



Université Sultan Moulay Slimane
Faculté des Sciences et Techniques
Béni Mellal



المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب
Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable



وكالة الحوض المائي لأم الربيع
AGENCE DU BASSIN HYDRAULIQUE
DE L'OUUM ER-RBIA

Centre d'Etudes Doctorales « Sciences et Techniques »
Formation doctorale : Ressources naturelles, santé et environnement

THÈSE

Présentée par

Kamal AIT OUHAMCHICH

Pour l'obtention du grade de

Docteur

Spécialité : Géologie

Option : Géomatique et Environnement

**Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique
sur le pouvoir épuratoire des deux stations de lagunage
naturel des villes de Boujaâd et Zaouit cheikh, Maroc.**

Soutenue publiquement le 23 juillet 2022 devant le jury composé de :

Président	: Pr. Khalid HABBARI	Faculté d'Economie et de Gestion, USMS, Béni-Mellal
Rapporteur	: Pr. Zehor AIT YACINE	Faculté des Sciences et Techniques, USMS Béni-Mellal
Rapporteur	: Pr. Mohammed HSSAISOUNE	Faculté des Sciences Appliquées, Université Ibn Zohr, Ait Melloul, Agadir
Rapporteur	: Pr. Samir NADEM	Faculté des Sciences et Techniques, USMS, Béni-Mellal
Examineur	: Pr. Mustapha NAMOUS	Faculté Polydisciplinaire, USMS, Béni-Mellal
Directeur de thèse	: Pr. Abdelkrim ARIOUA	Faculté des Sciences et Techniques, USMS, Béni-Mellal

REMERCIEMENTS

Bien que signée par un seul auteur, une thèse est un travail d'équipe, à la fois sur le plan technique et intellectuel. Je voudrais remercier ici les contributeurs et collaborateurs qui ont été essentiels dans ce travail.

Je tiens à remercier en tout premier lieu mon directeur de thèse le Professeur **ARIOUA Abdelkrim** de la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, pour son encadrement attentif et constructif durant toutes ces années de recherches effectuées au sein de l'Équipe de recherches « Gestion et Valorisation des Ressources en Eau et Télédétection ». Disponible, rigoureux et confiant, ses qualités scientifiques et humaines ont été gage de succès à tous les niveaux. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude et de ma reconnaissance.

Je tiens à remercier Mr. **EL AMRANI Idrissi Abdelkhalek**, Ingénieur-chef de service « contrôle de la qualité des eaux » à l'Agence du Bassin Hydraulique d'Oum Er-Rbia, et Mr **AFDALI Moustapha** Ingénieur-chef de service au sein de l'Office National d'Electricité et d'Eau Potable de Béni Mellal pour leurs disponibilités, leurs soutiens et leurs remarques pertinentes.

Je remercie également Mr **BOURAK ABDELLAH**, le Directeur de l'Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum ER-Rbia qui nous a assuré le laboratoire d'analyses, les produits chimiques, le personnel du laboratoire (Mrs **Chafak Youssef** et **Chafak Mohamed**) et qui ont mis à notre disponibilité toutes les données nécessaires pour achever nos travaux de recherches.

Je tiens à exprimer mes chaleureux remerciements aux : Pr. **Ahmed. ZEGHAL**, Ex-Doyen de la FST de Béni Mellal et son **Vice**-doyen Pr. **Khalid HABBARI**, ainsi que le Doyen actuel Pr. **Said MELLIANI** et son **Vice**-doyen Pr. **Abderrafia HAFID** pour leurs soutiens pendant les différentes missions de terrain réalisées lors de la préparation de cette thèse.

Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants et les administrateurs de la FST de Béni-Mellal qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, sans oublier le chauffeur de la Land Rover Mr **Mohamed BADAÏ** et Mr **Mustapha ARIF**.

Je voudrais exprimer également ma reconnaissance à mes collègues du laboratoire, les docteurs : I. Karaoui, D. Elhamdouni, H. Bouamri, H. Ouatiki et les doctorants : Y. Lebrini. H. Faouzi et M. Achabi.

Je remercie vivement tous les membres de jury qui ont sacrifié de leur temps précieux pour évaluer, critiquer et corriger cette thèse.

Enfin j'exprime toute mon affection et ma gratitude à ma famille (mes parents, mon frère et ma sœur, ma femme) pour sa patience et son soutien indéfectible.

RESUME

Pendant longtemps, l'Homme a vu le monde comme une ressource inépuisable spécialement les ressources en eau pour être utilisé à son profit en utilisant des techniques assez simples. Mais malheureusement, sous l'effet de l'augmentation de la population, la demande accrue et la détérioration de la qualité de l'eau, les modèles de gestion traditionnels ont échoués détestablement pour assurer ces missions. Cet échec nous a forcé de s'éloigner de ce mirage technologique et développer de nouvelles approches de gestion des ressources en eau qui permettront la satisfaction des besoins humains en termes de quantité tout en maintenant la qualité en bonne état.

Au Maroc, l'histoire de la gestion des ressources en eau disponible n'est pas récente, du fait que le contexte climatique et hydrologique du pays est extrêmement fragile. Depuis longtemps, l'impact de la sécheresse, des inondations et la pression d'une demande croissante sont autant des facteurs qui imposent que les stratégies de développement et de gestion des ressources en eau soient planifiées. Elles ont abouti depuis les années 1970 au lancement des premières études de planification des ressources en eau.

La région Béni Mellal-Khénifra dispose d'une importante ressource en eau qui peuvent répondre aux besoins de la population à l'actuel et en même temps, garantir la sécurité hydrique des futures générations. En revanche, les défis comme les changements climatiques, la croissance démographique et l'élargissement des périmètres irrigués, conduisent à une pression accrue sur cette ressource vitale, qui préfigure d'un stress hydrique imminent. Ce constat nécessite des actions immédiates de préservations des réserves actuels et de compensation par une réutilisation des rejets d'eau domestiques après des traitements convenables.

En effet, la région s'est impliquée dans cette stratégie par la création d'une multitude de stations d'épuration des eaux usées (STEPS) sur un large nombre des communes. De même, l'utilisation du procédé de lagunage naturel est l'un des méthodes les plus répandues dans cette région. Et ceci, en raison de son climat aride à semi-aride qui se considère le plus approprié pour ce genre de traitement, à cause de son autonomie et de son budget énergétique et de maintenance très bas.

Dans ce sens, le présent travail vise à étudier l'impact de la variabilité climatique sur le rendement des STEPs de type lagunage dans la région Béni Mellal-Khénifra, en cherchant les facteurs climatiques limitants et en essayant de suggérer des solutions pour augmenter leurs pouvoirs épuratoires. Toute en spécifiant des objectifs spécifiques de l'étude, notamment un diagnostic l'état d'épuration des eaux usées au niveau de la région BMK, Comparaison des rendements des STEPs (Boujaâd et Zaouiat cheikh) dans deux différents contextes climatiques, cerner l'impact de la variation des paramètres climatiques (Température, Radiation solaire) sur les rendements des différentes STEPs de la région, et en fin offrir une plateforme numérique aux décideurs et aux chercheurs pour avoir facilement toutes les informations sur les stations d'épuration des eaux usées de la région.

Un tel suivi et évaluation, nous a amené à adopter au début une approche expérimentale sur terrain, concerne des compagnes de mesures et de prélèvement des échantillons des eaux usées

afin de mesurer les paramètres physicochimiques des eaux usées, ainsi la collecte des données mensuelles des performances des STEPs, et les données climatiques des différentes stations météorologiques de la région afin de comparer les rendements dans plusieurs contextes climatiques ; et une approche statistique pour la corrélation de certaines paramètres physicochimiques et les paramètres climatiques, consiste à une analyse descriptive et une visualisation cartographique des différents paramètres, ceci permet de cerner l'impact de la variation des paramètres climatiques sur les rendements des différentes STEPs.

D'après les conclusions déduites, on a abouti à des résultats très fructueux qui vont répondre à plusieurs questions concernant l'impact de la variabilité climatique sur les rendements des STEPs. On a trouvé que la performance épuratoire augmente à la suite d'une élévation de température de l'eau ; et les STEPs situées sur la plaine ont un rendement mieux que les stations de la montagne. Les performances épuratoires dépendent des variations climatiques entre les saisons ; en période chaude, le rendement épuratoire accroît par stimulation de l'activité microbienne à cause de l'élévation de la radiation solaire, de la température de l'eau. Si la température de l'eau dépasse une certaine limite supérieure (en été par exemple), on peut avoir un effet inverse tout en diminuant le rendement de la STEP. Ceci à la suite d'une limitation des activités des microorganismes aquatiques au-delà de 36°C. Pour un bon rendement, la température de l'eau optimale est située entre 12 et 26°C avec 26° c'est le pic du rendement.

En fin, une base de données spatiale a été élaborée pour intégrer et récapituler toutes les informations concernant les différentes STEPs de la région étudiée, ceci a permis d'avoir une plateforme numérique et à jour pour faciliter la tâche aux responsables pour bien gérer leurs fonctionnements et de prendre des décisions ; et d'aider les décideurs à sélectionner la STEP convenable à chaque commune ; et offrir une plateforme numérique aux chercheurs scientifiques pour stocker les informations, les traiter, modéliser et dimensionner facilement les composantes d'une station d'épuration des eaux usées.

Mots clés : Eaux usées, Variabilité climatique, Impact, Rendement épuratoire, Station d'épuration des eaux usées, Région Mellal-Khénifra, SIG, base de données.

ABSTRACT

For a long time, Man saw the world as an inexhaustible resource especially the water resources to be used for his benefit using fairly simple techniques. But unfortunately, under the impact of population growth, increased demand and deteriorating water quality, traditional management models have failed to fulfill these missions. This failure has forced us to move away from this technological mirage and develop new approaches to water resource management that will allow the satisfaction of human needs in terms of quantity while maintaining good quality.

In Morocco, the history of the management of available water resources is not recent, due to the fact that the climatic and hydrological context of the country is extremely fragile. For a long time, the impact of drought, floods and the pressure of increasing demand have all been factors that require that strategies for the development and management of water resources be planned. Since the 1970s, they have led to the launch of the first water resources planning studies.

The Beni Mellal-Khénifra region has an important water resource that can meet the needs of the current population and at the same time guarantee the water security of future generations. On the other hand, challenges such as climate change, population growth and the expansion of irrigated perimeters are leading to increased pressure on this vital resource, which foreshadows imminent water stress. This finding requires immediate actions to preserve current reserves and compensation by reusing domestic water discharges after appropriate treatment.

Indeed, the region is involved in this strategy by creating a multitude of wastewater treatment plants (WWTPs) in a large number of municipalities. Likewise, the use of the natural lagooning process is one of the most widespread methods in this region. And this, because of its arid to semi-arid climate which is considered the most appropriate for this kind of treatment, because of its autonomy and its very low energy and maintenance budget.

In this sense, the present work aims to study the impact of climate variability on the performance of lagoon-type WWTPs in the Beni Mellal-Khénifra region, by seeking the limiting climatic factors and trying to suggest solutions to increase their purifying powers. While specifying the specific objectives of the study, in particular a diagnosis of the state of purification of waste water at the level of the BMK region, Comparison of the performances of the WWTPs (Bojaâd and Zaouiat cheikh) in two different climatic contexts, to identify the impact of the variation of climatic parameters (temperature, solar radiation) on the performances of the different WWTPs in the region,

Such monitoring and evaluation, led us to adopt at the beginning an experimental approach on the field, concerns companions of measures and sampling of wastewater in order to measure the physicochemical parameters of wastewater, as well as the collection of monthly performance data. STEPs, and climate data from different meteorological stations in the region in order to compare performance in several climatic contexts; and a statistical approach for the correlation of certain physicochemical parameters and climatic parameters, consists of a descriptive analysis and a cartographic visualization of the various parameters, this makes it

possible to identify the impact of the variation in climatic parameters on the WWTPs performances.

According to the conclusions deduced, we have reached very fruitful results which will answer several questions concerning the impact of climatic variability on the performances of WWTPs. It has been found that the purification performance increases following a rise in water temperature; and the WWTPs located on the plain have a better performance than the mountain stations. The purification performances depend on the climatic variations between the seasons; in hot periods, the purification efficiency increases by stimulating microbial activity due to the rise in solar radiation and the temperature of the water. If the water temperature exceeds a certain upper limit (in summer for example), there can be an opposite effect while reducing the efficiency of the WWTP. This follows a limitation of the activities of aquatic microorganisms above 36°C. For good performance, the optimum water temperature is between 12 and 26°C with 26° being the peak of performance.

A spatial database was developed to integrate and summarize all the information concerning the different WWTPs in the region studied, this made it possible to have a digital and update platform to facilitate the task of managers to properly manage their operations. and make decisions; and to help decision-makers to select the appropriate WWTP for each municipality; and provide a digital platform for scientific researchers to store information, process it, model and easily size the components of a wastewater treatment plant.

Key words: Wastewater, Climate variability, Impact, Purification yield, Wastewater treatment plant, Mellal-Khénifra Region, GIS, database.

ملخص

لفترة طويلة، رأى الإنسان العالم كمورد لا ينتهي خاصة الموارد المائية لاستخدامها لمصلحته باستخدام تقنيات بسيطة إلى حد ما. ولكن لسوء الحظ، في ظل تأثير النمو السكاني وزيادة الطلب وتدهور جودة المياه، فشلت نماذج الإدارة التقليدية في تحقيق هذه المهام. لقد أدى هذا الفشل إلى الابتعاد عن هذا النهج التكنولوجي وتطوير مناهج جديدة لإدارة الموارد المائية من شأنها تلبية الاحتياجات البشرية من حيث الكمية مع الحفاظ على الجودة.

في المغرب، تاريخ إدارة الموارد المائية المتاحة ليس حديثاً، نظراً لحقيقة أن السياق المناخي والهيدرولوجي للبلاد هش للغاية. لفترة طويلة، كان تأثير الجفاف والفيضانات وضغط الطلب المتزايد كلها عوامل تتطلب تخطيط استراتيجيات لتنمية وإدارة الموارد المائية. منذ سبعينيات القرن الماضي، قادوا إلى إطلاق الدراسات الأولى لتخطيط الموارد المائية.

تمتلك جهة بني ملال خنيفرة موارد مائية مهمة يمكنها تلبية احتياجات السكان الحاليين وفي نفس الوقت ضمان الأمن المائي للأجيال القادمة. من ناحية أخرى، تؤدي التحديات مثل تغير المناخ والنمو السكاني والتوسع في المناطق المسقية إلى زيادة الضغط على هذا المورد الحيوي، مما يندرج بإجهاد مائي وشيك. تتطلب هذه النتيجة اتخاذ إجراءات فورية للحفاظ على الاحتياطات الحالية والتعويض عن طريق إعادة استخدام تصريف المياه المنزلية بعد المعالجة المناسبة.

في الواقع، تشارك الجهة في هذه الاستراتيجيات من خلال إنشاء العديد من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في عدد كبير من البلديات والجماعات الترابية. وبالمثل، يعد استخدام عملية الأحواض الطبيعية من أكثر الطرق انتشاراً في هذه الجهة. وهذا بسبب مناخها الجاف إلى شبه الجاف الذي يعتبر الأنسب لهذا النوع من المعالجة، بسبب استقلاليتها وميزانية الطاقة والصيانة المنخفضة للغاية.

بهذا المعنى، يهدف العمل الحالي إلى دراسة تأثير التغيرات المناخية على أداء محطات معالجة مياه الصرف الصحي من نوع الأحواض الطبيعية في جهة بني ملال-خنيفرة، من خلال البحث عن العوامل المناخية المؤثرة على مردوديتها ومحاولة اقتراح حلول لزيادة هذه المردودية. وذلك مع تحديد أهداف محددة للدراسة، لا سيما تشخيص حالة تنقية مياه الصرف الصحي على مستوى جهة بني ملال خنيفرة، ومقارنة محطتين للتصفية (أبي جعد وزاوية الشيخ) في سياقين مناخيين مختلفين، لتحديد تأثير تباين البارامترات المناخية (درجة الحرارة، الإشعاع الشمسي) على إنتاجية محطات معالجة مياه الصرف الصحي المختلفة في الجهة.

في البداية قادتنا هذه المراقبة والتقييم إلى اعتماد نهج تجريبي على الميدان، يتعلق بمرافقة المقاييس وأخذ عينات من مياه الصرف الصحي من أجل قياس البارامترات الفيزيائية والكيميائية لمياه الصرف الصحي، فضلاً عن جمع بيانات الأداء الشهرية. البيانات المناخية من مختلف محطات الأرصاد الجوية في الجهة من أجل مقارنة المردودية في العديد من السياقات المناخية؛ ويتكون النهج الإحصائي للارتباط بين بعض البارامترات الفيزيائية والكيميائية البارامترات المناخية، من تحليل وصفي وتصور خرائطي للبارامترات المختلفة، وهذا يجعل من الممكن تحديد تأثير التباين في البارامترات المناخية على أداء محطات التصفية.

وفقاً للاستنتاجات والنتائج التي تم التوصل إليها، والتي ستجيب على العديد من الأسئلة المتعلقة بتأثير التغيرات المناخية على مردودية محطات معالجة مياه الصرف الصحي. لقد وجد أن أداء التنقية يزداد بعد ارتفاع درجة حرارة الماء؛ ومحطات التصفية الواقعة على السهل لديها عائد أفضل من المحطات الجبلية. أداء التنقية يعتمد على التغيرات المناخية بين الفصول؛ في الفترات الحارة تزداد كفاءة التنقية بتحفيز النشاط الجرثومي نتيجة ارتفاع الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الماء. إذا تجاوزت درجة حرارة الماء حداً أعلى معيناً (في الصيف على سبيل المثال)، يمكن أن يكون هناك تأثير معاكس مع تقليل كفاءة محطة معالجة مياه الصرف الصحي. يتبع هذا تقييداً لأنشطة الكائنات الحية الدقيقة المائية فوق 36 درجة مئوية. للحصول على أداء جيد، تتراوح درجة حرارة الماء المثلى بين 12 و26 درجة مئوية مع 26 درجة هي ذروة الأداء.

أخيراً، تم تطوير قاعدة بيانات رقمية لدمج وتلخيص جميع المعلومات المتعلقة بمحطات معالجة مياه الصرف الصحي المختلفة في الجهة التي تمت دراستها، مما جعل من الممكن الحصول على منصة رقمية وحديثة لتسهيل مهمة المسؤولين لإدارة عملياتهم بشكل صحيح. واتخاذ القرارات؛ ومساعدة صانعي القرار في اختيار محطة معالجة مياه الصرف الصحي المناسبة لكل جماعة ترابية؛ وتوفير منصة رقمية للباحثين العلميين لتخزين المعلومات ومعالجتها ونمذجتها وحجم مكونات محطة معالجة مياه الصرف الصحي بسهولة.

الكلمات المفتاحية: المياه العادمة، تغيرات المناخ، المردودية، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، جهة ملال خنيفرة، نظم المعلومات الجغرافية، قاعدة البيانات.

ABREVIATIONS

BMK	Béni Mellal - Khénifra
STEP	Station d'Épuration des Eaux Usées
ABHOER	Agence du Bassin Hydraulique de l'Oum Er-Rbia
ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFNOR	Association Française de Normalisation
AMC	Analyse Multicritère
MO	Matière Organique
AMCD	Analyse Multicritère à la Décision
DBO	Demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
MES	Matière En Suspension
EH	Équivalent-Habitant
FAO	Food and Agriculture Organization
GES	Gaz à Effet de Serre
TEP	Tonne d'Équivalent Pétrole
AEP	Alimentation en Eau Potable
MTB	Traitement Mécanique-Biologique
MODECOM	Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères
NASA	National Aeronotic And Space Administration
DPA	Délégation Provinciale de l'Agriculture
ONEE	Office National de l'Électricité et de l'Eau Potable
PED	Pays En Développement
PNDM	Programme National des Déchets Ménagers
RGPH	Recensement Générale de la Population et d'Habitat
PNA	Programme National d'Assainissement Liquide
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
SNND	Stratégie Nationale de Développement Durable
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
DH	Dirham
CC	Changement Climatique
RCP	Representative Concentration Pathway
PIB	Produit Intérieur Brut
Km	Kilomètre
PNRC	Plan National de lutte contre le Réchauffement Climatique
NAMAs	Nationally Appropriate Mitigation Actions

ONG	Organisation Non Gouvernementale
DGCL	Direction Générale des Collectivités Locales
SRAT	Schéma Régional d'Aménagement du Territoire
ADA	Agence pour le Développement Agricole
CID	Conseil d'Ingénierie et de Développement
Mm3/an	Million de m3 par an
Mm3	Million de m3
UV	Ultra-violet
IFN	Inventaire Forestier National
CSEC	Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat
HCEFLCD	Haut-Commissariat aux Eaux Et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification
HCP	Haut-Commissariat au plan
ONU	Organisation des Nations Unies
OCP	Office chérifien des phosphates
UFC	Unité Formant Colonie
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PDAIRE	Plan Directeur d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau
4C Maroc	Centre de compétences Changement climatique « 4C Maroc »
ACP	Analyse en Composante Principale
SIG	Système d'Information Géographique
Rs	Radiation solaire (W/m2)
T_air	Température de l'air à la sortie de STEP (°C)
Cond (Sortie)	Conductivité à la sortie ($\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C)
DBO5(Sortie)	Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours (mgO_2/l) à la sortie
DCO(Sortie)	Demande Chimique en Oxygène (mgO_2/l) à la sortie.
MES(Sortie)	Matière En Suspension (mg/l) à la sortie
O2_dissous	Oxygène Dissous (mg/l) à la sortie
PH(Sortie)	Potentiel Hydrogène à la sortie
Ren_DBO	Rendement du DBO5 (%) à la sortie
Ren_DCO	Rendement du DCO (%) à la sortie
Ren_MES	Rendement du MES (%) à la sortie
T_Eau	Température de l'eau (°C)

PUBLICATIONS

Articles dans des revues indexées et avec comité de lecture :

- **Ait Ouhamchich K.**, Karaoui I., Arioua A., Elhamdouni D. & Kasmi A. *Climate change Trend Observations in Morocco: Case of study Beni Mellal-Khenifra and Deraa-Tafilalt regions*.
Journal of Geoscience and Environment Protection, 2018, vol. 6, no 07, p. 34.
DOI: <https://doi.org/10.4236/gep.2018.67003>

- **Ait Ouhamchich K.**, Arioua A., I. Karaoui & Elhamdouni D. *Performances Assessment of Wastewater Treatment Plant in Boujaâd City, Khouribga Province, Morocco*’’.
European Scientific Journal, 14 (27) 193- 204.
DOI: 10.19044/esj.2018.v14n27p193

- **Ait Ouhamchich K.**, Arioua A., I. Karaoui, Elhamdouni D., El Amrani Idrissi A. & Afdali M. *Impact de la variabilité climatique sur le pouvoir épuratoire des stations d’épuration des eaux usées de la région de Béni Mellal – Khénifra*’’. En Cours

- Elhamdouni D., Arioua A., Karaoui I., Aba B. & **Ait Ouhamchich K.** *Household Solid Waste sustainable management in the Khenifra region-Morocco*. Arabian Journal of Geosciences (2019) 12:744
<https://doi.org/10.1007/s12517-019-4960-5>

- Elhamdouni D., Arioua A., Aba B., Karaoui I., & **Ait Ouhamchich K.** *Sustainable Management of Household Garbage- Status of Citizens behavior and participation. A Case study of Khenifra region (Morocco)*. European Scientific Journal, 2018, 14 (20), 61-78.
DOI: 10.19044/esj.2018.v14n20p61

- Elhamdouni D., Arioua A., ELhmaidi A., Aba B., Mansour D., Karaoui I. & **Ait Ouhamchich K.** *Geomatics tools and AHP method use for a suitable communal landfill site. Case study of Khenifra region – Morocco*’’. Journal of Materials and Environmental Sciences (JMES), 2017, Volume 8, Issue 10, Page 3612-3624. ISSN: 2028-2508.

