

## Détection électrochimique d'un perturbateur endocrinien, le propylparabène, à partir d'une électrode à base de carbone graphite modifiée par le Moringa

Teadouanka Luciano Loua, Bernadette E. Avo Bilé, O.F.A. Bertrand Koffi\*,  
De Serifou Matyla, Koffi Jules N'da

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

Reçu: 20 Aout 2023 / Reçu sous sa forme révisée: 13 Décembre 2023 / Accepté: 26 Décembre 2023

### **Résumé :**

Les parabènes sont suspectés de perturber le système endocrinien en mimant les propriétés de certaines hormones, notamment par l'activation des récepteurs aux œstrogènes, d'où l'interrogation de leurs effets sur la fertilité et le risque de cancers hormono-dépendants (cancer du sein). Au regard de ces inquiétudes suscitées chez les consommateurs, il est impérieux d'envisager leur détection afin de préserver la santé des populations. Dans ce travail, il s'agit de synthétiser un capteur électrochimique susceptible de détecter le propylparabène appartenant à la famille des parabènes. L'électroactivité de la surface de cette électrode a été améliorée par l'utilisation d'un modificateur qui est le Moringa. Les méthodes électrochimiques utilisées sont la voltammétrie cyclique et la voltammétrie à ondes carrées. La présente étude porte sur l'influence de la concentration du propylparabène sur l'électrode de travail, la limite de détection et l'influence du pH. L'électrode modifiée désignée par EPC/Mor a montré une bonne sensibilité quant à la détection du propylparabène avec une limite de détection de  $2,59.10^{-7}$  M.

**Mots-clés :** Synthèse ; Électrode modifiée ; Propylparabène ; Capteur électrochimique ; Moringa.

### **Abstract:**

Parabens are suspected of disrupting the endocrine system by mimicking the properties of some hormones, including the activation of estrogen receptors. This raises concerns about their effects on fertility and the risk of hormone-dependent cancers, such as breast cancer. For the protection of public health and in response to consumer concerns, it is imperative that the detection of parabens in products be facilitated. This work describes the synthesis of an electrochemical sensor capable of detecting propylparaben, a type of paraben. The electrode surface electroactivity has been enhanced by using Moringa as a modifier. The study used cyclic voltammetry and square wave voltammetry as electrochemical methods and focused on

\*Auteur correspondant:

Adresse e-mail: [bofak175@yahoo.fr](mailto:bofak175@yahoo.fr) (O.F.A.B. Koffi)

the concentration of propylparaben, the working electrode, the detection limit and the effect of pH. The modified electrode, named EPC/Mor, showed good sensitivity in detecting propylparaben with a detection limit of  $2.59 \times 10^{-7}$  M.

**Keywords** : Synthesis; Modified electrode; Propyl paraben; Electrochemical sensor; Moringa.

## 1 Introduction

Un parabène est un conservateur (antimicrobien et antifongique) essentiellement utilisé dans les cosmétiques et, de façon plus marginale, dans les médicaments et certains aliments comme additifs alimentaires (identifiés sur les étiquettes par E214 jusqu'à E219). Les parabènes les plus utilisés sont : le propylparabène (E216 et E217) et le butylparabène, dits « à chaîne longue » ; le méthylparabène (E218 et E219) et l'éthylparabène (E214 et E215), dits « à chaîne courte » [1]. Cependant, une étude scientifique menée en Angleterre et publiée en 2004 [2] a lancé la polémique quant à la réelle sécurité d'emploi de ces molécules. Des études *in vitro* [3] et *in vivo* [4] ont montré que certains parabènes pouvaient avoir une faible activité oestrogénique. D'autres études réalisées dans le domaine des perturbateurs endocriniens (PEs) ont montré que les parabènes nécessitent une approche particulière des relations dose-effet [5]. Ainsi, ils sont suspectés d'agir comme des substances cancérigènes, même à très faible dose.

Le propylparabène est suspecté d'être un perturbateur endocrinien ou encore de provoquer des cancers du sein. La sécurité d'utilisation du propylparabène, conservateur très bien toléré et autorisé dans les produits cosmétiques, a été largement évaluée par de nombreux comités d'experts (européen, américain, néerlandais, etc.) [6]. Rien qu'en Europe, la sécurité d'utilisation du propylparabène dans les produits cosmétiques a été évaluée en 2005, 2006, 2008,

2010, 2011, 2013 et une nouvelle fois en 2020 en tenant compte de toutes les données scientifiques existantes y compris celles portant sur la perturbation endocrinienne.

Les substances soupçonnées d'être des perturbateurs endocriniens commencent à être connues du public principalement à cause des effets qu'elles pourraient entraîner sur la santé humaine. Or, ces substances sont également présentes dans l'environnement consécutivement à leur fabrication ou à leur utilisation par l'être humain. Les données montrent que le milieu aquatique est le plus contaminé, les autres milieux (sols, air) pouvant être considérés comme vecteur vers les eaux [7]. Les organismes aquatiques peuvent donc également subir les effets de ces substances.

