الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعـــة قاصـــدي مربـــاح ورقلـــة

كليــة الرياضيــات وعلوم المــادة

قسـم الكيميـاء

مذكرة مقدمـة من أجل نيل شهادة ماستر أكاديمي في الكيمياء

التخصص : كيمياء المحيط

من إعداد : بالحبيب نور الغفران ، قاضي فتيحة

بعنوان :

مقارنة معالجة المياه المستعملة باستخدام النبتتين *Cyperus papyrus et Cana Indica* بطريقة التدفق الأفقي (مزروعتين في حوض واحد)

نوقشت علنا يوم : 2022/05/30

أمام لجنة المناقشــة :

زغدي سعد	أستاذ محاضر (أ)	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	رئيساً
مسروق حورية	أستاذ محاضر (ب)	المدرسة العليا للأساتذة بورقلة	مناقشاً
العابد إبراهيم	أستاذ تعليم عالي	المدرسة العليا للأساتذة بورقلة	مؤطراً
سعودي مريم	باحثــة	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	مدعوة

السنة الجامعية : 2022/2021

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

﴿ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ ﴾

صدق الله العظيم

الإهـــــــــــــداء

{ اللهم أنفعني بما علمتني وما ينفعني وزدني علما }

إلى أصل البدايات وأصل النهايات

إلى من لأجلها تهون الحياة، إلى من لأجلها تستحق الحياة

إلى من عشش حبها في قلبي، فكانت الهواء و النبض

إلى الأم و الأخت و الحبيبة

إلى روح والدي وكل من سرقته مني المقابر فيزداد الشوق لهم مع الحياة توقدا

طيب الله ثراءهم و أسكنهم فسيح جنانه

إلى من تقاسموا معي الحياة بحلوها ومرها، وعاشوا حياتي بكل تفاصيلها

إخوتي كل بإسمه و إلى جميع أزواج وزوجات إخوتي وأبنائهم

إلى من بهم أكبر وعليهم أعتمد، من بوجودهم أكتسب قوة ومحبة لا حدود لها

جدتي ، أخوالي و خالاتي

إلى من علموني أبجدية الحياة جميع أساتذتي الكرام في جميع الأطوار

إلى الذين يتركون بي أشياء سعيدة تجعلني أبتسم حين تبدوا الحياة كئيبة

صديقاتي كل بإسمها

إلى من علمني أبجدية الحب و الشجاعة

إليكم جميعا أهدي عملي

قاضي فتيحة

إهـــــداء

أهدي ثمرة جهدي هذا إلى أعز الناس وأقربهم إلى قلبي إلى من ينوران دربي

أمي "لطيفة" .. أبي "محمد العيد"

أدام الله وجودهم في حياتي

إلى عائلتي الكريمة التي ساندتني ولا تزال ... "إخوتي" قرة عيني

إلى الصغيرة "أماني سيرين"

إلى "جدتاي" أطال الله في عمريهما

إلى "جداي" رحمة الله عليهما

إلى من تحملت معي هذا الجهد وتقاسمت معي شقاءه إلى رفيقة دربي "فتيحة"

إلى الذين أوجدهم الله في طريقي ليكونوا إخوة لي

إلى كل من قاسمني لحظات مشواري وشاركني فيه ولو بكلمة

إلى كل أهلي وأقاربي

إلى كل من وسعه قلبي ولم يذكره لساني

إليكم جميعا أهدي عملي ...

نور الغفران

شكر وعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم

﴿ ولئن شكرتم لأزيدنكم ...﴾

صدق الله العظيم

الحمد لله أولاً، دائماً وأبداً، الحمد لله الذي وفقنا لإتمام هذا العمل ونشكره تعالى على نعمه التي وهبنا إياها وأن بلغنا لهذه المرتبة.

يقول رسول الله ﷺ " من لا يشكر الناس لا يشكر الله "

نتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى الدكتور العابد إبراهيم الذي شرفنا بقبولية الإشراف علينا ولم يبخل علينا بتوجيهاته التي كانت خير عون لإتمام هذا العمل

نسأل الله أن يشفيه، يرفع قدره ويحفظ أحبائه يا رب العالمين

إلى الأستاذة بن زاهي خديجة التي ساندتنا بنصائحها طوال فترة عملنا

إلى السادة لجنة المناقشة

إلى عمال الديوان الوطني للتطهير ONA تقرت

شكرا لكل من ساعدنا وقدم لنا يد العون

شكراً جزيلاً.

قائمة المختصرات

Abréviations	Signification/المدلول	الترجمة
T	Température	درجة الحرارة
pH	Potentiel d'hydrogène	الرقم الهيدروجيني
Sal	Salinité	الملوحة
CE	Conductivité Electrique	الناقلية الكهربائية
MES	Matières en suspension	المواد العالقة
DBO_5	Demande biochimique en oxygène en 5 jours	الطلب البيوكيميائي للأكسجين خلال 5 أيام
DCO	Demande chimique en oxygène	الطلب الكيميائي للأكسجين
NO_2^-	Nitrite	النتريت
NO_3^-	Nitrate	النترات
PO_4^{3-}	Ortho Phosphore	الأرتوفسفور
WWG	Waste Water Gardens	حدائق معالجة المياه المستعملة
$O_{2\ diss}$	Oxygène dissous	الأكسجين المنحل
ONA	Office National d' Assainissement	الديوان الوطني للتطهير
OMS	Organisation Mondiale de la santé	منظمة الصحة العالمية
JORA	Journal officiel de la république algérienne	الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية
R	Rendement épuratoire des polluants	مردود تنقية الملوثات
K	Degré de biodégradabilité de la matière organique	معامل التحلل الحيوي للمادة العضوية
ONM	Office National de Météorologie	المكتب الوطني للأرصاد الجوية

قائمـة الأشكـال

الرقم	العنوان	صفحة
	الفصـل I	
01	وسيلة ميكانيكية لنزع المواد الصلبة	11
02	أحواض الترسيب	11
03	أحواض تهوية المياه المستعملة	12
	الفصـل II	
04	المخطط العام لمحطة المعالجة بالنباتات	15
05	حوض معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر	16
06	حوض معالجة بالنباتات بجريان تحت سطحي شاقولي	16
07	حوض معالجة بالنباتات بجريان تحت سطحي أفقي	17
08	حوض معالجة بالنباتات بالجريان المتنوع	17
	الفصـل III	
09	خريطة توضح موقع منطقة الدراسة (تقرت)	22
10	صورة بالقمر الصناعي تحدد موقع منطقة الدراسة (ONA)	23
11	مخطط يوضح مكونات حوض المعالجة بالتدفق تحت السطحي الأفقي	24
12	العتاد التجريبي المستعمل في الدراسة	24
13	يمثل نبات *cyperus papyrus*	25
14	يمثل نبات *Canna Indica*	26
	الفصـل IV	
15	التطور الزمني لدرجة الحرارة للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	38
16	التطور الزمني للأكسجين المنحل للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	39
17	التطور الزمني للأس الهيدروجيني للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	40
18	التطور الزمني للملوحة عند المدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	41
19	التطور الزمني للناقلية الكهربائية للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	42
20	التطور الزمني للمواد العالقة للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	43
21	التطور الزمني للطلب الكيميائي للأكسجين للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع المزدوج والشاهد.	44
22	التطور الزمني للطلب البيوكيميائي للأكسجين للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع المزدوج والشاهد.	46
23	التطور الزمني للنتريت للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	47
24	التطور الزمني للنترات للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	48
25	التطور الزمني للأرتوفوسفور للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد	49
26	نسبة إزالة الملوثات في كل من الحوض المزدوج والأحواض المنفردة	52

قائمـة الجداول

الرقم	العنوان	صفحة
	الفصـــل I	
01	قيم الحد الأقصى لمعايير صرف نفايات الوحدات الصناعية	**09**
	الفصـــل II	
02	ملخص لدور النباتات ضمن محطات المعالجة بالنباتات	**19**
03	أهم آليات الإزالة الرئيسية للملوثات ضمن أحواض النباتات	**20**
	الفصل III	
04	يمثل معامل تغير قيمة DBO_5 بدلالة حجم العينة المستعملة	**29**
	الفصـــل IV	
05	القيم المتوسطة للوسائط المقاسة لمياه الصرف الصحي الداخلة لمحطة التصفية	**35**
06	قيم معامل التحلل البيولوجي الداخلة لمحطة التصفية	**36**
07	قيم الخصائص الفيزيوكيميائية المقاسة للمياه المعالجة الخارجة من الحوض المزروع بنباتي Cana Indica + C. papyrus وحوض الشاهد أثناء عملية التنقية خلال مدة الدراسة	**37**
08	معالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة نباتات منقية محلية	**50**
09	قدرة آداء نبات *Canna Indica* على معالجة مياه الصرف الصحي بطريقة التدفق تحت السطحي الأفقي لمنطقة تقرت	**51**

الإهداء				I
الإهداء				Ii
شكر وعرفان				Iii
قائمة المختصرات				vii
قائمة الأشكال				vii
قائمة الجداول				vii
المقدمة العامة				01
الجزء النظري				
I	**الفصـل I : عموميات حول المياه الملوثة وطرق معالجتها**			13-03
	1-I	عموميات حول المياه الملوثة وطرق معالجتها		03
		1-1	تعريف	03
		2-1	مصادر تلوث المياه	03
			1-2-1 مصادر تلوث الماء الثابتة	03
			2-2-1 مصادر تلوث الماء غير الثابتة	03
		3-1	أنواع وحالات التلوث المائي	04
	2-I	مياه الصرف الصحي		05
		1-2	تعريف	05
		2-2	خصائص مياه الصرف الصحي	05
		3-2	أنواع مياه الصرف الصحي	06
		4-2	مقاييس تصنيف الملوثات في مياه الصرف الصحي	07
		5-2	القيم الأقصى لمعايير الصرف الصحي نفايات الوحدات الصناعية	09
	3-I	معالجة مياه الصرف الصحي		10
		1-3	الهدف من معالجة مياه الصرف الصحي	10
		2-3	مراحل المعالجة في الميدان	10
		3-3	بعض طرق معالجة المياه المستعملة	10
			1-3-3 محطة تصفية المياه المستعملة بطريقة الحمأة المنشطة	10
			2-3-3 المعالجة بالبحيرات	12
			3-3-3 معالجة المياه المستعملة بالنباتات	13
II	**الفصـل II : معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام النباتات**			21-14
	1-II	معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام النباتات		14
		1-1	تعريف	14
		2-1	مراجعة تاريخية لتقنية معالجة المياه العادمة باستخدام النباتات	14
	2-II	محطة المعالجة بالنباتات		14
	3-II	المخطط العام لمحطة المعالجة بالنباتات		15
	4-II	أحواض النباتات المستعملة في تنقية مياه الصرف الصحي		16
		1-4	أحواض النباتات ذات الجريان السطحي الحر	16
		2-4	أحواض النباتات ذات التدفق تحت السطحي الشاقولي	16
		3-4	أحواض النباتات ذات التدفق تحت السطحي الأفقي	16
		4-4	أحواض النباتات ذات الجريان المتنوع	17
	5-II	النباتات المائية المستخدمة ضمن محطات المعالجة بالنباتات		17
		1-5	النباتات المائية البارزة	17
		2-5	النباتات المائية الغاطسة	17

		3-5	النباتات المائية الطافية	17
	6-II		عوامل اختيار النباتات	18
	7-II		العوامل المؤثرة على التصفية النباتية	18
	8-II		دور مختلف مكونات النظام	18
		1-8	دور مواد التعبئة	18
		2-8	دور النباتات	19
		3-8	دور الكائنات الدقيقة	19
	9-II		آليات إزالة الملوثات وفعالية أحواض المعالجة بالنباتات	20
	10-II		فوائد معالجة المياه المستعملة بالنباتات	20
	11-II		عيوب محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالنباتات	21
	12-II		استخدامات المياه المعالجة بالنباتات	21
الجزء التطبيقي				
III	**الفصـل III : طرق وأدوات**			34-22
	1-III		تقديم منطقة الدراسة (تقرت)	22
		1-1	الموقع الفلكي	22
		2-1	الموقع الجغرافي	22
	2-III		دراسة مناخية	22
	3-III		تقديم محطة التصفية بتقرت	23
	4-III		البروتوكول التجريبي	23
		1-4	العتاد التجريبي المستعمل	23
		2-4	الخصائص الفيزيوكيميائية لمواد التعبئة	24
	5-III		النباتات المائية المستخدمة في التنقية	24
		1-5	نبات السعد البردي *Cyperus papyrus*	24
			1-1-5 وصف النبات	24
			2-1-5 استعمالاته	25
			3-1-5 تصنيفه العلمي	25
		2-5	نبات القنا الهندية *Canna Indica*	25
			1-2-5 وصف النبات	25
			2-2-5 استعمالاته	25
			3-2-5 تصنيفه العلمي	26
	6-III		تحديد الوسائط الفيزيوكيميائية المقاسة	26
		1-6	قياس درجة الحرارة T (C°) / الملوحة Salinité	26
		2-6	قياس كمية الأكسجين المنحل $O_{2\ diss}$	27
		3-2	قياس الأس الهيدروجيني pH	27
		4-6	قياس الناقلية الكهربائية CE	28
		5-6	تحديد الطلب الكيميائي للأكسجين DCO	28
		6-6	تحديد الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5	29
		7-6	تحديد المواد العالقة MES	30
		8-6	تحديد كمية النتريت NO_2^-	32
		9-6	تحديد كمية النترات NO_3^-	32
		10-6	تحديد كمية الأرتوفسفور PO_4^{3-}	33
	7-III		معالجة رياضية	34

		1-7	طريقة حساب مردود التنقية للأحواض	34
IV	**الفصــل IV : النتائج ومناقشتها**			49-35
	1-IV		معامل التحلل البيولوجي K	35
	2-IV		تحديد خصائص مياه الصرف الصحي	35
	3-IV		أداء وكفاءة إزالة الملوثات	37
	4-IV		تفسير خصائص المياه المعالجة	37
		1-4	تطور درجة الحرارة T (C°)	37
		2-4	تطور الأكسجين المنحل $O_{2\ Ddiss}$	38
		3-4	تطور الأس الهيدروجيني pH	40
		4-4	تطور الملوحة Salinité	41
		5-4	تطور الناقلية الكهربائية CE	42
		6-4	تطور المواد العالقة MES	42
		7-4	تطور الطلب الكيميائي للأكسجين DCO	44
		8-4	تطور الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5	45
		9-4	تطور النتريت NO_2^-	46
		10-4	تطور النترات NO_3^-	47
		11-4	تطور الأرتوفسفور PO_4^{3-}	48
	5-IV		مقارنة النتائج بدراسات سابقة.	49
الخلاصــة العامة				53
المـراجـع				54
الملحــق				I
الملخص				

المقـدمـــــة العامـــــة :

إن إدراك الإنسان لأهمية الموارد المائية يعود إلى كونها مصدر أساسي يتزود منه بالماء ليلبي به حاجياته المختلفة، حيث يعتبر الماء عصب الوجود لا مجال لاستمرار الحياة بدونه، ولكن بعض الممارسات التي يقوم بها في حق بيئته نتج عنها أضرار أدت إلى تناقص في منسوب المياه الصالحة للاستخدام الحيوي على وجه الأرض. وهذا ما خلق مشكلة جديدة تدخل تحت مسمى التلوث المائي وينعكس أثرها السلبي على البيئة مع مرور الزمن وأصبحت مشكلة لا تقل أهمية عن المشاكل البيئية الأخرى، لذا وجب الضرب بيد من حديد من أجل إيجاد مهرب يخلص العالم من هذه الظاهرة [1]،[2].

من المعروف أن الدول العربية تعاني شحا وندرة في الموارد المائية المتاحة بها وهذا لأن معظم أراضيها في نطاق المناطق الشبه قاحلة وذلك يعود لندرة الأمطار فيها. ومن أجل المحافظة على بيئتها ومواردها المائية توجب عليها التفكير في موارد أخرى حديثة وغير تقليدية من أجل التعايش مع التطور السكاني السريع الذي يقابله ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه والذي أدى إلى اختلال في التوازن بين الكميات المتوفرة والطلب الفعلي عليها.

وفي إطار التنمية المستدامة، المحافظة على البيئة والحد من ظاهرة التلوث المائي كانت معالجة مياه الصرف الصحي بتكلفة منخفضة قبل تصريفها في الطبيعة هدف سمت إليه مختلف الدول المتقدمة والنامية فلجأت إلى اعتماد تقنية مبتكرة وفعالة وهي معالجة المياه العادمة باستخدام الأراضي الرطبة المصطنعة والتي تعتمد أساسا على قدرة النباتات المائية المزروعة فيها على إزالة التلوث والعوامل الممرضة من المياه وتتميز هذه التقنية بكونها بديلا إيكولوجيا، اقتصاديا وتضفي طابعا جماليا [3].

يعود اكتشاف هذه التقنية سنة 1946 إلى البروفيسور Kickuth Sidel من خلال قيامه بزراعة خلايا كبيرة بغرض معالجة المياه المستعملة. ليتم تسليط الضوء عليها لاحقا بفرنسا حيث تلقت اهتمام كبير [4]. وأصبحت بديلا صديقا للبيئة واعتمدتها عدة دول عربية كتونس، المغرب والجزائر.

كان أول ظهور لهذه التقنية في الجزائر حديثا حيث أنشئت أول محطة لمعالجة المياه المستعملة الحضرية بالنباتات في منطقة تماسين سنة 2007 والتي أثبتت كفاءتها و قدرتها على تحقيق المواصفات المرغوبة من خلال تقليص نسبة الملوثات و مسببات الأمراض فوصلت إلى الحدود المسموح بها في منظمات الصحة العالمية والجزائرية لاستخدام هذه المياه في الزراعة دون استخدام المحاليل الكيميائية [3]،[5].

ومن هنا جاءت فكرة عملنا الذي هدف إلى دراسة قدرة نبتتي (*Cana Indica* و *Cyperus papyrus*) المزروعتين في حوض واحد على تنقية وإزالة التلوث من المياه المستعملة حضريا والمقارنة بينه وبين

حوض غير مزروع (شاهد) وبين نفس النبتتين مزروعتين في أحواض مختلفة (دراسات سابقة)، يطلق على هذه الأحواض اسم الأراضي الرطبة المصطنعة، تصمم هندسيا، تحتوي على حصى أو رمل أو مزيج منهما.

يتضمن عملنا هذا :

الفصل الأول : عموميات حول المياه الملوثة وطرق معالجتها

الفصل الثاني : معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام النباتات

الفصل الثالث : طرق و أدوات

الفصل الرابع : نتائج و مناقشتها

الخلاصة العامـــــة.

الجـــزء النظـــري

الفصل الأول

عموميات حول المياه الملوثة وطرق معالجتها

I-1- عموميات حول المياه الملوثة :

I-1-1- تعريف تلوث المياه :

هو تغير يحدث على الخصائص الطبيعية والكيميائية والبيولوجية للمياه مما يؤدي إلى تغير في حالتها بطريقة مباشرة أو غير مباشرة، بحيث تصبح المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها سواء للشرب أو الاستهلاك المنزلي أو غيره [6].

I-1-2- مصادر تلوث المياه :

تتعدد مصادر تلوث المياه ويمكن تقسيمها إلى :

I-1-2-1- مصادر تلوث الماء الثابت :

ويقصد به ذالك المصدر المحدد أو يمكن تحديده بسهولة الذي يودي إلى وصول الملوثات للماء مثل : النفايات الناتجة عن المصانع (مصانع الورق، مصانع المواد الكيميائية، مصانع الأغذية) ونجد من أهم هذه الملوثات [7] :

- الزيوت
- الملوثات الحرارية
- الكيماويات السامة
- المعادن الثقيلة
- مخلفات الأدوية

الملوثات الناتجة عن محطات معالجة مياه الصرف الصحي وتصريف مياه المجاري ومن أهمها :

- البكتيريا
- المغذيات الضارة [8].

I-1-2-2- مصادر تلوث الماء غير الثابتة :

هو كل ما ينتج من مصادر متعددة ومنتشرة سواء كانت طبيعية أو ناتجة من فعل الإنسان حيث في بعض الأحيان يصعب تحديدها [8] وهي :

- **ملوثات سامة :** تشمل المعادن الثقيلة، مواد عضوية، الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، مواد الأستروجينية ....
- **الرواسب :** تنتج عن تآكل التربة أو الرمل في مواقع الإنشاءات أو المناطق الزراعية والحقول ...، وقد تدمر المصادر المائية، وتشكل مصدرا لنقل الملوثات الضارة.
- **المغذيات :** مجموعة المواد اللازمة لنمو النباتات كالفسفور والنيتروجين التي تؤذي بسبب تواجدها بكميات أكبر من اللازم في الماء إلى تلويثه وتحفيز نموا النباتات المائية بشكل فائض عن الحاجة ونقصان كمية الأكسجين المذاب في الماء.

- **مسببات الأمراض :** تضم البكتريا والفيروسات المسببة للأمراض والتي قد تؤذي إلى تلوث مياه الشرب، ومن أهم مصادرها نجد أنابيب الصرف الصحي ومعالف الحيوانات.
- **الحطام :** وهي عبارة عن القمامة والمواد البلاستكية التي تهدد الحياة البحرية، ولها مصادر عدة كإلقاء النفايات غير القانونية في المكبات، نفايات القوارب.
- **الإجهاد الحراري :** وهو ارتفاع درجة حرارة الماء فيؤذي إلى خلل في العنصر الحيوي، ويصدر من إزالة الغطاء النباتي عن ضفاف الأنهار، الجريان السطحي عن الأسطح التي لا تمتص الحرارة كالأرصفة.
- **ملوثات أخرى :** الأسمدة، المبيدات الحشرية والزراعية التي تستخدم بشكل فائض [8].

