Purification performance of the plant *Cyperus papyrus* in an arid climate, region of Touggourt Ouargla (Algeria)

أداء تنقية نبات *Cyperus papyrus* في المناخ الجاف بمنطقة تقرت ورقلة

Brahim LABED[1,2,*], Ahmed Abdelhafid BEBBA[1] and Noureddine Gharaf[3]
[1]*Univ Ouargla, Fac. des Mathématiques et des Sciences de la Matière, Lab. Promotion et Valorisation des Ressources Sahariennes, Ouargla 30 000, Algeria*
[2]*Laboratoire des Sciences & Environnement : "Bio-Ressources Géochimie-Physique, Législation et Développement Socio-Economique Centre Universitaire de Tamanghasset, Algérie*
[3]*Laboratoire des Ressources Naturelles et Aménagement des Milieux Sensibles, Université Larbi ben M'hidi, Oum El-Bouaghi, Algérie*
[*] E-mail : bahi6600@gmail.com

ملخص الهدف من هذه الدراسة هو إثبات قدرة نبات*Cyperus Papyrus* في تنقية المياه المستعملة بنظام تدفق أفقي تحت جو جاف و حار. شملت هذه الدراسة مقارنة بين حوض مزروع بنبات *Cyperus Papyrus* وحوض غير مزروع (شاهد) مع دراسة قدرة نبات *Cyperus Papyrus* على تصفية المياه المستعملة. الدراسة منجزة عبر نموذج تجريبي في منطقة تطهير المياه المستعملة الحضرية بمؤسسة الديوان الوطني للتطهير ONA بمدينة تقرت. يتكون هذا النموذج التجريبي من أحواض دائرية ذات سعة 130L مملؤة من الأسفل إلى الأعلى على سمك 45cm بحصى (25/15)mm و 10cm بالرمل. حوض مزروع بسيقان حديثة العمر نبات *Cyperus Papyrus* بكثافة 36ساق/م2 , وحوض غير مزروع كشاهد. عملية تزويد الأحواض بالمياه المستعملة الحضرية بعد المعالجة الأولية (المعالجة الفيزيائية) ب-30L في اليوم بوتيرة منتظمة مرة واحدة كل أسبوع و الماء المتحصل عليه بعد مكوثه5 أيام في الحوض يتم التقاطه (تجميعه) عبر إناء موضوع أسفل الحوض. بعد الدراسة التي دامت سنة كاملة من جانفي 2012 إلى ديسمبر 2012 تحصلنا على ازالة الملوثات بالنسب التالية:
DCO (80,49%) , DBO5 (83,7%) , MES (93,79 %) NO_2^- (81,75 %) , PO_4^{-3} (80,6 %) , E. Coli (99,83 %)
وجود النبات في الأحواض المزروعة يتسبب في إحداث قنوات عبور للمياه وبذلك لا تسبب الانسداد.
الانخفاض المعتبر للملوثات والكائنات الضارة يجعلنا نهتم أكثر لإعادة استعمال المياه المعالجة في الزراعة و الصناعة.

كلمات دالة : المناخ الجاف، مياه الصرف الصحي، المعالجة بالنباتات المائية، *Cyperus papyrus* ، منطقة تقرت.

ABSTRACT: The objective of this study is to show the potential of Cyprus Papyrus in the purification of wastewater by using the system of horizontal flow in dry hot weather. This study is a comparison between two experimental plots, one is planted with cyperus papyrus and the second is used as a control. The study is aimed at asserting the potential of Cyperus Paperus in purifying wastewater. This research has been conducted in the urban area of Cleaning up National Office located in Touggourt (Ouargla, Algeria). This experimental model is constituted from two circular plots with the capacity of 130 L filled to depth of 15 cm with gravel of 25/15 mm and 10 cm soil. The first plot has been planted with young shoots of cyperus paperus (36 stems/ m^2), the second is used as a control. The first experimental plot was supplied exclusively with wastewater after physical treatment, once per week (approximatively 30 L each time). The wastewater remains in the plot five days and after that it flows in a bowl fixed down the planted plot. After one year of experimental study we got the following result: DCO (80, 49 %), DBO_5 (83 ,7%), MES (93,79 %), NO_2^- (81, 75%), PO_4^{-3} (80, 6 %), E. Coli (99,83%) .The existence of cyperus paperus in the plot helps in making canals through which water can pass. The considerable increase in the polluting substances and detrimental germs helps in encouraging the reuse of the treated water in agriculture and industry.

KEYWORDS: Arid climate, wastewater, macrophyte aquatic treatment, *Cyperus Papyrus*, zone of Touggourt

RÉSUMÉ : L'objectif de la présente étude est de mettre en évidence les performances épuratoires de la plante Cyperus Papyrus pour les eaux usées sous un régime d'écoulement horizontal et un climat chaud et sec (aride). Dans cette étude nous avons réalisé une comparaison entre un lit planté de Cyperus Papyrus et un lit non planté (témoin) ainsi que l'étude de la performance de la Cyprus Papyrus à épurer les eaux usées. L'étude est réalisée selon un pilote expérimental dans la zone d'épuration des eaux usées urbaines au sein de l'office national d'assainissement (ONA) à Touggourt. Le pilote expérimental est constitué de pots de capacité 130 litres remplis de bas en haut sur une épaisseur de 45 cm de graviers (15/25mm) de 10 cm de sable. Le pot est planté de jeunes tiges de Cyperus Papyrus (36 tiges/m^2) et l'autre pot non planté est pris comme témoin. L'alimentation des pots se fait par les eaux usées urbaines par bâchées 30 litres/jour, une

fois par semaine. L'eau obtenue après 5 jours est collectée dans un récipient situé sous le pot. Après une durée d'étude qui s'est étalée sur année, nous avons obtenu les résultats d'élimination des polluants avec les pourcentages suivants : DCO (80,49%), DBO_5 (83,7%), MES (93,79%), NO_2 (81,75%), PO_4^{3-} (80,6%), E.Coli (99,83%). L'existence de la plante Cyperus Papyrus dans les lits plantés permet de maintenir une porosité suffisante qui évite tout colmatage. La diminution importante des polluants et des microorganismes pathogènes nous permet d'envisager une réutilisation des eaux traitées dans l'agriculture et l'industrie.