Selon la commission européenne, un perturbateur endocrinien (PE) est une substance étrangère à l'organisme qui produit des effets pathologiques sur l'organisme à la suite d'une modification de la fonction hormonale. Les PEs agissent donc en imitant l'action des hormones naturelles telles que les œstrogènes ou la testostérone, en bloquant les récepteurs des hormones mais aussi, en agissant sur la synthèse, le transport, le métabolisme et l'excrétion des hormones, modifiant ainsi leurs concentrations [8].

Les controverses suscitent des inquiétudes chez les consommateurs, ainsi il est impérieux de faciliter la détection des parabènes afin de préserver la santé des populations. L'objectif de

ce travail est d'élaborer un capteur électrochimique capable de détecter de façon immédiate la présence du propylparabène. Le choix du modificateur s'est porté sur une plante, le Moringa. Les résultats obtenus dans ce travail ont été comparés à ceux émanant d'une étude faite sur un autre perturbateur endocrinien, l'acide perfluorooctane [9]. Cette comparaison porte sur le modificateur de l'électrode de travail, les limites de détection et de quantification.

## 2 Matériels et méthodes

### 2.1 Réactifs et solutions

Le modificateur utilisé pour élaborer les électrodes est le Moringa (*Moringa oleifera*). Le Moringa ou arbre de vie ou arbre à raifort, à cause de la saveur de ses racines, est très répandu dans les pays subtropicaux. Ses feuilles sont riches en protéines, calcium, potassium, magnésium, fer, et en phénols totaux. Elles contiennent également de la vitamine A, C et E [10] et sont considérées comme bonnes sources de phyto-nutriments tels que les caroténoïdes et les tocophérols [11]. En Inde et aux Philippines, les feuilles de *Moringa oleifera* sont utilisées pour préserver les aliments grâce à leur pouvoir antioxydant [12, 13].

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 de formule  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  à 0,1 M a été utilisé pour constituer le milieu analytique. Sa pureté et sa masse molaire sont respectivement de 99% et de 142,03 g/mol. C'est un solide cristallin blanc. Ce produit a été obtenu auprès de PROLABO.



**Fig. 1.** Feuilles du Moringa (*Moringa oleifera*).  
(Source : <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-1371-moringa-oleifera-arbre-vie.html>)

Le 4-hydroxybenzoate de propyle ou propylparabène de formule  $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_3$  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. Il est sous forme de poudre.

### 2.2 Instrument

Les études électrochimiques ont été réalisées à l'aide d'un potentiostat MiniEC2 type « plug and play » piloté par un logiciel (Dorado 2019) permettant l'acquisition des données. La contre électrode est un fil de platine enroulé. L'électrode de référence utilisée est une électrode au calomel saturé. 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 [14]. L'électrode de travail est une électrode à pâte de carbone modifiée par le Moringa (EPC/Mor).

### 2.3 Électrodes

Les feuilles de Moringa ont été séchées à l'air libre à l'abri du soleil pendant plus de trois semaines. Une fois séchées, ces feuilles sont broyées à l'aide d'un mixeur Jiasound.

Après le broyage, les échantillons sont passés dans un tamis de mailles inférieures à 100 µm pour avoir une poudre très fine.

La poudre de Moringa a été ajoutée à la poudre de carbone graphite à une proportion de 3% de la poudre de carbone graphite. Ce pourcentage est plus faible que celui de l'*Aloe vera* utilisé (5%) comme modificateur pour la même électrode à pâte de carbone [9]. La poudre commerciale de carbone graphite et de Moringa ont été mélangées avec le liant, l'huile de paraffine et avec le solvant, l'éthanol absolu.

La pâte obtenue a servi à remplir la cavité de l'électrode (support creux qui porte la tige de carbone ; de surface égale à 0,1256 cm<sup>2</sup>). La tige assure le contact électrique avec la pâte. L'électrode ainsi obtenue (EPC/Mor) est séchée à température ambiante avec soin pendant 24 heures. Une fois sèche, un polissage mécanique de la surface de l'électrode est réalisé sur papier lisse avant son utilisation pour éliminer toutes les irrégularités et obtenir une surface régulière.

## 2.4 Procédure analytique

La désoxygénation des solutions a été effectuée par le barbotage d'azote gazeux pendant 10 minutes avant la manipulation.

L'électrode modifiée (EPC/Mor) a été caractérisée en présence du propylparabène par la voltammétrie cyclique et la voltammétrie 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. L'influence de la concentration du plomb a été étudiée pour exprimer la variation de la densité de courant en fonction de la concentration du propylparabène. Cette variation a permis de calculer la limite de détection (LD) qui traduit la plus petite quantité de propylparabène que l'électrode de travail est capable de détecter.

La limite de détection (LD) et la limite de quantification (LQ) ont été calculées en utilisant les expressions issues des travaux de Miller et Miller [15]. Dans ces travaux, il a été montré que la déviation standard du courant moyen (SD) mesuré lors de la mesure voltamétrique 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 grâce aux équations (2) et (3).

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

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

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

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 mesures effectuées ; « Pente » est la pente de l'équation de calibration.

Pour rappel, la limite de détection est la plus petite concentration ou teneur de l'analyte pouvant être détectée, avec une incertitude acceptable, mais non quantifiée dans les conditions expérimentales ; et la limite de quantification est la plus petite concentration ou teneur de l'analyte pouvant être quantifiée, avec une incertitude acceptable dans les conditions expérimentales.

