

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 03



FACULTE DE GENIE DES PROCEDES
DEPARTEMENT DE GENIE CHIMIQUE

N° d'ordre :

Série :

Mémoire de Master

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Génie chimique

**Conception d'un support papier microfluidique pour l'analyse de
l'eau**

Présenté par :

- **ZOUGGAR Oumaima**
- **HAMAILIA Chems ElKhouloud**

Dirigé par :

Pr. OUTILI Nawel

Année universitaire 2023/2024

Session: (Juin)

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et des symboles

Résumé

Introduction générale.....1

Chapitre 1: Revue bibliographique

1.1.Introduction.....	3
1.2. La pollution de l'eau.....	3
1.2.1. Les types de polluants de l'eau.....	4
a) Les polluants organiques.....	4
b) Les polluants inorganiques.....	4
c) Les métaux lourds.....	4
d) Les Halogènes.....	5
e) Les pathogènes.....	5
1.2.2. Les normes de la qualité de l'eau.....	6
1.3. Dispositifs analytiques à base de papier microfluidique et ses avantages.....	7
1.3.1. Papier pour le motif microfluidique.....	8
1.4. Méthodes de fabrication.....	8
1.5. Méthodes de détection des analytes sur les μ PAD.....	11
1.5.1. Colorimétrie.....	12
1.5.2. La détection numérique des réactions.....	13
1.6. Les polluants les plus couramment analysés par le papier.....	13
1.7. Synthèse des travaux précédents.....	15
1.7.1. Détection de pH.....	16
1.7.2. Détection de Nitrite.....	16
1.7.3. Détection de Phosphate.....	17
1.7.4. Détection d'Ammonium.....	17

1.8. L'analyse statistique des résultats.....	18
1.9. Conclusion.....	19

Chapitre 2 : Matériels et méthodes

2.1. Introduction.....	20
2.2. Conception d'un support microfluidique.....	21
2.3. Etapes de Fabrication du support microfluidique.....	21
2.3.1. Dessin des zones de réaction et imprégnation par la cire.....	21
2.3.2. Traitement thermique.....	21
2.3.3. Assemblage du support.....	21
2.4. Appareillage utilisé.....	22
2.5. Protocoles d'analyse des paramètres de l'eau.....	22
2.5.1. pH.....	22
2.5.2. Nitrite.....	23
2.5.3. Ammonium.....	25
2.5.4. Phosphate.....	25
2.6. Méthodes d'analyse pour chaque paramètre par μ PADs.....	26
2.6.1. Analyse du pH.....	26
2.6.2. Analyse des nitrites.....	27
2.6.3. Analyse d'ammonium.....	28
2.6.4. Analyse des phosphates.....	28
2.7. Acquisition des images.....	29
2.8. Analyse des images.....	29
2.9. Traitement des données.....	30
2.10. Analyse statistique des données.....	30
2.10.1. Validation de l'analyse de chaque élément seul.....	30
a) Évaluation de la précision.....	31
b) Détermination des limites de détection et de quantification.....	31
c) Analyse de la linéarité.....	31
d) Évaluation de la répétabilité.....	32
2.10.2. Validation de la bandelette à 4 éléments.....	32
2.11. Conclusion.....	32

Chapitre 3: Résultats et Discussions

3.1. Introduction.....	33
3.2. Présentation des résultats.....	33
3.3. Détection de pH.....	33
3.3.1. Par pH mètre.....	33
3.3.2. Analyse colorimétrique de pH : (Eco-pHPAD).....	34
a) Analyse de la stabilité de l'indicateur naturel en fonction du temps.....	34
b) Variation de l'intensité en fonction du pH.....	36
3.3.3. Tests et validation des résultats de pH.....	37
3.4. Détection de Nitrite.....	38
3.4.1. spectrophotomètre UV-visible.....	38
3.4.2. Analyse colorimétrique de Nitrite.....	39
3.4.3. Tests statistiques de nitrite par μ PAD.....	41
3.4.4. Optimisations des conditions pour la réaction colorimétrique.....	42
a) L'effet de volume de réactif (Griess) et l'effet de volume de solution.....	42
b) Le Choix du Papier.....	42
c) L'effet de temps de réaction.....	43
3.5. Détection d'ammonium.....	43
3.5.1. spectrophotomètre UV-visible.....	43
3.5.2. Analyse colorimétrique d'ammonium.....	44
3.5.3. Tests statistiques.....	46
3.6. Détection de Phosphate.....	47
3.6.1. spectrophotomètre UV-visible.....	47
3.6.2. Analyse colorimétrique de phosphate.....	48
3.6.3. Tests statistiques de phosphate par μ PAD.....	49
3.7. Tests et validation des paramètres.....	50
3.8. Validation des bandelettes de test (produit final).....	50
3.9. Conclusion.....	51
Conclusion générale.....	53
Références	

Résumé :