- Karaoui I., Arioua A., Boudhar A., Hssaisoune M., Sabri E-M., **Ait Ouhamchich K.**, Elhamdouni D., El Amrani Idrissi A. & Nouaim W. *Evaluating the potential of Sentinel-2 satellite images for water quality characterization of artificial reservoirs: The Bin El Ouidane Reservoir case study (Morocco)*. Meteorology Hydrology and Water Management, 2018, 2299-3835.
DOI: <https://doi.org/10.26491/mhwm/95087>

- Karaoui I., Arioua A., El Amrani Idrissi A., Hssaisoune M., Nouaim W., Elhamdouni D. & **Ait Ouhamchich K.** *Assessing land use /cover variation effects on flood intensity via hydraulic simulations. Journal of Geology, Ecology, and Landscapes*, 2018, 10.1080
DOI: 10.1080/24749508.2018.1452461

- Karaoui I., Arioua A., El Amrani Idrissi A., Nouaim W., Elhamdouni D., **Ait Ouhamchich K.**, Hssaisoune M. & Rachid Hnini : *Evaluation of the River -Shallow Aquifer Exchange Process Effect on Surface Water Quality Deterioration—Case Study of Oued El Abid River Downstream Course, Morocco*. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2017, 5, 123.
- Karaoui I., Arioua A., El Amrani idrissi A., Nouaim W., Elhamdouni D., **Ait Ouhamchich K.** & Hnini R. *Elucidating the mechanisms of water quality deterioration in Oued El Abid River –Morocco*. Journal of Materials and Environmental Sciences (JMES), 2017, 8, 3353-3359.
- Faouzi E., Arioua A., Karaoui I., **Ait Ouhamchich K.** & Elhamdouni D. *Wastewater reuse in FAOFAO sector: resources management and adaptation in the context of climate change: case study of the Beni Mellal-Khenifra region, Morocco*. E3S Web of Conferences 2020, 183, 02005 I2CNP 2020
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018302005>
- Karaoui I, Arioua A., Boudhar A., Hssaisoune M., EL Amrani Idrissi A., **Ait Ouhamchich K.** & Elhamdouni D. *New simplification into NSF-WQI index to asses El Abid River water quality – Morocco*, Desalination and Water Treatment, 204 (2020) 59–68 November
DOI : 10.5004/dwt.2020.26277

Communications présentées dans des manifestations internationales :

- Participation au 3^{ème} Colloque International Valorisation des Déchets pour un Développement Durable V3D-2016 à la ville de Fès par une communication orale intitulée « évaluation des performances épuratoires de la STEP de Boujaâd ». (Voir attestation en dossier scientifique)
- Participation au Forum International sur les changements climatiques dans le cadre ATLAS COP, organisé à Béni Mellal les 18 et 19 octobre 2016, par une communication affichée intitulée « évaluation des performances de fonctionnement de la STEP de Boujaâd, Province de Khouribga, région Béni Mellal Khénifra ». (Voir attestation en dossier scientifique)
- Participation à la 6^{ème} édition du congrès international Eaux, Déchets et Environnement, 12 – 14 Décembre 2017 à la FST de Béni Mellal – MAROC, par une communication affichée intitulée « Réutilisation et valorisation des sous-produits de la station d'épuration des eaux usées de Boujaâd, Province de Khouribga, Maroc ». (Voir attestation en dossier scientifique)
- Participation à la troisième édition du Congrès International Poly-disciplinaire (CIP) sous le thème « Villes intelligentes et développement urbain durable en Afrique » les 06 et 07 Avril 2018 à la faculté poly-disciplinaire de Béni Mellal, par une communication orale intitulée « Modélisation des systèmes épuratoires et apport de l'énergie solaire dont l'objectif d'améliorer le rendement des stations d'épurations des eaux usées. Cas du lagunage de Boujaâd, Province de Khouribga – Maroc ». (Voir attestation en dossier scientifique)

- Participation au 1^{ère} international E conference on Climate Nexus Perspectives (I2CNP): Water Food and Biodiversity organized by the research team “Environment and Natural Resources Management” in the Higher School of Technology, Khenifra, in June, 04th, 2020 par une Communication orale “Impact of climate variation on Wastewater treatment case Zawiat cheikh city, Morocco” in the. (Voir attestation en dossier scientifique)

- Participation au Cairo Water Week 2020 that took place during the period 18-22 of October 2020 under theme “Water security for peace and development in Dry Areas” par une communication orale intitulée « climate variation impacts on Wastewater treatment case Zawiat cheikh city, Morocco ». (Voir attestation en dossier scientifique)

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE	1
PARTIE I :	4
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET ETAT DE L'ART	4
I. INTRODUCTION	5
II. NOTIONS ET PROCESSUS DE GESTION DES EAUX USEES	5
II.1. EAUX USEES	5
II.2. EAUX USEES DOMESTIQUES	6
II.3. EAUX USEES INDUSTRIELLES	6
II.4. EAUX PLUVIALES	7
II.5. CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES DOMESTIQUES	7
II.6. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES	7
II.6.1. Température	7
II.6.2. Potentiel hydrogène pH	8
II.6.3. Matières En Suspension (MES)	8
II.6.4. Conductivité électrique	8
II.7. PARAMETRES D'INTERET BIOCHIMIQUE	9
II.7.1. Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours (DBO ₅)	9
II.7.2. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	9
II.7.3. Matières Azotées	9
II.7.4. Pollution phosphatée	9
II.8. PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	10
II.8.1. Escherichia coli	10
II.8.2. Entérocoques	10
II.8.3. Salmonelles et virus	10
II.8.4. Parasites	11
II.9. DIFFERENTS PROCEDES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES	11
II.9.1. Prétraitement	11
II.9.2. Traitement primaire	13
II.9.3. Traitement secondaire	14
II.9.4. Traitement tertiaire	15
II.10. SYSTEMES EXTENSIFS	16
II.11. SYSTEMES INTENSIFS	21
III. SITUATION DU TRAITEMENT DES EAUX USEES AU MAROC	24
IV. IMPACTS DU REJET D'EAUX USEES	26
IV.1. EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE	26
IV.2. EFFETS ENVIRONNEMENTAUX	26
IV.3. EFFETS ECONOMIQUES	27
V. VARIABILITE CLIMATIQUE	27
V.1. AU MAROC	27
V.2. AU NIVEAU REGIONAL	29
VI. IMPACT DU CLIMAT SUR LA TEMPERATURE DE L'EAU	30
VII. FACTEURS INFLUENÇANT LE RENDEMENT EPURATOIRE DES STEPS LAGUNAGE ..	30
VII.1. FACTEURS BIOCHIMIQUES	30
VII.2. FACTEURS PHYSIQUES	31

VII.3.	FACTEURS CLIMATIQUES	31
VIII.	IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LE RENDEMENT DES STEPS	32
VIII.1.	IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA TEMPERATURE DE L'EAU DES DIFFERENTS BASSINS DE LA STEP	32
VIII.2.	PHOTOSYNTHESE.....	32
IX.	NOTION DE BASE SUR LE SIG	34
IX.1.	BASE DE DONNEES	34
IX.2.	SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)	34
I.1.	COMPOSITION ET FONCTIONS DU SIG	35
I.2.	DIFFERENTS MODES DE REPRESENTATION.....	35
I.2.1.	Mode Raster.....	35
I.2.2.	Mode vecteur	36
IX.3.	CARTOGRAPHIE.....	36
X.	CONCLUSION	37
PARTIE II :		38
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE, METHODOLOGIE ET TECHNIQUES UTILISEES		38
CHAPITRE I : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE.....		39
I.	CADRE PHYSIQUE	39
I.1.	SITUATION ADMINISTRATIVE.....	39
I.2.	RELIEF	40
I.3.	TOPOGRAPHIE	41
I.4.	CLIMAT.....	42
I.4.1.	Température et précipitation	45
I.4.2.	Types des climats de la région	47
I.5.	RESSOURCES EN EAU	48
I.5.1.	Eaux superficielles.....	48
I.5.2.	Eaux souterraines	49
II.	CADRE SOCIODEMOGRAPHIQUE	50
I.1.	POPULATION.....	50
I.2.	TAUX D'URBANISATION.....	51
I.3.	BESOINS EN EAU POTABLE	52
I.3.1.	ALIMENTATION EN EAU POTABLE.....	53
I.4.	ASSAINISSEMENT ET STATIONS D'EPURATION DES EAUX USEES DE LA REGION BENI MELLAL-KHENIFRA	54
I.4.1.	Etat de la pollution d'origine domestique dans la région BMK	55
I.4.2.	Stations d'épuration des eaux usées de la zone d'étude	56
I.4.2.1.	Situation géographique	56
I.4.2.2.	Fiches synoptiques des STEPs	57
I.4.2.3.	Sélection des STEPs de type lagunage	57
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES		58
I.	MATERIELS	58
I.1.	DONNEES DES STATIONS CLIMATOLOGIQUES DE LA ZONE D'ETUDE.....	58
I.2.	DONNEES D'ANALYSES D'EAUX USEES DES STEPS DE ZAOUIT CHEIKH ET BOUJAAD	58
I.3.	LOGICIELS UTILISES.....	59
I.3.1.	RStudio.....	59
I.3.2.	RClimDex.....	59

II. METHODOLOGIE SUIVIE	59
II.1. Traitement des bases de données	60
II.2. Analyse statistique.....	60
II.3. Plateforme spatiale des STEPs.....	60
PARTIE III :	62
RESULTATS ET DISCUSSIONS	62
CHAPITRE I : IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LE POUVOIR EPURATOIRE DES STEPS DE TYPE LAGUNAGE ET ESSAI DE CREATION D'UN SIG	63
I. INTRODUCTION	63
II. ETUDE DE CAS : COMPARAISON ENTRE CLIMAT DE LA PLAINE (STEP DE BOUJAAD) ET DE DIR (STEP DE ZAOUIT CHEIKH).....	63
II.1. DONNEES MESUREES ET DONNEES TERRA MODIS	63
II.2. VARIABILITE DE LA TEMPERATURE ENTRE LES DEUX STEPs.....	64
II.3. VARIABILITE DE LA RADIATION ENTRE LES DEUX STEPs	64
II.4. CORRELATION ENTRE LA TEMPERATURE DE L'EAU ET LE RENDEMENT DES STEPs	65
II.4.1. Variabilité spatiale de température de l'eau et rendements des STEPs	65
II.4.2. Variabilité mensuelle de la température de l'eau et du rendement des STEPs.....	68
II.5. TRAITEMENT PAR ACP DES BASES DE DONNEES DES DEUX STEPs	73
II.5.1. STEP de Zaouit Cheikh	73
II.5.2. STEP de Boujaâd.....	77
III. CREATION D'UNE PLATEFORME NUMERIQUE POUR LA GESTION DES STEPS DE LA REGION BMK.....	80
III.1. PROCEDURE DE CONCEPTION DU SIG	80
III.1.1. Etapes de réalisation de la base de données spatiale	80
III.1.1.2. Manipulation et Traitement de données.....	81
III.2. CREATION DE LA BASE DE DONNEES GEO-SPATIALE.....	81
III.3. LOCALISATIONS DES STATIONS D'EPURATION	81
III.4. FONCTIONNEMENT DE LA BASE DE DONNEES SPATIALE	83
IV. CONCLUSION	87
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	88
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	93
REFERENCES WEBO-GRAPHIQUES	101
ANNEXES	102

Liste des figures

Figure 1 : Traitement des eaux usées par lagunage naturel.....	17
Figure 2 : Processus de la méthanisation dans le bassin anaérobie du lagunage naturel	17
Figure 3 : Processus de la symbiose algo-bactérienne dans le bassin II du lagunage naturel..	18
Figure 4 : Système d'aération dans le lagunage aéré	19
Figure 5 : Assainissement autonome.....	20
Figure 6 : Schéma d'un Chenal Algal à Haut Rendement	21
Figure 7 : Traitement des eaux usées par boues activées	21
Figure 8 : Traitement des eaux usées par lit bactérien	23
Figure 9 : Traitement d'eau usée par disque biologique	24
Figure 10 : Volume d'eaux usées rejetées entre 1960 et 2020 (Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, 1994).....	25
Figure 11 : Interaction de la lumière et de la température sur le taux de croissance d'algue de type <i>M. pusillum</i> (ajustement graphique au modèle de PEE-TERS et EILERS en 1978).	33
Figure 12 : Evolution de la teneur en Chlorophylle-a dans la lagune, au cours du temps	33
Figure 13 : Positionnement géographique et découpage administratif de la région	39
Figure 14 : Profil topographique NW-SE de Boujaâd vers Zaouit cheikh.....	42
Figure 15 : Carte des altitudes de la région de Béni Mellal-Khénifra.....	42
Figure 16 : Carte bioclimatique de la région BMK (HCEFLCD, 2019).....	43
Figure 17 : Evolution de tendance de l'indice des Jours relativement chauds a Béni Mellal..	44
Figure 18 : Evolution de tendance de l'indice des durées des séquences chaudes a Béni Mellal	45
Figure 19 : Evolution de tendance de l'indice des totaux annuels des précipitations a Béni Mellal.....	45
Figure 20 : Climatologie moyenne 1981 2010 à l'échelle mensuelle pour Tmax, Tmin , Tmoy et cumul de Pluie a Houribga (Source DRMCE).....	46
Figure 21 : Climatologie moyenne 1981 2010 à l'échelle mensuelle pour Tmax, Tmin , Tmoy et cumul de Pluie a Béni Mellal (Source DRMCE).....	46
Figure 22 : Evolution de la pluviométrie moyenne annuelle par station dans la région de Béni Mellal-Khénifra (HCP, 2016)	47
Figure 23 : Types de climat dans la région de Béni Mellal-Khénifra A : climat semi-aride, B : climat aride avec étés très chauds et secs et des hivers assez froids et humides, C : semi-aride à hiver froid, D : climat subhumide à hiver frais, E : subhumide à hiver.....	48
Figure 24 : Ressources en eau de la région de BMK	49
Figure 25 : Projections des populations des provinces de la région Béni Mellal - Khénifra entre 2014 et 2030	50
Figure 26 : Répartition de la population de la région par province.....	51
Figure 27 : Cartographie du taux d'urbanisation (Monographie RBK, 2015).....	52
Figure 28 : Evolution de la demande en eau jusqu'à l'horizon 2030 en Mm3/an (ABHOER, 2012).....	54
Figure 29 : Evolution de la quantité des eaux usées domestiques dans la région BMK entre les années 2005 et 2030 (ABH Oum Er-rbia, 2012)	55

Figure 30 : Evolution de la quantité des polluants dans les eaux usées de la région BMK entre les années 2005 et 2030 (ABH Oum Er-rbia, 2012)	56
Figure 31 : Localisations des STEPs de la région de Béni Mellal-Khénifra.....	57
Figure 32 : Organigramme illustrant la méthodologie de travail suivie	61
Figure 33 : Projection de corrélation entre la température mesurée au niveau de la station du barrage Ahmed El Hansali et la température de TERRA MODIS	63
Figure 34 : Variation de la température mesurée au niveau des deux STEPs (Boujaâd et Zaouit Cheikh) entre la période (1985 - 2019).....	64
Figure 35 : Variation de la radiation solaire mesurée au niveau des deux STEPs (Boujaâd et Zaouit Cheikh) entre la période (1985 - 2019).....	65
Figure 36 : Variation de la température de l'eau et du rendement en DBO5 au niveau des deux STEPs de la région BMK (mois 03/2019).....	66
Figure 37 : Variation de la température de l'eau et du rendement en DCO au niveau des deux STEPs de la région BMK (mois 03/2019).....	67
Figure 38 : Variation mensuelle de la température de l'air, de l'eau, de radiation solaire et de DBO5 à la sortie de la STEP de la ville de Zaouit Cheikh (2018)	69
Figure 39 : Variation de la température de l'eau, de l'air, de radiation solaire et de DCO à la sortie de la STEP de la ville de Zaouit Cheikh (2018)	70
Figure 40 : Variation de radiation solaire, de la température de l'air, de l'eau et de la DBO5 à la sortie de la STEP de la ville de Boujaâd (année 2014)	71
Figure 41 : Variation de la radiation solaire, de la température de l'air, de l'eau et de la DCO à la sortie de la STEP de la ville de Boujaâd (année 2014)	72
Figure 42 : Matrice de corrélation des paramètres mesurés au niveau de la sortie de STEP de Zaouit Cheikh en 2018	74
Figure 43 : Pourcentages des variances expliquées en fonction des dimensions de l'ACP Zaouit Cheikh	75
Figure 44 : Matrice de corrélation entre les variables et les 5 premiers axes de l'ACP Zaouit Cheikh	75
Figure 45 : Résultats d'ACP des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Zaouit Cheikh	76
Figure 46 : Matrice de corrélation des paramètres mesurés et analysés à la sortie de STEP de Boujaâd en 2014	77
Figure 47 : Pourcentages des variances expliquées en fonction des dimensions de l'ACP Boujaâd.....	79
Figure 48 : Matrice de corrélation entre les variables et les 5 premiers axes de l'ACP Boujaâd.....	79
Figure 49 : Résultats d'ACP des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Boujaâd.....	79
Figure 50 : Localisations des STEPs par province de la région BMK.....	83
Figure 51 : Affichage des informations de la STEP de Zaouiat Echiekh	84
Figure 52 : Démonstration du fonctionnement de la plateforme	85
Figure 53 : Plateforme numérique globale des STEPs de la région BMK.....	86

Liste des Photos

Photo 1 : Première étape du prétraitement (dégrilleur, STEP de Boujaâd).....	12
Photo 2 : Deuxième étape du prétraitement (désableur, STEP de Boujaâd)	13
Photo 3 : Troisième étape du prétraitement (Dégraisseur et déshuileur, STEP de Béni Mellal)	13
Photo 4 : Bassins du traitement primaire (STEP de Boujaâd)	14
Photo 5 : Bassins du traitement secondaire	15
Photo 6 : Bassin du traitement tertiaire (STEP Lagunage de Boujaâd)	16
Photo 7 : Lit de séchage des boues extraites de la STEP de Boujaâd	22
Photo 8 : Photos d'échantillonnage sur terrain (2018).....	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Découpage administratif de la région de Béni Mellal – Khénifra (Annuaire statistique, 2016)	40
Tableau 2 : Quelques paramètres géomorphologiques de la région de Béni Mellal-Khénifra	41
Tableau 3 : Statistique sur la population de la région Béni Mellal Khénifra (RGPH, 2014)...	50
Tableau 4 : Evolution de la demande en eau potable et industrielle dans la zone du bassin de l'Oum Er-Rbia entre 2010 et 2030 en Mm3/an (PDAIRE, 2012).....	53
Tableau 5 : Evolution de la demande en eau d'irrigation du bassin OUM ER-RBIA jusqu'à l'horizon 2030 (Mm3/an) (PDAIRE, 2012)	53
Tableau 6 : Caractéristiques des barrages de la région Béni Mellal-Khénifra (HCP, 2016) ...	54
Tableau 7 : Caractéristiques des stations climatiques de Khouribga et Zaouit Cheikh.	58
Tableau 8 : Valeurs limites de température de l'eau pour le bon fonctionnement d'une STEP	73
Tableau 10 : Caractéristiques des stations d'épuration des eaux usées de la région	82

INTRODUCTION GENERALE ET PROBLEMATIQUE

Ces dernières années, les ressources en eau font face à des contraintes majeures liées aux variabilités climatiques, à l'accroissement de la demande, à la dégradation de la qualité des eaux, aux conflits d'usages et tensions nationales ou internationales pour le partage de la ressource. Devant ces préoccupations, une meilleure gestion de l'offre des ressources en eau doit être envisagée.

Selon les données officielles du Ministère délégué chargé de l'eau (2014), les ressources en eau au Maroc sont classées parmi les plus faibles à l'échelle mondiale. Elles sont estimées en moyenne à 22 109 m³ pendant la période 1961-2006 (variant entre 5 109 et 50 109 m³/an), dont 18 109 m³ (82%) de surface et 4 109 m³ (18%) sont souterraines. Les études effectuées par le Conseil Economique Social et Environnemental (2000) et la 3^{ème} Communication Nationale du Maroc à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (2016), ont montré que les ressources en eau au Maroc tendent vers une pénurie à partir de l'année 2020. En effet, ses ressources en eau sont passées de 2500 m³ par habitant par an en 1960 à moins de 650 m³ en 2014 et vont chuter en dessous de 500 m³ d'ici 2030. Ce constat nécessite de s'orienter vers une politique nouvelle de gestion des ressources en eau non conventionnelles à savoir les rejets liquides (eaux usées) afin de les valoriser comme une ressource supplémentaire (Agoumi, 2006 ; Bennouna, 2020 ; Bouslihim, 2020).