## 3 Résultats et discussion

### 3.1 Modification de la surface de l'électrode à pâte de carbone par le Moringa

L'électrode à pâte de carbone modifiée par le Moringa (EPC/Mor) a été caractérisée par la voltammétrie cyclique. Ce voltamogramme a été ensuite superposé à celui de l'électrode mère

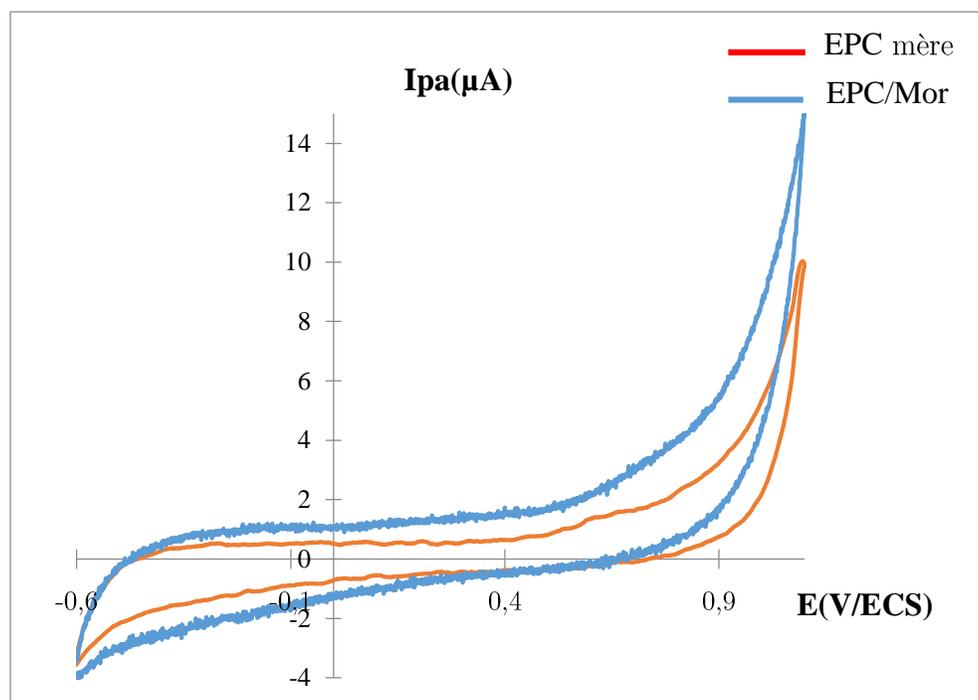
(EPC mère) pour s'assurer de la modification de sa surface. La figure 2 montre la superposition des voltammogrammes cycliques.

La superposition des courbes voltammétriques montre une nette différence. Ainsi, le dégagement de dioxygène sur l'EPC mère commence au potentiel 0,6 V/ECS tandis que pour l'EPC/Mor, le potentiel de dégagement de dioxygène est à 0,7 V/ECS. Dans le sens retour, le dégagement de dihydrogène pour l'EPC pur est au voisinage de -0,4 V/ECS tandis que pour l'EPC/Mor, ce dégagement s'effectue au environ de -0,2 V/ECS.

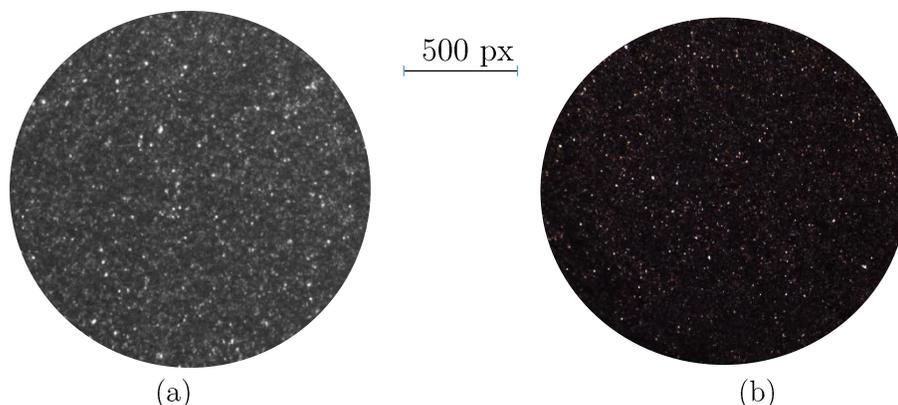
Les deux courbes ne sont pas superposables ce qui confirme que le Moringa a bien modifiée la surface de l'électrode.

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).

La figure 3 présente les surfaces de l'électrode à pate de carbone mère (EPC mère) et de l'électrode à pate de carbone modifiée par le Moringa (EPC/Mor) à 3%. L'EPC/Mor présente une surface de coloration rouge violacée, ce qui pourrait être le fait de la présence du Moringa associé à la poudre de carbone.



**Fig. 2.** Superposition des voltammogrammes de EPC mère et EPC/Mor dans  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  à 0,1 M,  $v=100\text{mV/s}$ , de -0,6 V/ECS à 1,1 V/ECS.