I-1-3- أنواع وحالات التلوث المائي :

تتم معالجة مياه الصرف من خلال اختيار الطريقة المناسبة لذلك، على حسب أنواع ومصادر المواد الملوثة للمياه حيث أن للملوثات دور أساسي في تلويث المياه من خلال الحالات التالية :

- **التلوث الحراري :**

إن ارتفاع درجة حرارة الماء لأي سبب غير طبيعي يعتبر تلوثا حراريا له مما يؤذي إلى إفساد في البيئة عند مصبات المياه الحارة في المسطحات المائية، ويمكن أن نجمل مصادره في القول أنها كل الصناعات التي تتولد عنها طاقة حرارية عالية، يتم تصريفها في الطبيعة عشوائيا.

- **التلوث الإشعاعي :**

هو أي ترسب للعناصر المشعة في سطح الأجسام أو داخلها، وتحدث بشكل طبيعي في المياه السطحية المحتوية على عناصر مشعة (الراديوم، اليورانيوم) أو غير طبيعي من النفايات الصناعية والتفجيرات النووية [9]،[10].

- **التلوث الكيميائي :**

هو تواجد مواد سامة في الماء سواء كانت قابلة للتحلل أو متراكمة تؤدي إلى الإضرار بالكائنات الحية [11].

- **التلوث الصناعي :**

تعتبر الملوثات الصناعية المتواجدة في المياه من أخطر الملوثات على الكائنات الحية، وقد ظهرت نتيجة لما يشهده العالم من تقدم صناعي ضخم في الصناعات الكيميائية [11]، تتخلص المنشآت الصناعية من نفاياتها في المجاري المائية بدون أن تقوم بمعالجتها لهذا تتسبب في مخاطر على البيئة وعناصرها وذلك لأنها تشمل مركبات كيميائية سامة، ومن أهم هذه المواد نجد : الأحماض، القواعد، المنظفات الصناعية، بعض مركبات الفسفور والكثير من المعادن الثقيلة السامة مما ينتج عنها تلوث كبير للمياه الملقاة بها [11] [12].

- **التلوث بالمخلفات الزراعية :**

تشمل المبيدات الحشرية والأسمدة التي تنتقل إلى المياه دون معالجة فتتسبب في تلوثه بالقلويات والأصباغ والأحماض والأملاح السامة وغيرها...

- **التلوث بالنفط :**

يعتبر النفط مصدر خطر على مختلف الكائنات لما يسببه من تلوث للمياه وهذا لاحتوائه على السموم، التي تعمل كعازل للمبادلات الغازية التي تحدث بين الماء والهواء فيتسبب هذا في إحداث ضرر على كل من الانسان وباقي الكائنات [13].

- **التلوث بالأمطار الحمضية :**

إن انخفاض الرقم الهيدروجيني للأمطار إلى 5 فما دون يجعلها أمطار حمضية فتعمل هي الأخرى على تغيير الرقم الهيدروجيني للمسطحات المائية مما يؤثر على الكائنات الحية المائية ويؤذي إلى موتها.

- **التلوث البيولوجي :**

تواجد الكائنات الحية في الماء هو ما يعرف بالتلوث البيولوجي وتنتج في الغالب عن اختلاط فضلات الانسان أو الحيوان بالماء بطريقة مباشرة أو غير مباشرة طريق صرف في المسطحات المائية عن طريق صرف مياه الصرف الصحي أو الزراعي [14].

- **التلوث بمياه الصرف الصحي :**

إن تصريف مياه الصرف الصحي في المياه التي يستخدمها الإنسان ينتج عنه انتشار البكتيريا في الماء وانخفاض التنقية الذاتية للمياه الطبيعية من خلال استنزاف الأكسجين المنحل [14].

I-2- مياه الصرف الصحي :

I-2-1- تعريفها :

تشمل كل مياه المخلفات السائلة التي تصدر عن التجمعات السكنية أو التجارية أو الصناعية أو الزراعية التي تحوي كمية من الملوثات ذات التراكيز المختلفة.

كما يقصد بها أيضا المياه السائلة الملوثة بالبراز أو البول وكل الفضلات السائلة المنزلية والصناعية التي تم التخلص منها باستخدام الأنابيب أو المجاري المائية [14].

I-2-2- خصائص مياه الصرف الصحي :

- **اللون :**

في البداية يكون لون مياه الصرف الصحي رمادي وذالك لاحتوائها على البراز، ثم يتحول إلى اللون الداكن تدريجيا بفعل التعفن والتحول اللاهوائي، ويكون غير ذلك عند حدوث اختلاط بينها وبين مياه الصرف الصناعي [15].

- **الرائحة :**

تتميز مياه الصرف الصحي برائحة غير نفاذة عند توفر الأكسجين الذائب في المياه عند سريانها في الشبكة، حيث يتحكم تركيز الأكسجين الذائب في رائحة المياه، فنقصه في مياه الصرف الصحي يسمح للبكتيريا اللاهوائية بالنمو والنشاط فتبدأ في استهلاك وتحليل المواد العضوية وتحويلها إلى أمونيا وغازات أخرى فتصبح حينها رائحة الماء كريهة [15].

- **الغازات الذائبة :**

إن حالة مياه الصرف الصحي من حيث مدتها قديمة كانت أو جديدة و كذا مقدار التلوث هي التي تتحكم في الغازات الذائبة منها (CO_2, NO_2, NO_3, O_2) [15].

- **المواد الصلبة الكلية :**

نسمي المواد التي تبقى عند التبخير تحت درجة (103-105 C°) بالمواد الصلبة الكلية، وهي أيضا المواد التي تترسب في قاع الإناء على شكل مخروطي خلال ساعة من الزمن ووحدة قياسها (mg/l). تم تصنيفها إلى صنفين مواد صلبة عالقة ومواد صلبة ذائبة (لا يمكن فصلها بالترشيح)، أما عن المواد الصلبة العالقة فهي بدورها أيضا تقسم إلى قسمين مواد قابلة للترسيب و أخرى غير قابلة للترسيب [15].

- **ملوثات فيزيائية :**

يمكن إزالتها بعمليات فيزيائية مباشرة كالترسيب أو الترشيح أو الإمتزاز أو الفصل الغشائي أو التبخير، ومن أهم هذه الملوثات الرمال والشوائب الخاملة [16].

- **ملوثات حيوية :**

يتم استخدام بعض العماليات الحيوية والفيزيوكيميائية كالمعالجة الحيوية أو التعقيم ومن أهم هذه الملوثات الحيوانات الميتة وبعض أنواع الكائنات العضوية المجهرية ومنها البكتريا، الفيروسات، كذلك الديدان وأنواع النباتات [10].

I-2-3- أنواع مياه الصرف الصحي :

1. مياه الصرف الصحي المنزلي :

هي مختلف المياه التي تصدر عن الاستخدامات المنزلية ولها خاصية التلوث العضوي ولها نوعان :

- **المياه المنزلية :** مصدرها الحمامات، المطابخ وعادة ما تكون محملة بالمنظفات، الدهون وشوائب أخرى.
- **مياه النفايات :** وهي مياه المراحيض التي تكون غنية بمختلف المواد العضوية، الآزوتية والفيروسات الخطيرة [14]،[17].

2. مياه الصرف الصناعي :

تشمل هذه المياه مخلفات ونفايات صناعية تختلف من صناعة إلى أخرى هذه المياه تحتوي على مواد عضوية وغير عضوية ومواد سامة مما يتطلب معاملة خاصة على حسب المركبات قبل تصريفها [18].

3. مياه الأمطار الملوثة :

تتلوث بفعل الملوثات الموجودة في الهواء نتيجة النشاط الإشعاعي وسقوطها على الأراضي الزراعية والطرقات وأسطح المنازل يجعلها سببا في نقل المواد العالقة والرمال إلى شبكات الصرف الصحي [19].

4. مياه غسيل الشوارع :

تصرف في البالوعات ومنها إلى شبكة الصرف الصحي حاملة معها الرمال والورق مما تجره أمامها في الطرقات [14].

5. مياه الرشح :

وهي مياه السيلان التي قد تتسلل إلى مواسير الصرف الصحي من خلال الوصلات غير المتقنة أو من خلال غطاء الماسورة نفسها إذا كان مساميا [14].

I-2-4- مقاييس تصنيف الملوثات في مياه الصرف الصحي :

- **درجة الحرارة T(C°) :**

يعتبر التغير غير المتوقع في درجة حرارة المياه دليل على وجود مخلفات صناعية كيميائية أو بترولية وبعض المعادن الثقيلة في المياه مما يؤدي إلى ارتفاع درجتها إلى حدود 30C° كحد أقصى [20].

- **الدليل الهيدروجيني pH :**

تركيز شوارد الهيدروجين H^+ في الماء، يكون في الحالة الطبيعية بين (8.5 - 6) مشكلا وسط غير قابل لتحولات السريعة في pH، ولكن نلاحظ تغير القيمة في مياه الصرف الصناعية فمثلا في مياه الصرف الناتجة عن مصانع الغازات يكون pH ما بين (3.5-3) [19].

- **الناقلية الكهربائية CE :**

إن ارتفاع نسبة الملوحة في المياه بسبب الملوثات المعدنية ينتج عنه ارتفاع في الناقلية الكهربائية حيث تصل إلى (mg/l) 3 كأقصى حد [9].

- **المواد العالقة MES :**

يرمز لها بـ MES وهي تمثل المواد غير الذائبة في مياه الصرف سواء كانت عضوية أو معدنية بحيث يتم اعتبارها خطرة إذا تجاوزت (mg/l) 35 فلا يمكن رميها في المحيط دون معالجتها حسب المرسوم التنفيذي 06- 141 المؤرخ في 23 أفريل 2006 [20].

- **المواد العضوية :**

توجد على أشكال فيزيائية مختلفة :

- **جزيئات كبيرة أو صغيرة :** سكريات، حمضيات، أحماض عضوية طيارة، نشاء، سيليلوز،...
- **غرويات منحلة :** تتكون من مركبات الأزوت، كربون، أكسجين، كبريت، فسفور.

تقيم هذه المواد العضوية من خلال تحديد نسبة DCO و DBO_5 [21].

- **الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5 :**

نقصد بالطلب البيوكيميائي للأكسجين هو كمية الأكسجين الذائبة التي تحتاجها الكائنات البيولوجية الهوائية في مياه الصرف الصحي مما يعطيها القدرة على تحطيم المواد العضوية الموجودة في الوسط وتحويلها إلى مركبات بسيطة ثابتة تحت درجة حرارة معينة (20 C°) ولمدة زمنية تقدر بخمسة أيام.

وتهدف هذه العملية لتحديد درجة التلوث العضوي الموجود في هذه المياه وكذا تحديد كمية المواد العضوية القابلة للتحلل، حيث غالبا ما يكون معدل الطلب البيوكيميائي للأكسجين في المياه المستعملة المنزلية (150-500)(mg/l) [22].

- **الطلب الكيميائي للأكسجين DCO :**

هو كمية الأكسجين اللازمة للأكسدة الكيميائية (وليست الحيوية) للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي وتحويلها إلى مركبات بسيطة ثابتة بواسطة مادة كيميائية مؤكسدة.

حيث تكون قيمة DCO عادة أكبر من قيمة DBO_5 نظرا لأن جزء من المواد العضوية القابلة للتأكسد الموجودة في مياه الصرف الصحي لا يمكن تفكيكه (أكسدته) بالفعل الحيوي (أي بتأثير الكائنات العضوية المجهرية) وإنما يلزم إضافة مركب مؤكسد قوي مثل ثنائي كرومات البوتاسيوم إليه لإنجاز عملية الأكسدة، وهذا يحدث عادة حين التعامل مع مياه الصرف الصحي الصناعي الوارد من العديد من مراكز الصناعة [23].

- **العكارة :**

ارتفاع نسبة المواد العالقة من الفضلات الصناعية يزيد من عكارة المياه بسبب قلة تخلل الضوء في عمود الماء الذي يؤذي تقليل الطبقة الضوئية المنتجة [24].

- **النترات (NO_3^-) :**

من الصعب تحديد تواجد النترات في الماء أو إذا ما كان قد تعرض للتلوث به ولكن كون النترات يعد من أحد نواتج تحولات الأزوت في المراحل النهائية فذلك ينبأ بحدوث التلوث نتيجة جريان المياه على سطح التربة بإضافة إلى النترات الناتجة عن أكسدة البكتيريا للفضلات العضوية الأزوتية [20].

- **النتريت (NO_2^-) :**

نتيجة لعملية إرجاع النترات أو أكسدة شوارد الأمونيوم يتشكل النتريت في الوسط المائي فيتسبب في حدوث تلوث له [15].

- **الأرتوفسفور (PO_4^{-3}) :**

يتواجد الفسفور بصيغ مختلفة في الماء تبعا لقيم في الوسط فالمياه الطبيعية تحتوي شوارد الفسفور أحادية وثنائية الهيدروجين ($H_2PO_4^-$ HPO_4^{-2})، كما تختلف أيضا إنحلاليته في الماء عل حسب اختلاف الشاردة المعدنية حيث نجد له مصادر مختلفة منها :

- المصدر الطبيعي (تفكك المواد الحية)
- مصدر زراعي (الأسمدة الفوسفاتية)
- مصدر صناعي (صناعة المنظفات) [20].

I-2-5- القيم الأقصى لمعايير الصرف الصحي لنفايات الوحدات الصناعية :

حددت منظمة الصحة العالمية معايير عامة للمحافظة على البيئة والصحة من خلال فرض قيم الحد الأقصى لمعايير صرف نفايات الوحدات الصناعية السائلة، (مرسوم تنفيذي رقم 160_ 93 المؤرخ في شعبان عام 1433 ه الموافق ل15 يوليو 2012 ينظم النفايات الصناعية السائلة).

الجدول (01) : قيم الحد الأقصى لمعايير صرف نفايات الوحدات الصناعية.

المقاييس	القيمة
درجة الحرارة	30 C°
pH	6.5 – 8.5
المواد العالقة	30 mg/l
الطلب الحيوي للأكسجين	30 mg/l
الطلب الكيميائي للأكسجين	90 mg/l
الأزوت	30 mg/l
الفوسفات	02 mg/l
الزنك	10 mg/l
الكروم	0.1 mg/l
المنظفات	1 mg/l
الزيوت والدهون	20 mg/l
الأكسجين المنحل	2 – 5 mg/l
النتريت	30 mg/l

I-3- معالجة مياه الصرف الصحي :

تمر معالجة مياه الصرف الصحي بمجموعة من المراحل الضرورية تتمثل في عمليات طبيعية وكيميائية وإحيائية من أجل إزالة المواد الصلبة والعضوية والكائنات الدقيقة أو التقليل منها قدر المستطاع، كما يتم أيضا فيها التخلص من بعض المغذيات ذات التركيز العالية (الفسفور، النيتروجين،..) [16].

I-3-1- الهدف من معالجة مياه الصرف الصحي :

- الحفاظ على الصحة العمومية
- الحفاظ على البيئة
- استرجاع المياه
- القضاء على الكائنات الدقيقة "خاصة الممرضة" التي تسبب الأمراض المنتقلة عبر المياه
- إزالة المواد العالقة لتقليل من تركيز المواد الملوثة [16].

I-3-2- مراحل المعالجة في الميدان :

هناك طرق عدة لمعالجة المياه المستعملة منها :

- **المعالجة التمهيدية :**

تستعمل فيها مجموعة من الأدوات (منخل متسع، أجهزة السحق) بهدف تقطيع وفصل المواد ذات الأحجام الكبيرة من أجل حماية الأجهزة ومنع حدوث الانسدادات [16].

- **المعالجة الأولية :**

يتم فيها إزالة المواد العضوية وكذا المواد الصلبة غير العضوية القابلة للفصل وهذا من خلال عملية الترسيب [16].

- **المعالجة الثانوية :**

تهدف هذه المرحلة إلى إزالة المواد العضوية وذلك بعد عملية التحول الإحيائي عن طريق الترسيب في حوض الترسيب الثانوي [16].

- **المعالجة المتقدمة :**

في هذه المرحلة يتم إزالة الملوثات التي لم نتمكن من إزالتها في المراحل السابقة مثل : النيتروجين، الفسفور، والمواد السامة [16].

I-3-3- بعض طرق معالجة مياه الصرف الصحي :

I-3-3-1-محطة تصفية المياه المستعملة بطريقة الحمأة المنشطة :

في هذه المرحلة نعتمد على ثلاث مراحل أساسية من أجل تصفية المياه وهذا من خلال العودة إلى صفات المياه الداخلة للمحطة وكذا طبيعتها، حيث تتلخص هذه المراحل في الخطوات التالية :

1- المعالجة الفيزيائية :

الهدف من هذه المعالجة هو العمل على حماية الأجهزة الميكانيكية وهذا من خلال نزع العوالق كبيرة الحجم التي يمكن أن تتسبب في حدوث ضرر لها.

- **نزع المواد الصلبة :** تكون من خلال استعمال وسائل ميكانيكية ذات مصفاة معدنية بفتحات مناسبة تمر من خلالها المياه المستعملة فتترسب المواد الصلبة الكبيرة [16].

الشكل (01) : وسيلة ميكانيكية لنزع المواد الصلبة.

- **نزع الرمل :** تستعمل أحواض الترسيب المهواة من الأسفل بحركة هرمية مع التحريك الدائري للنزع الرمل والحصى وباقي الجزيئات [16].

الشكل (02) : أحواض الترسيب.

- **نزع الزيوت :** تطفو الزيوت والشحوم عل سطح الماء بعد عملية نزع الرمل فيتم إزالتها بواسطة كاشطات ثم نقلها خرج الحوض [16].

2- المعالجة البيولوجية :

يتم في هذه المرحلة القضاء على المواد العضوية التي تحللت من طرف الكائنات الدقيقة في وجود الأكسجين [16].

حيث يمكننا تلخيصها في معادلة إجمالية :

ماء + ملوثات عضوية + كائنات دقيقة (بكتريا) + أكسجين ⟶ زيادة عدد الكائنات الحية (البكتريا الهوائية + H_2O+CO_2)

- **الأسرة البكتيرية :**

هو عبارة عن طبقات تتدرج من جزيئات كبيرة حتى الجزيئات الدقيقة، وتمر فيها المياه ثم تغطى بطبقة غشائية لزجة تحتوي على كائنات دقيقة مختلفة تؤكسد المادة العضوية.

- **الحمأة المنشطة :**

وفيها تتعرض المياه لتهوية قوية تتسبب بأكسدة المواد العضوية بواسطة البكتيريا الهوائية، ثم تتعرض المياه لتخمر لا هوائي بواسطة أحواض الترسيب الثانوية من أجل قتل البكتيريا وهذا يحدث عبر المراحل التالية :

- **ترسيب المواد العالقة والتخلص منها (ترسيب أولي):**

يتم فيه التخلص من المواد العالقة بنسبة 70 % خلال عدة ساعات بترسيبها لتشكل أوحال ابتدائية.

أحواض التهوية :

يتم أكسدة المادة العضوية بواسطة الكائنات الدقيقة "بكتيريا هوائية" وهي نوعين من البكتريا Nitrosomonas التي تؤكسد (NH_4^+) إلى (NO_2^-)

$$NH_4^+ + 5/2O_2 + 2è \Longrightarrow NO_3^- + 2H_2O$$

الشكل (03) : أحواض تهوية المياه المستعملة.

- **حوض الترسيب الثانوي :**

تخضع المياه الناتجة من أحواض التهوية إلى الترسيب الثانوي، يعاد جزء من البكتيريا المترسبة مع المياه الآتية من حوض الترسيب الأولي أما الأوحال المتبقية فتتعرض للتخمر اللاهوائي من أجل قتل البكتيريا النشطة.

- **التخمر اللاهوائي :**

لمعالجة الحمأة النشطة المتبقية في مخمرات كبيرة Digesteur نستخدم التخمر اللاهوائي بحيث تحول البكتيريا المادة العضوية منتجة الغازات N_2، H_2، وخاصة CO_2، CH_4 وهذه الأخيرة تستعمل كمصدر للطاقة [16]. تتغذى المخمرات بأوحال حديثة وجزء من الأوحال الناضجة في الشروط المثالية من درجة حرارة و pH، تتدخل في هذا التخمر بكتيريا لا هوائية خاصة لا هوائية إجباريا،مكونة الميثان وتتمثل في Méthanobacterium ،Methanosarcina ،Methanococcus [20].

I-3-3-2- المعالجة بالبحيرات :

تعتمد هذه الطريقة على مبدأ التدفق والسيلان البطيء للماء في أحواض كبيرة، فبعد عملية المعالجة الفيزيائية تتعرض المياه للتهوية، مما يفعل دور الكائنات الدقيقة والطحالب لتحطيم الملوثات والمواد العضوية.

ونظرا لكبر حجم الأحواض وبطء حركة المياه، فإن المعالجة تكون فعالة، ولكن تكمن المشكلة في هذه الطريقة بأنها تحتاج لمساحات كبيرة نظرا لحاجتها لاستخدام أحواض كبيرة.

I-3-3-3- معالجة المياه المستعملة بالنباتات :

نظرا لعلاقة هذه الطريقة بموضوع المذكرة سوف نتعرض لها بالتفصيل في الفصل الثاني.

الفصل الثاني

معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام النباتات

II-1- معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام النباتات :

II-1-1- تعريف :

معالجة المياه المستعملة أو استصلاح المياه هي عملية تحويل المياه العادمة إلى مياه يمكن استخدامها لأغراض أخرى مفيدة قد تشمل ري المساحات الخضراء أو تجديد موارد المياه السطحية والجوفية كما يمكن توجيه استخدامها لتلبي احتياجات معينة للاستعمال المنزلي والأعمال التجارية والصناعية ويمكن حتى معالجتها لتصبح صالحة للشرب وتعتبر تقنية معالجة المياه المستعملة بواسطة النباتات عملية معالجة بيولوجية لمياه الصرف المنزلية التي تعتمد أساسا على استغلال القدرة الطبيعية للنباتات في إزالة التلوث عن طريق البكتيريا والكائنات الدقيقة الموجودة فيها وذلك لمعالجة الفضلات وهو نظام لا يتطلب استثمارا كبيرا للتنفيذ أو الصيانة والإدارة وقد أظهر كفاءة في إزالة التلوث العضوي وكذلك التلوث الميكروبيولوجي للمياه المستعملة.