MOTS-CLÉS : Climat aride, eau usée, macrophyte aquatique traitement, Cyperus Papyrus, région de Touggourt.

المقدمة :

في أيامنا هذه معظم الدول النامية تواجه مشاكل عدة في البيئة خاصة تلك التى لها علاقة بمعالجة المياه المستعملة حضريا. التخلص من هذه المياه يؤثر على المياه السطحية إذا كانت غير معالجة، حيث تصبح هذه الأخيرة مستوطن للبكتيريا و الكائنات الضارة و تصدرمنها رائحة كريهة و تكون غير صالحة للاستعمال من طرف الإنسان [1] [2] [3] . بالرغم من المجهودات المبذولة في إنجاز محطات معالجة المياه المستعملة حضريا بالطرق القديمة الكلاسيكية (الحماة و السرير البكتيري .....). هذه الطرق معقدة بسبب تشغيلها و صيانتها و تكلفتها المرتفعة [4] حيث نجد معظم دول العالم في اهتمام متزايد من طرف الشعوب للمحافظة على البيئة من التلوث باستخدام طرق و تقنيات حديثة من بينها محطات المعالجة بالنباتات. محطات المعالجة بالنباتات أثبت كفاءاتها و قدرتها على تحقيق المواصفات المرغوبة لمياه الصرف عن طريق إنقاص نسبة الملوثات و العوامل الممرضة و الوصول إلى الحدود المسموحة لاستخدام المياه الناتجة عنها في الزراعة دون استخدام المحاليل الكيميائية .

أساس المعالجة بالنباتات المائية المغروسة تعتمد على الجدمور و الجذور حيث تشكل حامل لنمو البكتيريا و تصفية المواد العالقة [5]. الجدمور تشكل مع الجذور أكبر مساحة التماس بين التربة و المياه حيث تساعدها على الانسياب داخل التربة [6]. النباتات تسمح للأوكسجين أن يتنقل إلى الجذور عن طريق الأوراق و السيقان [7] [8]، هذا الأوكسجين يساعد على تزايد و نمو البكتيريا التي تقوم بتحطيم المواد العضوية الموجودة ضمن المياه . الجدمور و شبه الجذور تنتج مادة سامة (مضادات حيوية) تقتل البكتيريا الضارة. بالمقارنة بين الطرق الكلاسيكية و طريقة المعالجة بالنباتات نجد أنها أقل تكلفة و سهلة الاستعمال تتطلب إمكانيات قليلة و أقل تأثير في تغير نوعية المياه. في الجزائر هذه المحطات حديثة الإنشاء، أول محطة لمعالجة المياه المستعملة حضريا في منطقة قصر القديم بتماسين تقرت أنجزت في جويلية سنة 2007 بعد ثلاث سنوات من العمل و الخبرة من طرف الباحثين من المعهد الوطني للأبحاث الزراعية INRA بسيدي مهدي تقرت المكلف بمراقبة المحطة وجد ما يقارب 18 نوع من النباتات من 23 نوع لقوا حتفهم من بين الفرضيات هو عدم ملائمة هذه النباتات للظروف المحلية (المناخ ، مياه الصرف، الملوحة المفروضة) هدف عملنا هذا هو قياس مدى فعالية نبات *Cyperus Papyrus* في تنقية المياه المستعملة الحضرية و يعود سبب اختيارنا لهذا النبات لأنه نبات محلي له القدرة على العيش والتأقلم مع مناخ المنطقة .

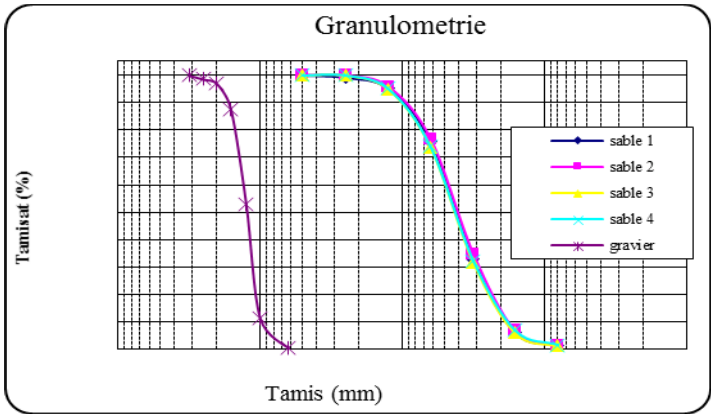
1. أدوات و طرق

الدراسة منجزة عبر نموذج تجريبي في منطقة تطهير المياه المستعملة الحضرية ONA (الديوان الوطني للتطهير) بمدينة تقرت ورقلة الجزائر، تتميز هذه المنطقة بطقس جاف بمعدل تساقط أمطار تقدر بـ 18mm/an و معدل درجة الحرارة يتراوح بين حد أدني 1.6°C- و حد أقصى 48.4°C . يتكون هذا النموذج التجريبي من أحواض دائرية ذات سعة 130L مملوءة من الأسفل إلى الأعلى على سمك 45cm بحصى (25/15 mm) و 10cm بالرمل. حوضان مزروعان بسيقان حديثة العمر بنبات *Cyperus Papyrus* بكثافة (36 tiges/m^2) أخذ هذا المعيار من دراسات سابقة [9] [10] وحوضين غير مزروعين كشاهد .

عملية تزويد الأحواض بالمياه المستعملة الحضرية بعد المعالجة الأولية (المعالجة الفيزيائية) بـ 30L في اليوم بجريان تدفق تحت سطحي أفقي بوتيرة منتظمة مرة واحدة كل أسبوع و الماء المتحصل عليه بعد مكوثه 5 أيام في الحوض يتم التقاطه (تجميعه) عبر إناء موضوع أسفل الحوض.

الشكل 1: العتاد التجريبي المستعمل.

الخصائص الفيزيوكيميائية للمواد التعبئة المستعمل يتميز بالأس الهيدروجيني pH=7.06 وسط متعادل و الناقلة الكهربائية CE=586.34ms/cm.