Cependant, dans la majorité des collectivités territoriales marocaines, la gestion des rejets liquides reste une problématique inquiétante car la croissance urbaine a subi une vitesse telle qu'elle a souvent dépassé la capacité des communes à assumer cette situation. Et par conséquent, les pressions sur l'environnement en général et sur le cadre sanitaire de la population, deviennent de plus en plus alarmantes (Fagrouch, 2010 ; El hachemi, 2012 ; Gillot, 2020). Dans toute station d'épuration des eaux usées il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute (l'entrée) et de l'eau traitée (la sortie) afin de déterminer les différents paramètres physicochimiques et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement et le rendement d'élimination des pollutions pour donner une bonne appréciation des performances épuratoires de la STEP. La région de Béni Mellal-Khénifra est caractérisée par une variation climatique importante en allant des chaînes du haut Atlas vers la plaine de Tadla. Dans cette région, de nombreuses stations d'épuration des eaux usées ont été implantées sans tenir compte des conditions des milieux (surtout climatiques). Ce qui entraîne à des rendements d'épuration assez bas dans certaines STEPs de la région. C'est dans ce cadre que notre étude de thèse s'intègre pour évaluer l'impact de la variabilité climatique sur les capacités épuratoires de ces dernières.

1. Objectif de l'étude

La région de Béni Mellal- Khénifra incube un grand château d'eau au Maroc, mais à cause de l'explosion démographique, l'irrigation de 206 000 ha dans la région (environ 12% de la superficie irriguée au niveau national), l'alimentation de dix grandes villes marocaines en eau potable, l'irrigation d'une grande partie de la plaine Haouz, l'alimentation de l'Office Chérifien des Phosphates (OCP) en 45 millions m³/an (Groupe OCP, 2013), entraîne la région à connaître,

ces dernières années, une pénurie d'eau. Donc, la réutilisation des eaux usées épurées reste l'un des solutions efficaces pour compenser ces déficits. Mais une telle valorisation d'eaux usées traitées exige le respect des normes bien définies. Ce qui n'est pas le cas pour la majorité des STEP de la région d'étude. Et pour estimer la corrélation entre le climat et le rendement épuratoire des STEP, on est amené à assurer les tâches suivantes :

- La collecte et la superposition des données mensuelles climatiques et celles des performances des STEPs afin de comparer les rendements dans plusieurs contextes climatiques.
- L'analyse descriptive pour cerner l'impact de la variation des paramètres climatiques (Température, Radiation solaire) sur les rendements des différentes STEPs de la région.
- La création d'une base de données spatiale récapitulant toutes les données des différentes STEPs de la région ainsi ses conditions du milieu.

2. Justification du choix du sujet et de la région de Béni Mellal-Khénifra

La région de Béni Mellal-Khénifra a été choisie comme zone d'étude pilote, car elle se caractérise par un climat aride à semi-aride et par une variation des paramètres climatiques sachant qu'il existe une variabilité topographique majeure entre les collectivités territoriales de la région. La région est l'une des régions qui comportes des ressources en eaux très importantes mais à cause du changement climatique et l'utilisation irrationnel de l'Homme, la région vie actuellement un stress hydrique énorme, ce qui tourne la boussole vers l'utilisation des eaux usées et leurs réutilisations pour améliorer la situation socio-économique de la région, mais toujours la question se pose est ce que les stations d'épurations de traitement des eaux usées ayant des bonnes performances épuratoires si non quelles sont les facteurs influençant le bon rendement ? De plus, la majorité des STEPs installées dans cette région sont de type lagunage qui sont très sensible aux conditions climatiques.

3. Organisation du manuscrit

Le mémoire de thèse comprendra trois parties :

- La première partie sera consacrée à une description détaillée de l'état d'art en relation avec le sujet de l'épuration des eaux usées et la variation climatique en la restituant à l'échelle nationale et internationale pour se situer par rapport aux études antérieures et pour préparer une plateforme solide de toutes les connaissances nécessaires.

- La deuxième partie sera déployée pour décrire et présenter notre zone d'étude d'une façon bien détaillée et complète. Dans le premier chapitre, on va essayer de préparer une base de données solide pour discuter et décrire nos résultats obtenus, vu que la thématique à traiter a une relation étroite avec la zone d'étude. Le chapitre 2 de la partie II, récapitule la méthodologie et les techniques utilisées pour cerner la problématique de la gestion des rejets liquides dans la zone d'étude.

- Dans la troisième partie, on va présenter les différents résultats obtenus et de les traiter afin de soulever l'ampleur de l'impact des variabilités climatiques (surtout la température et la radiation solaire) sur le rendement épuratoire des stations d'épuration de la région, tout en

proposant des solutions pour augmenter les rendements. D'autre part, une plateforme numérique récapitulative des données des diverses STEPs va être élaborée pour surveiller et faciliter la tâche aux chercheurs et responsables afin de bien gérer leurs fonctionnements et de prendre les bonnes décisions.

Finalement, le manuscrit se terminera par une conclusion générale synthétisant les principaux résultats obtenus, ainsi que quelques recommandations et perspectives pour remédier la situation.

PARTIE I :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET
ETAT DE L'ART

I. Introduction

Dans un monde où la demande en eau douce augmente sans cesse, et où les ressources en eau limitées subissent de plus en plus des contraintes du fait de la surexploitation, de la pollution et des changements climatiques, il est tout simplement impensable de négliger les opportunités qu'offre l'amélioration de la gestion des eaux usées.

Les eaux usées ont été longtemps considérées comme un fardeau en matière d'assainissement, lorsqu'elles ne sont pas tout simplement ignorées. Avec la raréfaction de l'eau dans plusieurs régions, cette situation connaît une évolution, et on reconnaît de plus en plus l'importance de la collecte, du traitement et de la réutilisation des eaux usées. La question des infrastructures constitue une préoccupation centrale dans tous les pays. La disponibilité des données reste un défi persistant, en particulier dans les pays en développement

Dans cette partie nous étudierons les différentes caractéristiques des eaux usées et les différents procédés de traitements des eaux usées utilisées pour l'épuration des eaux usées surtout les stations de type lagunage naturel, ainsi la situation de traitement des eaux usées au Maroc, puis une description de la variabilité climatiques et les différents paramètres climatiques qui peuvent influencer la qualité eaux usées épurées, en suite une aperçu sur les notions de base du SIG qui va utiliser pour la création d'une plateforme numérique de gestion des stations d'épuration.

II. Notions et processus de gestion des eaux usées

II.1.Eaux usées

Les eaux rejetées après usage dans des activités domestiques, industrielles, artisanales ou agricoles et après les précipitations constituent des eaux usées. Ceux-ci se répartissent généralement en trois grandes catégories :

- Eaux usées domestiques,
- Eaux usées industrielles,
- Eaux pluviales et ruissellement,

Les eaux usées sont composées d'environ 99 % d'eau et de 1 % de solides en suspension, colloïdaux et dissous. Les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées ou mal traitées peuvent être regroupées en trois catégories :

- Effets nocifs sur la santé humaine,
- Impact négatif sur l'environnement,
- Effets négatifs sur l'activité économique,

Les eaux usées sont souvent considérées comme une nuisance plus qu'une ressource. Cependant, elles représentent une grande source de substances précieuses : eau, énergie, nutriments, matière organique et autres sous-produits. Elles constituent une partie essentielle du cycle de l'eau et doivent être gérées tout au long du cycle de gestion de l'eau : depuis le captage, le traitement, la distribution, la collecte et l'utilisation de l'eau post-traitée, jusqu'à la réutilisation de l'eau et son retour ultérieur dans l'environnement pour réapprovisionner les sources d'eau pour abstraction ultérieure.

II.2.Eaux usées domestiques

L'eau usée domestique fait référence aux eaux usées provenant de divers usages domestiques. Ils comprennent les eaux grises et les eaux noires. L'eau grise est l'eau provenant par exemple des baignoires, des douches, des éviers, des machines à laver. Leur charge polluante comprend des savons, des détergents, des graisses (de cuisine) et des phosphates dans certains produits de lessive. L'eau noire est l'eau qui provient des toilettes et transporte l'urine et les matières fécales. Elles peuvent être nocives pour la santé car ils véhiculent des maladies d'origine virale et bactérienne. Leur charge polluante comprend des substances azotées (protéines d'urée), des organophosphorés d'origine métabolique et des résidus de médicaments (œstrogènes, antibiotiques, ...etc).

II.3.Eaux usées industrielles

Les eaux usées industrielles comprennent, en principe, toutes les eaux rejetées d'une usine dans l'environnement extérieur, où elles sont fabriquées, nettoyées, transportées et refroidies (Woodard, 2001). Généralement, ils comprennent :

- Eau du processus,
- L'eau du circuit de refroidissement,
- Eau pour le lavage des sols et des machines,
- Émissions des services généraux,

Selon le dernier rapport d'ONU-Eau (UN WATER, 2017), l'industrie est l'activité humaine qui produit le plus d'eaux usées. La composition et la concentration des eaux usées industrielles varient selon le type d'industrie (Shi, 2000). Par conséquent, chaque opération industrielle produit une quantité et une qualité spécifiques d'eaux usées, qui peuvent contenir des quantités importantes de polluants (More et al, 2012).

En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques et des hydrocarbures (Mohsen et Jaber, 2003). Une partie de cette eau peut être toxique pour les espèces aquatiques, les plantes et les humains. Les principales propriétés physiques des eaux usées industrielles sont la teneur en solides, le pH, la salinité, la couleur, l'odeur et la température, tandis que parmi les principales propriétés chimiques, on peut remarquer la matière organique exprimée en demande chimique en oxygène (DCO), en demande biologique en oxygène (DBO₅), en carbone organique total (COT), en azote (ammoniacque, organique, nitrite, nitrate) ou en phosphore (organique et inorganique).

Au cours de ce siècle, d'importants volumes d'eaux usées industrielles sont rejetés directement dans les cours d'eau ou les réseaux de collecte. Les raisons invoquées tourneront autour de l'absence ou de l'insuffisance des infrastructures de traitement.

Corcoran et al. (2010) et Piadeh et al. (2014) montrent que, dans le monde, deux millions de tonnes d'eaux usées industrielles sont rejetées dans les cours d'eau, et environ 90 % de ces eaux usées sont rejetées sans traitement dans les rivières, les lacs ou les océans des pays en développement. Seyhi et al. (2011) et Zheng et al. (2015) affirment que le traitement et la réutilisation des eaux usées industrielles est un moyen d'améliorer la capacité d'approvisionnement en eau, en particulier dans les pays en développement.

II.4.Eaux pluviales

Les eaux pluviales peuvent altérer les sols, les édifices et structures, les décharges et tous les matériaux rencontrés lors de leur ruissellement en produisant des eaux chargées en divers polluants. Ces derniers ont certainement des impacts négatifs sur les milieux récepteurs. De plus, les eaux pluviales peuvent provoquer des inondations si les précipitations sont torrentielles en entraînant des dégâts catastrophiques.

II.5.Caractéristiques des eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques se caractérisent par les critères suivants :

- Critères organoleptiques : Odeur (exprimée en seuil de perception à 25°C), saveur (seuil de perception à 25°C), couleur (unité Pt en mg/l), turbidité (NTU)
- Critères physicochimiques : MES (mg/l), pH, T°C, salinité (mg/l), Cond. Élect (µS/cm à 25°C), dureté totale (Ca²⁺⁺Mg²⁺) (mg/l), Na⁺ K⁺ (mg/l), Titre alcalimétrique (OH⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻) (mg/l), Cl⁻, SO₄²⁻ (mg/l)
- Critères d'intérêt biologique : N organique, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, P organique, PolyP, OrthoP, COT, DOT en mg/l et DBO₅, DCO en mgO₂/l
- Critères indésirables ou toxiques : Cr, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, Ag, Hg, Cd, Ni, Al, As, Pb, Fe, Se.... en µg/l
- Critères microbiologiques : Bactéries (CT, CF(EC), SF) en UB/100ml, Virus (UFP/l) et Parasites (Œuf d'ascaris/l).

II.6.Paramètres physico-chimiques

La pollution de l'eau est une dégradation qui limite son utilisation et perturbe l'équilibre aquatique, entraînant la perte de toute vie. La réutilisation des eaux usées, nécessite leur caractérisation de point de vue physico-chimique et biologique afin de les mieux qualifier et quantifier (Guerée et al, 1982).

En effet, le degré de pollution des eaux usées est évalué généralement par une série d'analyses physico-chimiques, complétées par des analyses spécifiques pour comprendre les modifications qu'elles peuvent apporter au milieu récepteur. Nous énumérons quelques paramètres importants pour le contrôle des stations d'épuration d'eaux usées (STEP) afin de minimiser les nuisances majeures pour le milieu environnant. Il s'agit de la température, de la conductivité, du potentiel d'hydrogène, de la turbidité, des matières en suspension, de la demande biochimique en oxygène, de la demande chimique en oxygène, de la charge totale d'azote Kjeldahl et de la charge totale de phosphore (Bourrier et al, 2017).

Les principaux critères physico-chimiques permettent la détermination du degré de pollution des eaux usées domestiques sont :

II.6.1. Température

Dans un même environnement, la température (T) des eaux usées est généralement légèrement supérieure à celle de l'eau potable. Le rejet d'eaux usées dans le milieu naturel peut augmenter sa température et réduire la concentration d'oxygène dissous dans le milieu naturel.

C'est un paramètre important du traitement biologique et contribue à purifier la vie des micro-organismes (Veolia Eau, 2008).

La température élevée dans le réseau d'assainissement modifie les conditions chimiques lors du transport des eaux usées, ce qui favorise le développement de la fermentation, le dégagement de gaz tels que le sulfure d'hydrogène (H_2S) (Veolia Eau, 2008), ce qui fait peser des risques pour l'exploitant de certains projets de traitement des eaux usées résiduelles, tels que les dégraissants, ...etc.

II.6.2. Potentiel hydrogène pH

Le potentiel hydrogène (pH) est un indicateur de l'acidité ($pH < 7$), de l'alcalinité ($pH > 7$) ou de la neutralité ($pH = 7$) d'un milieu. Le pH affecte les conditions de la vie biologique, allant de 0 à 14. Pour les eaux usées industrielles, la législation actuelle permet de faire varier le pH entre 5,5 et 8,5, puisqu'à partir de $pH < 4,5$ ou > 8 la station d'épuration biologique des eaux usées est compromise, il faut la neutraliser. Pour les eaux usées domestiques, elle est généralement proche de la neutralité (Veolia Eau, 2008).

La conductivité est un indicateur de la concentration totale de sels dissous dans l'effluent. Parallèlement à la conductivité de l'eau potable, il est possible de déterminer rapidement s'il existe un apport important d'eau parasite du milieu marin dans le réseau de la santé, notamment de l'industrie. Elle est exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu S/cm$) (Parawira et al., 2005 ; Villain, 2012 ; Bourrier et al., 2017).

II.6.3. Matières En Suspension (MES)

Les matières en suspension (MES) correspondent aux substances insolubles contenues dans l'eau. Leur analyse a permis de quantifier la matière facilement séparable dans le système de traitement, et sa séparation s'est faite notamment à l'aide de dosages effectués sur des disques filtrants en fibre de verre. La qualité du résidu est déterminée par la différence de poids, après séchage dans une étuve à $105^\circ C$ pendant 2 heures puis refroidissement dans un dessiccateur. Dans l'eau domestique, la concentration de MES est comprise entre 300 et 500 mg/L. En grande quantité, il constitue une pollution solide et provoque une turbidité (turbidité) dans l'eau, empêchant la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique (Veolia Eau, 2008).

II.6.4. Conductivité électrique

La conductivité en tant que paramètre brut mesure la concentration d'ions dans une solution. Plus il y a de sels dissociés, d'acides ou de bases dans une solution, plus sa conductivité est élevée. Dans l'eau naturelle et les eaux usées, il s'agit principalement d'ions de sel dissous. Par conséquent, la conductivité indique la teneur en sel des eaux usées ou la pureté de l'eau. Par exemple, dans la production industrielle, la conductivité est mesurée pour le contrôle des processus. La conductivité est mesurée en $\mu S/cm$ à $25^\circ C$ et est le produit de la conductance de la solution et de la constante géométrique de la cellule de mesure. Pour les solutions aqueuses, la conductivité de l'eau la plus pure est de $0,05 \mu S/cm$ ($25^\circ C$). La conductivité de l'eau naturelle, comme l'eau potable ou l'eau de surface, est de 100 à $1000 \mu S/cm$ à $25^\circ C$. (Rodier, 2009).

II.7. Paramètres d'intérêt biochimique

Ces paramètres renseignent sur la teneur des eaux usées en matière organique, surtout carbonique. La connaissance du degré de pollution organique exige d'abord la détermination de la quantité d'oxygène nécessaire pour l'oxydation de cette pollution.

II.7.1. Demande Biochimique en Oxygène pendant cinq jours (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO) est une analyse biochimique rigoureuse qui représente la quantité de matière organique biodégradable dans un échantillon. Dans les eaux usées, la concentration en DBO est comprise entre 200 et 400 mg/L (Rassam et al, 2012).

La DBO est la quantité d'oxygène consommée à 20 °C pendant 5 jours dans l'obscurité (DBO₅) pour assurer biologiquement l'oxydation de la matière organique présente dans l'eau : elle correspond à la phase d'assimilation et de biosynthèse.

Le rapport DCO/DBO représente la biodégradabilité de l'effluent. L'effluent est biodégradable lorsque son rapport est compris entre $1 < \text{DCO} / \text{DBO} < 3$, et non biodégradable lorsqu'il est supérieur à 3 (Veolia Eau, 2008).

II.7.2. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est une analyse chimique rigoureuse qui représente la quantité de matière organique biodégradable et non biodégradable dans un échantillon. La DCO estime la quantité de matières chimiquement oxydables (en particulier certains sels minéraux oxydables et la plupart des composés organiques), et donc les composés carbonés contenus dans l'eau. Dans les eaux usées domestiques, la concentration en DCO est comprise entre 500 et 700 mg/L (Veolia Eau, 2008).

II.7.3. Matières Azotées

L'azote dans les eaux usées urbaines existe principalement sous forme organique (urée, protéine, acide urique, amine, etc.) et ammoniac (NH₄⁺). De grandes quantités de nitrates proviennent des raffineries laitières et pétrolières, des cokeries, des usines d'engrais azotés, de l'industrie du bois, des textiles, des produits chimiques, etc. (Véolia Eau, 2008).

L'élimination de l'azote est réalisée par purification biologique, qui se produit dans certaines conditions sous forme de nitrite (NO₂⁻), de nitrate (NO₃⁻) et d'azote moléculaire (N organique). La pollution azotée est donc caractérisée par l'azote global (NGL).

L'azote total se compose de l'azote total Kjeldahl (NTK), du nitrate et du nitrite. L'azote de Kjeldahl est quant à lui constitué d'azote organique, minéral et d'ammonium. Les émissions d'azote dans le milieu récepteur (eau) peuvent entraîner un appauvrissement en oxygène, une eutrophisation, une toxicité pour les poissons et des obstacles à la production d'eau potable (Aghzar et al, 2002).

II.7.4. Pollution phosphatée

Le phosphore se trouve dans les eaux usées existe sous forme d'orthophosphates (PO₄³⁻), de polyphosphates (phosphates inorganiques condensés) et de phosphates organiques (atomes de

phosphore liés à la matière organique). Le phosphore minéral (orthophosphate) représente 60 à 80% du phosphate total (P_2O_5) (Veolia Eau, 2008).

L'élimination du phosphore est réalisée par un traitement chimique et biologique, car il ne peut pas être éliminé sous forme de gaz, mais uniquement piégé dans les boues. La lessive est la principale source de phosphore dans les eaux usées urbaines. On peut également énumérer les activités industrielles qui produisent du phosphore, telles que la production agroalimentaire (pomme de terre, laiterie, élevage industrielle), les blanchisseries industrielles, etc. Le principal danger causé par la présence de phosphore dans l'eau est l'eutrophisation (Abbisy, et al., 1999 ; Boutin, et al., 2000).

II.8. Paramètres microbiologiques

Les eaux usées rejetées dans le milieu naturel doivent être traitées pour protéger l'environnement. Les eaux usées urbaines de type domestique contiennent des eaux grises et des eaux noires. Les eaux noires contiennent des micro-organismes nocifs pour la santé car porteurs de maladies d'origine virale et bactérienne (Winkler, 2012).

Dans le cas d'un rejet d'eaux usées dans des zones dites sensibles (eau de baignade, etc.), ou de réutilisation, les micro-organismes contenus dans les eaux usées urbaines sont analysés. Dans l'ensemble, ces analyses ont été réalisées dans le cadre de la recherche d'une contamination bactérienne. Dans ces analyses, des bactéries comme *Escherichia coli*, *Enterococcus* et *Salmonella* sont rencontrées, mais aussi des virus et des parasites (Bourrier, 2017).

II.8.1. Escherichia coli

Escherichia coli (*E. coli*) est une bactérie généralement pathogène. Il est présent dans les voies intestinales et excrétrices des humains et des animaux et est un composant majeur des coliformes fécaux. Dans les eaux de surface, *E. coli* est un bon indicateur de contamination fécale récente associée à la présence humaine. L'analyse consiste à mettre en culture une partie de l'effluent, suivi d'un dénombrement des bactéries viables pouvant être cultivées. Les résultats sont exprimés en unités formant colonie UFC/100ml (Satin et Selmi, 2006).

II.8.2. Entérocoques

Les entérocoques, également connus sous le nom de streptocoques D, forment un groupe hétérogène de bactéries pathogènes et saprophytes qui résident dans le nasopharynx et l'intestin des humains ou des animaux. Ce sont des indicateurs de contamination fécale ancienne car ils sont plus persistants dans l'environnement. Les résultats sont exprimés en UFC/100ml (Bourrier et al., 2017).

II.8.3. Salmonelles et virus

Les salmonelles, bactéries pathogènes dérivées des matières fécales humaines ou animales, sont responsables de la plupart des maladies d'origine alimentaire. Ils sont présents dans l'eau du bain et sont un indicateur de contamination fécale. Les résultats de l'analyse sont exprimés en nombre de *Salmonella* par litre (Liang et al., 2015).

Les virus (poliovirus, hépatite A, ...etc.) sont abondamment présents dans les égouts municipaux, mais peu de gens les recherchent là-bas. Ces analyses sont un peu plus pratiquées dans les eaux de surface, mais fournissent des informations moins intéressantes que les bactéries. Les résultats sont également exprimés en UFC/100 ml (Satin et Selmi, 2006) (Shuval et al, 1986).

II.8.4. Parasites

Les parasites tels que les formes enkystées des amibes ou les œufs d'helminthes sont rarement recherchés dans les eaux usées résiduaires. Les analyses sont parfois effectuées dans le domaine de traitement des boues dites hygiénisées. Certains protozoaires tels les *Giardias*, responsables d'une parasitose intestinale, sont parfois recherchés dans le cas de la potabilisation de l'eau ou les loisirs nautiques (Lamghari et al, 2005) et (Bourrier et al, 2017).