II-1-2- مراجعة تاريخية لتقنية معالجة المياه العادمة بواسطة النباتات :

كانت أول محاولات استخدام الغطاء النباتي للأراضي الرطبة لإزالة الملوثات المختلفة من المياه من قبل الألماني K. Seidel في ألمانيا أوائل الخمسينيات من القرن الماضي. وأول سطح مائي حر قد بني في أوروبا لمعالجة المياه العادمة في أحد مواقع التخييم خلال فترة الستينيات من القرن الماضي.

في غضون عدة سنوات كان قد أنشئ 20 سطح مائي حر ومع ذلك لم تنتشر هذه التقنية في أوروبا، ولكن الأراضي الرطبة المصطنعة بتدفق تحت السطحي الأفقي أصبحت النوع السائد من الأسلحة الكيميائية في القارة، تم بناء أول سطح مائي بالتدفق تحت السطحي الأفقي واسع النطاق سنة 1974م في أوثفريسن في ألمانيا وكانت تستخدم التربة كمادة تعبئة وكان لها تأثير معالجة مرتفع للغاية ولكن بسبب النفاذية الهيدروليكية المنخفضة حدث الانسداد سريعا. في أواخر الثمانينيات في المملكة المتحدة تم استبدال التربة بالمواد الخشنة (الحصى) وتم اعتمادها بنجاح منذ ذلك الحين.

انتشرت تقنية المعالجة بالأراضي الرطبة المصطنعة بسرعة في جميع أنحاء العالم، وفي التسعينات أدى الطلب المتزايد على إزالة النيتروجين الكلي إلى استخدام أنظمة هجينة تجمع أنواع مختلفة من التدفق [25].

II-2- محطة المعالجة بالنباتات :

الأراضي الرطبة المبنية أو المصطنعة هي أنظمة هندسية تم تصميمها بنفس شروط المناطق الرطبة الطبيعية للاستفادة من العمليات الطبيعية التي تشمل نباتات الأراضي الرطبة ومواد التعبئة والكائنات الحية الدقيقة المرتبطة بها للمساعدة في معالجة مياه الصرف الصحي وتتميز بكونها أكثر تحكما من الأراضي الطبيعية. تعتمد هذه الأنظمة على العمليات الطبيعية، البيولوجية، الفيزيائية والكيميائية لمعالجة مياه الصرف الصحي [25]. وتصنف هذه المحطات إلى نوعين :

أولا : تبعا للنباتات المستخدمة فيها :

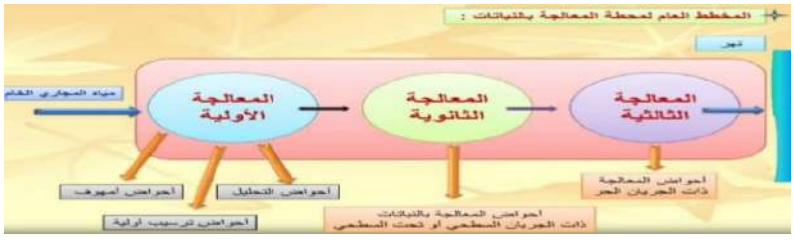
- محطات المعالجة ذات النباتات الطافية.
- محطات المعالجة ذات النباتات المغمورة .
- محطات المعالجة بالنباتات ذات الجذور المغمورة والسيقان الظاهرة[26].

ثانيا : تبعا لاتجاه تدفق المياه عبر الفلتر :

- محطة المعالجة ذات الجريان السطحي الحر.
- محطة المعالجة ذات الجريان تحت السطحي الأفقي.
- محطة المعالجة ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي.
- محطة المعالجة ذات الجريان المهجن (أفقي + شاقولي)(Hybride System) [26].

II-3- المخطط العام لمحطة المعالجة بالنباتات :

يتضمن المخطط الأكثر تداولا في البداية معالجة أولية عبر استخدام أحواض التحليل أو أحواض أمهوف (أحواض ترسيب أولية) بالإضافة إلى حوض إزالة الرمال والدهون، ومن ثم تمر المياه الخارجة من المعالجة الأولية إلى وحدة المعالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي (أفقي، شاقولي أو مهجن) للمعالجة الثانوية، وبعدها تمر المياه الخارجة إلى وحدة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر (معالجة ثالثة) والتي تعتبر كمرحلة تكميلية حيث يتم فيها تحسين المواصفات النهائية للمياه المعالجة. هناك العديد من خيارات تسلسل أحواض المعالجة، وأبسط هذه الخيارات هو وجود سلسلة واحدة للمعالجة، وتتطلب محطة المعالجة بالنباتات وجود حفر تفتيش لمراقبة نوعية المياه قبل حوض المعالجة بالنباتات وبعده وهذا هو الخيار المناسب عندما يكون المطلوب تخفيض المواد العضوية والمواد الصلبة المعلقة، أما عندما يكون المطلوب تخفيض الأمونيا أو النتريت والنترات وغيرها فتختلف السلسلة ونوعية الأحواض باختلاف العناصر المراد التقليل منها [27].

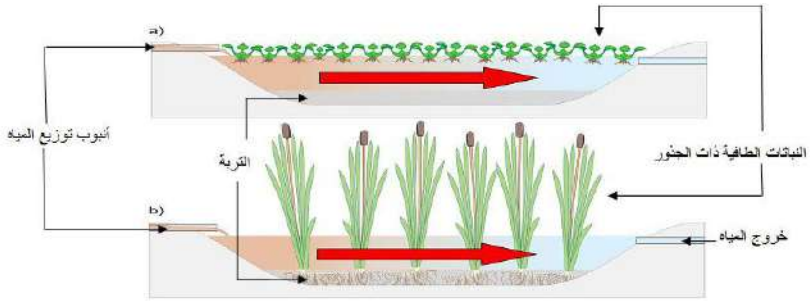


الشكل رقم (4) : المخطط العام لمحطة المعالجة بالنباتات [26].

II-4- أحواض النباتات المستعملة في تنقية مياه الصرف الصحي :

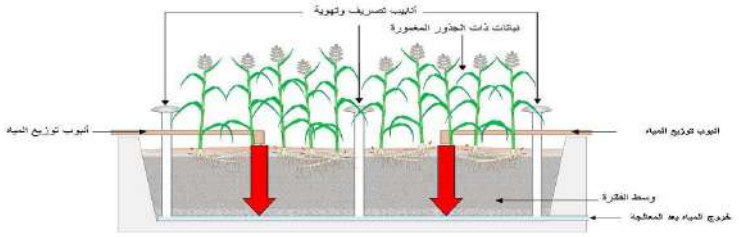
هناك أربعة أنظمة تستعمل في معالجة المياه المستعملة [14] :

II-4-1- أحواض النباتات ذات الجريان السطحي الحر (أحواض الجريان الحر للماء) :



الشكل (5) : حوض معالجة بالنباتات ذات الجريان السطحي الحر.

II-4-2- أحواض النباتات ذات الجريان تحت السطحي الشاقولي :



الشكل (6) : حوض معالجة بالنباتات بجريان تحت سطحي شاقولي.

II-4-3- أحواض النباتات ذات الجريان تحت السطحي الأفقي :

كان أول ظهور لهذه التقنية في ألمانيا، وأول من استخدمها العالم الألماني Kickuth وسمي هذا النظام باسمه وكان أول تطبيق لهذه الطريقة في ألمانيا سنة 1974 [25].

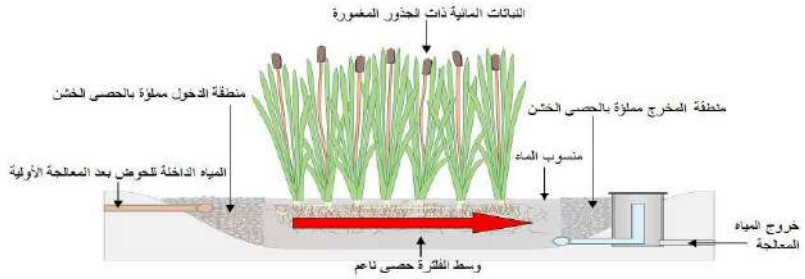
لهذه الطريقة عدة استعمالات ونذكر منها :

- التصفية الثانوية بعد عملية الترسيب للمياه المستعملة لبعض القرى ذات الكثافة السكانية القليلة.
- تستعمل كمرحلة ثالثة بعد التصفية البيولوجية أو مرحلة ثانية بعد أحواض الجريان الشاقولي.
- معالجة مياه الأمطار.

انتقلت هذه الطريقة إلى أوروبا وتلقت عدة انتقادات من طرف الباحثين لكونها تتطلب أماكن شاسعة لتطبيقها والمواد المستعملة في وسط الفلترة غير حاجزة للمياه [28]،[29].

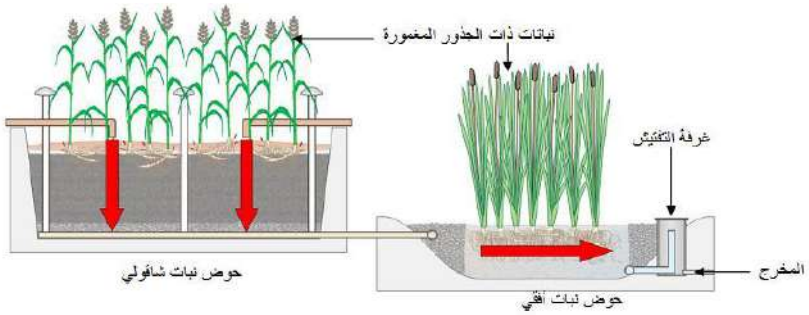
كانت في أول ظهور لها تعتمد على الرمل كمادة للتعبئة لكنها لم تكن واسعة الانتشار [30]، ثم استخدم الحصى الخشن والناعم.

لهذا الجريان عدة إيجابيات فهو يمنع انتشار الروائح والحشرات وهذا النوع من الأنظمة له فعالية كبيرة في إزالة المواد الصلبة العالقة والمواد العضوية والعوامل الممرضة.



الشكل (7) : حوض معالجة بالنباتات بجريان تحت سطحي أفقي.

II-4-4- أحواض النباتات ذات الجريان المتنوع (مهجن) " أفقي + شاقولي " :



الشكل (8) : حوض معالجة بالنباتات بالجريان المتنوع.

II-5- النباتات المائية المستخدمة ضمن محطات المعالجة بالنبات :

عادة ما يتم استخدام النباتات المتوفرة في منطقة إنشاء المحطة نظرا لتكيفها مع الظروف المناخية للمنطقة. كانت هناك أنواع مختلفة وكثيرة مستخدمة في معالجة النباتات تم تصنيفها ضمن مجموعات (النباتات العائمة، ذات الجذور المثبتة في التربة، النباتات ذات الجذور المغمورة والسيقان والأوراق الظاهرة، النباتات المغمورة كليا بالماء، النباتات القصبية ذات النبتة الخشبية، النباتات القصبية ذات النبتة العشبية، النباتات الطافية ذات الجذور المعلقة،...)، وفي عام 1920 قام العالم البيئي آربر Arber بتقسيم مجموعات النباتات المائية إلى نباتات ذات جذور وعديمة الجذور، وتبعا لنوع الأوراق ونوع الأزهار وتبعا لكون الأزهار والأوراق مغمورة بالماء أو طافية على سطح الماء أو الظاهرة وبناءا على هذا فقد ظهرت لاحقا تصنيفات سهلة وشائعة لأنواع النباتات المائية عبر أبحاث مجموعة من العلماء وتتلخص هذه الأنواع فيما يلي :

II-5-1- النباتات المائية البارزة :

وهي التي تكون جميع أو بعض أعضائها الخضرية بارزة أو منبثقة خارج سطح الماء.

II-5-2- النباتات المائية الغاطسة :

وهي التي تنمو كليا تحت سطح الماء أو تظهر أزهارها أحيانا خارج سطح الماء وتنتمي إلى مجموعة النباتات متغايرة الأطوار.

II-5-3- النباتات المائية الطافية :

وهي التي تكون جميع أو بعض أعضائها الخضرية طافية، وهي نوعان :

- النباتات الطافية الحرة : لها أنواع كثيرة حسب الظروف البيئية المناسبة، تعيش على السطح وجذورها تمتد في الماء.
- النباتات الطافية ذات الجذور الممتدة داخل التربة : هذه النباتات قادرة على بلوغ القاع عبر سيقانها الطويلة حيث تنمو جذورها ضمن قاع الحوض [14].

II-6- عوامل اختيار النباتات :

- يجب اختيار النباتات التي تنمو في البيئة الطبيعية للمنطقة وتتكيف مع مناخها.
- يجب أن تكون النباتات من النوع الذي ينمو حالما يتم زرع مجموعة جذرية منه.
- يؤخذ بعين الاعتبار الكتلة الحيوية للنبات وكذا قوته المطهرة.
- يمكن المزج بين نوعين من النبات لتغطي أعماق مختلفة من المياه [31]

II-7- العوامل المؤثرة على التصفية النباتية :

تتعلق نتائج التصفية بمجموعة من العوامل نذكر منها :

أ. التهوية الكبيرة : وهي من أهم العوامل تأثيرا في عملية التصفية النباتية حيث أن عمليتي إزالة المواد العضوية والنترجة تتطلبان كمية كافية من الأكسجين.

ب. الحرارة : فهي تؤثر على زيادة النشاط البيولوجي للكائنات الحية الدقيقة وكذلك على كمية الأكسجين المخزن التي تستعمل في عملية التصفية الذاتية.

ت. مكونات الأرضية : حيث تتكون من طبقات من الحصى الرقيق والخشن اللذان يعملان على تثبيت النباتات وتوفير التهوية اللازمة لها.

ث. نوع النبات.

ج. مدة المكوث : المياه المراد دراستها يجب أن تبقى في الأحواض لمدة كافية أو لفترة مساوية للزمن الضروري لتصفيتها ففعالية هذه الطريقة تتعلق بطول مدة الإقامة والتي تكون أطول في فصل الشتاء مقارنة مع الفترة الصيفية [32]،[33].

II-8- دور مختلف مكونات النظام :

II-8-1- دور مواد التعبئة :

- إزالة المواد العالقة في مياه الصرف الصحي ولهذا سميت بالمصفاة، هذه الخاصية تعتمد في أغلب الأحيان على الخصائص الهيدروديناميكية منها الناقلية الهيدروليكية في الوسط المشبع أو غير المشبع.
- التوازن البيولوجي ناتج عن مواد التعبئة ومرتبط بسرعة تدفق المياه ومدة مكوث المياه في الحوض.

- مكونات مواد التعبئة لها القدرة على امتصاص الفسفور والمعادن الثقيلة وهذا مرتبط بكمية الحديد والألمنيوم والكالسيوم الموجود فيها وزمن مكوث المياه داخل الحوض، هذه القدرة تتغير حسب مسامات مواد التعبئة.
- تثبيت البكتيريا كي لا تجرها المياه حتى تتمكن من أداء دورها على أكمل وجه [14].

II-8-2- دور النباتات :

الجدول (02) : ملخص لدور النباتات ضمن محطات المعالجة بالنباتات [14].

أجزاء النبات	الأهمية في المعالجة
أنسجة النبات المحاطة بالهواء الجوي	- تحد من نفاذ الضوء إلى الماء مما يقلل من نمو الطحالب والعوالق النباتية - العزل الحراري للحوض خاصة في فصل الشتاء. - تخفيض سرعة التيار المائي وهذا ما يساعد على تأمين ظروف أفضل لعملية ترسيب المواد الصلبة العالقة. - الجزء العلوي من النبات يساعد على تخفيف سرعة الرياح قرب سطح التربة أو الماء حيث تحسن من إزالة المواد الصلبة العالقة خاصة في أحواض الجريان الحر، كما تقلل من خطر قلع النباتات بقوة الريح. - تخزين المغذيات ضمنها
أنسجة النبات المغمور بالماء	- تمنع الانسداد في الأحواض ذات الجريان الشاقولي حيث تتم تغذية الحوض من السطح العلوي. - سرعة الرياح تؤدي بالنباتات إلى مساعدة المياه بالدخول إلى الحوض عبر الفراغات التي يصنعها ساق النبات نتيجة الاهتزازات المتكررة. - تؤمن مساحة سطحية لنمو الطبقة البيولوجية. - تطرح الأكسجين المنحل للوسط المائي مما يزيد التحلل الهوائي للملوثات. - تستهلك المغذيات.
الجذور وأشباه الجذور (الجذمور) ضمن وسط الفلترة أو التربة	- تؤمن نباتية سطح الفلترة (التربة). - تمنع الوسط من الانسداد في الأحواض ذات الجريان الشاقولي. - تحرير الأكسجين مما يساعد على النترجة. - تستهلك المغذيات. - تحرر مضادات حيوية. - تثبيت البكتيريا كي لا تجرها المياه حتى تتمكن من أداء دورها على أكمل وجه.

II-8-3- دور الكائنات الدقيقة :

- تحليل وهدم الملوثات العضوية.
- تلعب دورا حاسما في حدوث عملية النترجة (تحويل مركبات النيتروجين).

- تعمل البكتيريا على عمليات الأكسدة الإرجاعية، وتنتج من هذه العملية الطاقة اللازمة للتخليق العضوي حيث تحول المركبات الآزوتية والفسفورية إلى مواد معدنية ممتصة من طرف النبات.
- تعمل البكتيريا على عملية نزع وإنتاج النتريت أو هدمه.
- تعمل الأجسام المجهرية على تحطيم المواد العضوية تنتج من كمية الكتلة الحيوية التي بدورها يجب أن تتحطم حتى تتفادى حدوث الانسداد [14].

II-9- آليات إزالة الملوثات وفعالية أحواض المعالجة بالنباتات :

وهي مرتبطة بأنظمة فيزيائية وكيميائية وأيضا بيولوجية ملخصة في الجدول الآتي :

الجدول (03) : أهم آليات الإزالة الرئيسية للملوثات ضمن أحواض النباتات [14].

الملوثات	آلية الإزالة الرئيسية
المواد العضوية	- التحليل البيولوجي (هدم ميكروبي هوائي ولا هوائي)
المواد الصلبة العالقة	- الترسيب الفيزيائي. - الفلترة الفيزيائية. - التحلل البيولوجي.
النيتروجين	- النترجة وإزالة النترجة البيولوجية. - عمليات الامتصاص الفيزيائية والكيميائية ضمن وسط الفلترة ومن طرف النبات
الفسفور	- عمليات الامتصاص الفيزيائية والكيميائية ضمن وسط الفلترة ومن طرف النبات.
المعادن	- امتصاص وتبادل الكاتيونات. - تشكيل مركبات. - ترسيب/امتصاص من طرف النباتات. - أكسدة وإرجاع من طرف البكتيريا.
العوامل الممرضة	- الافتراس البيولوجي، الموت الطبيعي وعمليات الترسيب والفلترة الفيزيائية. - إفراز مضادات حيوية من طرف جذمور النبات.

II-10- فوائد معالجة المياه المستعملة بالنباتات :

- عدم الحاجة إلى نقلها بعيدا عن مساكن المواطنين.
- كلفة بنائها منخفضة وسهلة الإنشاء والتشغيل والصيانة.
- الإزالة الفعالة للملوثات والعوامل الممرضة وبيض الديدان.
- التكيف الجيد مع التغيرات الموسمية.
- إمكانية معالجة المياه العادمة المنزلية الخام.
- كمية الحمأة منخفضة.

- لا يوجد فيها استهلاك للطاقة وليست بحاجة إلى كوادر عالية التأهيل [26].

II-11- عيوب محطات معالجة مياه الصرف الصحي بالنباتات :

- تتطلب مواد (حصى، رمل، حجارة) بكميات كبيرة نسبيا.
- المساحة اللازمة لها كبيرة مقارنة مع محطات المعالجة التقليدية.
- عدم معالجة الحمأة الأولية الناتجة بشكل مناسب يؤدي إلى انتشار الروائح الكريهة [26].

II-12- استخدامات المياه المعالجة بالنباتات :

- ري المزروعات الاستهلاكية والنباتات غير المثمرة.
- تستخدم أيضا في مجال الصناعة.
- التنظيف.
- تغذية طبقة المياه الجوفية [34].

الجـــزء التطبيقـــي

الفصل الثالث

طرق وأدوات

III-1- تقديم منطقة الدراسة (تقرت) :

III-1-1- الموقع الفلكي:

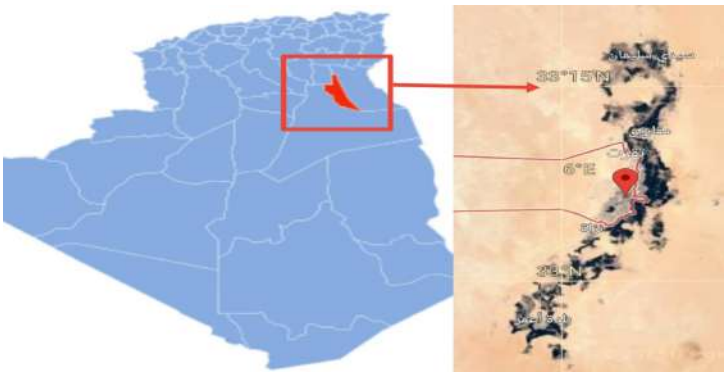
تقع بمنخفض وادي ريغ في نقطة تقاطع بين:

- دائرة عرض 33.116 درجة شمالا.
- خط طول 6.0783 درجة شرقا.

III-1-2- الموقع الجغرافي:

تقع مدينة تقرت في المنطقة الشرقية للجزائر يحدها:

- من الجنوب ولاية ورقلة على الطريق الوطني رقم 32 بـ 160 كلم.
- من الشرق مدينة الوادي على الطريق الوطني رقم 16 بـ 95 كلم.
- من الشمال مدينة بسكرة على الطريق الوطني رقم 03 بـ 220 كلم.
- من الجنوب الغربي مدينة غرداية على طريق القرارة وبريان بـ 350 كلم ومدينة الجلفة على طريق مسعد بـ 380 كلم وتبعد عن الجزائر العاصمة بـ 650 كلم [35]،[36].



