de quelques capteurs électrochimiques pour détecter le propylparabène.

Capteurs électrochimiques	Limite de détection (mol/L)	Références
Micro électrode en fibre de carbone	$5,5 \cdot 10^{-7}$	[19]
Electrode à goutte pendante de mercure (HDME)	$1,7 \cdot 10^{-7}$	[20]
Electrode à pate de carbone modifiée au <i>Phyllanthus amarus</i> (EPCphy)	$1,45 \cdot 10^{-7}$	Présent travail

3.4. La déviation standard relative (RSD)

L'histogramme présenté à la Figure 10 met en évidence les différentes valeurs obtenues lors de l'analyse de répétabilité et de reproductibilité pour six essais successifs.

Les faibles valeurs de RSD intra- et inter-journalières (< 6 %) obtenues pour l'ensemble des essais indiquent une bonne répétabilité, une reproductibilité satisfaisante et une stabilité adéquate du capteur EPCphy, conformément aux critères généralement admis en chimie analytique [21-23].

3.5. Etude de la sélectivité

Le Tableau II présente l'influence de différents ions métalliques interférents sur l'intensité du pic d'oxydation du propylparabène ainsi que la variation relative du signal obtenue par voltammetrie à ondes carrées à l'aide du capteur EPCphy.

Les variations relatives du signal, toutes inférieures à 5 % en présence des ions étudiés, indiquent une interférence négligeable et confirment la bonne sélectivité du capteur EPCphy pour la détection du propylparabène [21].

Tableau II : Effet de différents ions métalliques interférents sur l'intensité du pic d'oxydation du propylparabène obtenu par la voltammetrie à ondes carrées à l'aide du capteur EPCphy.

Composés interférents	Intensité du pic de PP (μM)	Variation relative du signal (%) en voltammetrie à ondes carrées
Pas d'interférents	234,9	
K^+	230,4	-1,91
Mg^+	240,1	2,21
Cu^+	245,1	4,34
Zn^+	242	3,02

3.6. Application analytique

Le tableau III présente le comportement électrochimique de l'EPCphy dans l'eau de robinet contenant des concentrations variables de propylparabène (1,5 ; 2,0 ; 2,5 ; 3,0 ; 4,0 et 5,8 μM). Les données reportées dans le Tableau III ont permis d'établir la courbe d'étalonnage du propylparabène présentée à la Figure 11.

Cette figure met en évidence une relation linéaire entre l'intensité du courant de pic anodique et la concentration du propylparabène dans la plage étudiée.

La limite de détection a été calculée à partir de la relation 2. La valeur obtenue est de $2,2 \times 10^{-7} \text{ mol.L}^{-1}$, traduisant la bonne sensibilité du capteur EPCphy dans l'eau de robinet.

Tableau III : Valeurs de courant de pic anodique en fonction de la concentration du propylparabène dans l'eau de robinet

Ipa (μA)	8	9,2	10,3	11,3	13,8	18,5
[PP] (μM)	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00	5,80