**Fig. 3.** Microscopie optique (grossissement 10/0.25).  
 (a) Electrode à pâte de carbone graphite (EPC mère)  
 (b) Après modification par le Moringa (EPC/Mor)

### 3.2 Caractérisation électrochimique de EPC/Mor en présence du propylparabène

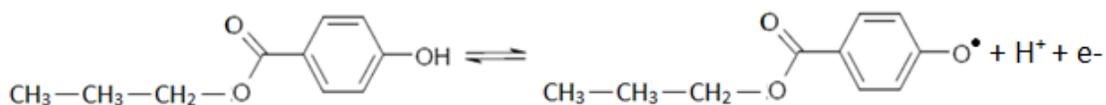
L'électrode modifiée (EPC/Mor) a été caractérisée en présence du propylparabène (PP). La figure 4 présente les voltammo-grammes cycliques de l'électrode à pâte de carbone modifiée par le Moringa à blanc et en présence du propylparabène.

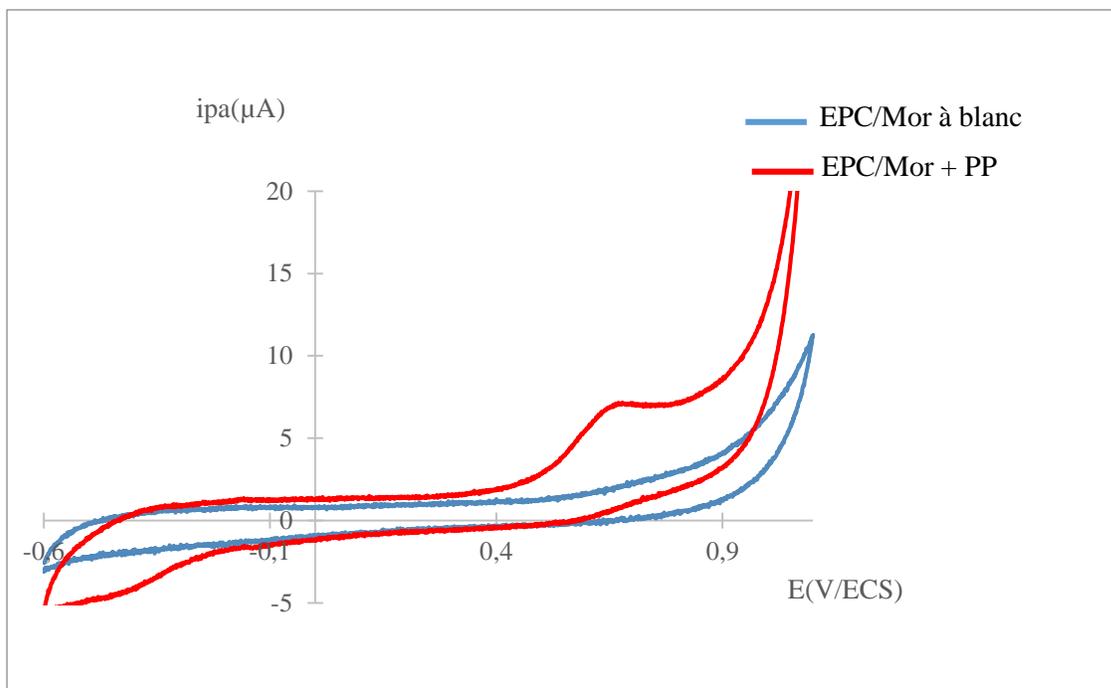
Dans le domaine des potentiels allant de -0,6 V/ECS à 1,1 V/ECS, nous avons effectué la superposition des voltammo-grammes de l'EPC/Mor avec et sans le propylparabène. La figure 4 montre une quasi superposition des deux courbes dans l'intervalle des potentiels -0,4 V/ECS à 0,4 V/ECS et une vague d'oxydation entre les potentiels 0,5 V/ECS et 0,8

V/ECS dans le sens aller. L'électrode à pâte de carbone modifiée au Moringa pourrait être capable de détecter le propylparabène, avec un pic de potentiel à environ 0,7 V/ECS et une intensité de 6,96  $\mu$ A.