الشكل (9) : موقع منطقة الدراسة (تقرت) [37].

III-2- دراسة مناخية :

تصنف ولاية تقرت من بين الولايات الجزائرية الصحراوية ذات المناخ الجاف وتتميز بـ :

صيف حار جدا وشتاء شديد البرودة يتكون الصقيع في بعض أيامه، تهب على منطقة تقرت رياح حارة يطلق عليها مصطلح الشهيلي محليا والسروكو علميا تكثر في فصل الربيع. استنادا على البيانات التي قدمها المكتب الوطني للأرصاد الجوية (ONM) في سيدي مهدي لسنة 2021 فإن :

- يستمر الموسم الحار من 6 جوان إلى 13 سبتمبر بمتوسط C° 36، الشهر الأكثر سخونة في السنة في تقرت هو شهر جويلية بمتوسط مرتفع يبلغ C° 40 وصغرى C° 27.
- يستمر الموسم البارد من 19 نوفمبر إلى 6 مارس بمتوسط C° 22، أبرد شهور السنة في تقرت شهر يناير بمتوسط درجة حرارة صغرى C° 5 وحد أقصى C° 17.

- تستمر الرياح لمدة 5 أشهر أو أكثر بمتوسط سرعة رياح تزيد عن 9 ميل في الساعة،شهر ماي أكثر الشهور رياحا بمتوسط يبلغ 15.9 Km/h. أهدأ شهور السنة هو أكتوبر بمتوسط 12.6 Km/h.
- تهطل الأمطار على مدار العام في تقرت، الشهر الأكثر رطوبة شهر يناير حيث يبلغ متوسط هطول الأمطار 10 mm، الشهر الأكثر جفافا شهر يوليو بمتوسط هطول يبلغ 1 mm.
- تشهد منطقة تقرت تباينا موسميا معتدلا في الرطوبة المحسوسة، الشهر الذي يحتوي على أكثر الأيام رطوبة في تقرت هو شهر أوت وأقل الأشهر رطوبة شهر فبراير [38].

III-3- تقديم محطة التصفية بتقرت :

تقع على خط عرض '16 °33 شمالا وخط طول '04 °6 شرقا.

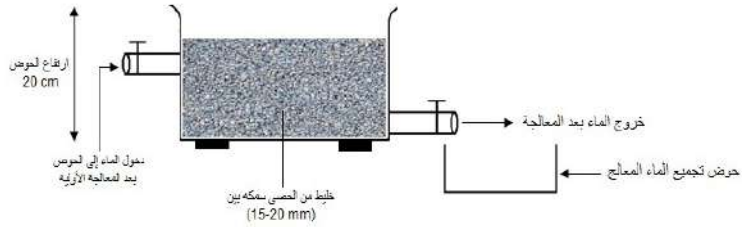
في الشمال الشرقي لولاية ورقلة تقع محطة تصفية المياه المستعملة بتقرت بني يسود التابعة لبلدية تبسبست دائرة تقرت على الطريق الوطني رقم 16 بين مدينة تقرت ومدينة الوادي، تتربع هذه المحطة على مساحة قدرها 5 هكتارات [14]، أنجزت من طرف مديرية الموارد المائية لولاية ورقلة سنة 1993 وبدأت العمل في 1993/11/20 م، توقفت عن العمل سنة 1995 م لمدة تتجاوز الست سنوات وأعيد تأهيلها سنة 2003، ودخلت مجددا حيز الخدمة في 2004/02/24 تحت إشراف الديوان الوطني للتطهير ONA وخصصت لتنقية جزء من المياه المستعملة لمدينة تقرت الكبرى. أجريت هذه الدراسة من طرف المكتب الوطني للدراسات الهيدروليكية مع الشركة البلجيكية لتنقية المياه سنة 1982 رقم العملية 5.392.1666.00.02 تحت اسم وحدة التطهير بتقرت وأنجزت هذه الوحدة في إطار برنامج تطوير بلدي [14].

الشكل (10) : صورة بالقمر الصناعي تحدد موقع منطقة الدراسة (ONA) [37].

III-4- البروتوكول التجريبي :

III-4-1- العتاد التجريبي المستعمل :

يتكون من حوض للتغذية يملأ بمياه الصرف الصحي بسعة 80 L يغذي حوضين مملوءين بالحصى بارتفاع 20 cm سمك الحصى بين (15-20 mm) حوض مزروع بسيقان حديثة العمر من نباتي *Cana Indica* + *Cyperus papyrus* بكثافة (36 tiges/m^2) (36 ساق لكل متر مربع) أخذ هذا المعيار من دراسات سابقة [39]،[40]. وحوض ثاني غير مزروع كشاهد.



الشكل (11) : مخطط لمكونات حوض المعالجة بالتدفق تحت السطحي الأفقي.

تزود الأحواض بمياه مستعملة حضرية عولجت أوليا (معالجة فيزيائية) بسعة 15 L بطريقة التدفق تحت سطحي الأفقي بوتيرة منتظمة مرة واحدة كل أسبوع، الماء المحصل عليه بعد مكوثه 5 أيام في الأحواض يتم تجميعه في إناء موضوع أسفل الحوض من أجل إجراء التحاليل المخبرية.

الشكل (12) : العتاد التجريبي المستعمل في الدراسة.

III-4-2- الخصائص الفيزيوكيميائية لمواد التعبئة المستعملة :

يتميز بأس الهيدروجيني pH = 7.14 (وسط متعادل) وناقلية كهربائية CE = 3.88 (mS/cm).

III-5- النباتات المائية المستعملة في التنقية :

النباتات أخذت من الحوض النموذجي لمعالجة المياه المستعملة بالنباتات (WWG) بتماسين التي تقع قرب القصر العتيق بتماسين _ تقرت المحطة أنجزت سنة 2007، وكانت آنذاك المحطة الوحيدة على المستوى الوطني والهدف منها معالجة المياه المستعملة الحضرية واستغلال مياه الصرف وإعادة استعمالها في السقي.

III-5-1- نبات السعد البردي *cyperus papyrus* :

III-5-1-1- وصف نبات السعد البردي (الاسم العلمي: *Cyperus papyrus*) : هو نوع من كاسيات البذور المائية من فصيلة السعدية. وهو نبات معمر رقيق عشبي يتميز باللون الأخضر الفاتح له سيقان جوفاء يصل سمكها إلى 40 mm وطوله 5 m في الظروف المثالية تنتهي هذه النبتة في الأعلى بمجموعة سيقان فرعية مشكلة ما يشبه المظلة المقلوبة [41]، السيقان تحمل مجموعة من الزهور في آخرها عدد من الثمار الصغيرة ذات اللون المسمر. تعيش هذه النبتة في المناطق شبه الاستوائية والصحراوية الاستوائية وفي الغابات الرطبة وفي درجة حرارة تتراوح بين (20-30 C°) وpH (6-8.5) [42]،[43]، تزهر في أواخر الصيف، أما في فصل الشتاء يكون نموها قليلا نوعا ما فهي حساسة للصقيع.

III-5-1-2- استعمالاته :

لدى سعد البردي (وأقاربها) تاريخ طويل جدا من استخدامات البشر، لاسيما عن طريق المصريين القدامى كمصدر ورق البردي (أول نوع من الورق عرفه الانسان) واستخدموا سيقانه الطويلة في صنع القوارب، وجذوره الغليظة لصنع الأواني أما جزئه العلوي فكانوا يستخدمونه للزينة [44] .

كما استعملت سيقانه في صناعة الأحذية والمساكن وكعلف وصنعت منه أدوية للحيوانات [45].

III-5-1-3- التصنيف العلمي : يصنف ضمن [46] :

النطاق : حقيقيات النوى	*Eucaryote*
المملكة : النباتات	*Plantea*
الشعبة : البذريات	*phanerogams*
الشعيبة : مستورات البذور	*Angiospermes*
الصنف : أحاديات الفلقة	*Monocotylédone*
الرتبة : القبائيات	*Cyperales*
الفصيلة : السعدية	*Cyperaceae*
الجنس :	*Papyrus*
النوع :	*cyperus*
الاسم العلمي :	*cyperus papyrus*

الشكل (13) : يمثل نبات *cyperus papyrus*.

III-5-2- نبات القنا الهندية (*Canna Indica*) :

III-5-2-1- وصف النبات :

شجيرة مستديمة الخضرة نموها سريع حيث قد تصل إلى المتر أو أكثر، وتنتج أزهاراً باللون الأصفر او الأحمر او البرتقالي وغيرها، موطنها الأصلي القارة الأمريكية حيث المناخ المداري وشبه المداري.

أوراقه كبيرة الحجم قد يصل طولها نصف المتر أو يزيد، وتظهر أزهاره في الربيع، والصيف، وتُحمل على ساق اسطوانية الشكل في قمة النبات.

III-5-2-2- استعمالاته :

تستخدم لمعالجة المياه الصناعية من خلال الأراضي الرطبة المصطنعة فلها قدرة كبيرة على إزالة اللون، الحمولة والمركبات العضوية من مياه الصرف الصحي كما استخدمه المختصون كنبات حدائق [47].

III-5-2-3- التصنيف العلمي :

المملكة : النباتات	*plantea*
الشعبة : كاسيات البذور	*Zingiberales*
الصنف : أحاديات الفلقة	*Magnoliophyta*
الرتبة : الزنجبيليات	*Liliopsida*
الفصيلة : القنيات	*Cannaceae*
الجنس : القنا	*Canna*
النوع : هندية	*Indica*
الاسم العلمي :	*Canna Indica*

الشكل (14) : يمثل نبات *Canna Indica*

III-6- تحديد الوسائط الفيزيوكيميائية المقاسة :

تم تحديد الطلب الكيميائي للأكسجين DCO، الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5، المواد العالقة MES، النتريت NO_2^-، النترات NO_3^- والأرتو فوسفور PO_4^{3-} بطريقة LCK [14].

طريقة أخذ العينات :

إن أخذ عينة من المياه المراد معالجتها أمر بالغ الأهمية فيجب أن تؤخذ بعناية فائقة فهي شرط ضروري جدا لتكون النتائج دقيقة. أخذنا العينات وأجرينا التحاليل الفيزيوكيميائية في مختبر الديوان الوطني للتطهير بتقرت أسبوعيا (مرة واحدة في الأسبوع) على الساعة الثامنة صباحا لمدة 5 أشهر الأخيرة من سنة 2021 وأخذت هذه العينات في عبوات زجاجية معنونة بمكان وتاريخ ووقت أخذ العينة.

العينات تكون من المياه الداخلة للمحطة والمياه الخارجة بعد المعالجة.

III-6-1- قياس درجة الحرارة T(C°)/الملوحة Salinité :

استعملنا في قياس درجة الحرارة جهاز متعدد القياسات analyseur multi paramètres كما يمكن استعمال الجهاز في قياس الملوحة والناقلية الكهربائية في الوسط المائي.

طريقة العمل :

- نشغل الجهاز
- نأخذ بيشر ونضع فيه عينة من الماء المراد تحليله
- نغمس قطب الجهاز في العينة المراد قياس درجة حرارتها/ملوحتها
- عند استقرار القيمة على الجهاز نقرأها وندون قيمتها.

III-6-2- قياس كمية الأكسجين المنحل $O_{2\ dissous}$:

تم قياس الأكسجين المنحل داخل العينة بالطريقة الأمبيرومترية Ampérométrique حسب (AFNOR ,T90-106)

- جهاز القياس Oxymétrie BPL Inolab

طريقة العمل :

- نفتح الجهاز
- نغسل قطب الجهاز بالماء المقطر
- نضع 100 ml من العينة داخل كأس بيشر
- نغمس القطب في البيشر ونتركه حتى يستقر
- عند استقرار النتائج (التركيز، التشبع والضغط الجزئي للأكسجين) نسجلها

حساب النتيجة (القراءة تأخذ مباشرة من الجهاز)

تركيز الأكسجين	نسبة تشبع الأكسجين	الضغط الجزئي للأكسجين
mg/l	%	M bar

III-6-3- قياس الأس الهيدروجيني pH :

تم قياسه بواسطة جهاز pH متر من نوع pH mètre sension 1 بطريقة (AFNOR, X31-103)

طريقة العمل :

ضبط الجهاز :

- نشغل جهاز pH متر
- غسل القطب بالماء المقطر
- نضع داخل كأس بيشر محلول موقي pH = 7
- نضبط جهاز الرج على أقل سرعة
- ندخل القطب داخل المحلول الموقي
- نتركه مدة صغيرة حتى يستقر ويظهر على الجهاز طلب إدخال المحلول الموقي الثاني
- نسحب القطب ونغسله جيدا بالماء المقطر ثم ندخله في كأس بيشر ثاني يحتوي على محلول موقي ذو (pH=4 أو pH=10) حسب طبيعة الوسط المراد قياسه
- نسحب القطب ونغسله جيدا بالماء المقطر

طريقة قياس pH :

- نأخذ 100 ml من العينة ونضعها في كأس بيشر
- نضع داخل البيشر قطب مغناطيسي على حركة ضعيفة

- ندخل القطب داخل كأس البيشر
- نتركه يستقر ثم نقرا النتيجة المدونة على الجهاز مباشرة

III-6-4- قياس الناقلية الكهربائية CE :

تم قياسها بواسطة جهاز قياس الناقلية الكهربائية من نوع condictiveté sension5

طريقة العمل :

- نقوم بوصل القطب الخاص بقياس الناقلية بمكانه المخصص في الجهاز
- نغسل القطب بالماء المقطر
- نقوم بغمس القطب في العينة
- عند استقرار قيمة الناقلية نقرأها مباشرة من الجهاز.

III-6-5- تحديد الطلب الكيميائي للأكسجين DCO :

تم تحديد DCO في هذه الدراسة بطريقة الأكسدة بواسطة بيكرومات البوتاسيوم في وسط حمضي بوجود سلفات الفضة وسلفات الزئبق بواسطة جهاز (spectrophotometreDR3900) بطريقة Digestion par réacteur في قياسنا لـ DCO استعملنا كبسولات تحتوي على الكاشف التجاري المحضر سابقا

الأدوات والأجهزة المستعملة :

- جهاز spectrophotometreDR3900
- مولد للحرارة Thermoréacteur
- حامل، كأس بيشر، ماصة

طريقة العمل :

- نرج الكبسولة التي تحتوي على الكاشف التجاري جيدا من أجل مزج المواد المترسبة
- نأخذ 2 ml من العينة بواسطة ماصة ونسكبها على الجدار الداخلي للكبسولة التي تحوي الكاشف بحيث تكون الكبسولة بشكل مائل
- نغلق الكبسولة بإحكام ونرجها جيدا
- نسخن الكبسولة لمدة 120 دقيقة على درجة حرارة 148 C° داخل مولد الحرارة
- نخرج الكبسولة من المولد ونتركها تبرد على حامل لمدة 10 دقائق
- بعد أن تبرد الكبسولة نرجها جيدا ثم نتركها تبرد على درجة حرارة عادية حوالي 30 دقيقة أو أكثر
- بعد انتهاء زمن التبريد نضع الكبسولة داخل جهاز spectrophotometreDR3900
- نقرأ قيمة DCO مباشرة من الجهاز بعد استقرارها ويعبر عنها بـ (mgO_2/l) .

III-6-6- تحديد الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5 :

استعملنا جهاز DBO-mètre لتحديد كمية DBO_5 واتبعنا طريقة manométrique

الأدوات والمواد المستعملة :

- جهاز الرج المغناطيسي
- جهاز قياس الضغط DBO-mètre
- حاضنة (20 C°)
- قارورات حضن عازلة للضوء ذات سعة 500 ml مزودة بغطاء داخلي وآخر خارجي
- ملقط
- حوجلة عيارية
- هيدروكسيد البوتاسيوم KOH
- مثبط 1-alkyle-2-thio-urée ($C_4H_8N_2S$)

طريقة العمل :

إن تحديد تركيز DCO ضروري جدا لمعرفة الحجم الذي سيتم تحليله من أجل تحديد DBO_5

- يتم تحديد الحجم المأخوذ لحساب DBO_5 بالعلاقة التالية :

$$\mathbf{DBO_5 = DCO\ (mg/l) \times 0.85}$$

نحصل على قيمة نسقطها في الجدول التالي ونحصل على الحجم المراد تحليله.

الجدول (04) : يمثل معامل تغير قيمة DBO_5 بدلالة حجم العينة المستعملة

مجال القياس Portée de mesure	حجم العينة (ml)	المعامل Facteur	قطرات المثبط
0-40	432	1	9
0-80	365	2	7
0-200	250	5	5
0-400	164	10	3
0-800	97	20	2
0-2000	43.5	50	1
0-4000	22.7	100	0.5

- نقيس بواسطة دورق مدرج كمية العينة اللازمة للتحليل ثم نسكبها داخل قارورة حضن نظيفة
- نضع قضيب مغناطيسي داخل القارورة
- نضيف قطرات من المثبط داخل القارورة
- بواسطة ملقط نضيف قرصين من هيدروكسيد البوتاسيوم في الغطاء الداخلي للقارورة

- نغلق القارورة بإحكام بواسطة TOP OXI
- نضغط على الزرين (S+M) في وقت واحد لمدة 3 ثواني حتى تظهر على الشاشة القيمة 00
- نضع القارورة داخل الحاضنة
- نأخذ القراءة كل يوم لمدة 5 أيام ، بعد هذه المدة نطرح بين كل نتيجة محصل عليها في يومين متتاليين ونجمع النتائج والحاصل يضرب في المعامل.

حساب النتيجة :

قيمة DBO_5 الحقيقية تحسب من العلاقة التالية :

DBO_5 (mgO_2/l) = المعامل × قيمة القراءة

حيث :

- **قيمة القراءة :** هي القيمة المتحصل عليها من الجهاز
- **المعامل :** يتم تحديده من خلال الجدول أعلاه والذي يربط العلاقة بين قيمة DBO_5 بدلالة حجم العينة لأن كمية الطلب البيوكيميائي للأكسجين للعينة يتعلق بكمية المواد العضوية العالقة، قيمة DBO_5 تمثل نسبة 80 % من قيمة DCO.

III-6-7- تحديد المواد العالقة MES :

هناك طريقتين لقياس كمية المواد العالقة :

- **الطريقة الأولى :** طريقة الترشيح وتستعمل عندما تكون كمية المواد العالقة في المياه قليلة.
- **الطريقة الثانية :** طريقة الطرد المركزي (centrifugation) وتستعمل هذه الطريقة عندما تكون كمية المواد العالقة في المياه كبيرة.

الأدوات و الأجهزة المستعملة :

- الحاضنة Etuve (105 C°)
- جهاز نزع الرطوبة Dessiccateur
- ميزان الكتروني
- جهاز الطرد المركزي ذو معدل سرعته (2800-3200) دورة في الدقيقة
- جهاز الترشيح تحت الضغط (rampe de fibration)
- حوجلة عيارية
- بوتقات Capsule
- أوراق ترشيح (GF/C)

طريقة الترشيح :

- نبلل ورقة الترشيح بالماء المقطر ثم نضعها داخل الحاضنة على درجة حرارة 105 C° لبضعة دقائق
- نخرج ورقة الترشيح ونتركها تبرد بعيدا عن الرطوبة داخل جهاز نزع الرطوبة
- نخرج ورقة الترشيح وهي فارغة ونسجل وزنها M_0
- نأخذ حوجلة ذات سعة 100 ml نغسلها جيدا بالماء العادي ثم بالماء المقطر
- نأخذ 100 ml من العينة ونسكبها على ورقة الترشيح في جهاز الترشيح تحت الضغط
- بعد نهاية الترشيح نأخذ ورقة الترشيح ونضعها داخل الحاضنة على درجة حرارة 105 C° لمدة ساعتين
- نخرج ورقة الترشيح ونسجل وزنها M_1

حساب النتيجة :

تركيز المواد العالقة MES هو النسبة بين الفرق في الوزن (M_1 ,M_0) وحجم العينة المستعمل انطلاقا من العلاقة التالية ويعطى بـ (mg/l)

$$\mathbf{C(MES) = M_1 - M_0/V}$$

حيث : - C(MES) : تركيز المواد العالقة بـ (mg/l)

- **M_0 :** وزن ورق الترشيح وهو فارغ (mg)
- **M_1 :** وزن ورق الترشيح بعد الاستعمال (mg)
- **V :** حجم الماء المستعمل من العينة (ml)

طريقة الطرد المركزي :

- نأخذ 100 ml من العينة ونضعها داخل إناء Pots ذو سعة 100 ml
- نخضعهما لطرد مركزي لمدة 20 دقيقة حتى نحصل على الراسب
- ننزع الماء العالق ثم نغسل الراسب بالماء المقطر ونخضعه مرة ثانية للطرد المركزي بنفس المدة
- نزن بوتقة نظيفة ونسجل وزنها M_0
- نسكب الراسب داخل البوتقة ثم نضعها داخل الحاضنة على درجة حرارة 105 C° حتى نحصل على وزن مستقر
- نخرج البوتقة من الحاضنة ونتركها تبرد بعيدا عن الرطوبة داخل جهاز نزع الرطوبة
- نزن البوتقة مع الراسب الجاف ونسجل وزنها M_1

حساب النتيجة :

يعطى تركيز MES (mg/l) بالعلاقة التالية :

$$C(MES) = M_1 - M_0/V$$

حيث : - M_0 : وزن البوتقة فارغة (mg)

- **M_1 :** وزن البوتقة مع الراسب الجاف (mg)
- **V :** حجم الماء المستعمل مع العينة (ml)

III-6-8- تحديد كمية النيتريت NO_2^- :

حددنا كمية النتريت بواسطة جهاز spectrophotometreDR3900 بطريقة Diazotation

الأدوات والأجهزة المستعملة :

- جهاز spectrophotometreDR3900
- أنبوب كالورومتريك Cuvette colométrique بسعة 25 ml, 20 ml, 10 ml
- كأس بيشر بسعة 50 ml

المتفاعلات :

- كاشف (Nitri ver3) بشكل كيس تجاري محضر مسبقا
- ماء مقطر

طريقة العمل :

- نأخذ 10 ml من العينة ونضعها داخل جهاز spectrophotometreDR3900
- نسكب محتو كيس الكاشف داخل الأنبوب
- نغلق الأنبوب بإحكام ونرج جيدا ونتركه لمدة 15 دقيقة للتفاعل
- نأخذ 10ml من الماء المقطر (كشاهد) ونضعها داخل أنبوب كالورومتري ثاني ثم نسكب محتوى الكاشف ونرج جيدا ثم نضعه داخل جهاز spectrophotometreDR3900
- نضبط الجهاز على الصفر
- بعد 15 دقيقة من التفاعل نضع الأنبوب الذي يحتوي على العينة داخل جهاز القياس ثم نقرأ النتيجة مباشرة على الجهاز.