الشكل 2: منحنى التحليل الحبيبي لمواد التعبئة

من خلال منحنى التحليل الحبيبي لمواد التعبئة يتبين مايلي :

- الخصائص الفيزيائية للحصى

التدرج الحبيبي ضيق (محصور) Cu=1.4 و الحبيبات موزعة جيدا Cc=1.02, النفاذية 0.18Cm/S والمسامية 37.36%, الكثافة1.66

- الخصائص الفيزيائية للرمل

التدرج الحبيبي موسع Cu=2.77 و الحبيبات موزعة جيدا Cc=1 ومواد التعبئة متوسطة الرص حيث تتراوح الكثافة المشبعة 1.8 والكثافة الجافة 1.5, تتراوح مسامية مواد التعبئة ب 42% ويبلغ دليل الفراغات 0.72 درجة.

النبات المستعمل : *Cyperus Papyrus* هو نوع نباتي ينتمي إلى جنس *Papyrus* من الفصيلة *Cyperaceae* [11]

أخذ هذا النبات من حوض نموذجي لمعالجة المياه المستعملة بالنباتات (WWG) التى تقع بقرب القصر العتيق بتماسين تقرت و الهدف منها هو معالجة المياه المستعملة الحضرية و إستغلال مياه الصرف و إعادة استعمالها للسقي.

الدراسة تمت على طوال سنة كاملة من شهر جانفي 2012 الى غاية شهر ديسمبر 2012.

خلال مدة الدراسة أجريت التحليل الفيزيوكميائية بمخبر الديوان الوطني للتطهير بتقرت ONA و التحليل البكترولوجي بمخبر تحليل الأغذية و المياه بمستشفي تقرت، أما بالنسبة لتحديد الخصائص الفيزيوكيميائية لمواد التعبئة المستعملة فأجريت الدراسة في مخبر إعادة استغلال وتثمين الموارد الطبيعية في المناطق الجافة ومخبر جيوبيوكيمياء بجامعة قاصدي مرباح ورقلة. وتتضمن الأعمال المخبرية ضمن هذا العمل فحوصات متنوعة للمدخل والمخرج.

أجريت الدراسة أسبوعيا بالنسبة للخصائص الفيزيوكيميائية ومرتين في الشهر (كل 15 يوم) بالنسبة للتحاليل البكترولوجية.

2. الوسائط الفيزيوكيميائية و البكترلوجية المقاسة :

- قياس الـ pH: أستخدام جهاز الـ pH متر من نوع ORION (AFNOR,X31-103) [12]
- قياس الناقلية :بواسطة جهاز قياس الناقلية من نوع TACUSSEL (RORIER,1984)
- قياس درجة الحرارة : تقاس درجة الحرارة ميدانيا بواسطة جهاز متعدد القياسات multiparamètres.
- قياس المواد العالقة MES: أعتمدت طريقة الترشيح بواسطة ورق الترشيح (GF/C) و تجفيف عند 105°C حتى نحصل
- على وزن ثابت . كمية المواد العالقة نحسب بالفرق بين وزن ورقة الترشيح بعد التجفيف و وزن ورقة الترشيح و هو فارغ (AFNOR,T90-105) [12]
- قياس الطلب الكيميائي للأكسجين DCO : الطريقة المتبعة لقياس كمية DCO , أكسدة بواسطة بيكرومات البوتاسيوم في وسط حمضي مع التسخين لمدة ساعتين بوجود سلفات الزئبق HgSO4 و سلفات الفضة AgSO4 (AFNOR,T90-101) [12]
- قياس الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO5 :

تعين كمية DBO5 بإستعمال جهاز DBO-metre

قياس النتريت NO_2^- : يتم تحديد كمية النتريت بواسطة جهاز colorimètre DR/890 و الطريقة المطبقة Diazotation .

- قياس أورتو فوسفور PO_4^{-3} : يتم تحديد كمية أورتو فوسفور PO_4^{-3} بقياس colorimétrique مع تشكيل معقد porosphomolybdique (AFNOR, T90-023) [12].
- تعداد البكتريا *Coliformes Totaux* و *Streptocoques Totaux* و *E.coli* على التوالي الزرع في وسط سائل (AFNOR, T90-433) [12].
- الطريقة المتبعة لتعين الخصائص الفيزيائية للمواد التعبئة حسب تنظيم AFNOR(NF P 94 -056) [12].

مردود التنقية:

تحسب كفاءة التنقية للوسائط المقاسة بالمعادلة:

$$R\ \% = (Xi-Xf)\ x100\ /Xi$$

Xi = تركيز الوسائط المتواجدة في المياه المستعملة الداخلة للحوض (g/l).
Xf = تركيز الوسائط المتواجدة في المياه المعالجة الخارجة من المرشح (g/l).

- النتائج المقدمة لكل وسيط تمثل القيم المتوسطة المقاسة و التي تم الحصول عليها من الحوضين المستقلين (المزروع والشاهد).

- الفرق بين أداء الحوض المزروع والشاهد اختبر على مستوى الدلالة (0.05) ببرنامج STATISTICA 7 .1. بعد التحقق من الحالة الطبيعية بواسطة اختبار Kolmogoroff-Smirnoff، تحليل التباين هو اختبار المقارنة للقيم المتوسطة و الذي يسمح بتحديد الفرق بين الحوضين المزروع و الشاهد.

3. خصائص مياه الصرف المستعملة في تغذية الأحواض

الجدول (1) يمثل القيم المتوسطة للوسائط المقاسة لمياه الصرف المستعملة في تغذية الأحواض أثناء عملية التنقية خلال مدة الدراسة.