II.9. Différents procédés de traitement des eaux usées

Le traitement des eaux usées comprend plusieurs étapes : prétraitement, traitement primaire, traitement secondaire, traitement tertiaire, traitement des boues et traitement des odeurs. Dans le cadre des protocoles de rejet (Thomazeau, 1981 ; Veolia Eau, 2008 ; Bourrier et al, 2017), les eaux usées domestiques ou industrielles sont dépolluées avant d'être rejetées dans le milieu récepteur.

Pour faire face aux pollutions carbonées, on utilise des méthodes physico-chimiques, dont la capture des substances décantées en suspension, et des méthodes biologiques d'assimilation des substances solubles ou colloïdales par le principe de la floculation biologique. Les processus biologiques utilisent des techniques dites intensives et extensives (Bronchart, 2007 ; Kone, 2011). Ces technologies seront associées à un traitement secondaire utilisant des procédés biologiques pour améliorer les réductions d'épuration dans les stations d'épuration.

II.9.1. Prétraitement

Le prétraitement est un processus physique qui consiste à éliminer les matériaux les plus grossiers de l'effluent qui peuvent provoquer des blocages de conduites pour protéger l'équipement en aval et les processus de purification. Il comprend différentes unités d'installation dont le criblage, le dessablage, le dégraissage.

a. Dégrillage

Le dégrillage est la première station d'épuration des eaux usées brutes à retenir les déchets encombrants (flottants, traînants, etc.) à travers un maillage de différentes grilles. Selon l'espacement entre les barreaux de la grille, on peut distinguer des opérations telles que le pré-criblage, le criblage intermédiaire, le criblage fin et le criblage. Pour un espacement de 30 à 100mm entre les barreaux de la grille, on parle de pré-criblage. Cette opération est suivie d'un tamis moyen au pas de 10 à 30mm et enfin d'un tamis fin au pas inférieur à 10mm. L'écran peut être en position verticale, incliné de 60° à 80° horizontalement pour plus d'efficacité, ou en position courbe. Le tamis fin peut être étagé, à tambour, à tamis en spirale ou à chaîne. La vitesse moyenne de l'effluent a pu varier entre 0,60 et 1,40 m/s en débit de pointe. Le nettoyage se fait manuellement en amont à l'aide d'un râteau, avec l'intervention d'un technicien placé sur la grille (photo n°1).

En milieu rural, il semble prudent de prévoir des grilles à barreaux largement espacés. L'écartement doit être compris entre 40 et 50 mm, puis une dérivation avec grille de protection est prévue, et des grilles plus espacées sont placées le cas échéant pour pallier le manque de surveillance (Guerée et Gomella, 1983).



Photo 1 : Première étape du prétraitement (dégrilleur, STEP de Boujaâd)

b. Dessablage

Le dessablage consiste à extraire rapidement des éléments lourds décantables des eaux usées brutes, dont la taille varie de 100 à 200 μm , du sable, du gravier et d'autres particules minérales comme il est montré dans la photo n°2.



Photo 2 : Deuxième étape du prétraitement (désableur, STEP de Boujaâd)

c. Dégraissage et déshuilage

Le dégraissage est l'élimination des particules de graisse insolubles (10% à 20% de graisse) par flottation. Le déshuilage consiste à éliminer l'huile présente dans les eaux usées industrielles par écrémage manuel ou mécanique (photo n°3).



Photo 3 : Troisième étape du prétraitement (Dégraisseur et déshuileur, STEP de Béni Mellal)

II.9.2. Traitement primaire

Le traitement primaire consiste à séparer par gravité les solides en suspension et les substances colloïdales de l'effluent prétraité, qui se déposent sous forme de boues au fond du décanteur, dites boues primaires. Le fond du décanteur peut être incliné à 60° (décanteurs statiques) ou équipé horizontalement d'un système de raclage mécanique (décanteurs modernes) pour la récupération des boues. De plus, le flotteur est récupéré à la surface du décanteur par écrémage.

Un décanteur classique permet d'éliminer au moins 50 à 60 % de MES susceptibles d'être décantées de l'eau brute (Satin et Selmi, 2006). Il réduit les caractéristiques dimensionnelles en aval qui éliminent la pollution par le carbone. Cette décantation primaire peut être physique ou physico-chimique, et le décanteur peut avoir une forme rectangulaire, circulaire ou étagée (photo n°4).

Le réservoir de sédimentation en couches a d'excellentes performances de purification, une bonne vitesse de montée du débit de pointe de 10-15m/h, un bon temps de séjour de 10-12min, et le volume est 6 fois plus petit que les deux autres. Par rapport aux décanteurs rectangulaires et circulaires volumineux, ses caractéristiques sont meilleures, avec une vitesse de montée de 2 m/h et un temps de séjour de 0,5 à 2 h (Veolia Eau, 2008). Après décantation physique des solides en suspension, les particules colloïdales de taille trop petite et/ou naturellement décantées lentement subissent une décantation chimique, incluant pesée par floculation mécanique (agitation) et injection de produits chimiques tels que chlorure ferrique, chaux, sulfate d'aluminium, polymères, etc. Il provient de la coagulation de particules colloïdales, qui se déposent au fond de la carafe par gravité. Cette technique, appelée floculation, améliore les performances de décantation (Molle et al., 2004).

En plus des réactifs utilisés, la floculation est optimisée par apport externe de microsable ou par recyclage interne des boues. Cela permet une bonne capture des matières solides en suspension par de bons floes et des vitesses de remontée très élevées. Les deux procédés sont disponibles pour les traitements primaires, tertiaires et mixtes.



Photo 4 : Bassins du traitement primaire (STEP de Boujaâd)

II.9.3. Traitement secondaire

Le traitement secondaire est un traitement biologique qui comprend un traitement amélioré des solides en suspension, des substances solubles et colloïdales dans l'effluent prétraité. Le traitement primaire est suivi d'un bioréacteur dans lequel les bactéries naturellement présentes dans l'effluent subissent une action aérobie en milieu libre ou fixe. Pour ce faire, ils dégradent

la matière organique dissoute et la transforment en biomasse qui subit une décantation. Le flotteur (huile et graisse) est écrémé à la surface du décanteur (Gander et al, 2000 ; Grasmick et al, 2007 ; Le Clech et al, 2006 ; Charfi et al, 2014).

La clarification utilise le principe de la floculation biologique pour traiter les eaux boueuses du décanteur primaire. Ces eaux sont formées de matières particulaires très fines, solubles et colloïdales qui ne sont pas piégées puis subissent une assimilation bactérienne (1/1000 mm) en conditions aérobies et forment des agrégats entre elles et/ou avec des particules inertes Bioflocs subissant une décantation (Veolia Water, 2008).

L'eau et la boue peuvent être à co-courant (la même circulation de haut en bas), à contre-courant (l'eau circule vers le haut et la boue circule vers le bas), ou à contre-courant (l'eau s'écoule horizontalement et la boue s'écoule de haut en bas). Les décanteurs secondaires sont également appelés clarificateurs car ils produisent des eaux usées traitées non troubles et claires, rejetant tous les déchets, boues et gaz. A ce stade, la majeure partie du carbone et certaines formes azotées contenues dans l'effluent sont éliminées par des processus de transformation hétérotrophes et autotrophes. Ils convertissent l'azote organique en ions ammonium, qui à leur tour favorisent la nitrification et la dénitrification de l'azote. L'élimination de la contamination par le phosphore nécessite un traitement tertiaire de l'effluent. La transformation secondaire est biologique, utilisant une variété de techniques intensives ou extensives de processus biologiques, soit dans des cultures libres ou fixées (Photo n°5).

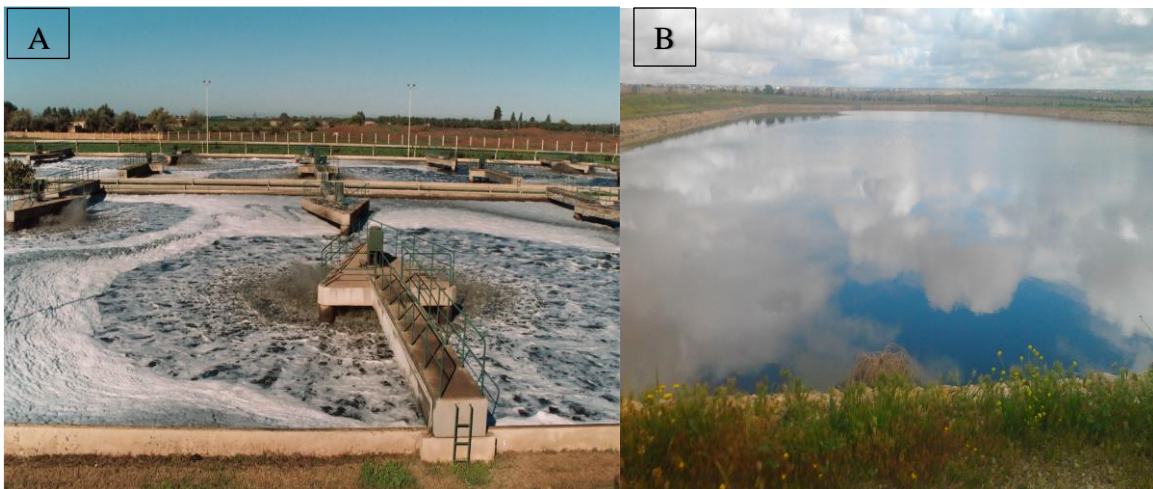


Photo 5 : Bassins du traitement secondaire

(A : Bassin d'aération artificielle, STEP de Boues activées de Béni Mellal et B : bassin facultatif biologique, STEP Lagunage de Boujaâd)

II.9.4. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire a un double rôle :

- Compléter le traitement secondaire ;
- Désinfecter l'excès des microorganismes contenus dans les EUT par :
 - oxydation chimique (n ajoutant de l'eau de Javel, Cl, O₃)
 - action thermique grâce à la radiation solaire (bassin à faible profondeur).



Photo 6 : Bassin du traitement tertiaire (STEP Lagunage de Boujaâd)

II.10. Systèmes extensifs

Un large éventail de techniques comprend la reconstruction d'écosystèmes artificiels optimisés dans lesquels des phénomènes d'autoépuration sont reproduits pour préserver les écosystèmes naturels. Ses applications nécessitent de grandes surfaces et de faibles charges par unité de surface, environ 3 à 5 mètres carrés par équivalent habitant (EH), et des solutions à faible consommation électrique. Ils s'appliquent aux communautés rurales et aux établissements dispersés dont la population est inférieure à 2 000 habitants (Bronchart, 2007).

Le phénomène d'autoépuration désigne le processus biologique naturel de transformation des polluants organiques dans le milieu aquatique (Veolia Eau, 2008).

a) Lagunage naturel

Le lagunage est un processus biologique naturel qui utilise le phénomène d'autoépuration pour stabiliser l'équilibre du milieu aquatique. Il reçoit de l'eau brute prétraitée dans le premier bassin construit artificiellement (Figure n° 1).

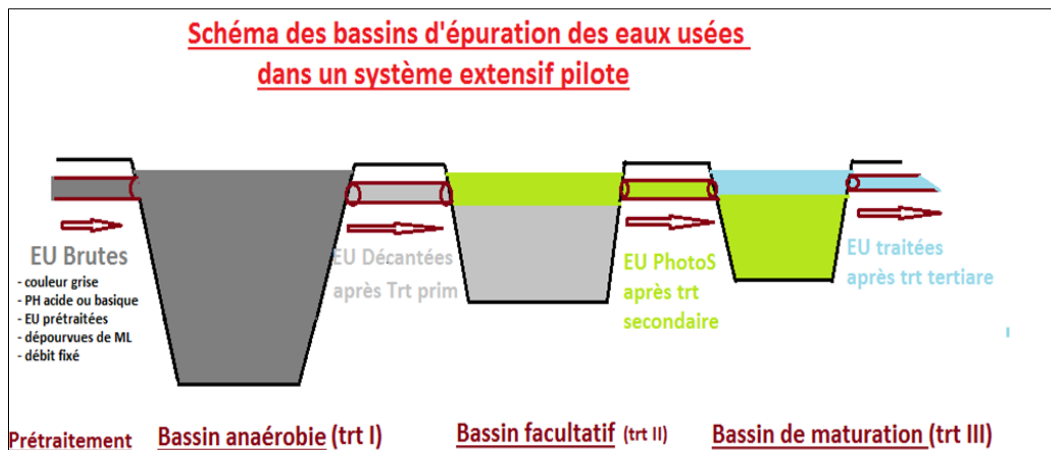
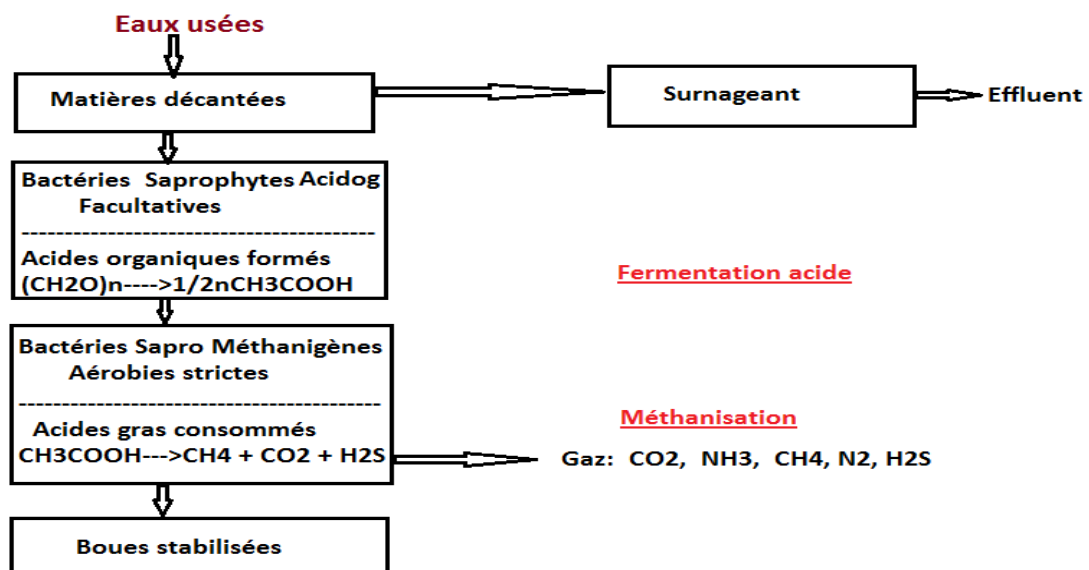


Figure 1 : Traitement des eaux usées par lagunage naturel

Le traitement primaire consiste à faire passer les eaux usées prétraitées à travers un bassin plus profond anaérobie à rôle principale la décantation des matières en suspension. Dans les conditions de ce bassin, la réaction de la méthanisation est principale (figure n° 2).



Processus de l'épuration des EU dans le bassin anaérobie

Figure 2 : Processus de la méthanisation dans le bassin anaérobie du lagunage naturel

Dans le bassin II du lagunage naturel, le traitement est principalement biologique grâce à une sorte de complémentarité entre les micro-organismes et les algues pour dégrader et assimiler la matière organique transportée par les eaux usées (figure n° 2).

L'installation lagunaire naturelle se présente sous la forme d'un bassin ou succession de bassins, expliquant une méthode naturelle et écologique d'épuration, un procédé appelé "action biologique" dans lequel des micro-organismes effectuent un traitement biologique.

Le traitement biologique dans les lagunes s'effectue selon une relation particulière, notamment dans le bassin de traitement II. L'oxygène nécessaire aux bactéries est apporté par

la chlorophylle lors de la photosynthèse sous l'action des rayons ultraviolets du soleil. En présence d'oxygène, les bactéries dégradent la matière organique et la transforment en minéraux très utiles aux algues. Et donc se produit, dans le bassin secondaire, une sorte de symbiose entre les phytoplanctons et les bactéries (figure n° 3).

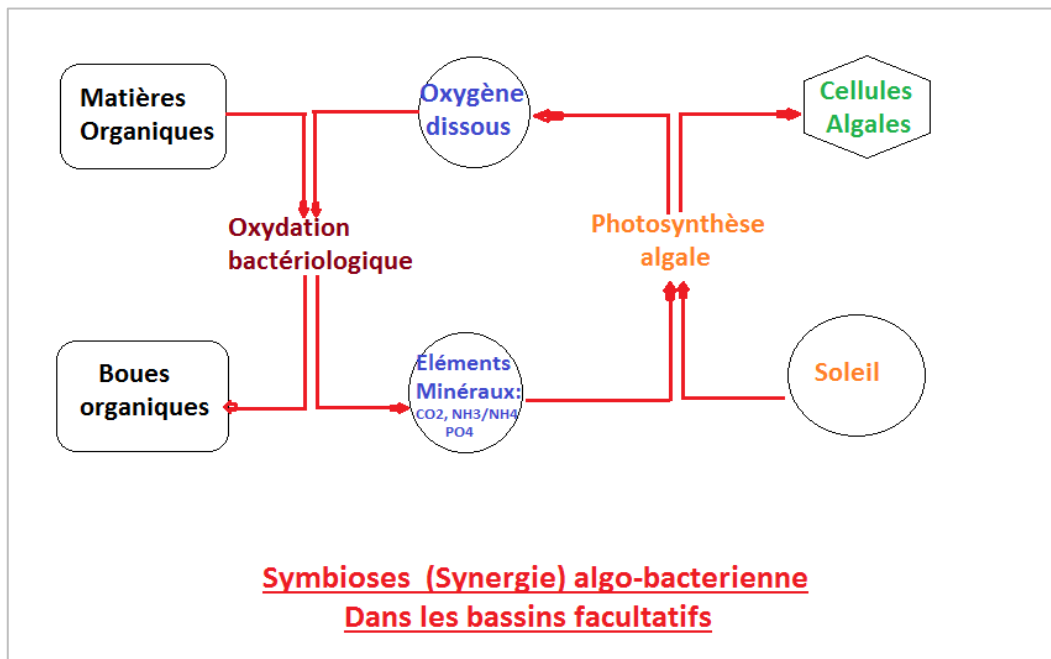


Figure 3 : Processus de la symbiose algo-bactérienne dans le bassin II du lagunage naturel

En raison de sa facilité d'utilisation et de son efficacité, la technologie du lagunage naturel a connu une croissance significative à la fois dans les pays en développement et en Europe.

Les avantages du lagunage naturel peuvent être résumés comme suit :

- Moins coûteux ; ne nécessite pas de matériels assez perfectionnant ;
- Système simple, naturel et autonome et fait l'autoépuration seulement en se basant sur les conditions du milieu et en particulier les conditions climatiques ;
- N'utilise pas d'énergie électrique, mais il utilise seulement l'énergie solaire.

Par contre, les inconvénients du lagunage naturel sont comme suit :

- Demande une surface assez grande et par la suite le temps de séjour est grand ;
- Très sensible aux conditions climatiques et surtout la température ;
- Produit des algues (ou phytoplanctons), odeurs et insectes qui peuvent gêner la population riveraine.

b) **Lagunage aéré**

La chaîne de traitement est constituée de plusieurs bassins, à l'image du lagunage naturel, mais dans ce cas il existe une unité d'aération artificielle pour alimenter les bassins en oxygène. L'oxygénation est réalisée par aération de surface ou soufflage.

Après le prétraitement, les eaux usées s'écoulent successivement dans les trois réservoirs de traitement. Au niveau du bassin d'aération, la matière organique des eaux usées est dégradée

par des micro-organismes aérobies (bactéries) qui consomment et absorbent les nutriments grâce à l'oxygénation artificielle dans ces bassins (Figure n° 4).

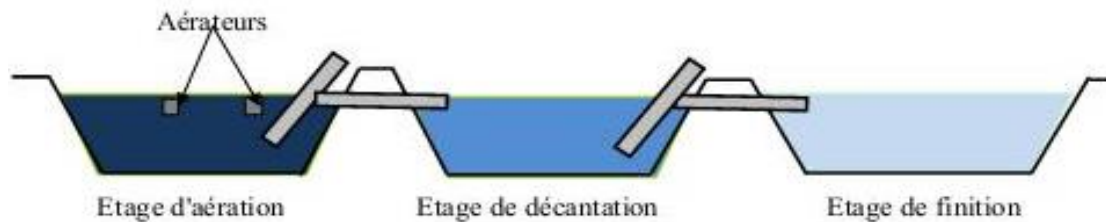


Figure 4 : Système d'aération dans le lagunage aéré

Les avantages du traitement des eaux usées par le lagunage sont encore plus importants. D'un point de vue économique, le coût d'installation de ce type de station d'épuration est moindre car elle ne nécessite pas d'électricité et le temps d'installation est plus court. Comme d'autres procédés, le lagunage lui-même présente certains inconvénients : il nécessite une grande surface, une variation saisonnière de la quantité d'eau traitée, une élimination incomplète de l'azote et du phosphore et une extraction difficile des boues.

c) **Filtres plantés**

Les filtres de plantation sont constitués de bassins artificiels équipés de matériaux filtrants (sable, gravier ou cailloux) à travers lesquels passent les effluents bruts (prétraités ou non). La pollution organique est naturellement dégradée par les bactéries fixées au lit et les macrophytes qui le supportent. L'aération se fait par diffusion sur la surface du filtre, soit en alternant les phases d'alimentation et de repos (filtres verticaux), soit naturellement en continu (filtres horizontaux). La présence de végétaux et la cheminée d'aération du drain inférieur favorisent la diffusion de l'oxygène en profondeur dans le filtre (Bronchart, 2007 ; Eme, 2012 ; Lombard et al, 2017).

d) **Filtres à sables**

Les filtres à sables mouvants verticaux (osmose-percolation) sont constitués d'un matériau filtrant composé uniquement de sable. L'unité peut également être utilisée comme plancher de finition après une unité de traitement de stratifié traditionnel (Bronchart, 2007).

e) **Epuration des eaux usées par le sol**

Le sol se comporte comme un milieu biologique très actif et très riche en microorganismes qui permettent de dégrader la matière organique en milieu aérobie. Sa texture et sa structure lui rendent comme un filtre pour tous les constituants des eaux usées brutes.

Pour faire traiter les eaux usées, à travers le sol, on distingue plusieurs expérimentations :

e₁- **Assainissement individuel (ou autonome)**

C'est une sorte de fosse septique contrôlée installée à la sortie d'un égout unitaire d'une habitation ou petit groupe d'habitations.