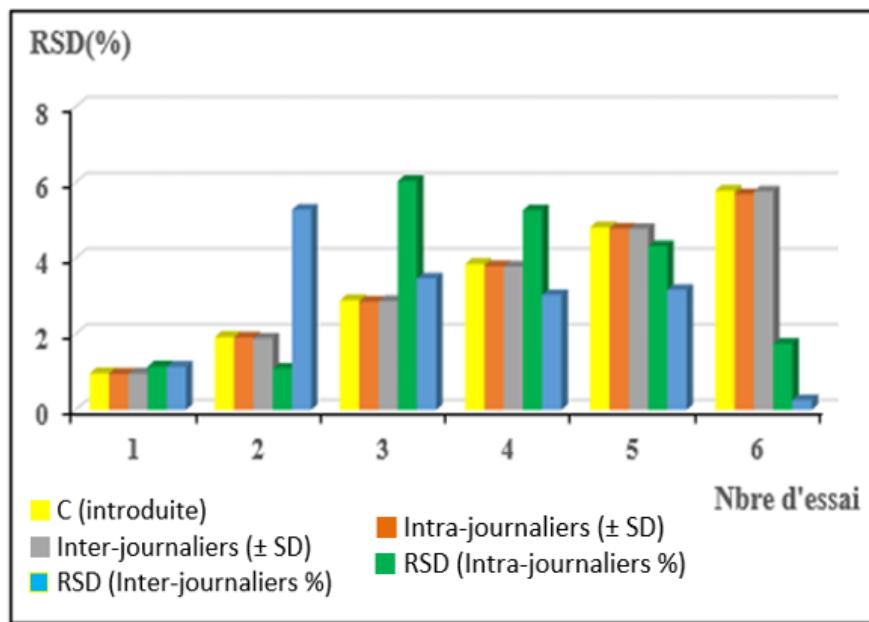


Figure 10 : Déviation standard relative (RSD, %) intra-journalière et inter-journalière obtenue pour différentes concentrations de propylparabène à l'aide de l'électrode à pâte de carbone modifiée par *Phyllanthus amarus* (EPCphy).

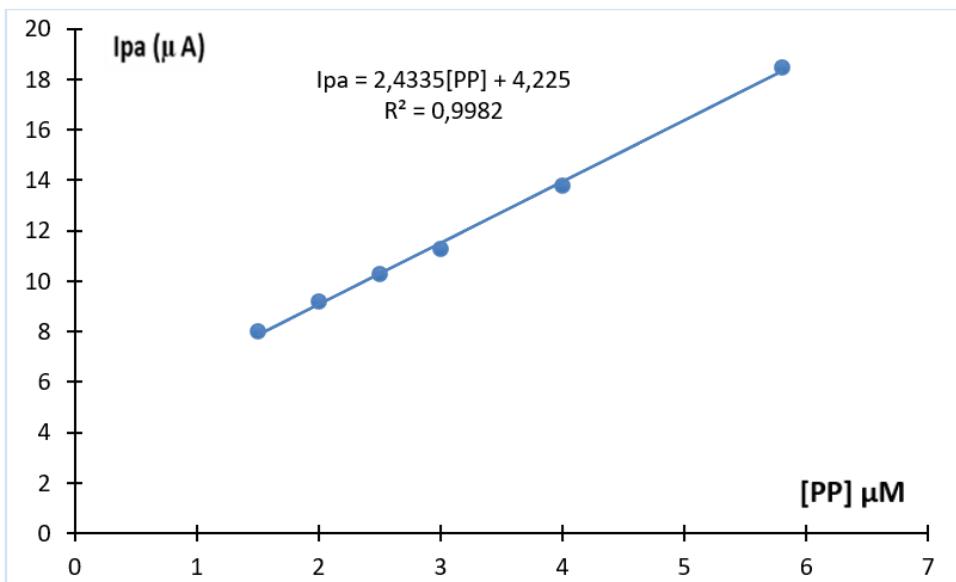


Figure 11 : Courbe d'étalonnage de la variation de la concentration de propylparabène dans l'eau de robinet

4. Conclusion

Au terme de notre étude, nous pouvons retenir que le capteur électrochimique synthétisé c'est-à-dire EPCphy a montré une bonne sensibilité quant à la détection du propylparabène avec une limite de détection de $1,45 \cdot 10^{-7} M$, une limite de quantification de $4,83 \cdot 10^{-7} M$ et une déviation standard relative inférieure à 6 %. L'étude de l'influence de la concentration du propylparabène sur EPCphy a montré que la densité de courant augmente linéairement avec les concentrations du propylparabène.

En perspective, nous comptons élaborer d'autres capteurs susceptibles de détecter le méthylparabène. Nous comptons aussi modifier notre électrode avec d'autres plantes, en vue d'améliorer la limite de détection de notre capteur.

5. Références bibliographiques

- [1] Académie Nationale de Pharmacie. Parabènes et médicaments : Problème de santé publique, 22 mai 2013.
- [2] Zhang W, Xiang R, Wang G, et al. A network toxicology approach to decipher paraben-induced