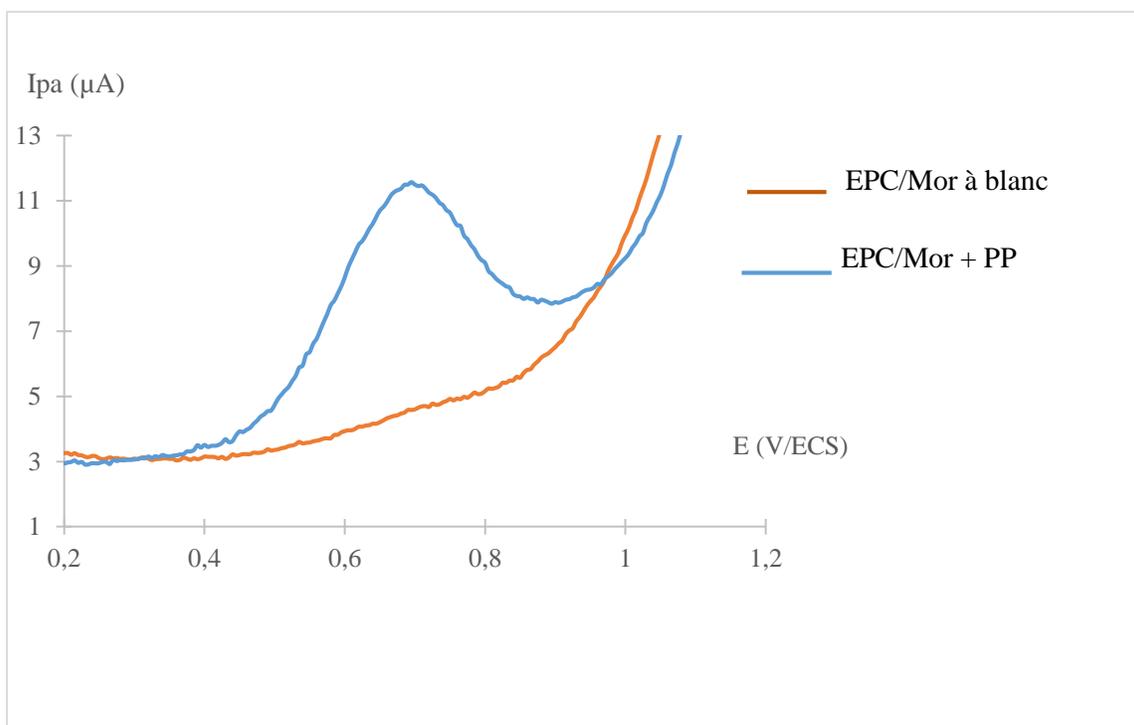
Ces mêmes électrodes ont été caractérisées par la voltammétrie à ondes carrées. La figure 5 présente la superposition des voltammogrammes obtenus. Il apparaît clairement une modification de l'allure du voltammogramme à ondes carrées en présence du propylparabène. En présence du propylparabène, le voltammogramme présente une vague d'oxydation avec un pic à environ 0,7 V/ECS en accord avec les résultats obtenus par la voltammétrie cyclique.

L'équation d'oxydation possible du propylparabène est donnée ci-dessous [16] :





**Fig. 4.** Superposition des voltamogrammes de EPC/Mor à blanc et EPC/Mor en présence du propylparabène (PP) dans  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,1 M,  $v = 100\text{mV/s}$ , de -0,6 V/ECS à 1,1 V/ECS.



**Fig. 5.** Voltammétrie à ondes carrées de l'électrode à pâte de carbone modifiée au Moringa en présence et en absence du propylparabène dans une solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,1 M,  $\text{Amp} = 50\text{ mV}$  ;  $N = 25\text{ Hz}$  ; pas de potentiel = 5 mV.

### 3.3 Effet de la variation de la concentration du propylparabène

La figure 6 présente le comportement électrochimique de l'EPC/Mor dans une solution de sulfate de sodium contenant des concentrations variables de propylparabène (vitesse de balayage de 100 mV/s). Dans l'intervalle de potentiel de -0,6V/ECS à 1,1 V/ECS, les différentes concentrations de propylparabène considérées (en  $\mu\text{M}$ ) sont : 1,6 ; 2,2 ; 2,7 ; 3,8 ; 4,4 et 5,5.

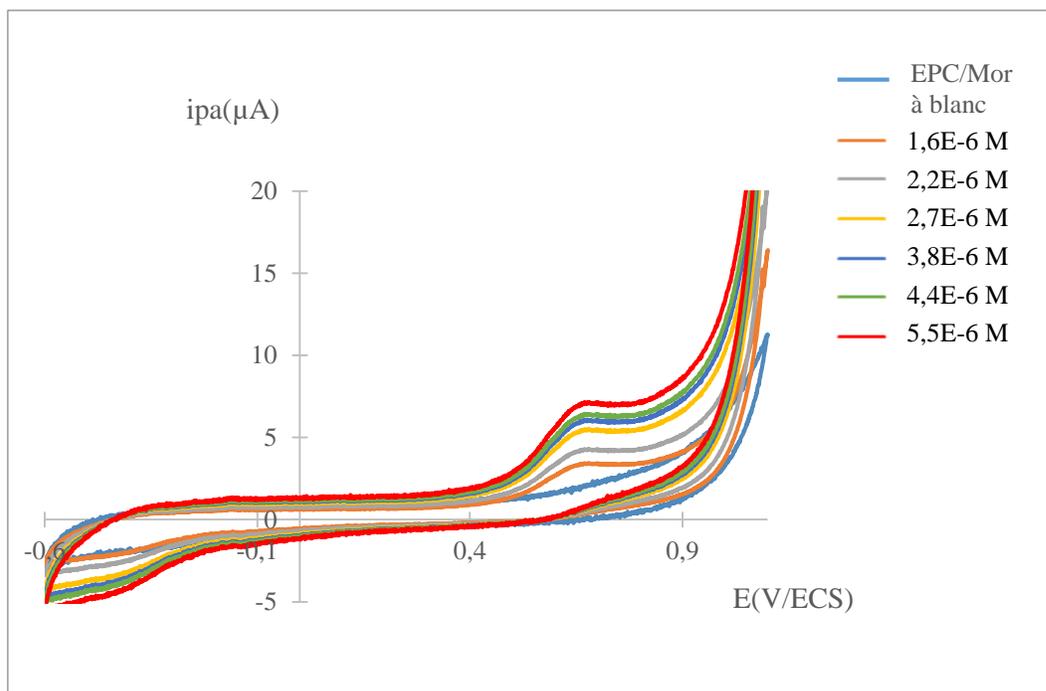
La figure 6 montre que plus la concentration du propylparabène augmente, plus l'intensité du pic est grande. En présence du PP, il y a une augmentation de la densité de courant aux environs de 0,7 V/ECS. Cette vague met en évidence l'oxydation du PP.