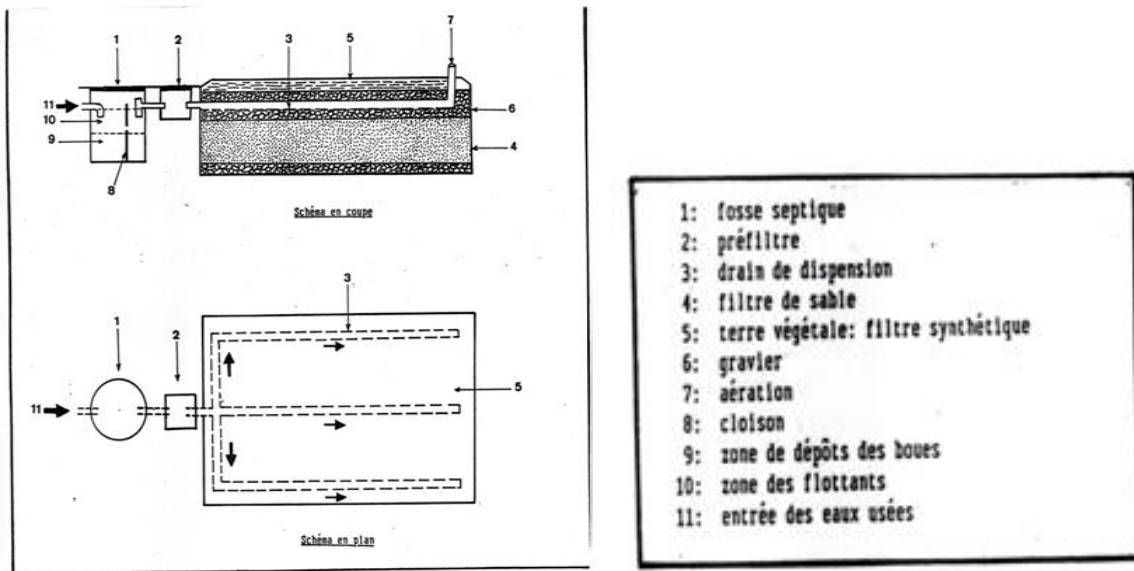


Figure 5 : Assainissement autonome

e2- Infiltration – percolation

Dans un bassin d'épandage, on fait infiltrer les eaux usées brutes à travers une succession de faciès granulométrique décroissante et à la base de la colonne, on percole les eaux usées traitées pour être servir à divers usages.

e3- Sur-irrigation – drainage

On fait sur-irriguer une parcelle de cultures avec les eaux usées brutes pour satisfaire leur besoin et en même temps l'excès va s'infiltrer à travers le sol pour être récupérer grâce à un drain souterrain pour servir à des fins diverses.

e4- Ruissellement dans une roselière (ruissellement contrôlé)

On fait irriguer une parcelle inclinée de plantes avec les eaux usées brutes pour favoriser le ruissellement par rapport à l'infiltration. A l'aval de la parcelle en pente, on percole les eaux usées traitées après avoir subies une assimilation par les cultures qui sont rangées en lits étagés.

e5- Chenal Algal à Haut rendement (High Rate Algal Ponds (HRAP))

C'est un bassin qui se caractérise par :

- Une forme d'un chenal à coins arrondis à fin d'éviter les zones mortes ;
- Peu profond, avec profondeur = 0,2 – 0,6m ;
- Le brassage de la roue à aube pour oxygéner le milieu ;
- La vitesse de circulation de l'eau est 5 cm/s ;
- Temps de séjour très court : 2 – 6j ;
- La faible profondeur et le temps séjour font que c'est système très sensible à la variation brusque de la charge et aux conditions climatiques ;

Donc, c'est système réalisé pour produire des algues en grande quantité (servant à la nourriture des bétails, extraire des protéines...).

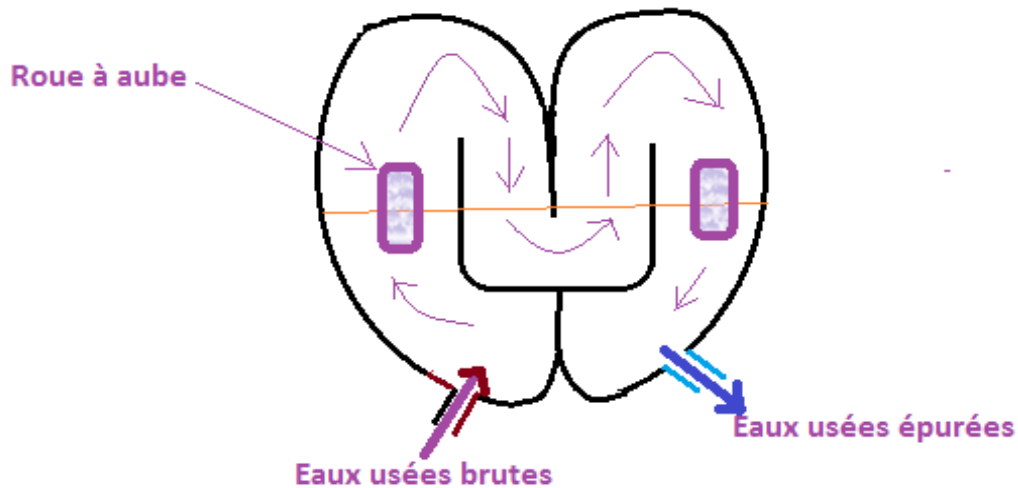


Figure 6 : Schéma d'un Chenal Algal à Haut Rendement

II.11. Systèmes intensifs

Les techniques d'intensification comprennent l'application de méthodes modernes pour contrôler les mécanismes d'épuration avec des cultures libres ou fixées pour protéger les écosystèmes naturels. Ils les isolent et les modélisent pour contrôler l'opération. Ces systèmes consomment plus d'énergie et sont utilisés pour des populations de plus de 2 000 EH (Bronchart, 2007).

a) Boues activées

Il s'agit d'une épuration biologique de la biomasse libre basée principalement sur l'activité métabolique des microorganismes en suspension ; en conditions aérobies, dans des bassins d'aération. Ces microbes se nourrissent de matière organique et flottent librement dans le liquide aéré sous forme de bioflocs. Après une oxygénation adéquate, les boues sont séparées de l'eau traitée au niveau du décanteur secondaire (clarificateur), tout en permettant l'évacuation de l'eau épurée et la réinjection de la biomasse active dans le bassin d'aération.

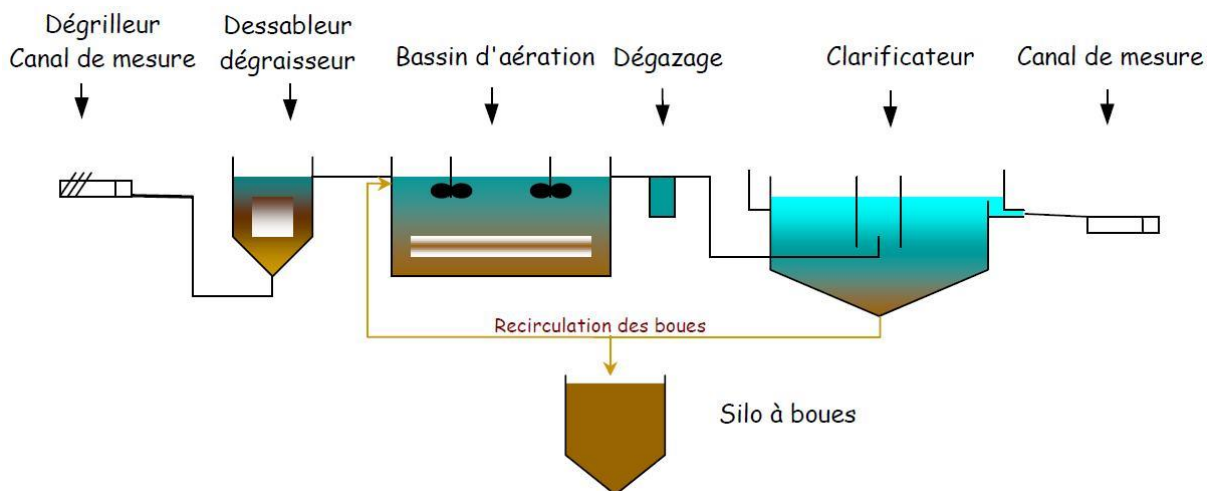


Figure 7 : Traitement des eaux usées par boues activées

Le procédé à boues activées est actuellement le procédé le plus utile dans le traitement biologique des eaux usées car il présente de nombreux avantages :

- La sécurité du degré d'épuration de l'eau traitée, car les principaux facteurs influant sur le traitement (eaux usées, boues activées) sont maîtrisables, de sorte que les paramètres de pollution peuvent être bien éliminés ;
- Facilité la mise en œuvre d'une déphosphoration simultanée ;
- Une phase de démarrage courte par rapport aux autres procédés ;
- Moins sensible à la température et ne présente pas une source de développement des insectes et des mouches ;
- Ce procédé est adapté à toutes les sortes des collectivités sauf celles qui sont très petites.

Malgré, ces importants avantages, le procédé n'est pas parfait, mais présente plusieurs inconvénients tels que :

- Coût d'installation de la STEP assez important ;
- Consommation d'une forte énergie ;
- Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ;
- Sensibilité aux surcharges hydrauliques ;
- Forte production de boues qu'il faut concentrer (sécher) et traiter avant toute valorisation.



Photo 7 : Lit de séchage des boues extraites de la STEP de Boujaâd

b) Lits bactériens

Une des technologies de traitement biologique aérobie de la biomasse immobilisée des eaux usées. Le principe du procédé est de fournir des eaux usées ; pré-versées pour éviter le colmatage de la matière ; une structure, contenant une grande quantité de matière, qui agit comme un support pour la purification des micro-organismes, dans laquelle se forme un biofilm, qui varie selon la nature du matériel utilisé, bien que souvent par des moyens naturels ou une ventilation forcée pour maintenir la demande en oxygène.

Il peut être fait de cendres volcaniques ou de matière plastique séparée. Les eaux usées sont réparties sur la surface du lit au moyen de bras rotatifs, puis s'écoulent dans le lit par gravité,

de sorte que les polluants contenus dans l'eau sont assimilés par les microorganismes formant la membrane. Les organismes comprennent les bactéries aérobies de surface et les bactéries anaérobies profondes, tandis que les sous-produits et le dioxyde de carbone sont expulsés dans des fluides liquides ou gazeux.

A la base du lit un mélange d'eau traitée et de biofilm, ce dernier se détache de support sous l'effet de la charge hydraulique ; est retenu puis évacué vers le décanteur secondaire qui piège le biofilm sous forme des boues et rejette l'eau traitée dans le milieu naturel. Un phénomène de recirculation des eaux du décanteur secondaire est réalisé afin d'obtenir des résultats d'épuration optimaux. Ce système de traitement présente certains avantages tels que, la faible consommation électrique, l'exploitation simple, la bonne résistance aux surcharges organiques passagères et l'obtention des boues bien digérées dans la plupart des cas.

Le fonctionnement de ce procédé est résumé dans la figure suivante :

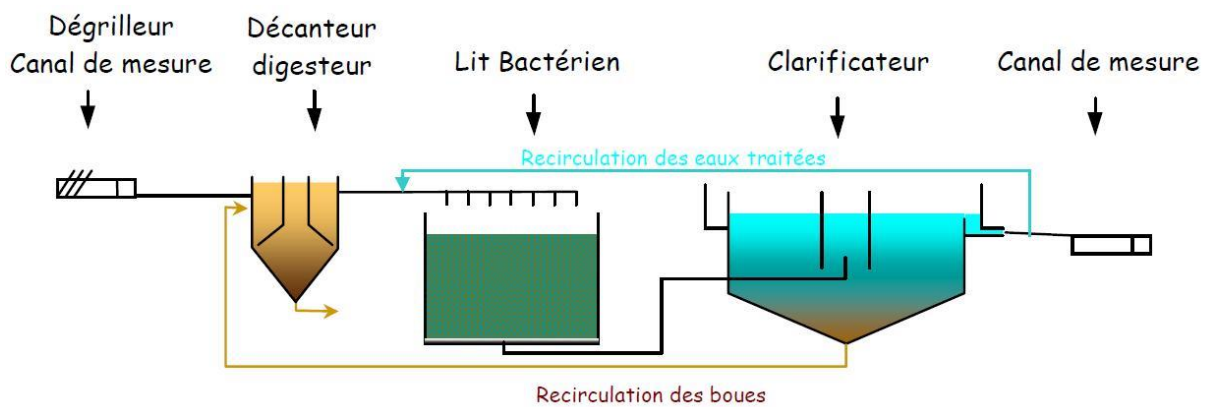


Figure 8 : Traitement des eaux usées par lit bactérien

c) Disques biologiques

Le disque biologique est un procédé de culture biologique aérobie immobilisé autour du disque. Le disque est constitué de plusieurs disques fins en plastique ou en métal, de 10 mm d'épaisseur, de 2 à 3 m de diamètre, espacés de 1 à 2 cm. Ils sont montés sur un arbre horizontal, reliés à un moteur électrique et fonctionnent sur le même principe que les lits bactériens (Figure n°9). La contamination est dégradée par des micro-organismes fixés sur les disques, dont 40 % de la surface baignent dans les eaux usées. Le mouvement de rotation du disque alimente et oxyde le biofilm, où il s'accumule et où il s'accumule jusqu'à une épaisseur de 5 mm, se sépare, puis est envoyé vers le décanteur secondaire. Conçu pour les petites stations d'épuration de 5 000 EH, le disque est adapté aux espaces réduits, avec 2 mètres carrés de surface de disque par habitant. Le rendement de purification théorique doit être supérieur ou égal à 95 % de DBO₅, 90 % de MES, 75 % de DCO et 60 % de NTK (Bourrier et al., 2017).

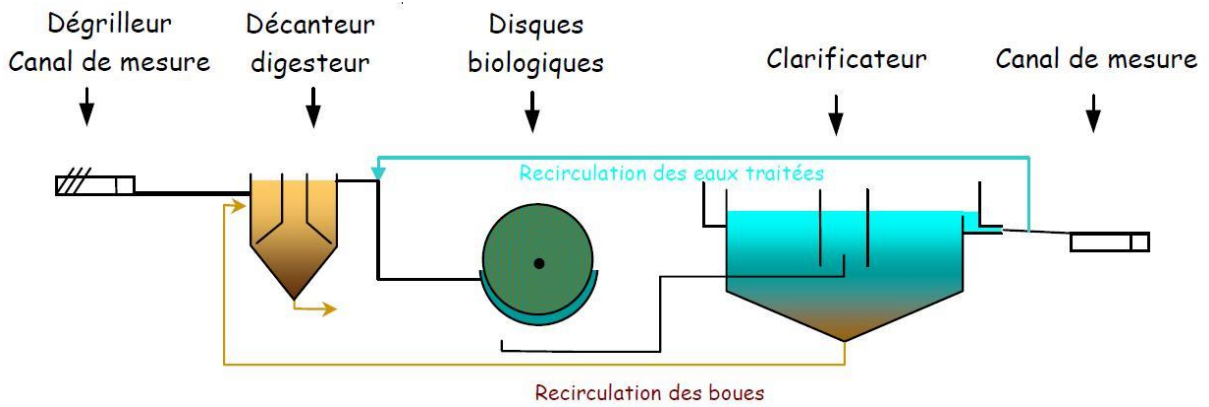


Figure 9 : Traitement d'eau usée par disque biologique

III. Situation du traitement des eaux usées au Maroc

Suite au développement des activités urbaine, agricole et industrielle au Maroc, la production des eaux usées est devenue très importante ; ceci provoque un grand risque sanitaire et environnemental tel que la nuisance à la santé humaine ainsi qu'à la qualité des plantes, du sol et des nappes phréatiques (Aboulouafa et al., 2009). Le traitement des eaux usées devient donc nécessaire pour la préservation de la santé publique, de l'environnement et de la contribution au développement durable du pays. En effet, à travers le monde, plusieurs gouvernements mettent au cœur de leurs préoccupations agricoles le traitement et l'assainissement des eaux usées pour être réutilisées en agriculture. Les travaux d'Aboulouafa et al. (2009), Cadillon (1992), Kathir (1991), El halouani (1990) se sont orientés dans ce sens. L'assainissement a aussi pour objectif de protéger l'environnement contre les risques dus aux rejets des eaux usées (Zerrouki, 2009). Ainsi, en réutilisant les eaux usées traitées en agriculture, on répondra à une pénurie d'eau qui se fait sentir dans un pays où la majeure partie des terrains est à climat aride ou semi-aride (Hachemi et al., 2012 ; El addouli et al., 2009).

Depuis 1958, plusieurs stations d'épuration des eaux usées (STEP) ont été construites au Maroc (Mountadar et al, 2006), mais, la grande majorité est hors service ou n'a pas été raccordée au réseau pour des raisons diverses : inadaptation de la filière de traitement aux conditions locales, défaut de conception des ouvrages, manque d'entretien, problèmes de gestion (absence de budget, manque de cadres techniques compétents), absence de planification à court et long terme. Seul 8 % des eaux usées sont épurées, le reste est déversé directement dans la mer (52 %), dans le réseau hydrographique (32 %) et les fosses septiques, ce qui entraîne une pollution importante du littoral, des cours d'eau et des nappes phréatiques.

La situation du Maroc actuelle, en termes de croissance démographique, conduit à une augmentation individuelle en consommation d'eau, ce qui provoque une augmentation importante des rejets d'eaux usées. De ce fait, le volume annuel de ces rejets a augmenté au cours des quatre dernières décennies d'une façon remarquable. Il est passé de 48 à 500 millions de m³/an, de 1960 à 1999, et même il a atteint à peu près 900 Mm³ au cours de 2020. (CSEC, 1994 ; Hassane et al, 2016 ; Metz et al, 2011). (Figure n° 10)

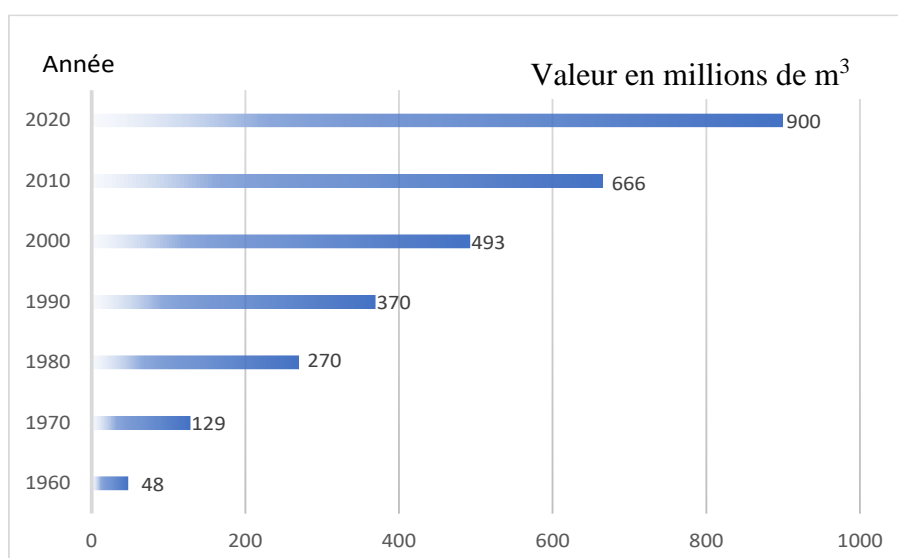


Figure 10 : Volume d'eaux usées rejetées entre 1960 et 2020 (Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat, 1994)

Le système d'assainissement au Maroc est insuffisant. Confrontées à un taux d'assainissement au niveau national de seulement 13 % en 2004, les autorités marocaines ont approuvé le Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA) qui a été lancé en 2005, conjointement par le Département de l'Environnement et le ministère de l'Intérieur. Le PNA fixe les objectifs spécifiques suivants pour l'horizon 2020 et 2030 :

- Atteindre un taux de raccordement global au réseau d'assainissement en milieu urbain de 75% en 2016, de 80% en 2020 et de 100% en 2030 ;
- Atteindre un volume des eaux usées traitées de 50% en 2016, de 60% en 2020 et de 100% en 2030.

Le PNA consiste à la réhabilitation et l'extension du réseau, le branchement et le renforcement du réseau pluvial et la réalisation des stations d'épuration (traitement primaire, secondaire, voire tertiaire) pour équiper 330 villes et centres urbains avec un total de plus de 10 millions d'habitants. Le coût global du programme d'investissement est de l'ordre de 43 Milliards de Dirhams jusqu'en 2020 (PNA et ministre de l'Environnement, 2020).

Grâce à ce plan, le Maroc dispose aujourd'hui d'une importante infrastructure d'épuration des eaux usées composée de 153 stations d'épuration des eaux usées urbaine d'une capacité de 3,38 millions de m³ (Mm³). Sur le registre de la réutilisation des eaux usées traitées, quelque 45 Mm³ d'eaux ont été mobilisés, dont 23 millions sont réutilisés dans la l'irrigation des parcours de golf, des zones vertes ainsi qu'à des fins industrielles, a-t-il précisé lors de la séance annuelle de la Chambre des conseillers consacrée à la stratégie nationale de l'eau 2009-2020.

Pour faire face au stress hydrique, l'accent est mis sur la réutilisation des eaux usées traités dans le programme national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation 2020-2027, afin de mettre en œuvre 89 projets pour la réutilisation d'environ 100 Mm³ chaque année.

Quant au taux de traitement des eaux usées, il a atteint 56 % en 2020 en comparaison avec 7 % en 2006, soit l'équivalent de 94 % des objectifs programmés.

L'ONEE, qui est chargé du traitement des eaux usées, est responsable de la réalisation des projets d'assainissement dans les centres qui en ont reçu le mandat.

IV. Impacts du rejet d'eaux usées

Le rejet d'eaux usées non traitées ou partiellement traitées dans l'environnement peut entraîner une contamination des eaux de surface, du sol et des eaux souterraines. Une fois déversées dans les plans d'eau, les eaux usées sont diluées et transportées en aval ou s'infiltrent dans les aquifères, affectant la qualité des réserves d'eau douce. L'océan est souvent la destination finale des eaux usées rejetées dans les rivières et les lacs.

Les conséquences du rejet d'eaux usées non traitées ou traitées de façon inadéquate peuvent être divisées en trois catégories : les effets néfastes sur la santé associée à la dégradation de la qualité de l'eau ; les effets négatifs sur l'environnement résultant de la dégradation des ressources en eau et des écosystèmes ; et les impacts potentiels sur l'activité économique (PNUE, 2015).

IV.1. Effets sur la santé humaine

Alors que l'assainissement des ménages s'est considérablement amélioré depuis 1990, des risques pour la santé publique subsistent en raison d'un mauvais confinement, de fuites lors de la vidange et du transport, et d'un traitement inefficace des eaux usées. On estime que seulement 34% des zones urbaines et 26% des zones rurales disposent de services d'assainissement et d'assainissement qui empêchent efficacement le contact humain avec les excréta dans la chaîne d'assainissement et peuvent donc être considérés comme gérés en toute sécurité (Hutton et Varughese, 2016).