الجدول (1) القيم المتوسطة للوسائط المقاسة لمياه الصرف المستعملة في تغذية الأحواض أثناء عملية التنقية خلال مدة الدراسة

الوسائط	عدد العينات	القيمة الدنيا	القيمة القصوى	القيم المتوسطة ± الإنحراف المعياري
pH	48	7.31	8.16	7,8 ± 0,22
Conductivite	48	3.59	9.05	(6,81± 1,50)ms/cn
MES	48	236	236	(402 ,50 ± 135,22)mg/l
DCE	48	180	346	(280,58± 56,54) mg/l
DBO_s	48	110	295	(211,17± 59,55) mg/l
No2	48	0.1	0.58	(0,212±0,146)) mg/l
Po_4^{-3}	48	55.9	23.17	(33,07± 8,83) mg/l
E.Coli	24	760000	12000	(236666,67± 221727,61)UFC/100ml

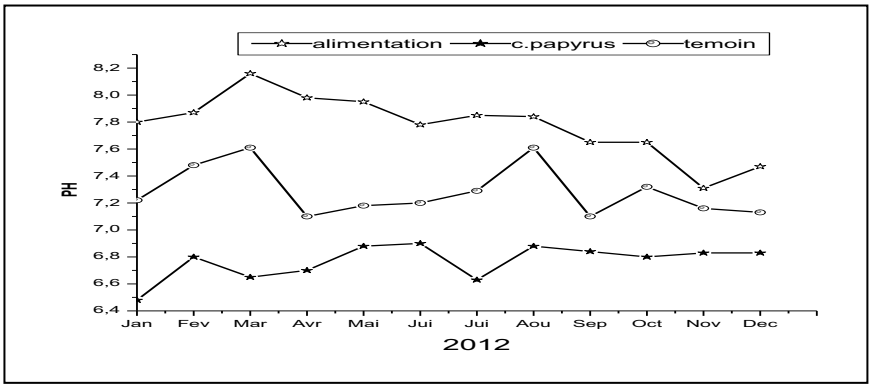
4. نتائج ومناقشة

–الأس الهيدروجيني إلpH

نلاحظ من خلال الشكل رقم (03) بان pH المتوسط ينخفض في المياه المعالجة في مختلف الأحواض مقارنة بالمياه المستعملة، ينخفض بمعدل 7.8 إلى 6.77 في الحوض المزروع بالنبات و 7.28 بالنسبة للحوض الغير مزروع (الشاهد) التحليل. الإحصائي لايعطي فرق بين الحوض المزروع و الشاهد (P>0/05) ولكن متوسط الأس الهيدروجيني آل pH في الحوض المزروع اقل من الحوض الشاهد. هذه النتيجة مشابهة للنتيجة التي توصل إليها [14].

انخفاض آل pH يعطينا حموضة الوسط و هذه الحموضة ناتجة عن أكسدة النتريت وDCO [15] [16].

أكسدة DCO ينتج عنها CO_2 بدوره يؤدي إلى حموضة الوسط وأكسدة النتريت ينتج عنها النترات بدوره يؤدي إلى حموضة الوسط.

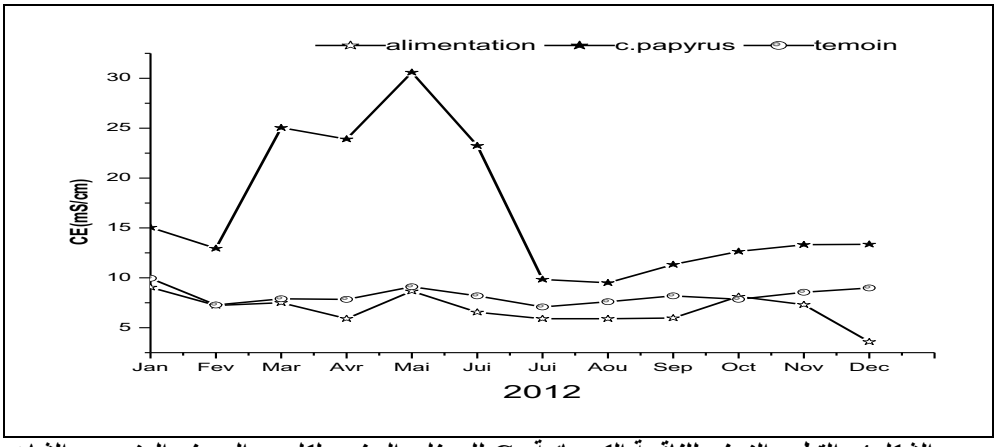


الشكل 3: التطور الزمني للأس الهيدروجيني ال PH للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

الناقلية الكهربائية CE

الناقلية الكهربائية للمياه المعالجة بالأحواض المزروعة هي دائما اكبر من الناقلية الكهربائية للمياه المعالجة بالحوض الغير مزروع (الشاهد) و المياه المستعملة (الشكل (04)). هذا الارتفاع يكون كبير في الربيع والصيف. أما بالنسبة الناقلية الكهربائية للحوض الغير مزروع (الشاهد) يكون نفس التغير مع المياه المستعملة . الناقلية الكهربائية للمياه المستعملة ms/cm (6.81±1.50) أما بالنسبة للمياه المعالجة ms/cm(16.73±7.01) للحوض المزروع و (8.21±0.82) بالنسبة للحوض الغير مزروع.

التحليل الإحصائي بين أن هناك فرق متباين بين الحوض المزروع و الحوض الشاهد ($P<0.05$)، إذن وجود الحزم النباتية هو الذي يتسبب في ارتفاع الناقلية الكهربائية,هذه النتائج مشابهة للنتائج التي تحصل عليها (FINLAYSON, 1983) [17] حيث استعمل نبات TYPHA. لقد فسر (RANJANI, 1996)[18] ارتفاع الناقلية الكهربائية سببه تعرق وتبخر النبات و تحول المواد العضوية إلى مواد معدنية.



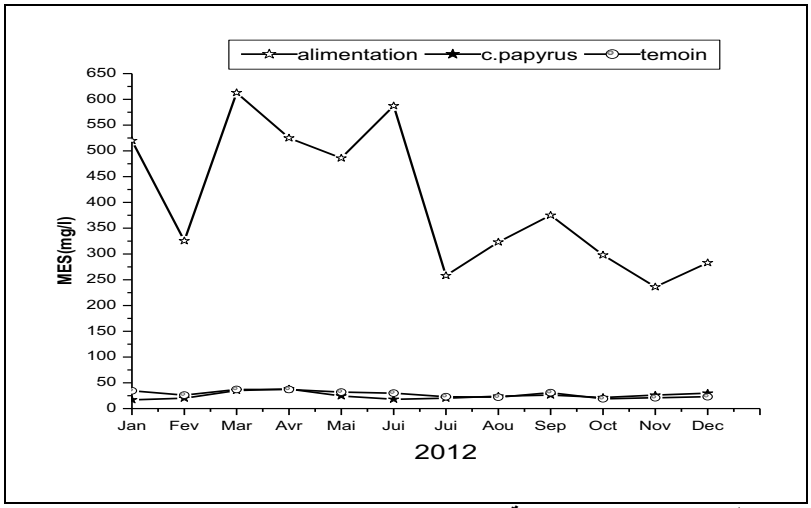
الشكل 4: التطور الزمني للناقبية الكهربائية Ce للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

_المواد العالقة MES

يبين الشكل (05) تطور المواد العالقة MES بين القيمة الصغرى 236mg/l و القيمة القصوى 613mg/l في المياه المستعملة الحضرية بمعدل (402.5±135.22) اما بالنسبة للمياه المعالجة تكون ثابتة بمعدل mg/l(25.00±6.55) في الأحواض المزروعة وmg/l(27.94±6.41) بالنسبة للأحواض الغير مزروعة.