- molecular dysregulation in breast cancer pathogenesis. *Discov Oncol.* (2025) 16 :1084.
- [3] Kusk, K. O., et al. Endocrine potency of wastewater: Contents of endocrine disrupting chemicals and effects measured by in vivo and in vitro assays. *Environmental Toxicology and chemistry*, (2011) 30(2), 413-426.
- [4] Yu, Y. et al. Occurrence and behavior of pharmaceuticals, steroid hormones, and endocrine disrupting personal care products in wastewater and the recipient river water of the pearl River Delta, South China. *Journal of environmental Monitoring*, (2011) 13(4), 871-878.
- [5] Ramirez, N., F. Borrull, and R.M. Marce Simultaneous determination of parabens and synthetic musks in water by stir-bar sorptive extraction and thermal desorption-gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of separation Science*, (2012) 35(4), 580-588.
- [6] Teerlink, J., et al. Variability of trace organic chemical concentrations in raw wastewater at three distinct sewershed scales. *Water Research*, (2012) 46(10), 3261-3271.
- [7] Oishi S. Effects of propyl paraben on the male reproductive system. *Food Chem Toxicol.* (2002) Dec; 40(12), 1807-13.
- [8] Vo TTB, et al. Potential estrogenic effect(s) of parabens at the prepubertal stage of a postnatal female rat model. *Reprod Toxicol*, (2010) 29(3), 306-16.
- [9] Barr L., Metaxas G., Harbach C.-A., et al. Measurement of paraben concentrations in human breast tissue at serial locations across the breast from axilla to sternum. *J Applied Toxicol.* (2012) 32 (3), 219-32.
- [10] Harvey P.-W., Everett D.-J. Parabens detection in different zones of the human breast: consideration of source and implication of findings. *J. Applied Toxicol.* (2012) 32 (5), 305-9.
- [11] Bose, G. A., Banerjee, A., & Chattopadhyay, S. An insight into the potent medicinal plant *Phyllanthus amarus* Schum. And Thonn. *The Nucleus*, (2022) 65(3), 437-472.
- [12] Ivanova A., Schmidt V. Electrochemical sensors based on electropolymerized natural phenolic antioxidants and their analytical application. *Anal. Chem. Insights* (2020) 15, 1-14.
- [13] Ollo, KAMBIRE, « Etude caractéristique des électrodes dans contribution à l'étude électrochimique de la cinétique de dégagement du dioxygène et du dichlore sur diverses anodes métalliques préparées par voie thermique » thèse de doctorat N° d'ordre 1007/1016, Université Félix Houphouët Boigny, (2016) 58, Côte d'Ivoire
- [14] J.C Miller, J.N Miller, Basic statistical methods for analytical chemistry Part I. statistics of repeated measurements. *Analyst* (1988) 113, 1351-135
- [15] Konan, K. K., Appia, F. T. A., Etienne, K. K., Jocelin, K. K., Souleymane, K., & Lassiné, O. Cyclic and differential pulse voltammetry investigations of an iodine contrast product using microelectrode of BDD. *Mediterranean Journal of Chemistry*, (2021) 11(3)
- [16] Ismail, C. A. M., Deris, Z. Z., Bakar, R. A., & Ismail, N. In Vitro Anti-Leptospiral Activity of *Phyllanthus amarus* Extracts and Their Combinations with Antibiotics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, (2021) 18(6).
- [17] Zhou M., Zhai Y., Dong S. Electrochemical sensing and biosensing platform based on chemically reduced graphene oxide. *Anal. Chem.* (2009), 81(14), 5603-5613.
- [18] Slawomir M., and al. Voltammetric determination of total content of parabens at a carbon fiber microelectrode in pharmaceutical preparations, *International journal of electrochemical science*, (2016) 11, 1661-1675
- [19] Slawomir Michalkiewicz, Magdalena Jakubczyk, Agata Skorupa, Voltammetric Determination of Total Content of Parabens at a Carbon Fiber Microelectrode in Pharmaceutical Preparations. *Int. J. Electrochem. Sci.*, (2016) 11, 1661 - 1675.
- [20] Shatha Y. Yahyaa, Suham T. Ameen, Kadhim K. Hashim, Détermination voltampérométrique cyclique du méthylparabène et du propylparabène dans les préparations pharmaceutiques, *Journal of Kufa for chemical science* (2017) 2(2), 82-113
- [21] J. N. Miller, J. C. Miller, Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry, 6^e éd., Pearson Education, Harlow, 2010, Royaume-Uni.
- [22] ICH Q2(R1), Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology, International Conference on Harmonisation, 2005, Genève.
- [23] A. J. Bard, L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, 2^e éd., Wiley, 2001, New York, USA.