Les maladies liées aux eaux usées et à l'assainissement sont répandues dans les pays où la fourniture de ces services est insuffisante, l'utilisation informelle des eaux usées non traitées pour la production alimentaire est élevée et les pays dépendent des eaux de surface contaminées pour la consommation et les loisirs.

En 2012, quelques 842 000 personnes dans les pays à revenu faible ou intermédiaire sont mortes à cause de l'eau potable contaminée, d'installations de lavage des mains inadéquates et de services d'assainissement inadéquats ou inadéquats (OMS, 2014). L'amélioration de l'assainissement et du traitement des eaux usées sont également des stratégies d'intervention clés pour le contrôle et l'éradication de nombreuses autres maladies, notamment le choléra et certaines maladies tropicales négligées telles que la dengue, la dracunculose, la filariose lymphatique, la schistosomiase, les géohelminthiases et le trachome (Chaignat et al, 2010). L'utilisation d'un assainissement amélioré peut réduire considérablement les risques pour la santé et d'autres avantages pour la santé peuvent être obtenus grâce à la fourniture de services d'assainissement et d'une gestion sûre des eaux usées.

IV.2. Effets environnementaux

Le rejet d'eaux usées non traitées dans l'environnement affecte la qualité de l'eau et, par conséquent, la quantité d'eau qui peut être utilisée directement. Les préoccupations concernant la qualité de l'eau deviennent un aspect important de la sécurité de l'eau dans le monde. La pollution de l'eau dans la plupart des fleuves d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie est en augmentation depuis 1990 en raison de la croissance démographique, de l'augmentation de

l'activité économique et de l'expansion agricole, entraînant une augmentation des volumes d'eaux usées, ainsi que des rejets non pollués d'eaux usées sans traitement (ou seulement des niveaux minimaux) (PNUE, 2016). Une mauvaise gestion des eaux usées a également des impacts directs sur les écosystèmes et les services qu'ils fournissent (Corcoran et al, 2010).

L'eutrophisation provoquée par un excès d'azote et de phosphore peut entraîner une prolifération d'algues potentiellement toxiques et une perte de biodiversité. Le rejet d'eaux usées non traitées dans l'océan est en partie responsable de l'augmentation des zones mortes de désoxygénation : environ 245 000 km² d'écosystèmes marins sont touchés, affectant la pêche, les moyens de subsistance et les chaînes alimentaires (Corcoran et al, 2010).

IV.3. Effets économiques

Étant donné que la disponibilité de l'eau douce est essentielle au maintien du bien-être économique de toute communauté humaine, la mauvaise qualité de l'eau est un autre obstacle au développement économique. La mauvaise qualité de l'eau peut entraver la productivité agricole dans les zones rurales et périurbaines. L'eau contaminée peut affecter directement les activités économiques consommatrices d'eau, telles que la production industrielle, la pêche, l'aquaculture et le tourisme (PNUE, 2015a), et peut indirectement restreindre l'exportation de certains produits en raison de restrictions (voire d'interdictions) sur les produits contaminés. En conséquence, de nombreux petits États insulaires des Caraïbes dépendent presque entièrement de la santé des récifs coralliens pour le tourisme, la pêche et la protection du littoral (Corcoran et al, 2010), mais ces récifs sont menacés par les rejets d'eaux usées non traitées.

Si la pollution du milieu naturel peut entraver l'activité économique, le tourisme lui-même et la demande croissante d'équipements respectueux de l'environnement peuvent servir de levier pour investir dans l'entretien du milieu naturel et ainsi servir d'impulsion supplémentaire pour une meilleure gestion des eaux usées. Lorsque les rejets d'eaux usées causent des dommages environnementaux, des coûts externes entraînent la perte des avantages potentiels de l'utilisation des eaux usées. Un argument économique en faveur d'une meilleure gestion des eaux usées est que ses éventuels impacts négatifs peuvent être minimisés et ses avantages maximisés. Si les eaux usées sont considérées comme un bien économique, les eaux usées correctement traitées ont une valeur positive tant pour les producteurs que pour les consommateurs (PNUE, 2015b).

V. Variabilité climatique

V.1. Au Maroc

Au-delà des conséquences directes, physiques et climatiques, du réchauffement planétaire, les variabilités climatiques représentent un enjeu majeur pour l'économie et la croissance marocaine, à cause de l'importance du secteur agricole dans l'économie nationale, de la faible capacité des secteurs à forte croissance à créer de nouveaux emplois, de la grande part des produits dérivant de l'agriculture irriguée dans le total des exportations et d'une production basée sur une surexploitation des ressources en eau (Brad, 2011. FAO, 2013).

Le Maroc est situé à l'extrémité sud des latitudes moyennes de trajectoire de la tempête (Knippertz et al.,2003), entre la zone aride du Sahara, la Méditerranée et l'Atlantique, les régions arides sont marquées par de faibles variations saisonnières avec des précipitations

épisodiques, alors que cette variation est modérée dans les régions méditerranéennes et atlantiques, des hivers humides et des étés chauds et secs (Griffiths et Soliman, 1972), on trouve une grande variété de climats allant de climats humides et subhumides modérés au versant nord du Haut Atlas aux climats semi-arides et arides au sud de l'Atlas (Born et al., 2003). Au Maroc, la densité et la qualité des observations est mieux que dans la plupart des autres parties de l'Afrique du Nord, mais encore relativement rares quand nous pensons à l'hétérogénéité spatiale des climats.

A partir de sa position, le Maroc est sous l'influence de l'Atlantique, la Méditerranée et le Sahara, avec une orographie très raide, plusieurs facteurs ont une influence sur les précipitations, à la fois locale et à grande échelle, pourraient être envisagés. Les pluies frontales d'hiver polaires qui affectent régulièrement les parties nord et ouest du Maroc et la côte méditerranéenne, le plus souvent n'atteignent pas la partie sud des montagnes de l'Atlas, la contribution des pluies d'été n'est pas négligeable et aide à maintenir l'approvisionnement en eau dans les oasis dans le nord de la Mauritanie et le sud du Maroc.

À partir des résultats obtenus par Sebbar et al., (2012) par le calcul de l'Analyse en Composantes Principales avec Rotation, cinq zones climatiques ont été identifiées au centre du Maroc, liées à l'altitude, la saisonnalité et la longitude qu'à la latitude. La première zone occupe la zone centrale caractérisée par un climat aride supérieur à hiver tempéré, le couvert végétal est faible et l'évaporation est intense liés au passage des masses d'air déshydratées sur le relief de l'Atlas, la deuxième zone caractérisée par un climat semi-aride inférieur à hiver frais à tempéré de l'est à l'ouest, la troisième classe correspond à la zone méridionale située au bordure du Haut Atlas (altitude 540 à 1200m) correspond à un climat semi-aride inférieur à hiver froid, la classe quatre, le climat est semi-aride supérieur à hiver chaud d'où l'influence de l'océan, la dernière classe occupe les zones montagneuse supérieur à 1500m ainsi on a l'effet de l'altitude par l'augmentation des précipitations et la diminution des températures ; le climat est de type subhumide inférieur à hiver froid à très froid. Hulme (1992) a étudié les données de précipitations maillées et a constaté une augmentation de la variabilité relative des précipitations annuelles au sud des montagnes de l'Atlas de la période de 1931-1960 à 1961-1990. Pendant les années 1980 et 1990, les collines méridionales de l'Atlas sont assez humides, tandis que le Sahel et la région au nord des montagnes de l'Atlas ont connu des conditions de sécheresse (Nicholson et al., 2000).

La variabilité des précipitations marocaines et ses liens avec la circulation atmosphérique à grande échelle en particulier a été étudié en lien avec El Niño–Southern Oscillation (ENSO) et North Atlantic Oscillation (NAO) sur les précipitations au Maroc (Lamb et Pepler, 1987; Ward et al., 1999), d'autres études, quoique moins nombreuses, ont abordé l'évolution du climat observé à l'échelle du Maroc ou de certaines régions. Parmi celles-ci on peut citer Born et al., (2008) qui ont mis en évidence, en utilisant la classification climatique de Köppen (Köppen, 1900), une tendance à l'évolution du climat du Maroc, au cours du 20^{ème} siècle, vers des conditions plus chaudes et plus sèches. L'analyse de l'évolution interannuelle du climat du Maroc obéit à l'évolution générale constatée du climat africain : celui d'une baisse substantielle des précipitations depuis les années 1970 ou 1980 et d'une hausse des températures (Moussa et al., 2009). Ainsi, l'analyse de l'évolution des indices pluviométriques par Benassi (2001) indique une tendance à l'assèchement à partir de 1971. Pour la période 1971-2000, il observe

une baisse de 15% des apports pluviométriques par rapport à l'épisode 1960-1971. Cette analyse est proche de celles faites par Agoumi et Debbah (2006), Moussa et al., (2009), qui divisent la période 1961-2004 en une première période pluvieuse et normale de 1961 à 1972 et une période très peu pluvieuse entre 1972 et 2004 avec deux périodes sèches, longues et critiques : 1972-1995 et 1997-2004. Seules les hautes montagnes et l'extrême nord-ouest reçoivent des cumuls annuels dépassant les 800mm. La majeure partie du pays n'excède pas 400mm en moyenne annuelle. La forte variabilité interannuelle est aussi une caractéristique des précipitations méditerranéennes. Le coefficient de variabilité (rapport de l'écart-type à la moyenne) varie sur le Maroc de 30% à 40% à l'ouest à plus de 70% dans les régions sud (Knippertz et al., 2003, Driouech et al., 2009).

Knippertz et al, 2003, ont subdivisé le Maroc en trois régions pluviométriques : région I ; Région de l'Atlantique correspond à la partie nord et ouest du Maroc, a une pluviométrie hivernale, influencée, en plus du North Atlantic Oscillation, par le déplacement vers le sud de la trajectoire des perturbations des moyennes latitudes, les dépressions locales et les advections d'ouest ramenant de l'air humide.

Les changements des températures et des précipitations affectent significativement le cycle de l'eau de surface (humidité du sol, ruissellement, débits, niveaux des lacs...) (Groisman et al., 2004). Le Maroc, à climat aride à semi-aride, souffre des problèmes de gestion des ressources en eau qui deviennent de plus en plus limitées et difficiles à exploiter. Toutes ces ressources sont conditionnées par les précipitations très irrégulières dans le temps et dans l'espace (Riad, 2003). Les ressources en eau superficielles sur l'ensemble du Maroc sont évaluées en année moyenne à 18 M/m, varient selon les années de 5 à 50 M/m³ (Bouaicha et Benabdelfadel, 2010), Singla et al., 2010, ont identifié une diminution globale des débits et écoulements annuels à partir de 1970, cette décroissance est identifiée pour le bassin du Tensift de 1980 jusqu'en 1986 (Riad et al,2006, Singla et al,2010), qui coïncide avec la période de sécheresse qui a touché tout le Maroc et dans le bassin de la Moulouya entre 1958 et 2000. Les débits ont connu également des tendances à la baisse annuelle de 3,5m³/s attribuée à la diminution de la pluviométrie et à l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle (Driouech et al, 2010). L'analyse de ses débits montre des irrégularités interannuelles caractérisées par une alternance entre période humide et période sèche, (Riad et al., 2006, Bouaicha et Benabdelfadel, 2010).

V.2.Au niveau régional

La région de Béni Mellal-Khénifra présente des spécificités marquantes, d'un point de vue tant environnemental qu'économique et social, que lui confère son positionnement géographique stratégique entre des plaines fertiles et des montagnes spectaculaires. De plus, sa proximité par rapport aux principaux pôles urbains, économiques et touristiques du Royaume (Casablanca et Marrakech) rend cette région plus dynamique.

La Région de Béni Mellal-Khénifra est caractérisée par des paysages naturels incontournables, une richesse floristique et faunistique remarquable et une diversité climatique allant du climat humide sur les sommets au climat subaride en contrebas des massifs montagneux.

Déclinés à l'échelle de la région de Béni Mellal-Khénifra, les enjeux liés aux variations climatiques sont nombreux, compte tenu des ressources en eau, du fait que la région constitue le château d'eau national, de la forêt qui joue le rôle de protecteur de la biodiversité et de la rétention du sol et enfin compte tenu de l'agriculture.

La perturbation de l'un des écosystèmes majeurs dans la région perturbe inévitablement toutes les autres composantes de la région, voir des régions limitrophes, et même à l'échelle nationale.

VI. Impact du climat sur la température de l'eau

La température de l'eau joue un rôle prépondérant dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques surtout dans les bassins facultatifs et de maturations des stations d'épurations des eaux usées. Elle impacte également le fonctionnement de l'activité bactérienne qui dégrade la matière organique. Bien sûr, la variation des conditions climatiques de l'air influe sur la température de l'eau et par la suite sur le rendement épuratoire des STEPs surtout de type lagunage naturel (très sensibles à la température et la radiation).

A titre d'exemple, la biodégradation de la matière organique dépend principalement de la température de l'eau (dépendant aussi de la T°C de l'air) qui conditionne la vitesse de la réaction et qui peut être traduite selon l'équation suivante (Arioua, 1995) :

$$\frac{\Delta MO}{\Delta t} = \frac{dMO}{dt} = -K \cdot MO$$

$$\text{Donc } MO(t) = K \cdot MO_0 \cdot \text{Exp}(-k \cdot t)$$

Avec :

K = vitesse de dégradation de la matière organique (MO)

$K = 0,5(1,135)^{(T-20)}$ pour $T < 20^\circ\text{C}$

$K = 0,5(1,056)^{(T-20)}$ pour $T \geq 20^\circ\text{C}$

MO_0 = Matière organique initiale

MO = Matière organique à l'instant t

T = température de l'eau en °C

t = temps en jours

Donc d'après l'équation citée au paravent, on peut dire que la vitesse de dégradation de la matière organique varie d'une façon exponentielle avec la température de l'eau. Une température supérieure à 20°C, stimule de la réaction de la biodégradation et vice versa si elle est inférieure à 20°C.

VII. Facteurs influençant le rendement épuratoire des STEPs lagunage

Une STEP de type lagunage fait partie des systèmes extensifs de traitement des eaux usées, le fonctionnement de ce genre de STEP dépend majoritairement des conditions initiales de la STEP et des conditions climatiques de la zone. C'est ainsi la biodégradation de la matière organique dans le lagunage dépend de plusieurs facteurs :

VII.1. Facteurs biochimiques

Les facteurs biochimiques influençant le rendement sont :

- Le pH : l'influence du pH sur le rendement vient des valeurs de pH très élevées ou très basses qui influencent négativement la survie des micro-organismes des eaux usées (Dekkich, 2007).
- La charge organique : c'est la masse journalière de pollution reçue par la station (exprimée en kg/jour). Elle peut être calculée à partir de la DBO5 ou de la DCO. (Mercoiret, 20010 ; Tchimogo, 2001).
- La composition en sels minéraux : les sels minéraux contribuent essentiellement dans la croissance des algues, tout excès peut assurer une croissance hiérarchique des végétaux provoquent une eutrophisation ce qui empêche l'aération des bassins.

VII.2. Facteurs physiques

Les facteurs physiques influençant le rendement sont :

- Le temps de séjour : un facteur limitant très intéressant dans le processus d'épuration dépend au débit, par ce qu'il désigne la durée nécessaire que doivent passer les eaux usées dans les bassins de la STEP pour leur épuration. Le temps de séjour varie généralement en fonction des changements climatiques ce qui influence le rendement épuratoire de la STEP ; en hiver faible évaporation, en été forte évaporation.
- La forme, la profondeur et le volume des bassins : l'architecture et le dimensionnement de la STEP (forme, profondeur, volume...), constituent des facteurs d'influence sur le rendement, par ce qu'ils gouvernent le temps de séjour. La forme doit être coulant et de manière que toutes les eaux des bassins de la STEP doivent être en mouvement pour éviter la stagnation des eaux dans les zones mortes des bassins. La profondeur à une relation directe avec la pénétration de la lumière et de l'oxygénation dans les bassins.

VII.3. Facteurs climatiques

Les facteurs climatiques influençant le rendement sont :

- Température : considérée l'un des facteurs les plus influençant sur l'accélération des réactions de dégradation de la MO, selon Boukhetala et Iddou, (2010) l'activité biologique d'un milieu est d'autant plus importante lorsque la température augmente. Toutefois, cette hypothèse n'est pas toujours valable ; dans des cas de températures extrêmement élevées (Subversion des algues et les micro-organismes).
- Radiations solaires : ces radiations jouent un rôle double, elles réchauffent à la fois les eaux usées dans les bassins, la chose qui déclenche et catalyse les réactions de la biodégradation, et elles contiennent des radiations UV qui ont une importance dans l'élimination des germes dans les bassins mais c'est difficile à évaluer selon Idder (1998).
- L'évaporation : l'effet de l'évaporation est plus remarquable en été. Les quantités d'eau évaporées d'une STEP doivent être prises en considération lors du dimensionnement ou du calcul du temps de séjour.
- Le vent : les petites agitations de la surface des bassins par le vent sont aussi considérées par ce qu'elles contribuent à l'aération naturelle des eaux usées.

NB : la température est la résultante des composantes : Rayonnement solaire, vent et nébulosité.

VIII. Impact de la variabilité climatique sur le rendement des STEPs

Les changements climatiques ou plus particulièrement les variabilités climatiques agissent d'une manière indirecte sur le rendement des STEPs de type lagunage. Car ils offrent tout un régime thermique qui fonctionne pour accélérer les cinétiques épuratoires que ce soit par l'activité photosynthétique, l'assimilation des minéraux, le transfert thermique par convection ou l'activité germicide des rayons UV. Les variables qui constituent la notion du rendement d'une STEP dépendent généralement des variabilités climatiques aux alentours, alors que le changement de tel paramètre climatique provoque généralement un changement des performances épuratoires.

VIII.1. Impact de la variabilité climatique sur la température de l'eau des différents bassins de la STEP

Comme la surface terrestre s'influence par l'exposition à la radiation solaire, les surfaces d'eaux telles que les lacs, les retenues d'eau, les lagunes et les bassins des STEPs sont également exposées et affectés. Plus particulièrement, les STEPs de type lagunage qui se caractérisent par des réactions de biodégradation de la MO influencées par la température de l'air et le rayonnement solaire. Toute tendance extrême des facteurs climatiques, peut générer un impact soit favorable ou défavorable, selon l'effet et l'intensité de ce changement climatique (Bennis et al, 2012 ; FAO, 2016). Selon Liss S. N., and Allen D.G., (1992), les variations de la température, dans une STEP, ont des effets importants car elles influencent le développement des colonies de micro-organismes et la vitesse de dégradation de la MO et de photosynthèse.

VIII.2. Photosynthèse

Constituant la source principale de l'oxygène utilisée par les micro-organismes dans les eaux usées ; l'activité photosynthétique varie proportionnellement en fonction de l'intensité des rayonnements lumineux, idem pour la température. Le phytoplancton requiert un éclaircissement minimal pour accomplir la photosynthèse. A partir de ce minimum, la photosynthèse croit avec l'éclaircissement jusqu'à un optimum. L'optimum se maintient jusqu'à une valeur de l'éclaircissement à partir de laquelle la photosynthèse diminue comme a été présenté dans la figure n°11 ; avant d'être inhibée pour des intensités d'éclaircissement trop élevées (Bouarab et al, 2002). L'évolution du taux de croissance des algues à intérêt épuratoire augmente avec l'élévation de l'intensité lumineuse jusqu'à une valeur maximale correspondant à une intensité lumineuse optimale. Ensuite, et par observation de la courbe de l'évolution de la chlorophylle a au cours du temps dans la figure n°12, le taux décroît sous l'effet de la photo-inhibition, qui apparaît être un mécanisme purement photochimique associé à l'intensité lumineuse élevée avec effet synergique de la température.

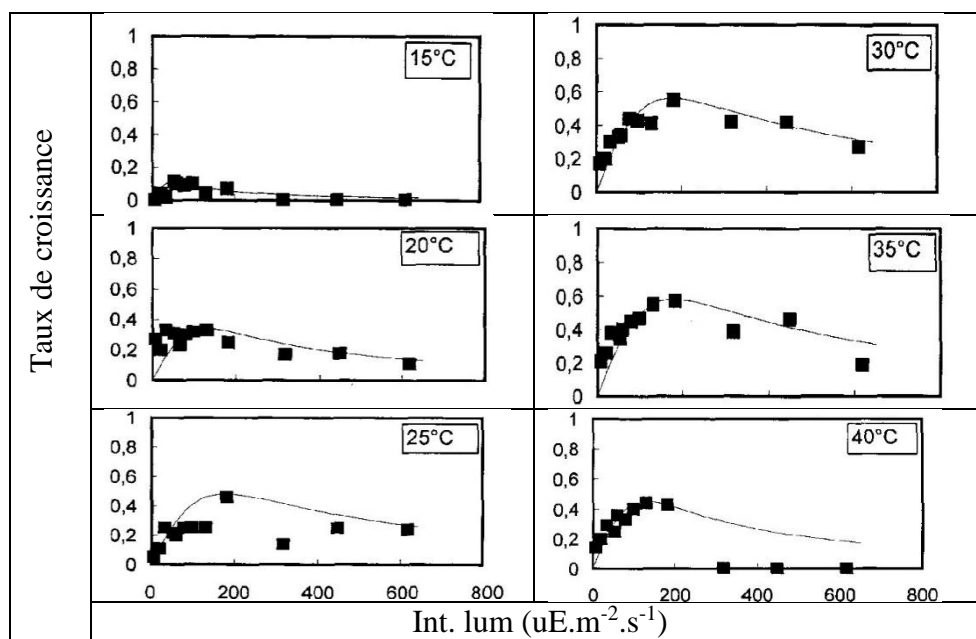


Figure 11 : Interaction de la lumière et de la température sur le taux de croissance d'algue de type *M. pusillum* (ajustement graphique au modèle de PEE-TERS et EILERS en 1978).