تناقص تركيز MES في مختلف المياه المعالجة ناتج اساسا على المعالجة الفيزيائية حيث المواد الخشنة تبقى عالقة في السطح اما المواد الدقيقة تحجز في مسامات المصفاة او بالتفاعل الكميائي بطريقة Van Der Waals [19]، المياه المعالجة بالاحواض المزروعة تكون اكثرتعكير من المياه المعالجة بالحوض الغير مزروع (الشاهد). هذه النتيجة تحصل عليها (MOLLE, 2003) [20]. هذا ناتج عن النبات المغروس في الحوض وجود الجذور و الجدمور يشكل (يحدث) قنوات داخل مواد التعبئة عن طريقها تعبر المواد الدقيقة وتظهر في المياه المعالجة.

إزالة 93.79% من MES في الأحواض المزروعة أحسن من النتيجة التي تحصل عليها (MOLLE, 2004) [21].



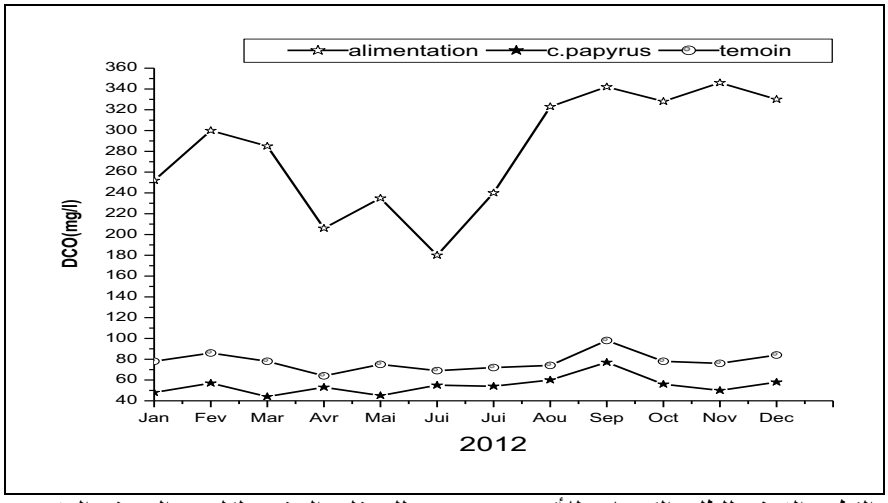
الشكل 5: التطور الزمني للمواد العالقة MES للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

الطلب الكيميائي للأكسجين DCO

فيما يخص الطلب الكيميائي للأكسجين DCO (الشكل رقم (06)) تركيزها ينخفض في المياه المعالجة مقارنة بالمياه المستعملة حيث يتغير من mgO_2/l (180 إلى 346) في المياه المستعملة بمعدل (56.54 ±280.58)، في المياه المعالجة قيم DCO mgO_2/l(8.64±54.3) في الحوض المزروع وmgO_2/l (8.74±77.67) في الحوض الغير مزروع (الشاهد).

إزالة DCO في الحوض المزروع (80.49%) تكون أعلى بالنسبة للحوض الغير مزروع "الشاهد" (76.61%)، التحليل الإحصائي أعطى فرق متباين بين الحوض المزروع و الحوض الغير مزروع "الشاهد" ($P<0.05$)، الأحواض المزروعة و الغير مزروعة تعطي مياه بتركيز DC0 اقل من المياه المستعملة، هذا يكون ناتج عن الامتصاص الفيزيائي للمواد العضوية للمياه المستعملة في المصفاة و تهوية الوسط عن طريق الكائنات البكترية.

الحوض المزروع أعطى مردودا أحسن (80. 49%) مقارنة بالحوض الشاهد (72.32%) ; هذا الانخفاض يكون سببه وجود النبات الذي يوفر شروط فيزيوكيميائية التي تسبب أكسدة DCO بواسطة الكائنات البكترية, هذه الكائنات تعطي الأكسجين في الوسط المصفي عن طريق الجذور و الجدمور [22] [23] [24]. النباتات تساعد على نمو الكتلة الحيوية البكترية في الوسط العضوي السطحي. هذا المردود (80.49%) أعلى من النتيجة (72%) التي تحصل عليها [9]. هذا الاختلاف يعود سببه إلى نوع النبات والمياه المستعملة.



الشكل 6: التطور الزمني للطلب الكيميائي للأكسجين DCO للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

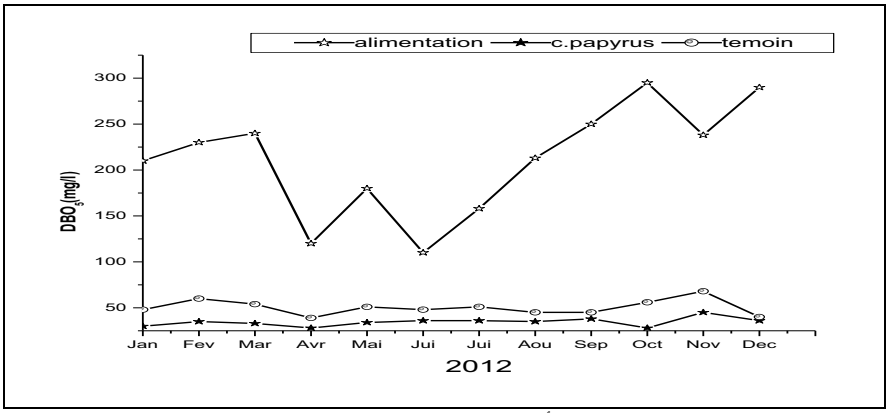
إزالة DBO_5

الشكل (07) يبين تطور DBO_5 للمياه المستعملة الحضرية والمياه المعالجة في الحوضين، الحوض المزروع والحوض الغير مزروع. عموما تركيز ABO5 في المياه المستعملة الحضرية أكبر من تركيز DBO_5 في المياه المعالجة حيث ينخفض تركيز DBO_5 بمعدل mg/l (59,55 ± 211,17) في المياه المستعملة إلى mg/l (4,64 ±34,50) و mg/l (8,28 ± 50,42) في الحوضين المزروع والشاهد على التوالي.