Ces résultats sont confirmés par ceux obtenus par la voltammétrie à ondes carrées en présence du propylparabène à différentes concentrations (Figure 7).

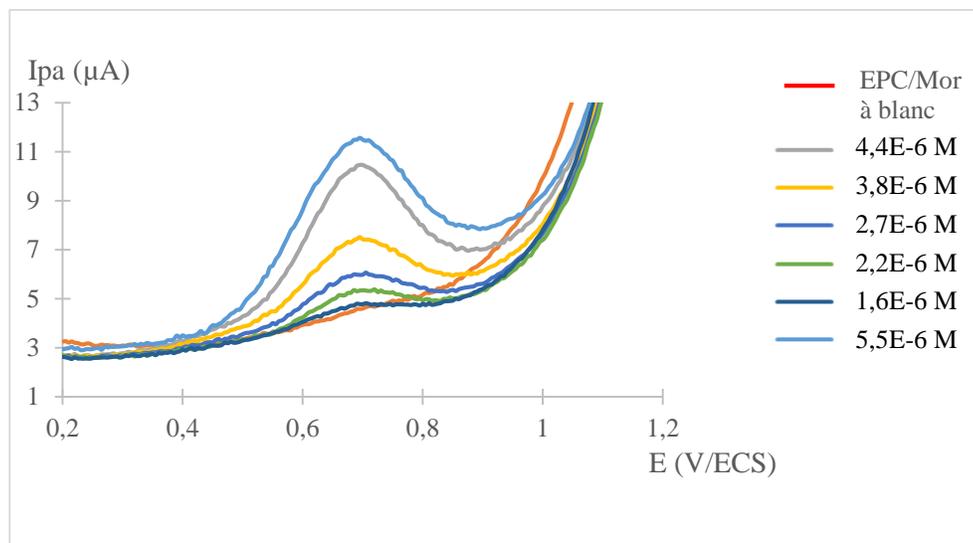
Aux alentours du potentiel de 0,7 V/ECS, il est observé une croissance de l'intensité du pic d'oxydation lorsque la concentration du propylparabène augmente.

En se situant aux potentiels autour de 0,7 V/ECS, le tracé du courant de vague d'oxydation en fonction des concentrations du propylparabène donne une droite dont le coefficient de détermination est de 0,999 (Figure 8).

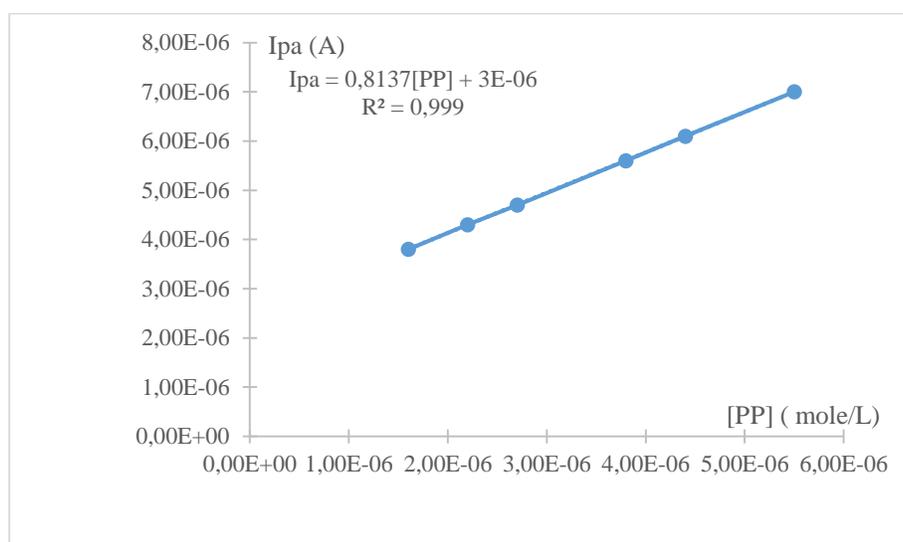
La limite de détection déduite dans ce travail a été comparée à celles d'autres capteurs dans le tableau 1.



**Fig. 6.** Voltammogrammes cycliques de EPC/Mor à blanc et en présence du PP à différentes concentrations dans 25 mL de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  0,1 M ;  $v = 100\text{mV/s}$ , de -0,6V/ECS à 1,1 V/ECS.



**Fig. 7.** Voltammétrie à ondes carrées de EPC/Mor à blanc et en présence du PP à différentes concentrations dans une solution de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , Amp = 50 mV ; N=25 Hz ; pas de potentiel : 5 mV.