III-6-9- تحديد كمية النترات NO_3^- :

حددنا كمية النترات بواسطة جهاز spectrophotometreDR3900 بطريقة Réduction au cadmium

الأدوات والأجهزة المستعملة :

- جهاز spectrophotometreDR3900

- كأس بيشر بسعة 50 ml
- أنبوب كالورومتري Cuvette colométrique بسعة 25 ml , 20 ml , 10 ml

المتفاعلات :

- كاشف (Nitri ver 5) بشكل كيس تجاري محضر مسبقا

طريقة العمل :

- نسكب 10 ml من العينة داخل أنبوب كالورومتري
- نسكب محتوى كيس الكاشف داخل الأنبوب
- نغلق الأنبوب بإحكام ونرج جيدا مدة دقيقة واحدة ونتركه لمدة 5 دقائق للتفاعل
- نأخذ 10ml من الماء المقطر (كشاهد) ونضعها داخل أنبوب كالورومتري ثاني ثم نضيف له محتوى الكاشف ونرج جيدا ثم نضعه داخل جهاز spectrophotometreDR3900 من أجل ضبط الجهاز على الصفر.
- بعد 5 دقائق من التفاعل نضع الأنبوب الذي يحتوي على العينة داخل جهاز القياس ثم نقرأ النتيجة مباشرة على الجهاز، تعطى النتيجة بـ (mg/l).

III-6-10- تحديد كمية الأرتوفوسفور PO_4^{3-} :

تم تحديد كمية أرتو فوسفات بواسطة جهاز spectrophotometreDR3900 بطريقة Phos Ver 3 (حمض الأسكوربيك)

الأدوات والأجهزة المستعملة :

- جهاز spectrophotometreDR3900
- أنبوب كالورومتري Cuvette colométrique بسعة 25 ml , 20 ml , 10 ml
- كأس بيشر

المتفاعلات :

كاشف Phos Ver 3 بشكل كيس تجاري محضر مسبقا

طريقة العمل :

- نسكب 10 ml من العينة داخل أنبوب كالورومتري
- نسكب محتوى كيس Phos Ver 3 داخل الأنبوب
- نغلق الأنبوب بإحكام ونرج جيدا مدة دقيقتين ليتفاعل
- أثناء مدة التفاعل نأخذ 10ml من الماء المقطر (كشاهد) ونضعها داخل أنبوب كالورومتري ثاني ثم نضيف له محتوى الكاشف ونرج جيدا ثم نضعه داخل جهاز spectrophotometreDR3900 من أجل ضبط الجهاز على الصفر

- بعد دقيقتين من التفاعل نضع الأنبوب الذي يحتوي على العينة داخل جهاز القياس ثم نقرأ النتيجة مباشرة على الجهاز، تعطى النتيجة بـ (mg/l)

III-7- معالجة رياضية :

III-7-1- طريقة حساب مردود التنقية للأحواض :

قمنا بتحديد كفاءة التنقية للوسائط المقاسة بالمعادلة التالية :

$$\% R = ((C_E - C_S)/C_E) \times 100$$

حيث : - R : مردود التقنية.

- C_E : تركيز الوسائط المتواجدة في المياه المستعملة الداخلة للحوض (mg/l)

- C_S : تركيز الوسائط المتواجدة في المياه المستعملة الخارجة من الحوض (mg/l).

الفصل الرابع

النتائج ومناقشتها

IV-1- معامل التحلل البيولوجي :

إن النسبة $K = DCO/DBO_5$ أو ما يعرف بمعامل التحلل البيولوجي هي من تحدد نوعية المعالجة المطبقة على المياه حيث تحدد قابلية التحلل الحيوي للمواد العضوية في مياه الصرف الصحي الواردة للمحطة فإذا كانت هذه النسبة أقل من 3 فهي قابلة للتحلل بيولوجيا وهذا يعني أنه يمكننا استخدام التنقية بواسطة النباتات لمعالجة مياه الصرف الصحي الداخلة للمحطة أما إذا كانت تساوي أو تزيد عن 3 فهذا يشير إلى ضعف قابلية الماء على التحلل البيولوجي، والذي يفسر بمقاومة المادة العضوية في المياه ومنه فإن المعالجة النباتية غير ممكنة والمياه بحاجة إلى استخدام طرق أكثر فعالية لمعالجتها. كما يمكننا أيضا استنتاج ماهية مياه الصرف الصحي المراد معالجتها ما إذا كانت حضارية أو صناعية من خلال هذه النسبة.

IV-2- تحديد خصائص مياه الصرف الصحي الداخلة لمحطة التصفية :

تعتبر معرفة متوسط تركيزات الوسائط التي تميز مياه الصرف الصحي وكذلك نطاقات الاختلاف المحتملة أمراً بالغ الأهمية لضمان ملائمة أنظمة المعالجة لها. يتم تقييم تلوث مياه الصرف الصحي الخام وفقاً لتحديد عدد معين من المعايير الفيزيوكيميائية التي تميز هذه المياه. ومن أجل تحديد خصائص مياه الصرف الصحي الخام الداخلة لمحطة التصفية بتقرت أجرينا التحاليل الفيزيوكيميائية لمعايير التلوث التالية: الطلب الكيميائي للأكسجين DCO، الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5، المواد العالقة MES، النتريت NO_2^-، النترات NO_3^-، أرتوفوسفور PO_4^{3-}، الناقلية الكهربائية CE، pH، الأكسجين المنحل $O_{2\ dissous}$، درجة الحرارة T(c°)، الملوحة. لمدة 5 أشهر الأخيرة من سنة 2021 وأخذنا القيم المتوسطة لها فكانت النتائج كالتالي :

الجدول (5) : القيم المتوسطة للوسائط المقاسة لمياه الصرف الصحي الداخلة لمحطة التصفية.

الوسائط	عدد العينات	القيمة العظمى	القيمة الدنيا	القيمة المتوسطة
درجة الحرارة T(c°)	15	34	22.5	29.88
$O_{2\ dissous}$ (mg/l)	15	0.38	0.09	0.244
pH	15	8.13	7.56	7.734
CE (mS/cm)	15	5.01	4.04	4.686
Sal (mg/l)	15	2.9	2.1	2.54
DCO (mg/l)	15	274	194	228
DBO_5 (mg/l)	15	150	80	108
MES (mg/l)	15	161	95	123
NO_2^- (mg/l)	15	0.408	0.054	0.177
NO_3^- (mg/l)	15	12.9	3.4	7
PO_4^{3-} (mg/l)	15	6.25	1.13	2.962

من خلال نتائج الجدول رقم (5) واستنادا على المعايير الوطنية التي وضعتها الجريدة الرسمية لمياه الصرف الحضرية (الجدول (4) في الملحق) ومعايير منظمة الصحة العالمية لمياه الصرف الصحي (الجدول (2) في الملحق) فإن جميع قيم الوسائط المقاسة ضمن قيم الحد باستثناء :

- حسب نتائج الجدول (5) يبلغ متوسط كمية الأكسجين المنحل في المياه الخام الداخلة للمحطة 0.244 (mg/l) وهي كمية سيئة جدا مقارنة بمعايير منظمة الصحة العالمية لمياه الصرف الصحي OMS (1971) (الجدول (2) في الملحق) ويعود سبب سوء هذه الكمية إلى طرح المواد العضوية في الأجسام المائية والتي تستنزف الأكسجين بواسطة الأحياء المجهرية.
- تعتبر تصريفات المياه المنزلية بشكل عام المصدر الرئيسي لتلوث المياه بالفوسفات. وفقاً للجدول (5)، فإن متوسط قيمة الفوسفات في مياه الصرف (mg/l) 2.962 أي يتجاوز (mg/l) 2 معيار القيم الحدية لمعايير التصريف في بيئة الاستقبال (الجدول (3) في الملحق)، وتعود هذه الزيادة في مستويات الفوسفات إلى تمعدن متقدم للغاية للمواد العضوية.

الجدول (6) : قيم معامل التحلل البيولوجي الداخلة لمحطة التصفية

الأشهر	DCO (mg/l)	DBO_5 (mg/l)	$K = DCO/DBO_5$
أوت	194	80	2.425
سبتمبر	274	130	2.1076
أكتوبر	216	150	1.44
نوفمبر	198	85	2.3294
ديسمبر	258	95	2.7157
القيمة المتوسطة	228	108	2.2035

تتيح لنا النسبة $K = DCO/DBO_5$ تحديد قابلية التحلل الحيوي للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف الصحي كما يمكن لنا من خلالها معرفة طبيعة المياه المراد معالجتها وتحديد نوع المعالجة المناسبة لذلك حيث:

- $K < 3$ مياه حضرية وقابليتها للتحلل ممكنة (معالجة بيولوجية)
- $K \geq 3$ مياه صناعية وقابلية التحلل لها ضعيفة أو غير ممكنة (معالجة فيزيوكيميائية).

ومن خلال ما توضحه نتائج الجدول (6) ولأن كل القيم ($K = DCO/DBO_5 < 3$) فإن مياه الصرف الصحي الخام الداخلة للمحطة هي مياه حضرية قابلة للتحلل الحيوي ويمكننا معالجتها نباتيا.

IV-3- أداء وكفاءة إزالة الملوثات :

النتائج في الجدول أدناه كانت بعد مكوث المياه في الأحواض لمدة 5 أيام كاملة.

الجدول (7) : قيم الخصائص الفيزيوكيميائية المقاسة للمياه المعالجة الخارجة من الحوض المزروع بنباتي Cana Indica + C. papyrus وحوض الشاهد أثناء عملية التنقية خلال مدة الدراسة.

الوسائط المقاسة	عدد العينات	القيم العظمى		القيم الدنيا		القيم المتوسطة	
		حوض الشاهد	حوض النبتتين	حوض الشاهد	حوض النبتتين	حوض الشاهد	حوض النبتتين
T(c°)	15	30.4	29.9	12.5	13.9	21.14	21.44
$O_{2\ diss}$ (mg/l)	15	4.48	5.81	1.7	4.46	3.302	5.236
pH	15	8.24	7.26	7.32	6.51	7.888	7.058
CE (mS/cm)	15	8.11	26	5.01	10.26	6.752	18.822
Sal (mg/l)	15	4.5	15.9	2.7	6.2	3.72	11.3
DCO (mg/l)	15	95	92	41	21	64.4	42.2
DBO_5 (mg/l)	15	38	23	19	10	26.6	13.8
MES (mg/l)	15	42	47	10	8	21.6	23.2
NO_2^- (mg/l)	15	0.046	0.006	0.036	0.002	0.0406	0.0046
NO_3^- (mg/l)	15	5	2.8	0.3	0.4	1.6	1.44
PO_4^{3-} (mg/l)	15	1.84	0.464	0.457	0.065	1.0946	0.2836

من خلال نتائج الجدول رقم (6) واستنادا على المعايير الوطنية التي وضعتها الجريدة الرسمية لموصفات مياه الصرف الصحي المعالج المستخدم لأغراض الري (الجدول (5) في الملحق) ومعايير منظمة الصحة العالمية لمياه الصرف الصحي (الجدول (3) في الملحق) فإن جميع قيم الوسائط المقاسة ضمن قيم الحد باستثناء الناقلية CE.

IV-4- تفسير خصائص المياه المعالجة :

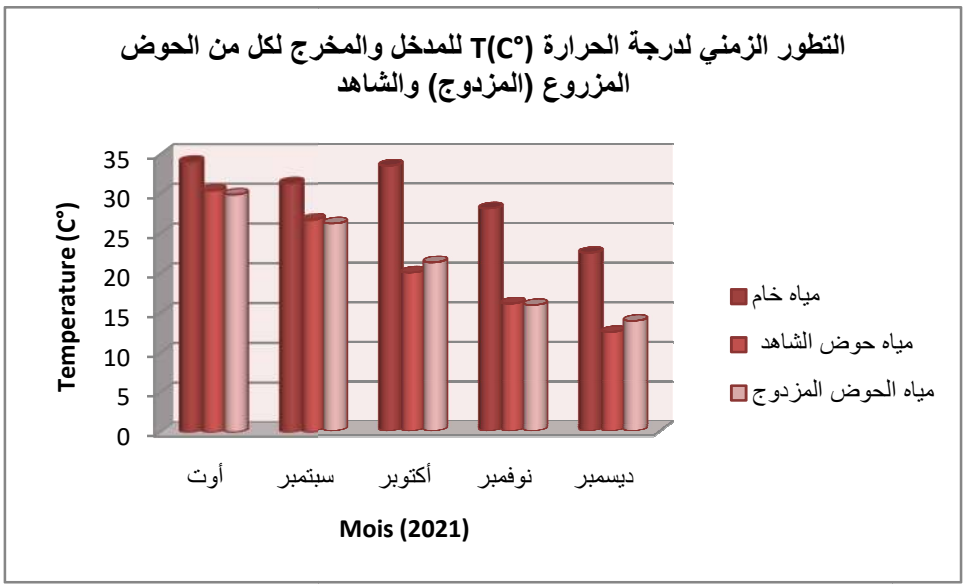
IV-4-1- تطور درجة الحرارة (C°) T :

للحرارة علاقة مباشرة بمعدل تحلل المواد العضوية فهي تساعد على نمو معظم الكائنات الحية التي تعيش في الماء وخاصة الكائنات المجهرية كما تعمل أيضا كعامل فيزيولوجي لتسريع التفاعلات الكيميائية.

بناءا على النتائج المحصل عليها خلال فترة دراسة مياه الصرف الصحي والموضحة في الشكل (15) فإن :

- قيم درجة الحرارة في المياه الخام تتراوح بين 34 °C كقيمة عظمى شهر أوت و22.5 °C كقيمة دنيا شهر ديسمبر بمتوسط 29.88 C°.

- بينما في مياه الحوض المزدوج تتأرجح بين°C 29.9 و°C 13.9 شهري أوت وديسمبر على الترتيب بمتوسط °C 21.44.
- وفقا للجريدة الرسمية الجزائرية فإن درجة الحرارة في المياه المعالجة يجب أن لا تتجاوز°C 30 (الجدول (4) في الملحق) وهذا شرط محقق.



الشكل (15): التطور الزمني لدرجة الحرارة للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

التفسير :

نلاحظ أن درجة حرارة المياه الخام أعلى من درجة حرارة المياه المعالجة ونفسر انخفاض درجة الحرارة بعد المعالجة بـ :

- انخفاض أعداد البكتيريا والتفاعلات الكيميائية.
- تعرض الماء المعالج للهواء
- التحلل والتفسخ العضويين من قبل البكتيريا وباقي الأحياء المجهرية.

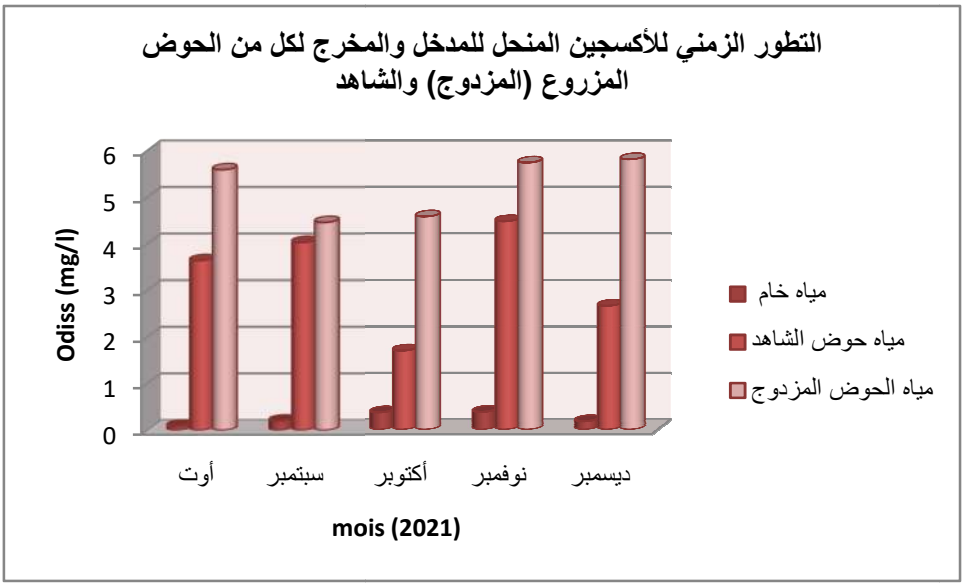
بشكل عام تبقى درجات حرارة الماء مرتبطة بمناخ المنطقة وأوقات أخذ العينات.

IV-2-4- تطور الأكسجين المنحل $O_{2\ diss}$:

تعد كمية الأكسجين المذاب في الماء عاملا محددا لمعظم الأحياء المائية التي تعيش فيه، ويأتي هذا الأخير من عدة مصادر منها ما ينتج من عملية البناء الضوئي التي تقوم بها الطحالب والنباتات المائية أو عن طريق التبادل بين الغلاف الجوي والماء، يتناسب تركيزه في الماء عكسيا مع درجة الحرارة وتركيز الأملاح في المياه ويعمل طرح المواد العضوية في الأجسام المائية بشكل كبير على استنفاذ الأكسجين بواسطة الأحياء المجهرية مما يؤدي إلى خلق ظروف لا هوائية خطيرة تنعكس سلبا على الصفات الفيزيوكيميائية للماء.

يبين الشكل (16) تطور الأكسجين المنحل في المياه الخام، المياه المعالجة ومياه الحوض الشاهد لخمسة أشهر الأخيرة من سنة 2021 ونلاحظ من خلاله :

- القيم المتوسطة للأكسجين المذاب تزداد في المياه المعالجة ومياه الحوض الشاهد مقارنة بالمياه المستعملة (الخام).
- قيم $O_{2\ diss}$ في المياه الخام متغيرة بين أدنى قيمة 0.09 mg/l سجلت شهر أوت وأكبر قيمة 0.38 mg/l سجلت شهر نوفمبر بمتوسط 0.244 mg/l
- بينما كانت قيمه في المياه المعالجة تتأرجح بين 4.46 mg/l و5.81 mg/l سجلت النتائج شهري سبتمبر وديسمبر على الترتيب وبلغ متوسط الأكسجين المنحل في هذه المياه 5.236 mg/l
- القيمة المتوسطة للأكسجين المنحل تزيد في المياه المعالجة عن مياه الحوض الشاهد حيث بلغت القيمة المتوسطة لمياه الحوض الشاهد 3.302 mg/l.
- نتائج $O_{2\ diss}$ في المياه الخام تعتبر سيئة جدا بالنسبة لمعايير منظمة الصحة العالمية لمياه الصرف الصحي الجدول (2) في الملحق.
- نتائج $O_{2\ diss}$ للمياه المعالجة جيدة جدا بالنسبة لمعايير منظمة الصحة العالمية لمياه الصرف الصحي



الشكل (16): التطور الزمني للأكسجين المنحل للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

التفسير :

يمكن أن تعود أسباب انخفاض الأكسجين المنحل في المياه الخام إلى :

- استنزافه من طرف البكتيريا أثناء تحلل المواد العضوية
- استغلاله أثناء عمليات الأكسدة
- ارتفاع درجة العكارة يؤدي إلى إعاقة نفاذية الأكسجين الهوائي داخل مياه الصرف الصحي.

أما بالنسبة لزيادة نسبته في المياه المعالجة فيمكن أن يكون سبب ذلك :

- تسارع التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية التي يكون لها تأثير مفيد في تنشيط التطهير وزيادة معدل الترسيب [48].

- نقص البكتيريا والمواد العضوية (تستغله البكتيريا في تحطيم المواد العضوية وبالتالي نقص المواد العضوية يتبعه نقص في نشاط البكتيريا)
- التنفس الهوائي للنباتات
- تعمل النباتات على نقل الأكسجين من الهواء إلى داخل الأحواض من الأوراق إلى السيقان ثم الجذور [49]، ووجد الباحثون أن النباتات الحديثة أكثر كفاءة من النباتات القديمة حيث تشكل جذور هذه الأخيرة طبقة دهنية تمنع تسرب الأكسجين من الجذور إلى داخل الحوض.

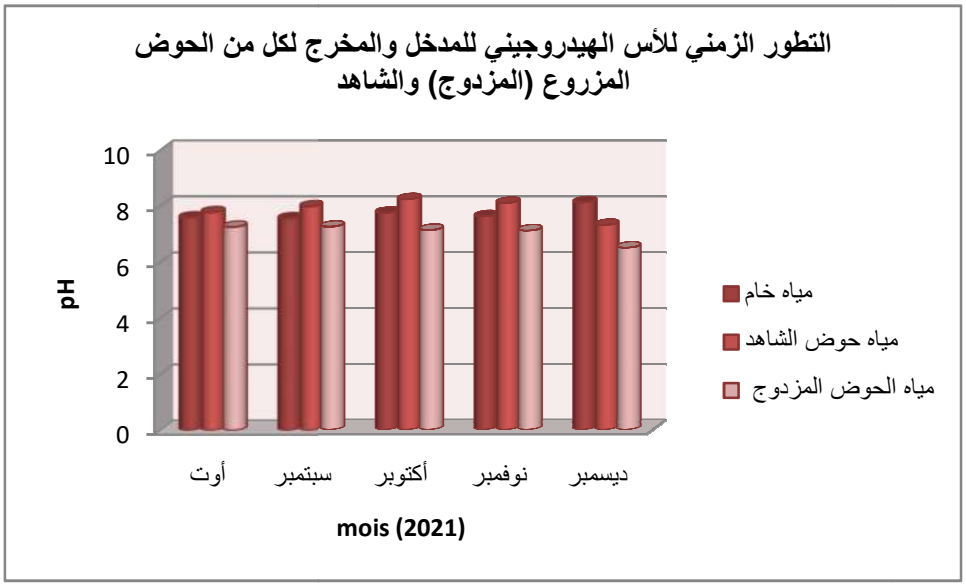
ويمكننا تفسير زيادة كمية الأكسجين المذاب في المياه المعالجة عن مياه الحوض الشاهد بغياب النبات لأنه ينقل الأكسجين من الهواء إلى داخل الحوض.