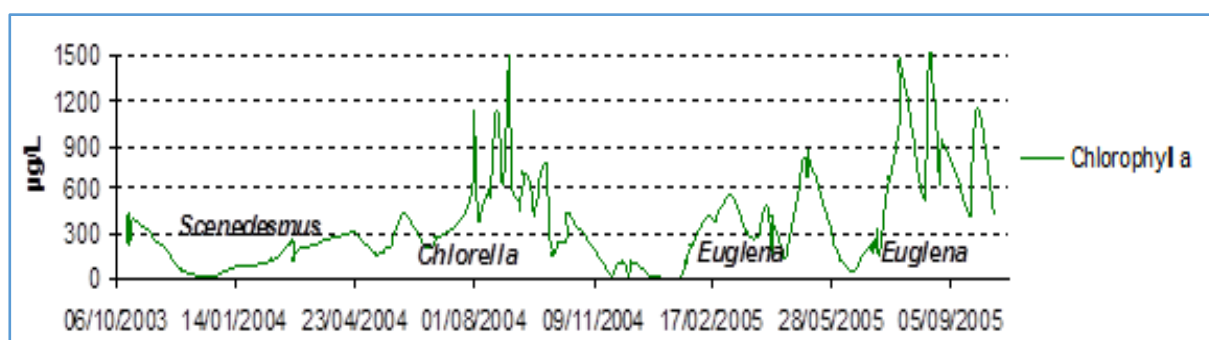


Figure 12 : Evolution de la teneur en Chlorophylle-a dans la lagune, au cours du temps

Les micro-organismes, existant préalablement dans les eaux usées, fonctionnent pour achever le processus de dégradation de la MO, par l'incorporation de l'oxygène produit par le phénomène de photosynthèse chez les algues. Afin de fournir à leurs cycles de biodégradation qui se traduisent essentiellement par les réactions d'hydrolyses et d'oxydoréductions ; l'oxygène est donc la force motrice de ces processus. Il y a des interconnexions entre l'augmentation de la température / la radiation et la quantité d'oxygène dissoute dans les eaux. En revanche, il paraît qu'il y a une gamme d'effet de la température et du rayonnement. Au-delà de telle gamme optimale, l'effet s'inverse : plus la température touche des valeurs élevées, plus la concentration en oxygène diminue (Molle, 2006).

Les facteurs qui interviennent dans la détermination du rendement d'une STEP de type lagunage sont multiples. Cependant, on peut déduire que le facteur gouvernant l'opération, c'est les conditions climatiques qui règnent dans la zone d'implantation de la STEP, notamment : la température et les radiations solaires. L'activité photosynthétique, accrue en été quand le rayonnement solaire et la température sont maximales, induit une production algale importante se traduisant par une meilleure biodégradation de la MO exprimée en DBO₅, en DCO et en MES. Et vice versa, les performances épuratoires des STEPs diminuent en période d'hiver à

cause de la dilution par les eaux parasites (pluies, sources d'eau...), à la faible biodégradation et à cause aussi de la diminution de l'activité algale faute de la chute de température et de radiation.

Cependant, si les températures et les radiations solaires sont très élevées, elles induisent l'inactivation des germes pathogènes et défavorisent le développement des algues et par conséquent on résulte à une diminution des rendements épuratoires des STEPs.

IX. Notion de base sur le SIG

IX.1. Base de données

La base de données sera le lieu de stockage et de gestion des données associées aux objets graphiques inclus dans le SIG. Elle peut aussi permettre de gérer des objets non graphiques dans le SIG.

Il existe de nombreux types de base de données qui se différencient par la façon dont les données sont rangées, dans la base et par les méthodes à employer pour y accéder.

- Le plus répandu est le type « base de données relationnelle » dans lequel les données sont stockées sous forme de tables. Une table est constituée par objet et une ligne d'une table présente l'ensemble des propriétés d'une instance de l'objet. Parallèlement, pour lier les objets entre eux, des relations entre différents champs de divers objets peuvent être définis dans le SGBD qui est un logiciel ou système servant à stocker, à manipuler ou gérer et à partager des données dans une base de données, en garantissant la qualité, la pérennité et la confidentialité des informations, tout en cachant la complexité des opérations.

- Le type « base de données objet » connaît actuellement un développement rapide. Dans ce type, la définition d'un objet intègre non seulement les données (propriétés) qui y sont rattachées, mais aussi les programmes (méthodes) qui permettent de traiter cet objet (impression, édition, création, traitements spécifiques). Cette structure prévoit, entre autres et à titre d'exemple, des mécanismes d'héritages des caractéristiques entre classes, des possibilités d'encapsulation des objets ou un polymorphisme des méthodes lorsqu'elles peuvent s'appliquer à plusieurs objets. Les deux exemples ci-dessus ne constituent pas l'ensemble des types de bases de données envisageables mais sont les plus utilisés. Pour ce qui concerne l'utilisateur final du SIG, ils permettent d'aboutir aux mêmes résultats en termes de fonctionnalité et d'ergonomie. Ils se différencient essentiellement du point de vue du programmeur et de l'administrateur de la base de données.

IX.2. Système d'Information Géographique (SIG)

Les Systèmes d'Information Géographique est la base de la conception du système spatial d'aide à la prise de décision (SSPD). Le SIG peut faciliter la prise de décision en permettant l'intégration des données (Hess et al., 2004). Un SIG peut contenir plusieurs couches : routes, commerces, parcs, points d'intérêt, etc. A partir de ces couches de données, le SIG peut créer des cartes selon les besoins de l'utilisateur, permettant par exemple de filtrer les informations auxquelles l'utilisateur souhaite accéder. Contrairement aux cartes papier, les SIG peuvent stocker, manipuler et afficher de grandes quantités d'informations de manière dynamique. Le SIG peut également afficher plusieurs couches simultanément et placer les éléments avec précision par rapport aux autres éléments.

Un autre avantage des SIG est leur capacité à trouver des relations de position entre différents éléments (soit sur différentes couches, soit sur la même couche) : intersections, densités, distances, etc. Pour Smelcer et Carmel (1997), le SIG permet aux décideurs d'afficher géographiquement des données tabulaires sous forme de cartes, ce qui aide à résoudre les problèmes de décision spatiale rencontrés par les décideurs. Le SIG est souvent utilisé comme système spatial d'aide à la décision, mais de nombreuses limitations ont été trouvées. Pour Mendes et Themido (2004), le SIG n'offre pas la flexibilité des autres outils d'analyse et ne permet pas l'intégration d'outils avancés d'analyse de données. Pour West en (2000), la complexité des SIG rend problématique leur utilisation par les utilisateurs finaux. Plus récemment, Vahedi et al. en (2016) ajoute que le SIG n'est pas conçu pour permettre aux utilisateurs de trouver et de comprendre des résultats analytiques sans passer par des procédures souvent complexes et difficiles à mettre en œuvre.

I.1. Composition et Fonctions du SIG

Le SIG est constitué d'un ensemble de ressources physiques (données, logiciels, méthodes) et humaines pour sa mise en œuvre.

Le SIG doit être à la fois un outil de gestion pour les techniciens et un outil d'aide à la décision pour les décideurs. Il doit donc fournir les fonctionnalités nécessaires à ces deux objectifs, classés en « 5A » :

- Abstraction : Elle vise à représenter le monde réel en organisant des données et en établissant des relations entre les objets à travers des composants géométriques et des propriétés descriptives.
- Acquisition : L'acquisition équivaut à fournir des données à un SIG en saisissant des informations géographiques sous forme numérique : la forme des objets géographiques et leurs propriétés et relations.
- Archivage : L'archivage équivaut à gérer une base de données en transférant des données d'un espace de travail vers un espace d'archivage.
- Analyse : les géo-données peuvent être manipulées et interrogées en réponse aux demandes des utilisateurs.
- Affichage : Son but est de sensibiliser l'utilisateur aux phénomènes spatiaux, à condition que la représentation graphique respecte les règles de la cartographie.

I.2. Différents modes de représentation

Il existe deux manières de représenter des objets cartographiques en ligne dans un SIG. Les deux modes sont : le mode raster et le mode vecteur.

I.2.1. Mode Raster

La surface d'un objet est constituée de points ou pixels consécutifs. La finesse de la représentation dépend de la résolution. La position est définie par rapport à la grille de la matrice, et le pixel doit être positionné de manière absolue via un second référentiel. Cette représentation est la plus proche de l'informatique. Chaque pixel porte des informations

identifiant sa couleur et l'entité à laquelle il est attaché. Par conséquent, une ligne ou une zone est définie par un ensemble de pixels adjacents avec la même valeur attachée.

Plusieurs couches d'informations composées de pixels peuvent être superposées, chaque couche représentant un sujet spécifique. A ce stade, la description de l'objet est implicite. Des liens peuvent être établis entre les fichiers et les tables de données. Il permet une description explicite des pixels et permet également le traitement d'informations à partir de fichiers graphiques. Les relations spatiales entre les objets sont implicites.

I.2.2. Mode vecteur

Une image est décrite par un ensemble d'objets : le SIG conserve trois primitives de base qui permettent de reconstituer la géométrie d'un objet, qui sont :

- L'objet ponctuel ;
- L'objet linéaire (ligne) ;
- L'objet surfacique (polygone) ;

Les objets ponctuels seront positionnés par une paire de coordonnées. Les objets linéaires sont des séquences ordonnées de points. Chaque point est relié au point suivant par un segment de ligne défini mathématiquement. Les objets polygones sont définis à l'intérieur de leurs limites.

Par conséquent, il est délimité par un objet linéaire fermé par lui-même. Par extension, on peut définir des spécialisations d'objets surfaciques. Par exemple, un objet polygonal avec des trous est défini comme un objet polygonal dont la partie interne est entourée par un objet linéaire fermé. Les objets solides sont des objets composés d'objets surfaciques. La description de l'objet est sans ambiguïté. La couche d'information regroupe un ensemble d'objets que l'on souhaite représenter simultanément. La position de l'objet est représentée par des coordonnées attachées au système de positionnement.

IX.3. Cartographie

La cartographie fait référence à la production et à l'étude de cartes géographiques et géologiques. Il s'appuie fortement sur la géodésie, la science de la description, de la mesure et de l'interprétation de la forme et des dimensions de la Terre. Le grand principe de la cartographie est la représentation des données sur un support simplifié qui représente ce qui est habituellement considéré comme l'espace réel.

Le but d'une carte est d'en faire une représentation concise et efficace qui simplifie des phénomènes complexes (politiques, économiques, sociaux, etc.) en travaillant sur l'espace représenté pour une compréhension rapide et pertinente.

La création de la carte commence par la définition d'un élément cartographique. La collecte des informations se fait en deux parties, notamment un relevé du contour de l'espace support (fond de carte) à représenter et un relevé des statistiques à représenter sur cet espace. Ensuite, nous effectuons la sélection des informations, la conception graphique (icônes, styles), l'assemblage (création d'une carte) et les informations cartographiques (légende, échelle, boussole). Pour la représentation des cartes en ligne, il existe également des schémas de

représentation et des modèles à suivre. Pour la représentation cartographique des données, il y a des unités cartographiques a utilisées comme suit :

a. Point

Les points représentent des symboles de points. Sa position est donnée par ses coordonnées (X, Y). La notion de point est relative à l'échelle en raison de ce qu'elle peut représenter. La notion de distance entre deux points est souvent utilisée comme lien topologique.

b. Ligne

Cette ligne représente la forme et l'emplacement des objets géographiques qui sont trop étroits pour apparaître comme une zone. La ligne est également utilisée pour représenter des entités qui ont une longueur mais pas de surface. L'épaisseur de la ligne ou la forme de la ligne fournit des informations supplémentaires sur la signification de son sujet. La notion de distance est souvent utilisée pour caractériser une ligne.

c. Polygone

L'aire ou l'aire est l'espace délimité par des lignes fermées ou des polygones. D'un point de vue cartographique, c'est un élément à deux dimensions. L'orientation d'une surface est représentée par les coordonnées de son centre de gravité, d'une référence interne ou des sommets du polygone qui forment ses limites.

X. Conclusion

Plusieurs études ont été menées pour identifier et quantifier le degré de pollution engendrés par les eaux usées. Mais peut des études qui ont traités la problématique de l'impact de la variabilité climatique sur le pouvoir épuratoire des stations d'épuration, c'est pour cela on a essayé de diagnostiquer notre problématique et on a présenté l'ensemble des notions et base et études pour mieux comprendre le sujet.

PARTIE II :
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE,
METHODOLOGIE ET TECHNIQUES
UTILISEES

CHAPITRE I : CONTEXTE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

I. Cadre physique

I.1. Situation administrative

Située au centre du Royaume Marocain, la région de Béni Mellal-Khénifra est créée suite au découpage régional de 2015. Elle est constituée de cinq provinces : Azilal, Béni Mellal, Fkih Ben Salah, Khénifra et Khouribga. La région se situe géographiquement entre les deux lignes de la latitude $31^{\circ}33'$ et $33^{\circ}46'$ Nord et les deux lignes de la longitude $5^{\circ}28'$ et $7^{\circ}00'$ Ouest, elle s'étend sur une superficie de 28374 km², soit 4% du territoire du Royaume.

La région de Béni Mellal- Khénifra est limitée au :

- **Nord** par la Région de Rabat-Salé-Kenitra ;
- **Ouest** par les Régions de Casablanca-Settat et de Marrakech-Safi ;
- **Est** par les Régions de Fès-Mekhnès et de Darâa-Tafilalet ;
- **Sud** par la Région de Darâa-Tafilalet ;

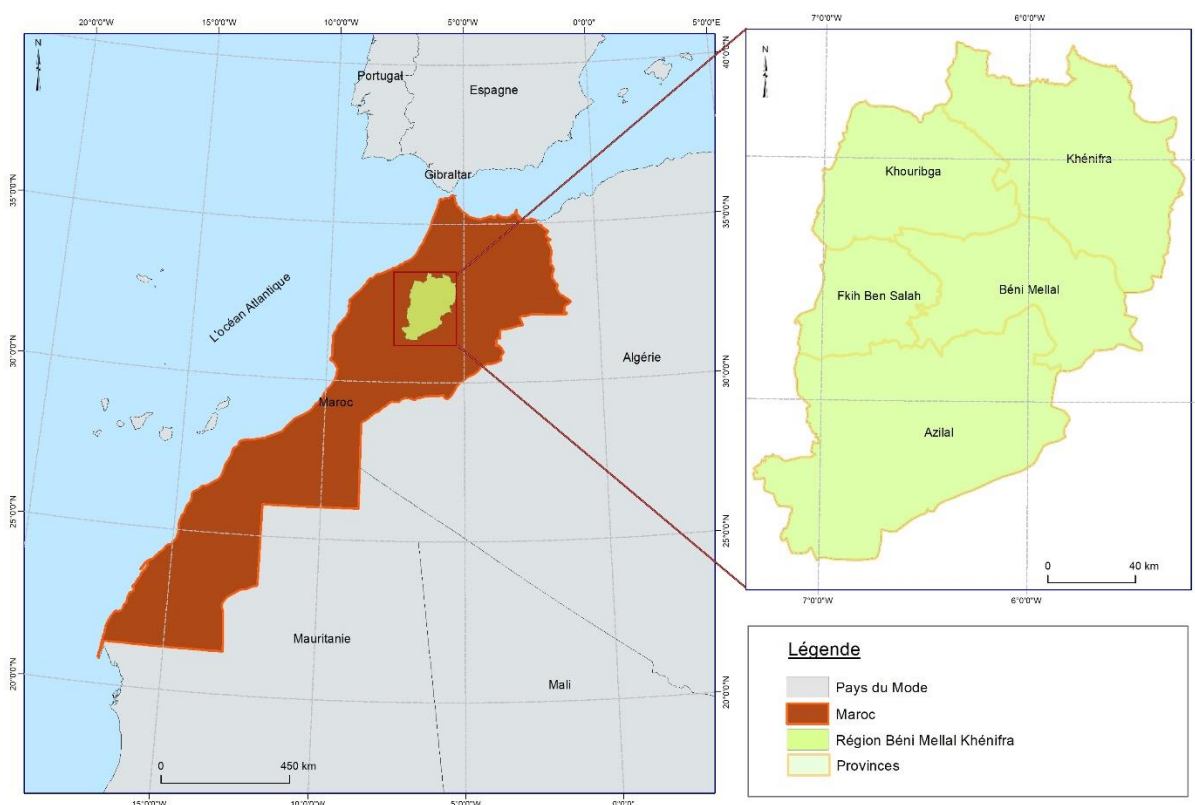


Figure 13 : Positionnement géographique et découpage administratif de la région

La région Béni Mellal Khénifra se compose de 135 communes dont 16 municipalités et 119 communes rurales.

Tableau 1 : Découpage administratif de la région de Béni Mellal – Khénifra (Annuaire statistique, 2016)

Provinces	Communes			Cercles
	Urbaines	Rurales	Total	
Azilal	2	42	44	6
Béni Mellal	4	18	22	4
Fquih Ben Saleh	3	13	16	3
Khénifra	2	20	22	3
Khouribga	5	26	31	3
Total	16	119	135	19

I.2. Relief

La région de Béni Mellal- Khénifra se caractérise par une diversité de ses reliefs : plaine de Tadla, plateau de phosphates et les montagnes de l'Atlas.

- **La plaine :** La plaine de Tadla est considérée comme le relief principal de la région. Cette plaine, traversée par la rivière d'Oum Er-Rbia, se situe au sud du plateau des phosphates et au nord des plaines de Sraghna. Cette plaine peut être divisée en deux parties :
 - Plaine Basse qui va de l'extrême aval, à côté des plaines des Sraghna, jusqu'à Béni Mellal. Cette portion de la plaine porte la plus grande partie du périmètre irrigué ;
 - Plaine moyenne qui s'étend sur la rive gauche d'Oum Er-Rbia. Elle commence de Béni Mellal et s'amenuise petit à petit en se dirigeant vers Kasba Tadla.
- **Le piémont :** C'est une zone de transition entre l'Atlas et la plaine du Tadla. Il s'agit d'un plan incliné d'accumulation de quelques kilomètres de large, constitué par la coalescence de cônes de déjection prenant appui sur les formations détritiques mio-pliocènes qui forment le soubassement de la plaine. Le piémont, développé particulièrement au nord de Béni Mellal, reçoit l'eau de l'Atlas soit par l'intermédiaire de sources, soit par épanchement de la nappe du jurassique sous les alluvions.

On distingue deux piémonts :

- Le piémont Nord qui se trouve dans la province de Béni Mellal. Il s'étend entre Tisqui et Zaouïat Cheikh et il bénéficie d'une pluviométrie abondante ;
- Le piémont Sud se trouve dans la province d'Azilal. Il bénéficie d'une pluviométrie importante mais moins que celle du piémont nord.
- **Les montagnes :** Ce sont les reliefs principaux de la géographie de la province d'Azilal et de Khénifra , couvrent une grande partie de la province de Béni Mellal

et font partie de la chaîne du Moyen et du Haut Atlas. Les montagnes du Haut Atlas central, sont constituées essentiellement de dorsales et crêtes de direction principale Sud-Sud-Ouest, Nord-Nord-Est parfois continues sur plusieurs dizaines de kilomètres. Ce sont des reliefs structuraux, surtout des monts atténués et des crêtes taillées dans des anticlinaux, en général étroits, de calcaires mésozoïques (Couvreur, 1988). Ces massifs montagneux présentent des versants avec des escarpements considérables, des sommets élevés et entaillés de vallées profondes. Les massifs les plus élevés qui culminent au Jbel Azourki à 3697 m, partie d'une longue chaîne rectiligne de 45 km de longueur (Leveque, 1952). Et entre oued El Abid et l'Assif Melloul, le Haut Atlas central dresse une barrière compacte et élevée, formée par les massifs du Jbel Mourik (3300 m), les crêtes d'Ijberten (2700 m) et Jbel Issoual (2800 m).

- **Le plateau de phosphate** : Il s'étend sur la partie sud de la province de Khouribga et le Nord-Ouest de la province de Fquih Ben Salah. Il se caractérise par sa richesse minière et aussi par une pauvreté en nappes phréatiques et un sol moins fertile. On peut distinguer entre deux grands ensembles :
 - Au Nord, une partie du Plateau Central, prolongé vers l'Ouest par le plateau des phosphates avec les riches gisements du bassin des Oued Abdoun ;
 - Au Sud-Ouest, la plaine de Tadla une plaine aux altitudes comprises entre 400 m et 700 m et couvre une superficie de 3500 km² inclinée d'Est en Ouest drainée par l'Oued Oum Er-Rbia qui vient s'y encaisser.

I.3. Topographie

La région Béni Mellal-Khénifra occupe une partie montagneuse du haut Atlas, une zone de transition (Dir) et des vastes plaines dont la plaine de Tadla et le plateau des phosphates.

L'altitude dans la région de Béni Mellal-Khénifra varie de 234 m dans la plaine jusqu'à 3697m dans les montagnes du Haut Atlas, le Dir est à l'environ de 700 m à 800 m d'altitude, comme il est montré dans le tableau ci-après :

Tableau 2 : Quelques paramètres géomorphologiques de la région de Béni Mellal-Khénifra

Région	Altitude maximale (m)	Altitude minimale (m)	Périmètre (km)	Surface (km ²)
Béni Mellal - Khénifra	3697	234	1002	28 791

Les pentes dominantes en générale sur la zone d'étude deviennent de plus en plus fortes quand en se déplace du Nord (Plaine) vers le Sud (Montagne) ; ce qui implique probablement la variation des paramètres climatiques notamment la température, l'évaporation et les précipitations.

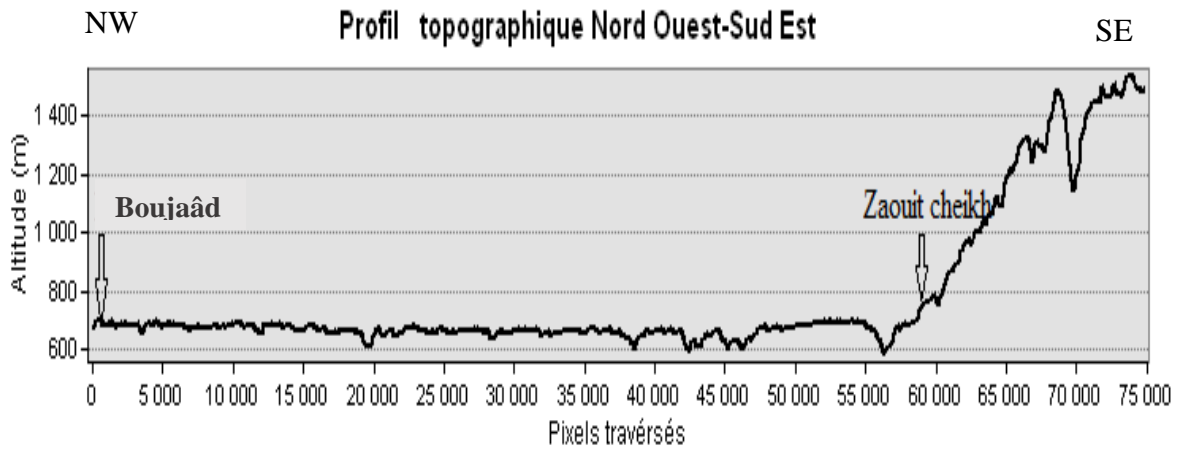


Figure 14 : Profil topographique NW-SE de Boujaâd vers Zaouit cheikh

A la base d'un modèle numérique de terrain, une carte des altitudes dominantes de la région d'étude a été élaborée (figure n°15). Ceci a permis d'avoir une idée générale sur les reliefs dans cette région et en particulier des villes et des centres urbains.