**Fig. 8.** Courbe de calibration de la variation de la concentration de PP.

**Tableau 1**

Limites de détection de quelques capteurs électrochimiques pour détecter le propylparabène.

Capteurs électrochimiques	Limites de détection (mol/L)	Références
Microélectrode en fibre de carbone	$5,55 \cdot 10^{-7}$	[16]
Electrode de mercure suspendue (HDME)	$1,07 \cdot 10^{-7}$	[17]
Electrode à pâte de carbone modifiée par le Moringa (EPC/Mor)	$2,59 \cdot 10^{-7}$	Présent travail

### 3.4 Influence du pH

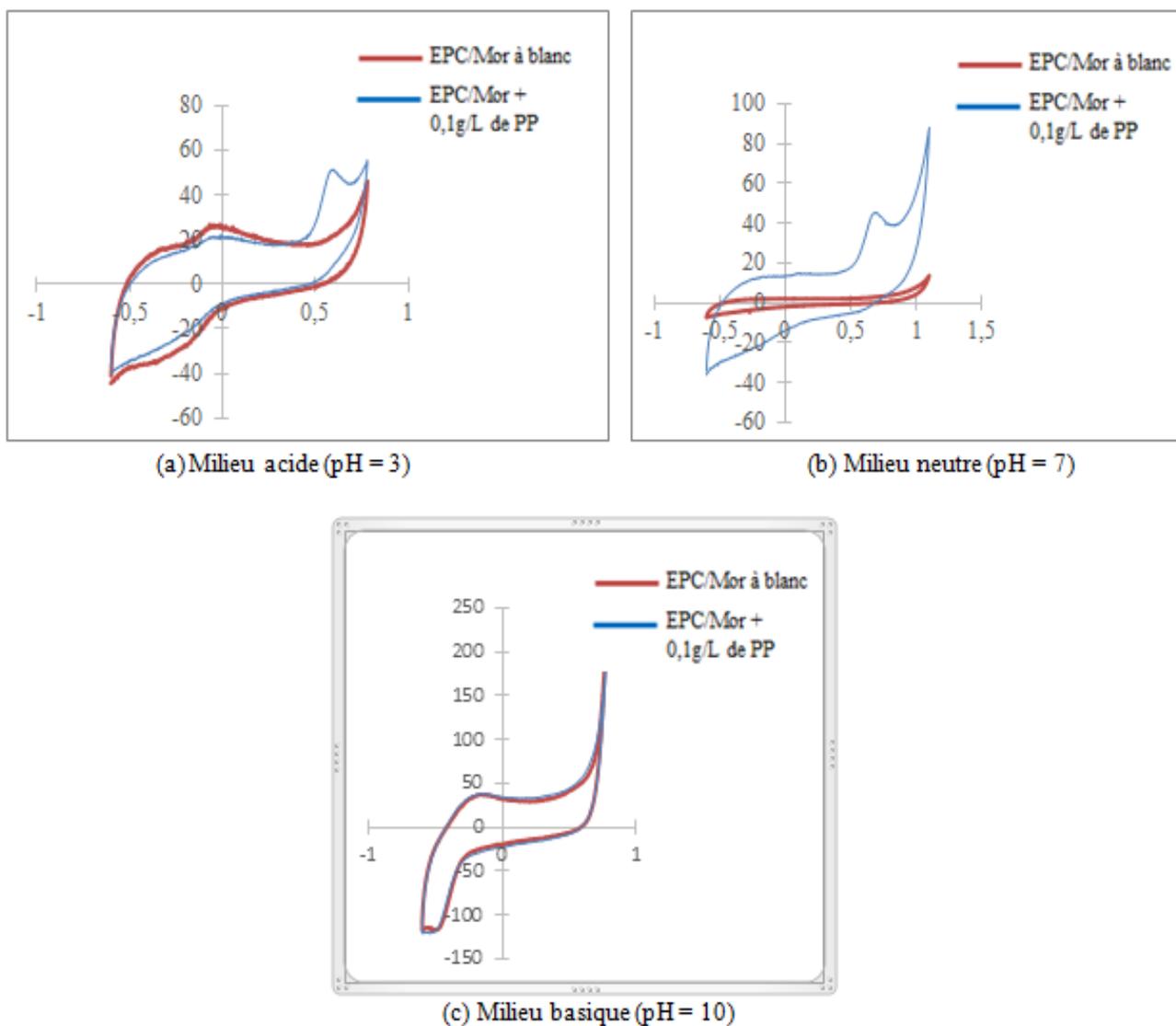
L'électrode élaborée (EPC/Mor) a été caractérisée en milieu acide, en milieu neutre et en milieu basique en présence du propylparabène. Les figures 9a, 9b et 9c montrent respectivement les résultats obtenus dans le milieu acide, le milieu neutre et le milieu basique.

Il ressort de ces résultats que le capteur électrochimique l'EPC/Mor n'est efficace qu'en milieux acide et neutre.

### 3.5 Reproductibilité

La reproductibilité du capteur élaboré pour la détection du propylparabène a été étudiée. Cinq électrodes (EPC/Mor) préparées dans les mêmes conditions ont été caractérisées en présence du propyl-parabène ( $5.5 \cdot 10^{-6}$  M). Le tableau 2 présente les résultats obtenus.