IV-4-3- تطور الأس الهيدروجيني pH :

يشير الأس الهيدروجيني إلى تركيز أيونات الهيدروجين في الماء والذي يحدد درجة حموضة الماء والتي يمكن أن تسبب مشاكل عديدة في حال الزيادة أو النقصان.

وفقا للشكل (17) والنتائج التي يظهرها الجدولين (6،7) فإن :

- قيم الأس الهيدروجيني في مياه الصرف الخام تتراوح بين 8.13 و7.56 بمتوسط 7.734
- قيم الأس الهيدروجيني في مياه الحوض المزروع تتأرجح قيمتها بين 6.51 و7.26 بمتوسط 7.058
- متوسط pH في مياه الحوض المزروع أقل من متوسط pH في مياه الحوض الشاهد (7.888).
- تتوافق جميع قيم الأس الهيدروجيني المسجلة مع القيم الحدية للتصريف وفقا للمعايير الجزائرية في الجريدة الرسمية.



الشكل (17) : التطور الزمني للأس الهيدروجيني للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

تفسير النتائج :

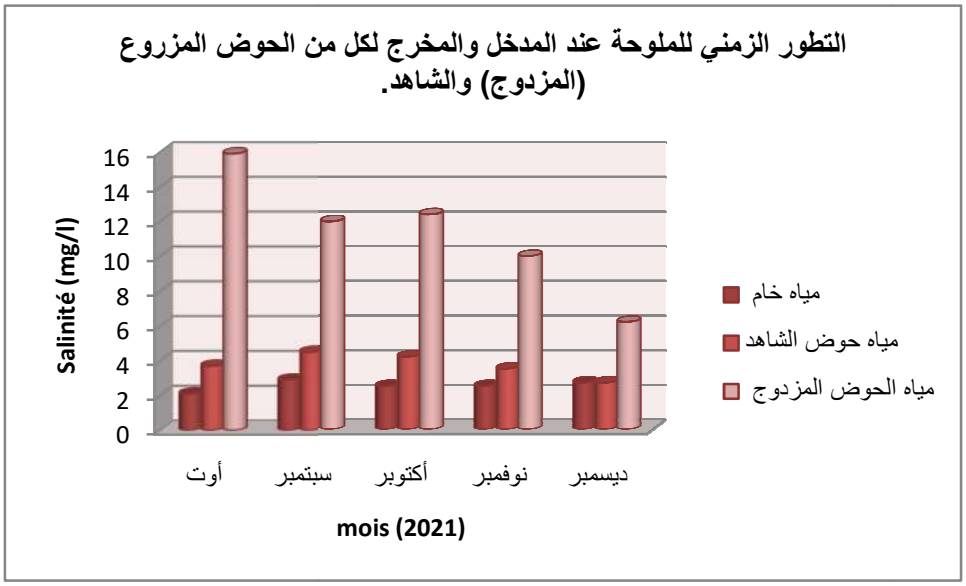
نلاحظ انخفاض طفيف جدا في قيم pH حيث ينخفض في المياه المعالجة عن المياه الخام ونفسر هذا الانخفاض بعدة عوامل منها أكسدة النتريت إلى نترات، أكسدة DCO والتي ينتج عنها CO_2 وهذا يؤدي إلى حموضة الوسط [50]،[51] وهذا سببه :

- تجمع CO_2 نتيجة ميتابوليزم النبات أو تحطيم المادة العضوية من طرف البكتيريا [52]،[53].
- تجمع الهيدروجين نتيجة نشاط البكتيريا المسؤولة عن النترجة Nitrifiantes .
- إنتاج أيونات H^+ من طرف النبات لتعويض بعض الكاتيونات الداخلة في التغذية المعدنية له [54].
- إنتاج بعض الإفرازات (أحماض عضوية) من جذور النبات [55].

أما انخفاض pH في المياه المعالجة عن مياه الحوض الشاهد فنفسر ذلك بغياب النبات الذي ينتج أيونات H^+ بالإضافة إلى إفرازه للأحماض العضوية التي تؤدي إلى حموضة الوسط.

IV-4-4- تطور الملوحة Salinité :

ارتفعت قيم الملوحة في المياه المعالجة مقارنة بالمياه الخام حيث بلغ متوسط الملوحة في المياه المعالجة 11.3 (mg/l) بينما بلغ متوسطها في المياه الخام 2.54 (mg/l).



الشكل (18) : التطور الزمني للملوحة Salinité عند المدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

التفسير :

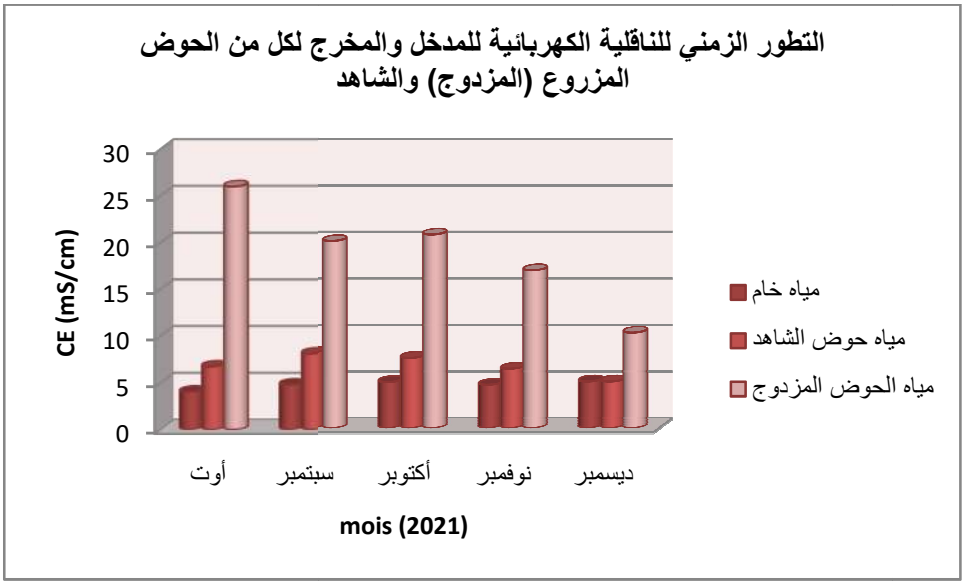
يعود هذا الارتفاع إلى :

- طبيعة المياه في المنطقة.
- مصدر المياه كونها مياه حضرية تحوي الكثير من المخلفات الكلورية.
- تبخر الماء بسبب ارتفاع درجة الحرارة خلال فترة الدراسة يتبعه زيادة في تركيز الأملاح.

IV-4-5- تطور الناقلية الكهربائية CE :

سجلنا قيم ناقلية عالية في المياه المعالجة مقارنة بالمياه الخام فقد كان متوسط الناقلية الكهربائية للمياه المعالجة 18.822 (mS/cm) فيما كان متوسطها 6.752 (mS/cm) بالنسبة للمياه الخام.

قيم الناقلية الكهربائية هذه تتجاوز المعايير الجزائرية (الجدول (5) في الملحق) وبالتالي فإن المياه غير مناسبة للري ما لم تكن النباتات المراد سقيها متسامحة مع الأملاح.



الشكل (19) : التطور الزمني للناقلية الكهربائية للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

التفسير :

التحليل أعطى فرق متباين في قيم الناقلية بين المياه الخام ومياه الأحواض المزروعة ومياه الحوض الشاهد فنلاحظ ارتفاع كبير للناقلية في المياه المعالجة عن المياه الخام ويعود هذا إلى :

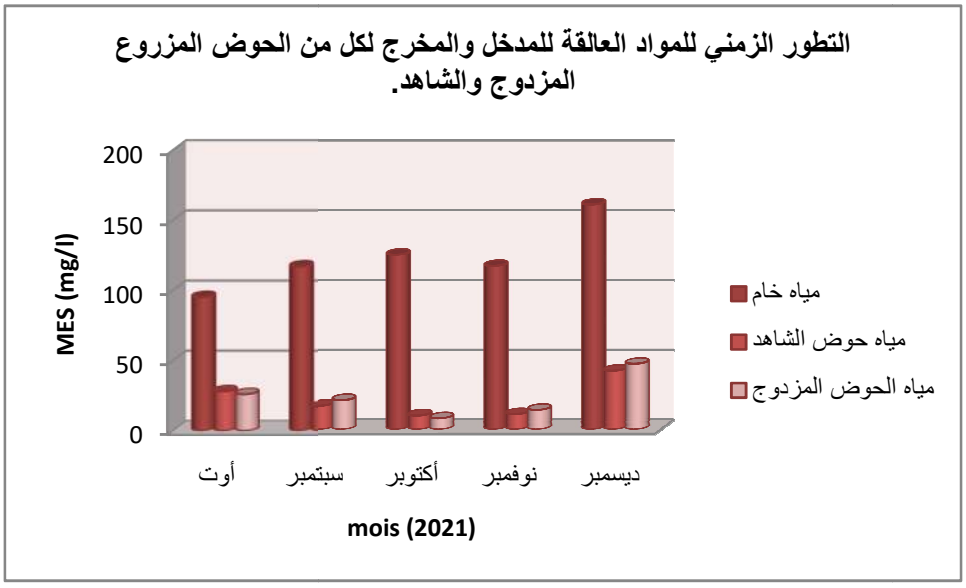
- طبيعة المياه في المنطقة يعتبر سببا في ارتفاع الناقلية.
- كلما زادت الملوحة زادت الناقلية الكهربائية.
- مصدر المياه باعتبارها مياه حضرية تحوي الكثير من المخلفات الكلورية.
- زيادة الشوارد السالبة والموجبة يؤدي إلى زيادة الناقلية.
- قد تكون هذه الزيادة ناتجة عن نتح النبات والتبخر فكلما نقص الماء زاد تركيز الأملاح الذائبة (كالسيوم، صوديوم، مغنزيوم،..) في الموسط.
- كما يمكن أن يكون تحول المادة العضوية إلى مواد معدنية سبب آخر لزيادة الناقلية [56].

IV-4-6- تطور المواد العالقة MES :

يشير تعبير المواد الصلبة العالقة إلى الجسيمات الصلبة الصغيرة التي تبقى عالقة في المياه كجسيمات غروية أو بسبب حركية المياه ويستخدم عادة كمؤشر على جودة المياه.

ومن خلال الشكل (20) الذي يوضح تطور المواد العالقة في المياه لخمسة أشهر الأخيرة من سنة 2021 نلاحظ أن :

- تتراوح قيم المواد العالقة في مياه الحوض المزدوج بين (mg/l)8 كقيمة دنيا و(mg/l) 47 كقيمة عظمى وبمتوسط (mg/l) 23.2
- بينما في حوض الشاهد فكانت محصورة بين (mg/l) (10-42) بمتوسط (mg/l) 21.6
- وبالنسبة لمردود التنقية فكانت نسبته في حوض الشاهد تزيد بنسبة طفيفة عن مردود التنقية في الحوض المزدوج حيث كانت النتائج 82.439 % و 81.138 % على الترتيب.



الشكل (20): التطور الزمني للمواد العالقة للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع المزدوج والشاهد.

التفسير :

تشير نتائج الشكل (20) إلى انخفاض كبير في تركيز المواد العالقة في المياه المعالجة في حوضي الشاهد والنبتتين مقارنة بحوض المياه الخام ويعود هذا الانخفاض إلى :

- المعالجة الفيزيائية التي يمر بها الماء في المرحلة الأولى تلعب دورا كبيرا في إزالة المواد العالقة نتيجة عمليات الغربلة والترسيب والترشيح وغيرها (الفلترة والترسيب الفيزيائيين).
- يمكن أن تكون المواد العالقة قد تحللت بيولوجيا.
- لمواد التعبئة دور أساسي في إزالة المواد العالقة فهي تعتبر كمصفاة ثانية بعد المعالجة الفيزيائية.
- تعود الزيادة في تركيز المواد العالقة في الحوض المزدوج عن حوض الشاهد إلى أن النباتات المغروسة في الحوض المزدوج تحدث فتحات داخل مواد التعبئة بسبب امتداد الجذور والجذامير إلى القاع فتعبر من خلالها المواد العالقة وهذا ما يحدث ذلك العكر الطفيف في المياه المعالجة.

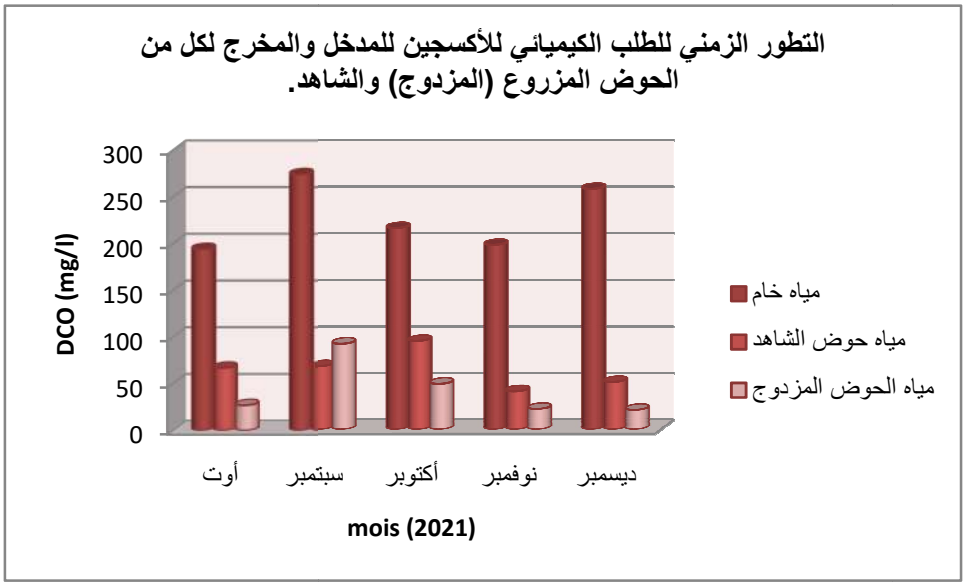
IV-4-7- تطور الطلب الكيميائي للأكسجين DCO :

يعبر DCO عن كمية الأكسجين التي يمكن أن تستهلكها التفاعلات الكيميائية في المحلول المقاس ويعتبر كمؤشر من مؤشرات تلوث المياه بالمواد العضوية.

من خلال الشكل (21) والذي يمثل التطور الزمني للطلب الكيميائي للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع المزدوج والشاهد نلاحظ :

فرق متباين في كمية DCO بين المياه المعالجة (مياه الأحواض المزروعة)، مياه الحوض الشاهد والمياه الخام حيث :

- كانت قيم DCO في المياه الخام محصورة بين mg/l (194-274) بمتوسط 228 mg/l.
- بينما نلاحظ انخفاض قيمه في مياه الحوض المزدوج بعد المعالجة مقارنة مع المياه الخام فكانت تتراوح بين 92 mg/l كقيمة قصوى و21 mg/l كقيمة دنيا بمتوسط 42.2 mg/l.
- أما بالنسبة للحوض الشاهد فنلاحظ أن قيم DCO تتأرجح بين 95 mg/l و41 mg/l بمتوسط 64.4 mg/l.
- أعطت المعالجة النباتية (الأحواض المزروعة) مردودا أحسن بالنسبة لحوض الشاهد حيث كانت نسبة الإزالة لكليهما 81.49 % و71.75 % على الترتيب مما يؤكد لنا كفاءة وفاعلية التنقية النباتية.
- نتائج المياه الخام تخضع لقيم الحد لمعلمات التفريغ في بيئة الاستقبال الجدول (3) في الملحق.
- نتائج المياه المعالجة ضمن قيم الحد لمياه الصرف الصحي المعالج الموجه لأغراض الري الجدول (5) في الملحق.



الشكل (21) : التطور الزمني للطلب الكيميائي للأكسجين DCO للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع المزدوج والشاهد.

التفسير :

أعطى تحليل النتائج فرقا واضحا بين المياه الخام، مياه الأحواض المزروعة ومياه الحوض الشاهد حيث نلاحظ انخفاض قيمة DCO في مياه الحوضين (المزروع، الشاهد) عن مياه الحوض الخام وسبب هذا :

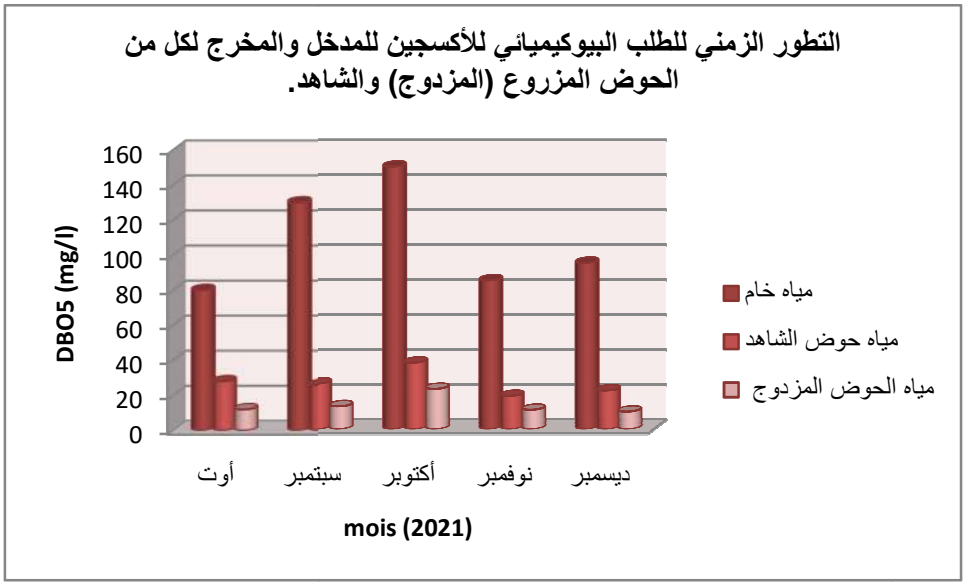
- انخفاض نسبة المواد العالقة العضوية بفعل المعالجة الفيزيائية الأولية (التصفية)
- تهوية الوسط عن طريق النباتات (التنفس الهوائي) وبالتالي انخفاض DCO بسبب أكسدته من طرف الكائنات البكتيرية (الهوائية واللاهوائية) [14]،[57].

نفسر ارتفاع مردود التنقية في الحوض المزروع عن الحوض الشاهد بوجود النباتات التي تساهم في توفير الشروط الفيزيوكيميائية وتؤمن الأكسجين للوسط المصفى عن طريق الأوراق مرورا بالسيقان حتى تصل إلى الجذور والجذامير والذي ينشط البكتيريا التي تقوم بأكسدة DCO.

IV-4-8- تطور الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5 :

من خلال الشكل أدناه نلاحظ أن :

- قيم DBO_5 في المياه المستعملة تتراوح بين 150 mg/l كقيمة قصوى سجلت شهر أكتوبر و 80 mg/l كقيمة دنيا سجلت شهر أوت بمتوسط قدره 108 mg/l .
- قيم DBO_5 في المياه المعالجة محصورة بين 10 mg/l و23 mg/l سجلت القيم شهري ديسمبر وأكتوبر على الترتيب بمتوسط بلغ 13.8 mg/l.
- نلاحظ انخفاض قيم DBO_5 في المياه المعالجة مقارنة بالمياه الخام
- بالنسبة للحوض الشاهد فنلاحظ أن قيم DBO_5 تتأرجح بين 19 mg/l و38 mg/l بمتوسط 26.6 mg/l.
- المعالجة النباتية (الأحواض المزروعة) أحطت مردودا أحسن مقارنة بالحوض الشاهد حيث كانت نسبة الإزالة بالنسبة لحوض النباتات 87.22 % والشاهد 75.37 %.
- قيم DBO_5 في المياه المعالجة ضمن قيم الحد لمواصفات مياه الصرف الصحي المعالج الموجه لأغراض الري (الجدول (5) في الملحق).



الشكل (22) : التطور الزمني للطلب البيوكيميائي للأكسجين للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع المزدوج والشاهد.