مردود إزالة DBO_5 في الحوض المزروع والشاهد 88% و 76% على التوالي.

التحليل الإحصائي يوضح أن هناك فرق متباين بين الحوض المزروع والشاهد ($P<0,05$).

الفرق في إزالة DBO_5 بين الحوض المزروع والشاهد سببها وجود النباتات المائية التي تملك خاصية امتصاص الأكسجين عن طريق الأوراق ثم السيقان إلى الجذور هذا الأكسجين ينشط البكتريا حيث تعمل على أكسدة وتحطيم المواد العضوية.



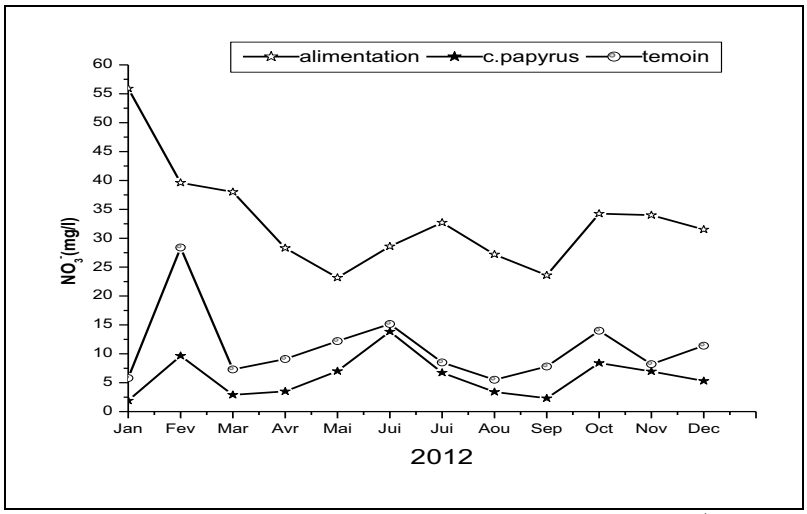
الشكل 7: التطور الزمني الطلب البيوكميائي للأكسجين DBO_5 للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد

إزالة النتريت NO_2^-

الشكل (08) بين تطور NO_2^- للمياه المستعملة الحضرية والمياه المعالجة في الحوضين، الحوض المزروع والحوض الغير مزروع. بصفة عامة تركيز النتريت NO_2^- في المياه المستعملة يتغير مع الزمن يكون أكبر من تركيز NO_2^- في المياه المعالجة حيث ينخفض تركيز NO_2 بمعدل (0,212±0,146)mg/l في المياه المستعملة وفي الحوضين المزروع والشاهد (0,039±0,022) و(0,073±0,038) على التوالي.

مردود التقنية في الحوض المزروع والشاهد 81,2% و 65,61% على التوالي. التحليل الإحصائي يوضح أنه يوجد فرق متباين بين الحوض المزروع والشاهد ($P<0,05$) الفرق في إزالة NO_2^- بين الحوض المزروع والحوض الغير مزروع (الشاهد) سببها وجود النباتات المائية التي تملك خاصية امتصاص الأكسجين إلى الجذور والجدامير عن طريق الأوراق و السيقان [23].

هذا الأكسجين ينشط البكتريا التي تعمل على تحويل النتريت NO_2^- إلى نترات NO_3^-. في منطقة الجذور تسمى هذه العملية النترجة (nitrification).



الشكل 8: التطور الزمني النتريت NO_2 للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

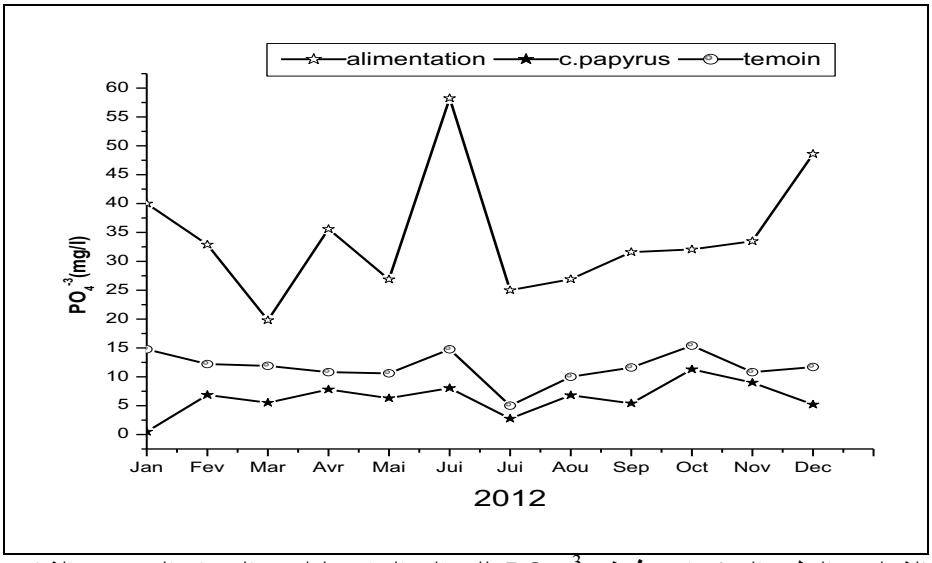
ارتو فسفور PO_4^{-3}

نلاحظ من خلال الشكل (09) بصفة عامة تركيز PO_4^{-3} للمياه المستعملة تتغير مع الزمن وتكون اكبر من تركيز PO_4^{-3} في المياه المعالجة، حيث نجد تركيز PO_4^{-3} في المياه المستعملة ينخفض من (34.26±10.59) إلى (6.29±2.81) في الحوض المزروع و(11.62±2.75) في الحوض الغير مزروع (الشاهد). مردود التنقية في الحوض المزروع (% 80.60) اكبر مقارنة مع مردود التنقية في الحوض الغير مزروع الشاهد (66.08%). بينت الدراسة الإحصائية أنه لايوجد فرق متباين بين الحوض المزروع و الحوض الغير مزروع "الشاهد" ($P>0.05$). انخفاض تركيز ارتوفسفور في المياه المعالجة في جميع الأحواض.