On note une variation très faible de la densité de courant pour les cinq mesures effectuées. Au vu de ces résultats, nous pouvons conclure que les expériences sont reproductibles.



**Fig. 9.** Superposition des voltammogrammes cycliques de l'EPC/Mor en absence et en présence du propylparabène dans différents milieux (a) milieu acide, (b) milieu neutre, (c) milieu basique.

**Tableau 2**

Densité de courant en fonction des mesures effectuées.

Mesures	1	2	3	4	5
Ip ( $\mu$ A)	3,290	3,291	3,289	3,291	3,290

## 4 Conclusion

La présente étude a montré que le capteur électrochimique synthétisé c'est-à-dire EPC/Mor a une bonne sensibilité quant à la détection du propylparabène avec une limite de détection de  $2,59.10^{-7}$  M et une limite de quantification de  $8,63.10^{-7}$  M. L'étude de l'influence de la concentration du propylparabène sur EPC/Mor a montré que la densité de courant augmente linéairement avec les concentrations du propylparabène. Le capteur électrochimique a montré plus d'efficacité dans les milieux acide et neutre. Les résultats obtenus sont suffisamment reproductibles.

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 du capteur qui sera obtenu.

## Références bibliographiques

- [1] Léon Bérard, Centre de lutte contre le cancer ; <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/parabenes/> (site visité le 18/11/2023)
- [2] P.D. Darbre, A. Aljarrah, W.R. Miller, N.G. Coldham, *Concentrations of parabens in human breast tumours*, Journal of Applied Toxicology 24(1) (2004) 5-13.
- [3] E.J. Routledge, J. Parker, J. Odum, J. Ashby, *Some Alkyl Hydroxy Benzoate Preservatives (Parabens) Are Estrogenic*, Toxicology and Applied Pharmacology 153(1) (1998) 12-19.
- [4] S. Oishi, *Effects of butylparaben on the male reproductive system in rats*, Toxicology and industrial Health 17(1) (2001) 31-39.
- [5] Les cahiers de la Recherche, Santé, Environnement, Travail (2012), Anses Editions.
- [6] Cosmetic Ingredient Review and National Institute for Public Health and the Environment, RIVM report, Pays-Bas (2017).
- [7] Daniel Vallauri, Laurine Ollivier, Yann Laurans, Perturbateurs Endocriniens et Biodiversité, World Wilde Fund (WWF-France), 35/37 rue Baudin, 93310 Le Pré-Saint-Gervais (2011) 24.
- [8] C. Radovan, D. Cinghita, F. Manea, M. Mincea, C. Cofan, V. Ostafe, *Electrochemical Sensing and Assessment of Parabens in Hydro-Alcoholic Solution and Water Using a Boron-Doped Diamond Electrode*, Sensors 8(7) (2008) 4330-4349.

- [9] Koffi Jules N'da, Bernadette Ehui Avo Bilé, Olivier François Aristide Bertrand Koffi, Teadouanka Luciano Loua, De Serifou Matyla, *Méthode électroanalytique pour la détection d'un perturbateur endocrinien, l'acide perfluorooctane*, RAMReS Sciences des Structure de la Matière 7(1) (2023) 37-47.
- [10] S. Hekmat, M. Kathryn, M. Soltani, G. Robert, *Sensory evaluation of locally grown fruit purees and inulin fiber on probiotic yogurt in Mwanza, Tanzania and the microbial analysis of probiotic yogurt fortified with Moringa oleifera*, Journal of Health, Population, and Nutrition, 33 (2015) 60-67.
- [11] R.K. Saini, N.P. Shetty, M. Prakash, P. Giridhar, P. *Effect of Dehydration Methods on Retention of Carotenoids, Tocopherols, Ascorbic Acid and Antioxidant Activity in Moringa Oleifera Leaves and Preparation of a RTE Product*, Journal of Food Science and Technology 51(9) (2014) 2176-2182.
- [12] P. Siddhuraju, K. Becker, *Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of Drumstick tree (Moringa oleifera Lam.) leaves*, Journal of Agricultural and Food Chemistry 51 (2003) 2144-2155.
- [13] Kamel Kaidi, Ahmed Boulal, Abdelkader Meknassi, *L'effet antibactérien et antifongique de l'huile essentielle des feuilles de moringa oleifera L.*, International Journal of Natural Resources and Environment 5(1) (2023) 58-66.
- [14] Pohan Aliou Lemeyonouin Guillaume, Ouattara Lassiné, Kondro Konan Honoré, Kambiré Olo, Trokourey Albert, *Electrochemical Treatment of the Wastewaters of Abidjan on Thermally Prepared Platinum Modified Metal Oxides Electrodes*, European Journal of Scientific Research 94(1) (2013) 96-10.
- [15] J.C Miller, J.N Miller, *Basic statistical methods for analytical chemistry Part I. statistics of repeated measurements*, Analyst 113 (1988) 1351-135.
- [16] M. Slawomir, M. Jakubczyk, A. Skorupa, *Voltammetric determination of total content of parabens at a carbon fiber microelectrode in pharmaceutical preparations*, International journal of electrochemical science 11 (2016) 1661-1675.
- [17] 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 2(2) (2017) 82-113.