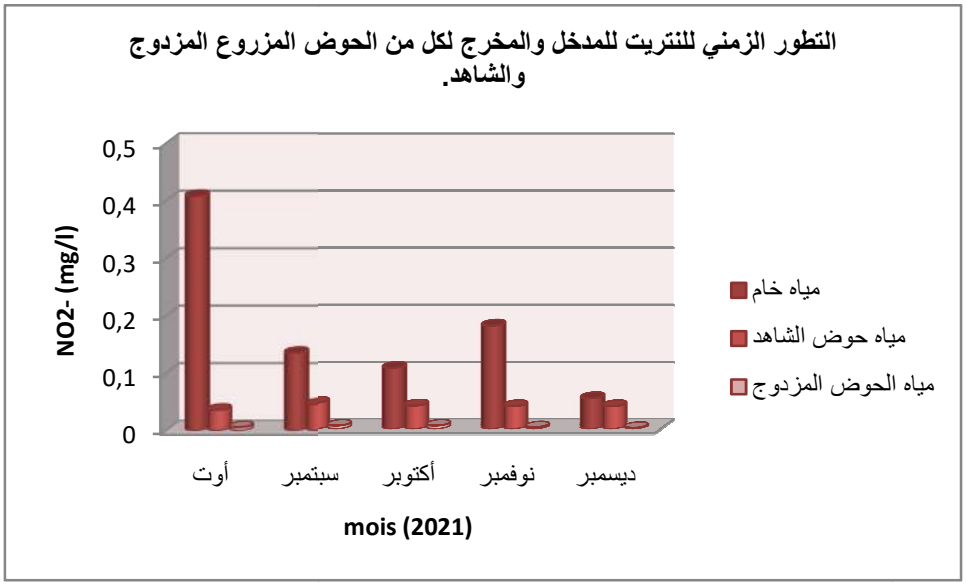
التفسير :

أعطى تحليل النتائج فرقا واضحا بين المياه الخام، مياه الأحواض المزروعة ومياه الحوض الشاهد حيث نلاحظ انخفاض قيمة DBO_5 في مياه الحوضين (المزروع، الشاهد) عن مياه الحوض الخام وسبب هذا :

- زيادة كمية الأكسجين المنحل في الماء (يحرره النبات من الجذور إلى قاع الحوض) والذي بدوره ينشط البكتيريا التي تعمل على أكسدة وتحطيم المادة العضوية المعبر عنها في DBO_5 [58]،[59].
- يعمل الحصى على التخلص من بعض المواد الملوثة (دعامة النباتات في الحوض) في حين يتم التخلص من باقي الملوثات البيولوجية والكيميائية بواسطة الغلاف الجذري للنباتات بإفراز مواد من الجذور [60].

IV-4-9- تطور النتريت NO_2^- :

إن التطور الزمني للنتريت في الشكل (23) أظهر لنا ضعف تركيزه في كل من المياه الخام والمياه المعالجة، حيث أن تركيزه في المياه الخام يتراوح بين أقصى قيمة 0.408 mg/l وأقلها 0.054 mg/l بمتوسط قدره 0.177 mg/l وينخفض أكثر في المياه المعالجة بمتوسط قدره 0.0046 mg/l وكانت أقصى قيمة له 0.006 mg/l أما أدناها 0.002 mg/l وبهذا تكون كفاءة الإزالة قد بلغت 97.40 % في حوض النبتتين أما في حوض الشاهد فبلغت 77.06 %.



الشكل (23) : التطور الزمني للنتريت للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

التفسير :

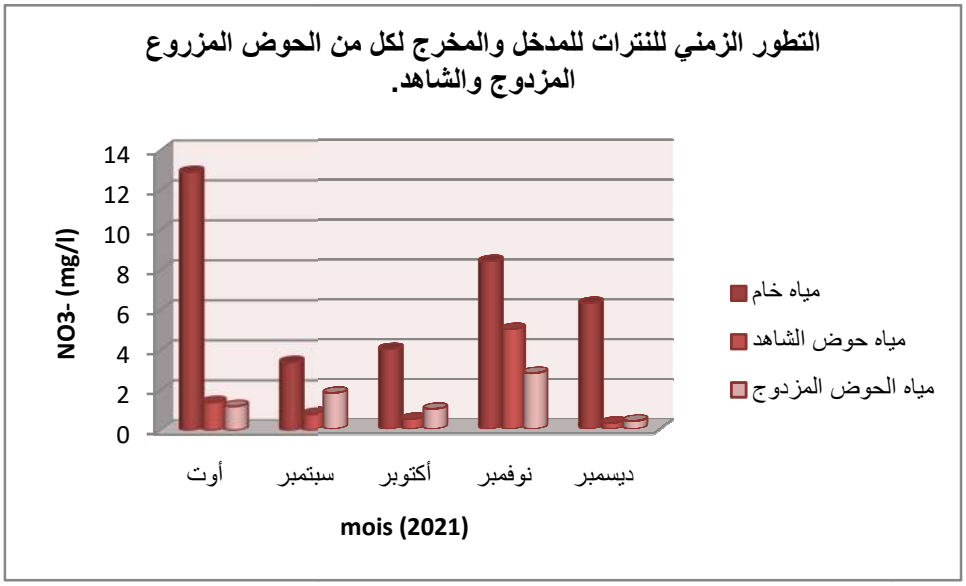
نفسر هذا الانخفاض بوجود النبات المائي الذي يتمتع بخاصية امتصاص الأكسجين من الجو وينقله إلى السيقان عن طريق الأوراق حتى تصل إلى الجذور والجذامير [61] حيث يساهم الأكسجين في تنشيط البكتريا التي تعمل غلى تحويل النتريت إلى نترات في الجذور وهذا ما يسمى بعملية النترجة.

IV-4-10- تطور النترات NO_3^- :

من خلال الشكل (24) نلاحظ :

- انخفاض كمية النترات NO^-_3 في المياه المعالجة مقارنة بالمياه الخام حيث ينخفض المتوسط من 7mg/l في المياه الخام إلى 1.44 mg/l في المياه المعالجة.
- سجلنا قيم متقاربة لكمية النترات في كل من مياه الحوض الشاهد والمياه المعالجة حيث بلغ المتوسط في مياه الحوض الشاهد 1.6 mg/l.
- بلغ مردود التنقية في كل من الحوض المزروع والشاهد 79.428 % و77.14 % على الترتيب.

طبقا لمعايير منظمة الصحة العالمية (الجدول (2) في الملحق) فإن القيم المتحصل عليها في المجال المسموح.



الشكل (24) : التطور الزمني للنترات للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

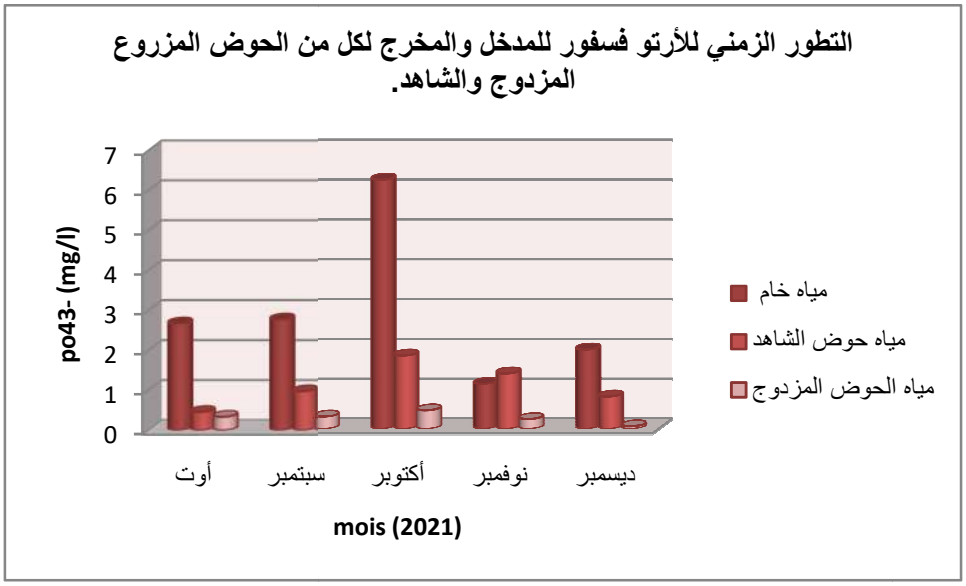
التفسير :

يعود انخفاض النترات إلى استعماله في التركيب الضوئي من طرف النبات الذي يكون في النهار، حيث يمتص النبات بين (39% - 10%) في حين تثبط الجذور (45% - 98%) من الأزوت العضوي المزال، أما الأزوت المتبقي تكون إزالته عن طريق عملية النترجة، إزالة النترجة والأكسدة الهوائية للأمنيوم [62]،[63].

إزالة النترات يعود سببه إلى وجود بكتيريا Anammox المسؤولة عن الأكسدة الهوائية للأمنيوم إلى آزوت N_2 [64].

IV-11-4- تطور الأرتوفوسفور PO_4^{3-} :

من خلال الشكل (25) نلاحظ انخفاض في تركيز PO^{-3}_4 ما بين المياه المستعملة والمياه المعالجة حيث كان متوسط PO^{-3}_4 في المياه الخام قد بلغ 2.962 mg/l وانخفض إلى 0.2836 mg/l في المياه المعالجة وإلى 1.0946mg/l في حوض الشاهد أما نسبة الإزالة كانت بمردود 90.42 % في حوض النبات و63.04 % في حوض الشاهد.



الشكل (25) : التطور الزمني للأرتوفوسفور للمدخل والمخرج لكل من الحوض المزروع والشاهد.

التفسير :

يعود انخفاض كمية الأرتوفسفور في المياه المعالجة إلى البكتريا التي تتفاعل وتنشط داخل الحوض وإلى الامتصاص من طرف النبات الذي يستعمله من أجل تلبية حاجياتها الفيزيولوجية. كما يمتص الحصى كمية منه.

IV-5- مقارنة النتائج بدراسات سابقة :

بعد إثبات قدرة النبتتين *Canna Indica* و*cyperus papyrus* على إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي نتطرق إلى مقارنة النتائج المتحصل عليها مع الدراسات السابقة التي هدفت إلى معرفة مدى نجاعة كل نبتة على حدا وقدرتها على تنقية المياه المستعملة وهذا من أجل تحديد ما إذا كانت زراعة النبتتين في حوض واحد أحسن أو زراعة كل منهما على حدا أحسن من حيث المردود.

الدراسة الأولى [14]:

الجدول (08) : معالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة نباتات منقية محلية.

العنوان	معالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة نباتات منقية محلية
من طرف	الأستاذ العابد ابراهيم
السنة	2015
الإشكالية	دراسة قدرة النباتات المنقية على إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي باستخدام الأراضي الرطبة ذات التدفق الأفقي
النبات المدروس	*cyperus papyrus* ونباتات مائية منقية أخرى
منطقة الدراسة	تقرت
الوسائط الفيزيوكيميائية المقاسة	الطلب الكيميائي للأكسجين DCO، الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5، المواد العالقة MES، النتريت NO_2^-، النترات NO_3^-، أرتو فوسفور PO_4^{3-}.
النموذج التجريبي وطريقة العمل	يتكون العتاد التجريبي من أحواض دائرية ذات سعة 130 L، مملوءة من الأسفل إلى الأعلى على سمك 45cm بالحصى (25-15 mm) و10 cm من الرمل. ستة أحواض مزروعة بسيقان حديثة العمر لثلاثة أنواع من النباتات *Cyperus papyrus* ونبتتين أخريين بكثافة (36 tiges/m^2) حوضان لكل نوع من النباتات وحوضين غير مزروعين (كشاهدين). عملية تزويد الأحواض بالمياه المستعملة الحضرية بعد المعالجة الأولية بـ 30 L في اليوم، بطريقة التدفق التحت السطحي الأفقي، بوتيرة منتظمة مرة واحدة كل أسبوع، والماء المتحصل عليه بعد مكوثه 5 أيام في الأحواض يتم تجميعه عبر إناء موضوع أسفل الحوض.
الخلاصة	أظهرت هذه الدراسة قدرة نبات *cyperus papyrus* على إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي حيث : • نسبة إزالة التلوث الجسيمي MES 93.78 % • نسبة إزالة التلوث العضوي DCO 80.49 % ، DBO_5 83.66 % • نسبة إزالة التلوث الآزوتي NO_2^- 81.60 % ، NO_3^- 81.88 % • نسبة إزالة التلوث الفسفوري PO_4^{3-} 81.64 %

الدراسة الثانية [20] :

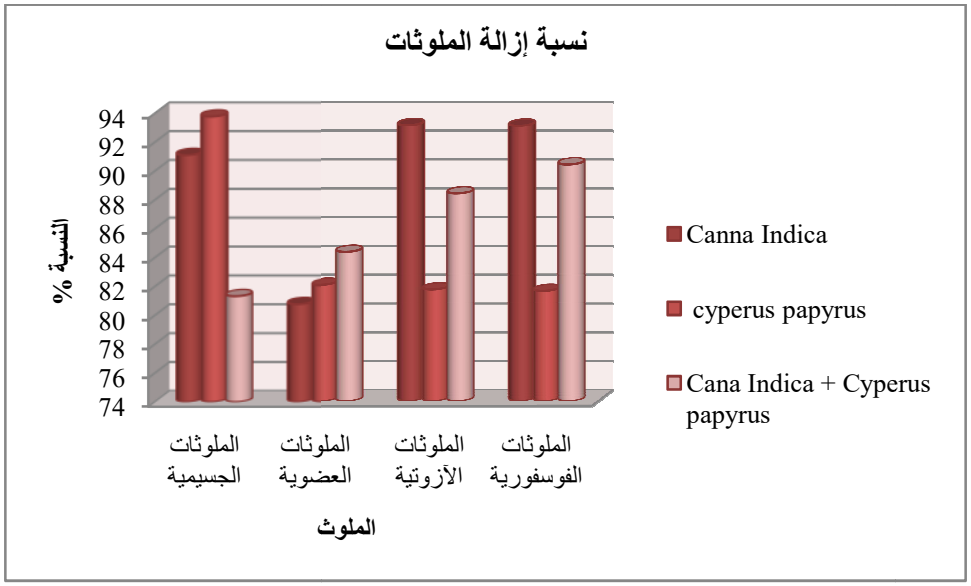
الجدول (09) : قدرة آداء نبات *Canna Indica* على معالجة مياه الصرف الصحي بطريقة التدفق تحت السطحي الأفقي لمنطقة تقرت.

العنوان	قدرة آداء نبات *Canna Indica* على معالجة مياه الصرف الصحي بطريقة التدفق تحت السطحي الأفقي لمنطقة تقرت.
من طرف	غشوة لطيفة، وانيس حياة
السنة	2018
الإشكالية	دراسة قدرة نبات *Canna Indica* على إزالة التلوث من مياه الصرف الصحي باستخدام أرضية رطبة ذات تدفق تحت سطحي أفقي.
النبات المدروس	*Canna Indica*
منطقة الدراسة	تقرت
الوسائط الفيزيوكيميائية المقاسة	الطلب الكيميائي للأكسجين DCO، الطلب البيوكيميائي للأكسجين DBO_5، المواد العالقة MES، النتريت NO_2^-، النترات NO_3^-، أرتو فوسفور PO_4^{3-}.
النموذج التجريبي وطريقة العمل	يتكون العتاد التجريبي من أحواض دائرية ذات سعة 52 L مملوءة من الأسفل إلى الأعلى على سمك 18 cm بالحصى (25/15mm) مزروعة بسيقان حديثة العمر بنبات *Canna Indica* بكثافة (36 tiges/m^2) وحوض غير مزروع كشاهد. عملية تزويد الأحواض بالمياه المستعملة الحضرية بعد المعالجة الأولية بـ 15 L في اليوم، بطريقة التدفق التحت السطحي الأفقي، بوتيرة منتظمة مرة واحدة كل أسبوع، والماء المتحصل عليه بعد مكوثه 5 أيام في الأحواض يتم تجميعه عبر إناء موضوع أسفل الحوض.
الخلاصة	أظهرت هذه الدراسة قدرة نبات *Canna Indica* على إزالة الملوثات من مياه الصرف الصحي حيث : • نسبة إزالة التلوث الجسيمي MES 91.11 % • نسبة إزالة التلوث العضوي DCO 83.60 % ، DBO_5 77.97 % • نسبة إزالة التلوث الآزوتي NO_2^- 96.96 % ، NO_3^- 89.33 % • نسبة إزالة التلوث الفسفوري PO_4^{3-} 93.1 %

المقارنة :

من خلال الشكل (26) نلاحظ أن :

- نسبة إزالة الملوثات الجسيمية كانت أحسن في الحوض المزروع بنبات *cyperus papyrus* حيث بلغ مردود التنقية فيها 93.78 % و يعود هذا إلى احتوائه على الرمل الذي يعمل على التصفية وكذا غلق المسامات التي تحدثها جذور النباتات.
- أما بالنسبة للحوض المزروع بنبات *Canna Indica* كان 91.11 % فيما بلغت نسبته في الحوض المزدوج 81.33 % وهي أقل نسبة مسجلة.
- الحوض المزروع بالنباتين أكثر كفاءة من حيث إزالة الملوثات العضوية الكلية مقارنة بالحوضين المزروعين بنباتي *cyperus papyrus* و*Canna Indica* حيث بلغ مردود كل منها 84.355 %، 82.075 %، 80.78 % على الترتيب.
- نسبة إزالة الملوثات الأزوتية والفسفورية في الحوض المزروع بنبات *Canna Indica* أفضل من الحوض المزروع بنباتي *cyperus papyrus* و*Canna Indica* في حين يبقى الحوض المزروع بنبات *cyperus papyrus* أقل كفاءة منهما.



الشكل (26) : نسبة إزالة الملوثات في كل من الحوض المزدوج والأحواض المنفردة.

الخلاصـــة العامـــة :

إن تأثير المياه المستعملة على الصحة العامة والبيئة خطير جدا ولهذا السبب كان من الضروري معالجتها لجعلها أقل تلوثا والاستفادة منها من خلال القضاء على المواد العالقة، الطافية، المواد العضوية المتحللة وبعض الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض.

ومن خلال الدراسة الميدانية التي قمنا بها في الديوان الوطني للتطهير في محطة معالجة المياه بمنطقة تقرت لمدة دامت خمسة أشهر ابتداء من شهر أوت إلى شهر ديسمبر على التوالي لسنة 2021، والتي سعينا فيها لتقييم أداء نبتتي *Canna Indica* و*cyperus papyrus* المزروعتين في حوض واحد على تنقية مياه الصرف الصحي الحضري، من خلال ملاحظة التغيرات التي تطرأ على الوسائط الفيزيوكميائية في المياه المعالجة مقارنة مع المياه الخام الداخلة للمحطة.

تمت هذه الدراسة من خلال زراعة النبتتين في حوض واحد مملوء بالحصى وحوض آخر غير مزروع كشاهد، تسقى هذه الأحواض بطريقة التدفق الأفقي، فكانت النتائج المتحصل عليها في نسبة الإزالة كالتالي :

- التلوث الجسيمي : MES (%82.44)
- التلوث العضوي : DBO_5 (% 87.22), DCO (% 81.49)
- التلوث الأزوتي : NO_3^-(% 79.42), NO_2^- (% 97.4)
- التلوث الفسفوري : PO_4^{-3} (% 90.43)

الحوض المزروع أعطى مردودا أفضل بعد مقارنته مع حوض الشاهد غير المزروع واستنادا على هذه النتائج أثبتت هاتين النبتتين كفاءتهما على تحقيق المواصفات المرغوبة لتنقية مياه الصرف الصحي حيث اختزلت هاتين النبتتين أبرز مؤشرات التلوث من المياه الخام بتكلفة منخفضة حتى وصلت إلى المجال المسموح به لاستعمال المياه المعالجة في الري الزراعي، كما أبدت النبتتين قدرتهما على التأقلم والتعايش باستخدام هذه المياه في منطقة شبه جافة.

كما أظهر لنا الحوض المزروع بالنبتتين كفاءة عالية في إزالة المواد العضوية مقارنة بالأحواض المزروعة بكل منهما على حدا (نتائج كل نبات لوحده أخذت من دراسات سابقة).

الأفاق المستقبلية لهذا العمل :

- دراسة مكونات الجذور المسؤولة على تقليص العوامل المسببة لتلوث
- دراسة أنواع أخرى من النباتات الصحراوية التي لها القدرة على العيش في وسط مشبع بالماء.
- تطبيق هذا النوع من التقنيات في المناطق النائية.

قائمـة المـراجـع

المراجع باللغة العربية :

[1] صلاح الدين (تقييم كفاءة وحدة معالجة مياه الصرف الصحي في المجمع السكني، مجلة تكريت للعلوم) قسم علوم الحياة- قسم التقنيات الإحيائية، كلية التربية البنات- كلية العلوم، 22 ماي 2017 الصرفة. جامعة تكريت- بغداد، العراق ص 67_64.

[11] السعداني عبد الرحمان والسيد عودة ثنائي مليجي، مشكلات بيئية : طبيعتها، أسبابها آثارها كيفية معالجتها، دار الكتاب الحديثة، 2007 م، ص 55_45.

[12] عباس مصطفى عبد اللطيف، حماية البيئية من التلوث، دار الوفاء لدنيا الطباعة والنشر، الطبعة الأولى 2004 م.ب 14.106 /01.

[13] لعجيلات آمال، تعبديت دلال، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة 2020.

[14] إبراهيم العابد، معالجة مياه الصرف الصحي لمنطقة تقرت بواسطة نباتات منقية محلية، أطروحة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة، سنة 2015.

[15] محمد غنيم وآخرون، خصائص مياه الصرف الصحي، الشركة القابضة لمياه الشرب والصرف الصحي، الإدارة العامة لتخطيط المسار الوظيفي قطاع تنمية الموارد البشرية.

[16] سعيدة كاكي، ازدهار بلحسن، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة 2016.

[18] الشرابي نجم الدين، هابيل منير، أبو لبدة زياد، أساسيات الأحياء الدقيقة، الجزء العملي، المطبعة الجديدة، دمشق، ص 71_72.

[19] أبو سعد م نجيب ابراهيم، التلوث البيئي ودور الكائنات الدقيقة ايجابيا وسلبيا، دار الفكر العربي القاهرة، 2000.

[20] وانيس حياة، غشوة لطيفة، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة، 2018.

[21] د. نصر الحايك، مدخل إل كيمياء المياه (تلوث- معالجة- تحليل)، منشورات المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، 2017.

[23] طرابلسي يوسف ابراهيم، الميكروبيولوجية الزراعية، جامعة الملك سعود، النشر العلمي و المطابع، ع ح / 4831 /10 ، ص : 255-3.

[26] عبد الرزاق محمد سعيد التركماني، محطات معالجة بالنباتات، موقع الهندسة البيئية، دليل تخطيط وتصميم وتنفيذ محطات المعالجة بالنباتات، شبكة خبراء المياه السوريين، 2009، ص 28-22.

[27] زغدي سعد، أطروحة دكتوراه تحديد محطات التنقية المحلية واستخدامها في تطهير المياه العادمة في منطقة الوادي 2017/2016 ص 14-15.