La pollution de l'eau est un problème environnemental sérieux qui affecte des millions de personnes, et la demande de surveillance fréquente de la qualité de l'eau est en augmentation. La nécessité de plates-formes analytiques combinant une sensibilité élevée, une sélectivité et une précision avec un coût bas, une portabilité et une convivialité reste un défi. Les dispositifs analytiques à base de papier microfluidique (μ PADs) sont reconnus comme une plateforme analytique puissante capable de satisfaire à ces exigences. Cette étude rend compte du développement d'un dispositif analytique papier microfluidique (μ PAD) à faible coût et colorimétrique, imprimé à la cire, pour détecter des paramètres importants de la qualité de l'eau, tels que : le pH, le nitrite, l'ammonium et le phosphate dans une large gamme d'échantillons d'eau. L'innovation microfluidique a été utilisée pour faciliter l'examen des analytes sur les techniques d'explication colorimétrique sur un dispositif de détection pratique. Cela permet ainsi le mélange de petits volumes d'analytes avec des réactifs chimiques pour former un produit coloré en présence de l'analyte d'intérêt. Le potentiel de ces dispositifs pour des applications pratiques est également examiné de manière approfondie, notamment en évaluant leur capacité à déterminer les concentrations spécifiées dans les directives de qualité de l'eau ou les concentrations maximales recommandées pour diverses eaux, ainsi que leur pertinence pour des applications sur le terrain. En outre, cette recherche intègre une analyse de marché et une étude économique visant à évaluer la faisabilité de la création d'une entreprise (dans le contenu de startup) spécialisée dans la conception sur mesure et la production de ces dispositifs.

Mots clés: qualité d'eau, μ PADs, analyse colorimétrique, détection de nitrite, phosphate, ammonium, mesure de pH.

Summary :

Water pollution is a serious environmental problem affecting millions of people, and the demand for frequent water quality monitoring is increasing. The need for analytical platforms that combine high sensitivity, selectivity, and accuracy with low cost, portability, and user-friendliness remains a challenge. Microfluidic paper-based analytical devices (μ PADs) are recognized as a powerful analytical platform capable of meeting these requirements. This study reports the development of a low-cost, colorimetric microfluidic paper-based analytical device (μ PAD), printed with wax, to detect important water quality parameters such as pH, nitrite, ammonium, and phosphate across a wide range of water samples. Microfluidic innovation was utilized to facilitate the examination of analytes using colorimetric techniques on a practical detection device. This allows the mixing of small volumes of analytes with chemical reagents to form a colored product in the presence of the target analyte. The potential of these devices for practical applications is also thoroughly examined, including their ability to determine concentrations specified in water quality guidelines or recommended maximum concentrations for various waters, as well as their suitability for field applications. Additionally, this research integrates a market analysis and an economic study aimed at evaluating the feasibility of creating a startup company specialized in the custom design and production of these devices.

Keywords: water quality, μ PADs, colorimetric analysis, nitrite detection, phosphate, ammonium, pH measurement.

ملخص

تلوث المياه هو مشكلة بيئية خطيرة تؤثر على ملايين الأشخاص، والطلب على مراقبة جودة المياه بشكل متكرر في تزايد. تظل الحاجة إلى منصات تحليلية تجمع بين الحساسية العالية، الانتقائية والدقة مع التكلفة المنخفضة، القابلية للحمل وسهولة الاستخدام تمثل تحديًا. تُعتبر الأجهزة التحليلية المعتمدة على الورق الدقيق الميكروي منصة تحليلية قادرة على تلبية هذه المتطلبات، تتناول هذه الدراسة تطوير جهاز تحليلي منخفض التكلفة و قائم على الورق الميكروي و ملون، مطبوع بالشمع، للكشف عن معايير مهمة لجودة المياه مثل الاس الهيدروجيني، النيتريت، الامونيوم، الفوسفات في مجموعة واسعة من عينات المياه، تم استخدام الابتكار الميكروي لتسهيل فحص المحلات باستخدام تقنيات التفسير اللوني على جهاز كشف عملي، يسمح هذا بمزج كميات صغيرة من المحلات مع كواشف كيميائية لتكوين منتج ملون في وجود المحلل المستهدف، يتم أيضا فحص إمكانيات هذه الأجهزة للتطبيقات العملية بشكل شامل، بما في ذلك قدرتها على تحديد التركيزات المحددة في إرشادات جودة المياه أو التركيزات القصوى الموصى بها لمختلف أنواع المياه، بالإضافة إلى ملاءمتها للتطبيقات الميدانية. بالإضافة إلى ذلك، تدمج هذه الأبحاث تحليل السوق ودراسة اقتصادية تهدف إلى تقييم جدوى إنشاء شركة ناشئة متخصصة في التصميم حسب الطلب وإنتاج هذه الأجهزة.

الكلمات المفتاحية: جودة المياه، أجهزة التحليل الدقيقة الميكروية، التحليل اللوني، الكشف عن النيتريت، الفوسفات،

الامونيوم، قياس الاس الهيدروجيني