سببه الأول تفاعل البكتريا و النبات، و سببه الثاني امتصاص PO_4^{-3} في المصفاة (الجسم المرشح) [20] [25].

كذلك نوعية التربة و الحصى تساعد على امتصاص PO_4^{-3} [26] [27] [28].

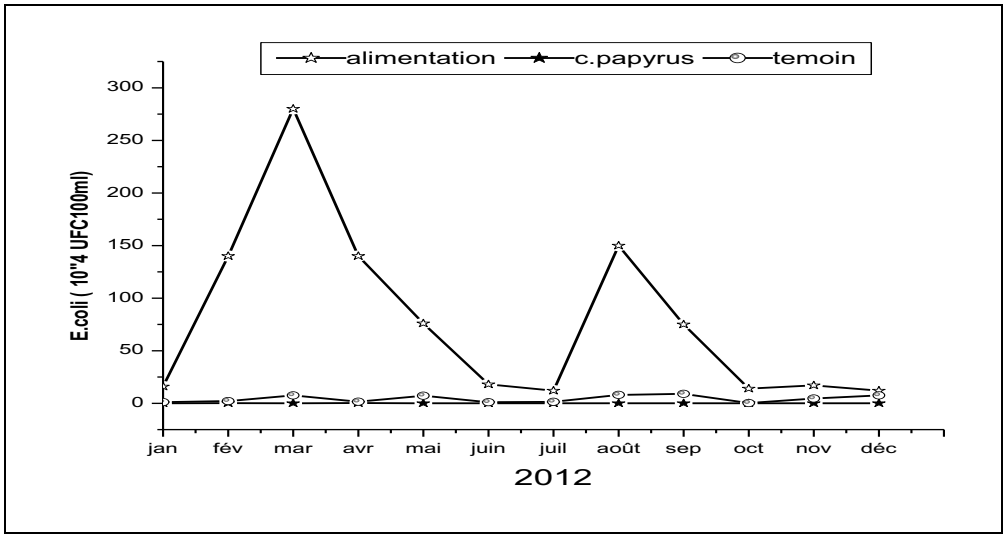
ارتفاع إزالة ارتو فسفور في الأحواض المزروعة هو امتصاص PO_4^{-3} من طرف النبات *Cyperus Papyrus* لاحتياجاته الفيزيولوجية. مردود إزالة PO_4^{-3} في هذه الدراسة اكبر من النتائج التي تحصل عليها [29] حيث استعمل نبات (Panicum Maximum). سبب هذا الاختلاف هو اختلاف نوع النبات، قد يكون احتياج نبات Cyperus Papyrus إلى PO_4^{-3} بكمية أكثر.



الشكل 9: التطور الزمني ارتو فسفور PO_4^{-3} للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

إزالة البكتريا: E.coli

الشكل (10) يبين عدد المستعمرات E.coli في المياه المستعملة والمياه المعالجة عموما. عدد المستعمرات E.coli في المياه المستعملة يكون أكبر من عدد المستعمرات في المياه المعالجة في الحوضين المزروع والغير مزروع بمعدل (236666.67±251727.61) UFC/100 ml بالنسبة للمياه المستعملة (1395,83±1721,98) UEC/100 ml و (42583,33±33543,61)UFC/100 ml على التوالي. مردود إزالة E.coli في المياه المعالجة في الحوض المزروع والشاهد 99,74% و 82% على التوالي: التحليل الإحصائي يبين أن هناك فرق متباين بين الحوضين المزروع و الغير مزروع (الشاهد) ($P<0,05$). هناك تناقص معتبر في البكتريا قد يصل إلى 99% ويفسر هذا إلى الموت الطبيعي للبكتريا نتيجة تغير الوسط المعيشي و تحطيمها مع المواد العضوية. الفرق في إزالة البكتريا بين الحوض المزروع والشاهد أن جذور النبات تفرز مواد سامة تعمل على قتل البكتريا. لقد فسر (VINCENT,1994) [14] تناقص E.coli في الحوض المزروع مقارنة بالشاهد هو احتمال إفراز الجذور لمواد مثبطة (مواد سامة) تساهم في القضاء على E.coli.



الشكل 10: التطور الزمني البكتريا Ecoli للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد..

الخلاصة:

هذه الدراسة سمحت لنا بتطوير مستنقع اصطناعي بنبات Papyrus *Cyperus*. التدفق تحت السطحي الافقي للتطهير المياه المستعملة (مياه الصرف الصحي) *بنبات Cyperus Papyrus* يكون قد تاقلم مع المياه المستعملة الحضرية.

فيما يخص قدرة التصفية (التنقية) للوسائط الفيزيوكيميائية و البكترلوجية بالاحواض المغروسة بنبات *Cyperus Papyrus* تكون اعلى من الاحواض الغير مزروعة (الشاهد).

المستنقع الاصطناعي ذات الجريان تحت السطحي الافقي المغروس هو نظام فعال لتنقية المياه المستعملة اذا نخلص الى القول بان محطات المعالجة بالنباتات تمثل تقنيات معالجة فعالة اثبثت كفاءاتها و قدراتها على تحقيق الموصفات المرغوبة لمياه الصرف عن طريق انقاص نسبة الملوثات و العوامل الممرضة و الوصول الى الحدود المسموحة للاستخدام المياه الناتجة عنها في الزراعة (سقي الاشجار و الفواكه و الحبوب التي لها القدرة على تحمل ملوحة هذه المياه) دون استخدام للمحاليل الكيميائية.

المراجع :

[1] HAFLIGER D., HUBNER P., LUTHY J.; Outbreak of viral gastroenteritisdue to sewage-contaminated drinking water; Int. J. Food Microbiol., Vol. **54**, Vol. **54**, 123–126, (2000).