[31] قسم التسيير الاداري للديوان الوطني للتطهير تقرت.

[32] جورجي نسيم ماهر، تحليل وتقويم جودة المياه دار نشأة المعارف جلال حزي وشركائه، 2007.

[33] بن عشورة صبرينة باتول، معالجة المياه المستعملة الحضرية لمنطقة الأهقار بتمنراست بواسطة نباتات منقية محلية، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة، سنة 2015.

[35] عبد الرحمان ابن خلدون، كتاب العبر وديوان المبتدأ أو الخبر المجلد السابع ببيروت ولبنان،1983، ج13 ص98.

[36] عبد الرحمان الجيالني، تاريخ الجزائر العام دار الثقافة بيروت،1980، ج1 ص1.

[48] محمد عبد الناصر الزرقة. تلوث المياه في محافظة الشمال والوسطى وتأثيرها على الانسان 2010.

المراجع باللغة الأجنبية :

[2] CARRR.; 2001. 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.

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

[4] AMIRI Khaled 2019 contribution a l évaluation et au traitement des eaux usees dans le sud est du sahara algérien . application sud de la region d'oued righ (touggurt) université kasdi merbah-ouargla.

[5] HO ; 2003. Guidelines for Safed recreational water environments; Vol. 1, Coastal and fresh waters. World Health Organisation, Geneva, Switzerland, pp 3-5.

[6] LANGEVINJlefelver RToutant.c .1997 Histoires deux tout ce que il fout savoir sur leau et l hygiéne publique.

[7] The Center for Educational Technologies (cet.edu) 14/05/2022 11:05

[8] U.S. Environmental Protection Agency | US EPA 14/05/2022 11:08

[9] RAMADE FRANÇOIS :1982, éléments d'écologie (écologie appliquée) Mcgraw- Hill, Paris , p372.

[10] Bouziani 200 leau de la pénurie aux maladies Edition IBN khaldoun pp247_149.

[17] NIANG ,S. 1999 . Utilisation des eaux usées brutes dans l'agriculture urbaine au Sénégal. Bilan et perspectives. In agriculture urbain en Afrique de 71 l'Ouest .

Une contribution à la sécurité alimentaire et à l'assainissement des villes . Ed . O. Smith, CRDI/CTA, pp104-125.

[22] REJSEK FRANCK, 2002, Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, CRDP d'Aquitaine pp 125-255

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

[25] MAJD MOHAMMAD MASOUD (2011), treatment of wastewater using a constructed wetlend system, Faculty of Graduate Studies, An-Najah National University, Nablus, Palestine.

[28] ARMSTRONG J. and ARMSTRONG W. 1990. Pathways and mechanisms of oxygen transport in Phragmites australis (Cav.) Trin ex Steud. In : Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 529-534.

[29] BRIX H. AND SCHIERUP H.H .1990. Soil oxygenation in constructed reed beds: the rôle of macrophyte and soil-atmosphere interface oxygen transport. In : Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 53-66.

[30] HABERL R., PERFLER R. 1990. Seven years of research work and experience with wastewater treatment by a reed bed system. In : Constructed Wetlands in Water Pollution Control, P.F. Cooper and B.C. Findlater (Eds), Pergamon Press, pp 215-214.

[34] https://mawdoo3.com 23/2/2020 18:00

[37] Google Earth.

[38] Météo passée pour 2021 pour Touggourt, Algérie - Weather Spark 14/05/2022 14:14.

[39] ABISSY M.et L.MANDI, 1999. utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau. Rev.sci.Eau 12/2, pp.285- 315.

[40] TIGLYENE S. MANDI.L, JAOUAD.A,: 2005. enlevement du chrome par infiltration verticale sur lits de Phragmites australis (cav.) Steudel. Rev.sci.Eau 18/2, pp.177-198.

[41] BOULOS L . 2005 . Flora of Egypt: volume 4 . Monocotyledons Alimataceae-Orchidaceae. Cairo : Al Hadara Publishing. Cairo Egypt. p 617.

[42] GAUDET , JOHAN . 1977. Uptake and loss of mineral nutrients by papyrus in tropical swamps .Ecology 58:pp 415-422.

[43] GAUDET , JOHAN . 1980 . Papyrus and the ecology of Lake Naivasha . National Geographie Society Resarch Reports. 12:pp 267-272.

[44] OWINO, A.O. AND P.G.RYAN . 2006. Habitat associations of papyrus specialist birds at three papyrus swamps in western Kenya. Afr. J. Ecol. 44:pp 438-443.

[45] DAHLGREN, R.M.T, Clifford, H.T, Yeo, P.F 1985, the families of theMonocotyledons. Structure, evolution and taxonomy. Speringer, berlin. Pp 179-18

[46] LARRIDON,I., HUYGH, REYNDERS, M.,A.MUASYA,A.,GOVAERTS, R., SIMPSON , D., GOETGHEBEUR, p.2011. Nomenclature and typification of names of genera and subdivisions of genera in Cypereae (Cyperaceae):2. Names of subdivisions of Cyperus. Taxon , Volume 60 , Number 3 ,pp. 868-884 (17).

[47] Babay O., Soufi A., Mémoire de Master, Université d'Ouargla, 2016.

[49] JEDICKE, A., FURCH, B., SAINT, P. U. and SCHLUETER, U. B. 1989. "Increase in the . oxygen concentration in Amazon waters resulting from the root exudation of two notorious water plants, Eichhornia crassipes (Pontederiaceae) and Pistia stratiotes (Araceae). Amazoniana 11(1): pp53-70.

[50] MUCH C, KUSCHK P. 2004. 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.

[51] DOMMERGUES Y.et Mangenot F. 1970. Ecologie microbinne du sol.Paris:Masson et Cie,p 796.

[52] ATTIONU. R. H. 1976. "Some effects of water lettuce (Pistia stratiotes, L.) on its habitat." Hydrobiologia 50(3): pp 245-254.

[53] SRIDHAR. M. K. C. and SHARMA. B. M. 1985. Some observationson the oxygen changes in a lake covered with Pistia stratiotes L. "Water Res 19(7): pp 935-939.

[54] BOWES. G. and BEER. S. 1987. Physiolgical Plant Processes: Photosynthesis. Aquatic plant for water treatment and ressource recovery. Reddy. K. R. and Smith. W. H. Orlando. Mangnolia Publishing Inc: pp 311-335.

[55] NDZOMO. G. T. NDOUMOU. D. O. and AWAH. A. T. 1994. "Effect of Fe-2+, Mn-2+, Zn-2+ and Pb-2+ on H+/K+ fluxes and excised Pistia stratiotes roots. "Biologia Plantarum Prague 36(4): pp 591-597.

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

[57] BRIX, H. 1994."Function of Macrophytes in Constructed Wetlands." Wat.Sci.Tech. 29(4): pp 71-78.

[58] Reza, Bakhshoodeh., Nadali, Alavi., Monireh, Majlesib., Pooya, Paydary., (2017). Compost leachate treatment by a pilot-scale subsurface horizontalflow constructed wetland. Ecological Engineering, 105 ; 7-14.

[59] Mimeche, Leila., (2014). Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu arideApplication à la région de Biskra'- thèse doctorat,164p.

[60] Hontonho, E. J. Deguenon., Martin, P. Aina., Akuemaho, V. O. Akowanou., Dominique, C. K. Sohounhloue., (2016). Purifying performances of different plants in domestic waste water treatment with reed beds. International Journal of Biosciences. Vol. 9, No. 4:335-344.

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

[62] JETENS. M. S. WAGNER. M. FUERST. J. VAN LOOSDRESHT. M. KUENEN. G. and STROUS. M. 2001. "Microbiology and application of the anaerobic ammonium oxidation ('anammox') process." Current Opinion in Biotechnology 12(3): pp 283-288

[63] JETENS. M. S.M. 2002. 'Aerobic and anaerobic ammonia oxidizing bacteria-competitors or natural partners?' FEMS Microbiol. Ecol 39(3): pp 175-181.

[64] THAMDRUP. B. and DALSGAARD. T. 2002. "production of N(2) through Anaerobic Ammonium Oxidation Coupled to Nitrate Reduction in Marine Sediments." Applied and Env microbiol 68(3): pp 1312-1318.

الملحق

الجدول (1) : التطور الزمني للوسائط الفيزيوكيميائية المقاسة خلال مدة الدراسة للمياه الداخلة للأحواض والخارجة منها.

الأشهر		T (c°)	$O_{2\ diss}$	pH	CE(mS/cm)	Sel	DCO	DBO_5	MES	NO_2^-	NO_3^-	PO_4^{3-}
أوت	المياه الخام	34	0.09	7.59	4.04	2.1	194	80	95	0.408	12.9	2.67
	الشاهد	30.4	3.64	7.78	6.73	3.7	67	28	28	0.036	1.4	0.457
	نباتي Cana Indica + C. papyrus	29.9	5.59	7.26	26	15.9	27	12	26	0.006	1.2	0.337
سبتمبر	المياه الخام	31.3	0.20	7.56	4.8	2.9	274	130	117	0.135	3.4	2.77
	الشاهد	26.7	4.03	7.99	8.11	4.5	68	26	17	0.046	0.8	0.974
	نباتي Cana Indica + C. papyrus	26.2	4.46	7.26	20.1	12	92	13	21	0.006	1.8	0.307
أكتوبر	المياه الخام	33.5	0.37	7.76	4.94	2.5	216	150	125	0.107	4	6.25
	الشاهد	20	1.70	8.24	7.54	4.2	95	38	10	0.041	0.5	1.84
	نباتي Cana Indica + C. papyrus	21.3	4.58	7.14	20.8	12.4	49	23	8	0.006	1	0.464
نوفمبر	المياه الخام	28.1	0.38	7.63	4.64	2.5	198	85	117	0.181	8.4	1.13
	الشاهد	16.1	4.48	8.11	6.37	3.5	41	19	11	0.04	5	1.39
	نباتي Cana Indica + C. papyrus	15.9	5.74	7.12	16.95	10	22	11	14	0.003	2.8	0.245
ديسمبر	المياه الخام	22.5	0.18	8.13	5.01	2.7	258	95	161	0.054	6.3	1.99
	الشاهد	12.5	2.66	7.32	5.01	2.7	51	22	42	0.04	0.3	0.812
	نباتي Cana Indica + C. papyrus	13.9	5.81	6.51	10.26	6.2	21	10	47	0.002	0.4	0.065

الجدول (2) : معايير منظمة الصحة العالمية لمياه الصحي OMS (1971)

Paramètres	Bonne ou très Bonne qualité	Qualité acceptable	Qualité médiocre	Mauvaise ou très mauvaise
O_2 dissous mg/l	> 5	≥3	≥1	<1
O_2 dissous %	≥70	≥50	≥10	<10
DBO_5 mg/l	≤5	≤10	25	>25
DCO mg/l	≤25	≤40	80	>80
NO_3 mg/l	≤25	≤50	80	>80
NH_4^+ mg/l	≤0.5	≤2	8	>8
NO_2^- mg/l	≤0.3	≤1	>1	-
NTK mg/l	≤2	≤3	10	>10
PO_4^{-3} mg/l	≤0.5	≤1	2	>2
MES mg/l	≤70	-	>70	-
Phosphore total mg/l	≤0.3	≤0.6	1	>1
Conductivité	≤2	-	2000	-
Ph	≥6.5 et ≤8.5	-	8.5	-

الجدول (3) : القيم الحدية لمعايير التفريغ في بيئة الاستقبال (الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية 2006).

PARAMETRES	VALEURS LIMITES	UNITES
Température	30	C°
pH	6.5 à 8.5	-
MES	35	mg/l
DBO_5	35	mg/l
DCO	120	mg/l
Azote kjeldahl	30	mg/l
Phosphates	02	mg/l
Phosphore total	10	mg/l
Cyanures	0.1	mg/l
Aluminium	03	mg/l
Cadmium	0.2	mg/l
Fer	03	mg/l
Manganèse	01	mg/l
Mercure total	0.01	mg/l
Nickel total	0.5	mg/l
Plomb total	0.5	mg/l
Cuivre total	0.5	mg/l
Zinc total	03	mg/l
Huiles et Grasses	20	mg/l
Hydrocarbures totaux	10	mg/l
Indice phénols	0.3	mg/l
Fluor et composés	15	mg/l
Etain total	02	mg/l
Composés organiques chlorés	05	mg/l

الجدول (4) : قيم الحد لمحتوى المواد الضارة في مياه الصرف الصحي بخلاف المياه المنزلية في وقت تصريفها في نظام الصرف الصحي العام أو محطة المعالجة JORA 2009.

Art. 10. — L'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques est retirée dans les cas suivants :

— non-respect des obligations et prescriptions fixées par la décision autorisant le déversement ;

— lorsqu'il est fait obstacle à l'accomplissement des contrôles opérés dans les conditions fixées par le présent décret ;

— cessation d'activité de l'établissement au titre de laquelle l'autorisation de déversement a été octroyée.

CHAPITRE II

CONTROLES

Art. 11. — Des prélèvements d'échantillons aux fins d'analyse peuvent être effectués à tout moment dans le regard de branchement de l'établissement par les représentants de l'administration de wilaya chargée des ressources en eau afin de vérifier si les caractéristiques des eaux usées déversées dans le réseau public d'assainissement ou dans la station d'épuration sont conformes aux valeurs maximales fixées par le présent décret.

Art. 12. — Lorsque les résultats d'analyse montrent que les eaux usées ne sont pas en conformité avec les valeurs fixées dans la décision d'autorisation, l'administration de wilaya chargée des ressources en eau met en demeure le propriétaire de l'établissement de prendre, dans le délai qu'elle lui aura fixé, l'ensemble des mesures et actions à même de rendre le déversement conforme aux prescriptions de l'autorisation.

Art. 13. — A l'expiration du délai fixé par la mise en demeure indiquée à l'article 12 ci-dessus, et faute par le propriétaire de l'établissement de se conformer à la mise en demeure, les administrations de wilaya chargées des ressources en eau et de l'environnement doivent procéder à la fermeture de l'établissement jusqu'à exécution des mesures prescrites, et ce, sans préjudice des poursuites judiciaires prévues par la législation en vigueur.

Art. 14. — Les analyses d'échantillons d'eaux usées autres que domestiques prévues à l'article 11 ci-dessus sont effectuées par des laboratoires agréés par le ministre chargé des ressources en eau.

CHAPITRE III

DISPOSITIONS FINALES

Art. 15. — Les installations de prétraitement existantes doivent être mises en conformité avec les prescriptions du présent décret dans un délai n'excédant pas un (1) an après la date de publication du présent décret au *Journal officiel*.

Art. 16. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 17 Joumada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009.

Ahmed OUYAHIA.

ANNEXE

Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives des eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration

PARAMETRES	VALEURS LIMITES MAXIMALES (mg/l)
Azote global	150
Aluminium	5
Argent	0,1
Arsenic	0,1
Béryllium	0,05
Cadmium	0,1
Chlore	3
Chrome trivalent	2
Chrome hexavalent	0,1
Chromates	2
Cuivre	1
Cobalt	2
Cyanure	0,1
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	500
Demande chimique en oxygène (DCO)	1000
Etain	0,1
Fer	1
Fluorures	10
Hydrocarbures totaux	10
Matières en suspension	600
Magnésium	300
Mercure	0,01
Nickel	2
Nitrites	0,1
Phosphore total	50
Phénol	1
Plomb	0,5
Sulfures	1
Sulfates	400
Zinc et composés	2

* Température : inférieure ou égale à 30° C
* PH : compris entre 5,5 et 8,5

الجدول (5) : مواصفات مياه الصرف الصحي المعالج المستخدم لأغراض الري قرار وزاري مشترك بتاريخ 02 جانفي 2012.

1. Paramètres physico-chimiques

PARAMETRES		UNITÉ	CONCENTRATION MAXIMALE ADMISSIBLE
Physiques	pH	—	6.5 ≤ pH ≤ 8.5
	MES	mg/l	30
	CE	dS/m	3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 CE 3 - 6 6 - 12 12 - 20 20 - 40	dS/m ou mS/cm	0.2 0.3 0.5 1.3 3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	meq/l	10
	AZOTE (NO3 - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO3)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
	Zinc	mg/l	10.0

(*) : Pour type de sols ‡ texture fine, neutre ou alcalin.

الجدول (6) : نسبة إزالة الملوثات في كل من الحوض المزدوج والأحواض المنفردة.

	Canna Indica	***papyrus cyperus***	***Cana Indica* + *Cyperus papyrus***
الملوثات الجسيمية	91,11	93,78	81,33
الملوثات العضوية	80,78	82,075	84,355
الملوثات الآزوتية	93,14	81,74	88,41
الملوثات الفوسفورية	93,1	81,64	90,42

بعض الأجهزة والأدوات المستعملة :

Photo Réacteur

جهاز spectrophotometer

أجهزة قياس الناقلية، الأكسجين، الأس الهيدروجيني

DBO-metre

الملخص : يهدف عملنا هذا إلى دراسة مدى قدرة نبتتي *canna lndica + cyperus papyrus* المزروعتين في حوض واحد على تنقية المياه المستعملة بنظام التدفق الأفقي في ظروف مناخية حارة وجافة وللوصول إلى هدفنا قمنا بمقارنة نتائج الحوض المزروع مع نتائج حوض غير مزروع ونتائج حوضين مزروعين بنفس النبتتين كل منهما على حدا.
أجريت هذه الدراسة عبر نموذج تجريبي بمحطة المياه المستعملة بمؤسسة الديوان الوطني للتطهير ONA تقرت، حيث دامت 5 أشهر متعاقبة بداية من شهر أوت إلى غاية شهر ديسمبر 2021 وهذا لإزالة الملوثات.
يتكون هذا النموذج من حوض للتغذية يملأ بمياه الصرف الصحي (معالجة أوليا) يغذي حوضين آخرين مملوئين بالحصى من الأسفل إلى الأعلى على ارتفاع 20 cm الحوض الأول مزروع بسيقان فتية من نباتي canna lndica وcyperus papyrus بكثافة (36 tiges/m^2) وحوض ثاني غير مزروع (شاهد) تزود الأحواض بالمياه من حوض التغذية بالتدفق تحت السطحي الأفقي بوتيرة منتظمة مرة واحدة كل أسبوع وبعد مكوث الماء 5 أيام في الأحواض يتم تجميعه لإجراء التحاليل المخبرية. بعد إنقضاء مدة الدراسة تحصلنا على نتائج نسب الإزالة وكانت جيدة جدا وهي كالتالي:
PO_4^{-3}(% 90.43), NO_3^-(%79.42), NO_2^- (97.4) DBO_5 (%87.22), DCO (%81.49), MES (%82.44)
وبعد مقارنة النسب المتحصل عليها مع نتائج الحوض الشاهد والدراسات السابقة التي اعتمدت على دراسة قدرة كل نبتة من النبتتين على حدى توصلنا إلى أن هذه الطريقة لها كفاءة في إزالة الملوثات عامة والملوثات العضوية خاصة.
الكلمات الدالة : النباتات المائية،canna lndica، cyperus papyrus، تدفق أفقي، تصفية المياه، مياه الصرف الصحي، المناخ الجاف، منطقة تقرت.

Résumé : Ce travail vise à étudier l'étendue de la capacité de deux plantes canna lndica + cyperus papyrus plantées dans un même bassin à épurer les eaux usées en utilisant le système d'écoulement horizontal dans des conditions climatiques chaudes et sèches seules.
Cette étude a été menée à travers un modèle expérimental à la station d'épuration de l'Office National de Désinfection ONA Touggourt, car elle a duré 5 mois consécutifs d'août à décembre 2021 et ceci pour éliminer les polluants.
Ce modèle est constitué d'un bassin d'alimentation rempli d'eau usée (prétraitée) qui alimente deux autres bassins remplis de gravier de bas en haut à une hauteur de 20 cm (témoin) Les bassins sont alimentés en eau depuis le bassin d'alimentation par l'axe horizontal écoulement souterrain à un rythme régulier une fois par semaine. Après un séjour de 5 jours dans les bassins, l'eau est collectée pour analyse en laboratoire. Après la période d'étude, nous avons obtenu les résultats des taux d'élimination et ils étaient très bons, car suit :
MES (82.44 %), DCO (81.49 %), DBO_5 (87.22 %), NO_2^- (97.4 %), NO_3^- (79.42 %), PO_4^{3-} (90.43 %)
Après avoir comparé les pourcentages obtenus avec les résultats du bassin témoin et des études antérieures qui reposaient sur l'étude de la capacité de chacune des deux plantes séparément, nous avons conclu que cette méthode a une efficacité pour éliminer les polluants en général et les polluants organiques en particulier.
Mots clés : plantes aquatiques, canna lndica, cyperus papyrus, écoulement horizontal, filtration de l'eau, égouts, climat aride, région de Touggourt.

Abstract : This work aims to study the extent of the ability of two plants canna lndica + cyperus papyrus planted in one basin to purify waste water using the horizontal flow system in hot and dry climatic conditions. alone.
This study was conducted through an experimental model at the waste water plant of the National Office for Disinfection ONA Touggourt, as it lasted 5 consecutive months from August to December 2021 and this is to remove pollutants.
This model consists of a feeding basin filled with (pre-treated) sewage water that feeds two other basins filled with gravel from bottom to top at a height of 20 cm. Witness) The basins are supplied with water from the feeding basin by the horizontal sub-surface flow at a regular pace once every week. After the water stays for 5 days in the basins, it is collected for laboratory analysis. After the study period, we obtained the results of the removal rates and they were very good, as follows :
MES (82.44 %), DCO (81.49 %), DBO_5 (87.22 %), NO_2^- (97.4 %), NO_3^- (79.42 %), PO_4^{3-} (90.43 %)
After comparing the obtained percentages with the results of the control basin and previous studies that relied on studying the ability of each of the two plants separately, we concluded that this method has an efficiency in removing pollutants in general and organic pollutants in particular.
Key words : aquatic plants, canna lndica, cyperus papyrus, horizontal flow, water filtering, sewage, arid climate, Touggourt area.