[2] Carr R.; Excreta-related infections and the role of sanitation in the control of transmission. Water Quality: Guidelines, Standards and Health. WHO.; Ed. Frewtrell L. and Bartram J., London, UK, pp. 89-113, (2001).

[3] WHO; Guidelines for safe recreational water environments; Vol. 1, Coastal and freshwaters. World Health Organisation, Geneva, Switzerland, (2003).

[4] CIEH (Comité inter-africain d'études hydrauliques) ; «Étude comparative des systèmes d'épuration collectifs dans le contexte africain». *CIEH*, Ouagadougou, Burkina Faso, p 66, (1993).

[5] GESBERG R. M., ELKINS B. V., LYON S. R., GOLDMAN C. R.; Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands; Wat. Res., **20** (3), pp 363-368, (1986).

[6] RADOUX M., KEMP D., Epuration compare des eaux usées domestiques par trois plantations hélophytiques et par un lagunage à mocrophytes sous un meme climat ; Acta Ecologia Applic., **9** (1), pp 25 -38, (1988).

[7] BRIX H.; Macrophyte-mediated oxygen transfer in wetlands: Transport mechanisms and rates. Reprint from Constructed wetlands for water quality lmprovement (G. A. Moshiri, editor). Lewis Publishers . Boca Raton . Ann Arbor. London, Tokyo, (1993).

[8] BIDDLESTONE Q. J., GRAY K. R., JOB G. D.; Treatment of dairy farm wastewaters in engineerd reed beb systems; Process Biochemistry, Vol. 26, 265-268, (1991).

[9] ABISSY M. et MANDI L. ; Utillisation des plantes aquatiques enracinees pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau ; Rev. Sci. Eau **12/2**, p. 289, (1999).

[10] TIGLYENE S., MANDI L., JAOUAD A. ; Enlevement du chrome par infiltration verticale sur lits de Phragmites australis (cav.) Steudel ; Rev. Sci. Eau **18/2**, p.181, (2005).

[11]LARRIDON I., HUYGH W., REYNDERS M. A., MUASYA A., GOVAERTS R., SIMPSON D. and GOETGHEBEUR P.; Nomenclature and typification of names of genera and subdivisions of genera in Cypereae (Cyperaceae): 2. Names of subdivisions of *Cyperus, Taxon*, Vol. **60**, Number3 (17), pp.868-884, (2011).

[12] AFNOR ; Recueil de normes françaises: eau, méthodes d'essai ; 2ème Edition, Paris, (1983).

[13] RODIER J. ; L'analyse de l'eau naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ; 7ème Edition, DUNOD, Bordas, Paris, (1984).

[14] VINCENT G., DALLAIRE S., LAUZER D.; Antimicrobal properties of roots exudates of three macrophytes: *Mentha aquatica L*., *Phragmites australis (Cav.)* Trine and *Scirpus lacustris L* ; Proceeding of the 4th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control ; Guangzhou, China, (1994).

[15] DOMMERGUES Y. et MANGENOT F. ; Ecologie microbinne du sol ; Paris: Masson et **Cie,** p 796, (1970).

[16] MUCH C., KUSCHK P. ; La stimulation racinaire de l'élimination de l'azote concerne-t-elle des zones limités ou l'ensemble d'un marais artificiel ? *Ingénieries* N° *spécial* 2004, pp5-11, (2004).

[17] FINLAYSON CM., CHICK A. J. ; Testing the potential of aquatic plantsto treat abattoir effluent ; Water Res. **17**(4): pp 415-422, (1983).

[18] RANJANI K., KNEIDINGER CH., RIOS R., SALINAS N., SOTO G., DURAN-DE-BAZUA C.; Treatment of maize processing industry wastewater by constructed wetlands; Proceeding of 5th International conference on wetlands. System for water pollution control, Vol. 1, Vienna, Sept. 15-19, p 9, (1996).

[19] CHACHUAT B. ; Traitment d'effluents concentrés par culture fixes sur gravier ; Rapport de DEA, ENGEES-Cemagref, p 118, (1998).

[20] MOLLE P. ; Filtres plantés de roseaux : limites hydraulique et rétention du phosphore ; Thèse de doctorat, Université Montpellier II, p 217, (2003).

[21] MOLLE P., LIENAR A., BOUTIN C., MERLIN G., IWEMA A. ; Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : état de l'art et performances des filtres plantés de roseaux en France. Ingénieurs N° spécial 2004, pp 23-32, (2004).

[22] MARTENS R.; Apparatus to study the qualitative relationship between root exudates and microbial population in the rhizosphere; *Soil. Bio. Biochem*. **14**, 315-317, (1982).

[23] BRIX H.; Function of Macrophyte in constructed wetlands. Tech. **29**, pp 71-78, (1994).

[24] KROER N., BARKAY T., SOERENSEN S., WEBER D.; Effect of root exaudates and bacterial metabolic activity on conjugal gene transfer in the rizophers of marsh plant; FEMS Microbiol. Ecol. **25**, 375-384, (1998).

[25] KADLEC R. H., KNIGHT R. L.; Treatment wetlands; Lewis publishers, Boca Raton, Florida p893, (1996).

[26] BRIX H., ARIAS C. A., DEL BUBBA M.; How can phosphorus removal be sustained in subsurface-flow costructed wetlands? In 7th International Conference Wetlans Sytems For Water Pollution Control. Nov, Florida (USA), pp11-16 (2000).

[27] COMEAU Y., BRISSON J., REVILLE J. P., FORGET C., DRIZO A.; Phosphorus removal from trout farm effluents by constructed wetlands; Wat. Sci. Tech. **44**, pp 55-60, (2001).

[28] DRIZO A., COMEAU Y., FORGET C., CHAPUIS R. P.; Phosphorus saturation potential: A parameter for estimating the longevity of constructed wetland systems; *Env. Sci. Tech*n.; **36**, 4642-4648, (2002).

[29] COULIBALY L., KOUAKOU J., SAVANÉ I.; Domestic wastewater treatment with a vertical completely drained pilot scale constructed wetland planted with *Amaranthus hybridus;* Afr. J. of Biotechnol. European Journal of Scientific Research; Vol. **23** No.1, pp 25-40, (2008).