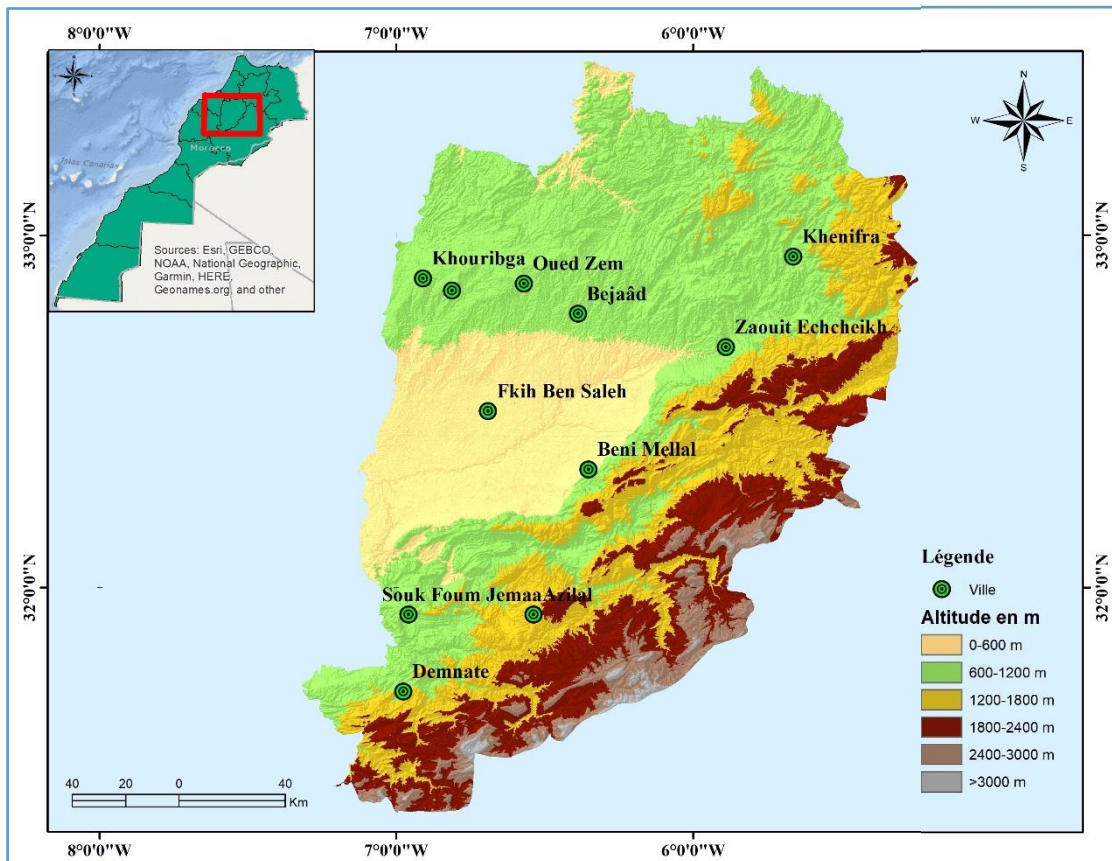


Figure 15 : Carte des altitudes de la région de Béni Mellal-Khénifra.

I.4. Climat

La région de Béni Mellal–Khénifra se caractérise par une diversité climatique allant du climat humide au niveau des sommets de montagne au climat subaride en contrebas de ses massifs montagneux et dans les plaines. Globalement, le climat de la région est continental :

très froid en hiver avec une température moyenne de 27,9°C près de la montagne et une température moyenne de 29,3 °C dans la plaine. Cette température peut descendre jusqu'à 0°C en hiver et très chaud en été avec une température maximale qui peut dépasser 40°C, ce qui accentue l'aridité à cette période. Aussi, le vent dominant dans la région en période d'été est le chergui qui fait augmenter la température de 5°C à 10 °C par rapport à la température moyenne.

Cependant, la diversité des reliefs de la région influence la température et les précipitations. La quantité des précipitations varie selon les années et les reliefs de la région, du Nord-Ouest (plateau de phosphates) au Sud-Est (montagnes). Les précipitations passent d'une moyenne de 100 mm dans les zones arides à 600 mm dans les zones humides (SRAT, 2019). En outre, les zones montagneuses dont l'altitude est supérieure à 1000 m peuvent connaître des chutes de neige durant les saisons hivernale et printanière avec des quantités plus au moins importantes selon les années. Ainsi, cette saisonnalité influence fortement le régime des cours d'eau, notamment au printemps et en été avec la fonte des neiges qui vient soutenir les étiages.

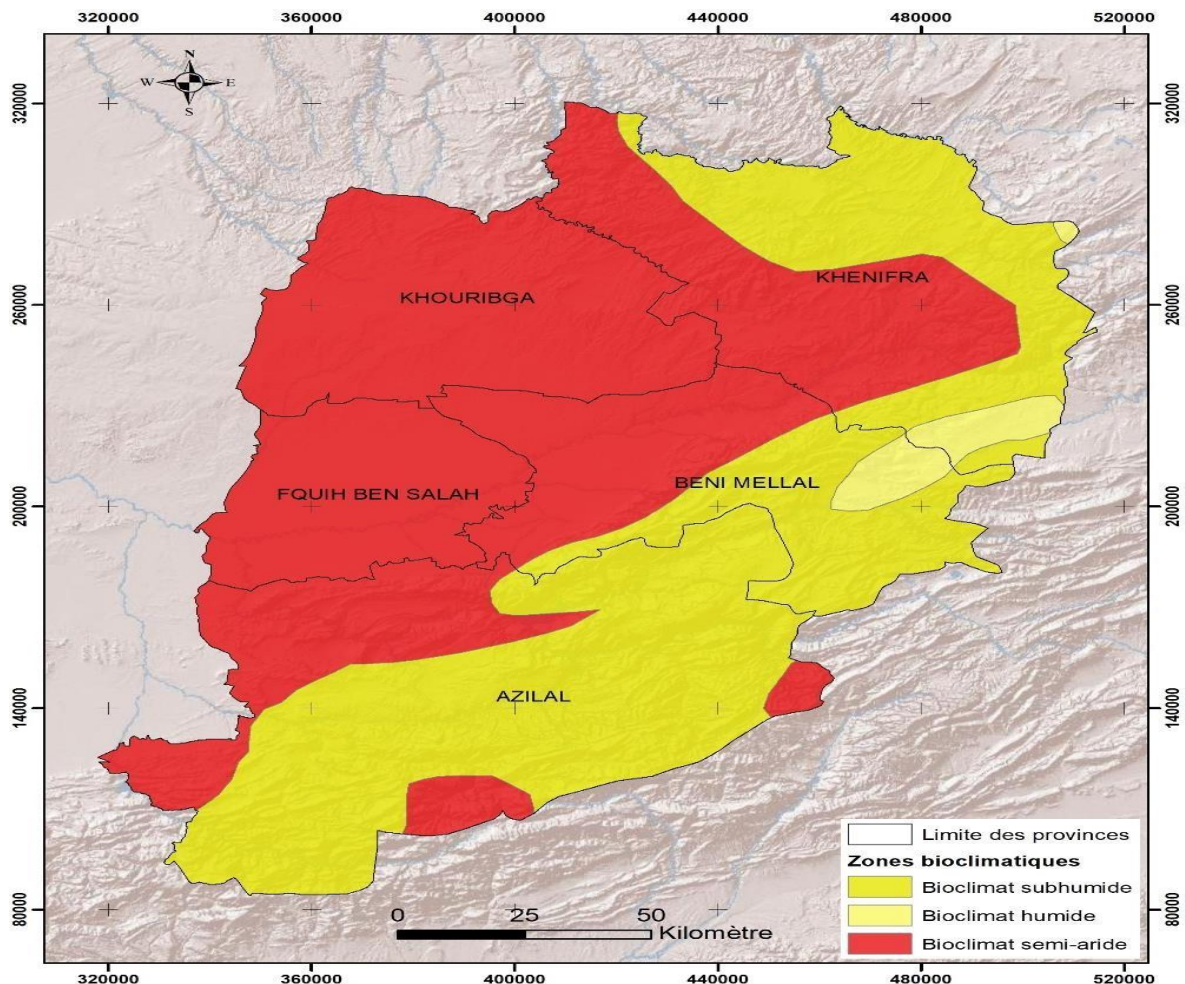


Figure 16 : Carte bioclimatique de la région BMK (HCEFLCD, 2019)

D'après les résultats obtenus lors d'une étude climatologique de la région faite en 2018 sur les tendances climatiques on peut déduire que :

- Les tendances de la température connaissent des augmentations significatives, une diminution du nombre de nuits froides et une augmentation du nombre de journées chaudes et des indicateurs des durées de séquences chaude ;
- Les précipitations diminuent de façon graduelle surtout au niveau de khouribga. Ces modifications peuvent être matérialisées par une baisse des totaux pluviométriques annuels, des jours humides consécutifs, des maximums des journées pluvieuses et augmentation des jours consécutivement secs (Béni Mellal, khouribga).
- Selon l'indice d'aridité de De Martonne et l'indice Ombro-thermique les différentes évolutions des températures et précipitations n'ont pas induit un changement du type de climat dans les régions étudiées, mais à une variabilité climatique entre la plaine et le relief.

En terme thermique, les figures n° 17 et n°18 représentent successivement l'évolution des deux indices : Jours relativement chauds et nombre de vague de chaleur. Une tendance significative à la hausse a été décelée sur les deux graphes. En pluviométrie, la figure n°19 accuse une tendance à la baisse de l'indice représentant le cumul annuel de pluie, toutefois cette tendance n'est statistiquement significative. Une tendance est considérée statistiquement significative si la p-value est inférieure à 0.05, soit une significativité au seuil 95%. Notons que la p-value est la probabilité qu'un événement quelconque soit le simple fait du hasard.

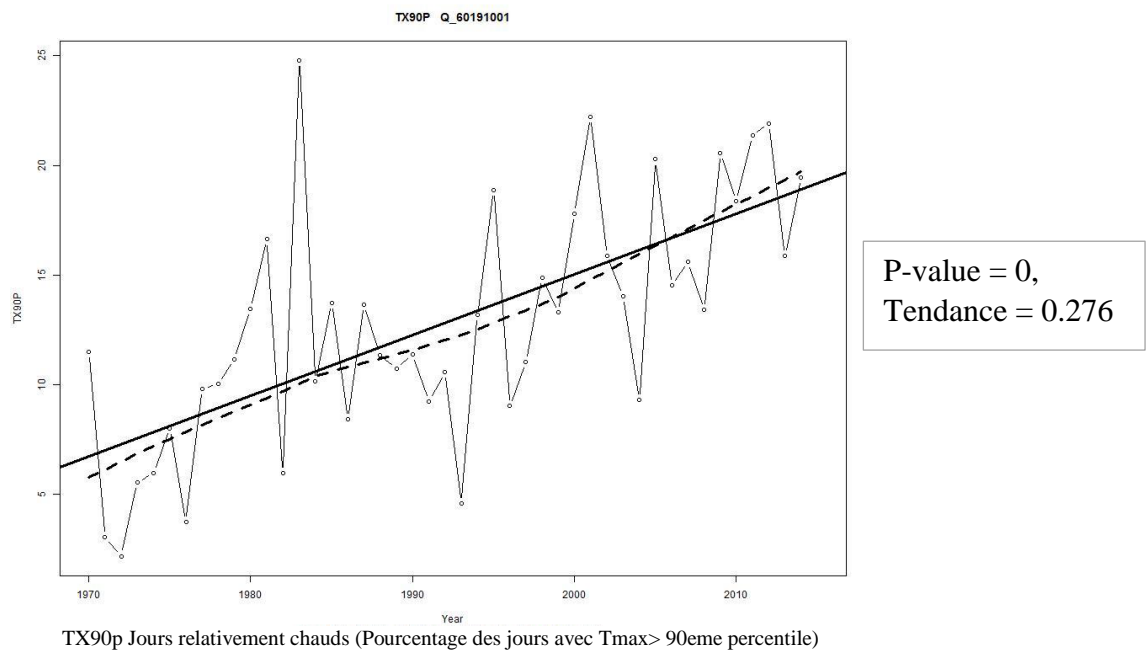
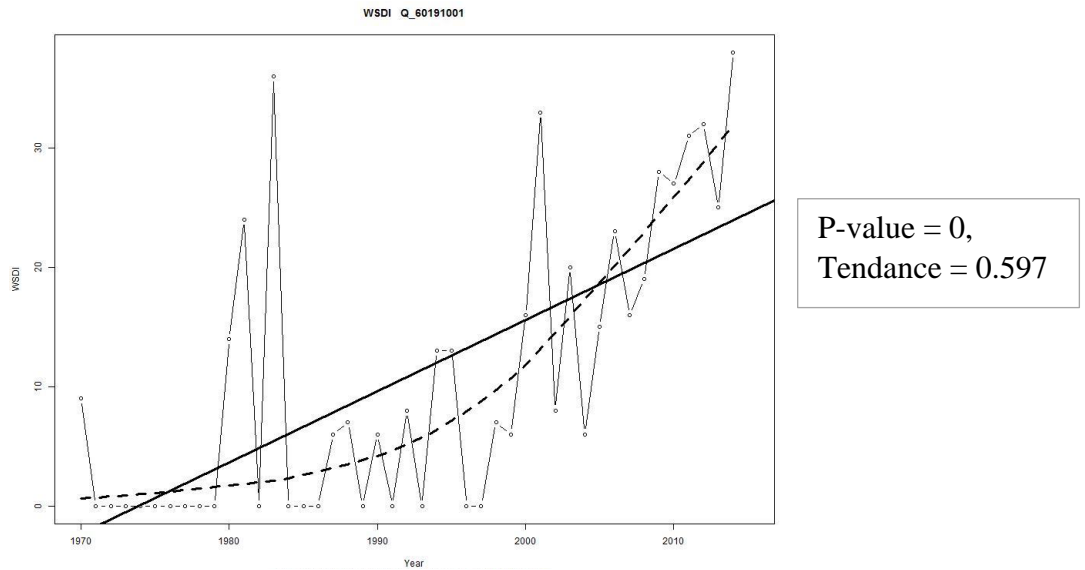
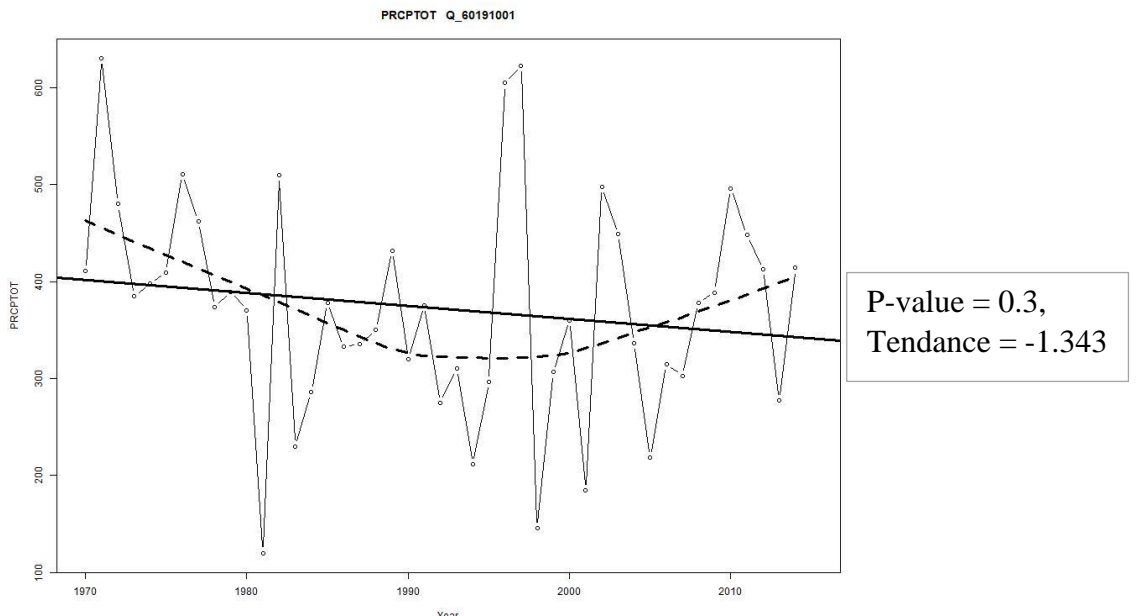


Figure 17 : Evolution de tendance de l'indice des Jours relativement chauds a Béni Mellal



WSDI Indicateur des durées des séquences chaudes (Nombre de jours dans l'année avec au moins six jours consécutifs où $T_{max} > 90e$ percentile)

Figure 18 : Evolution de tendance de l'indice des durées des séquences chaudes a Béni Mellal



PRCPTOT Total annuel des pluies (Précipitations totales annuelles des jours pluvieux ($RR \geq 1,0$ mm))

Figure 19 : Evolution de tendance de l'indice des totaux annuels des précipitations a Béni Mellal

I.4.1. Température et précipitation

Les figures n° 20 et n° 21 suivants présentent en général la climatologie de la zone d'étude, et le climat moyen durant la période 1981 2010 en termes de pluviométrie et température minimale, maximale et moyenne à l'échelle mensuelle des cinq stations de la zone d'étude

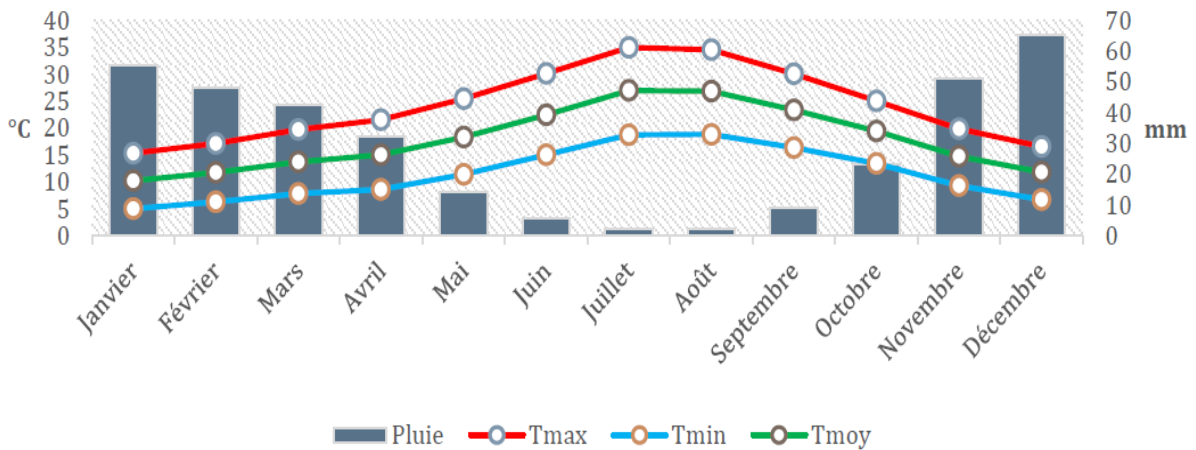


Figure 20 : Climatologie moyenne 1981 2010 à l'échelle mensuelle pour Tmax, Tmin , Tmoy et cumulé de Pluie a Khouribga (Source DRMCE)

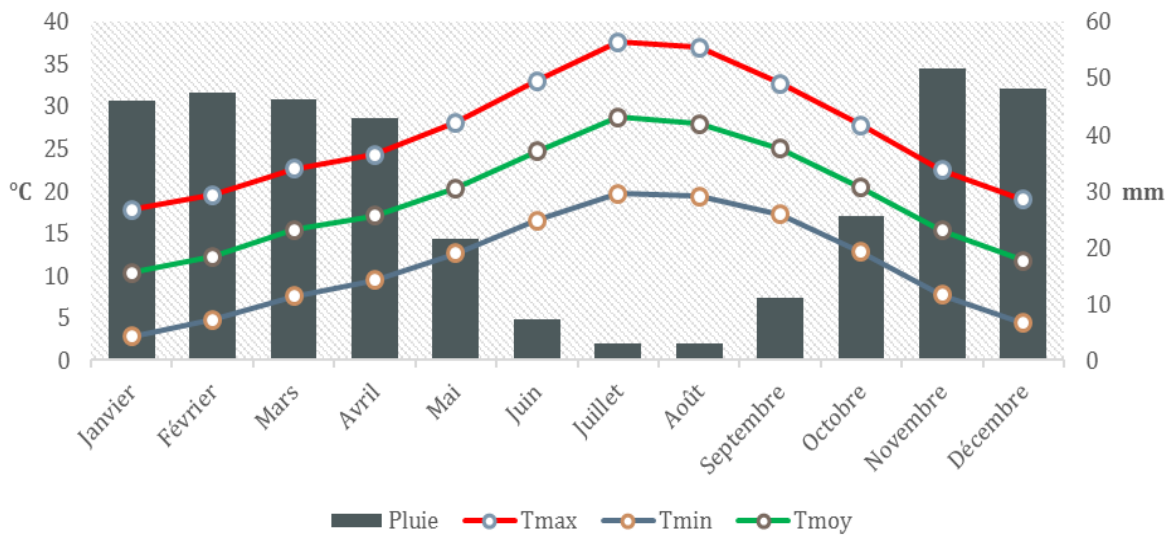


Figure 21 : Climatologie moyenne 1981 2010 à l'échelle mensuelle pour Tmax, Tmin ,Tmoy et cumulé de Pluie a Béni Mellal (Source DRMCE)

La diversité des reliefs de la région influence sur la température et les précipitations. La température moyenne est de 18°C avec un minimum de 0°C dans certaines zones de la région et un maximum qui peut aller jusqu'à plus de 40°C. Quant aux précipitations, elles varient dans l'espace et dans le temps, elles passent d'une moyenne de 100 mm dans les zones arides à 600 mm dans les zones humides. Les zones montagneuses dont l'altitude est supérieure à 1000 m peuvent connaître des chutes de neige durant les saisons hivernale et printanière avec des quantités plus au moins importantes selon les années. Voici par ailleurs les précipitations annuelles enregistrées entre 2007 et 2012 dans les stations pluviométriques de la région d'étude et qui sont résumées dans la figure suivante :

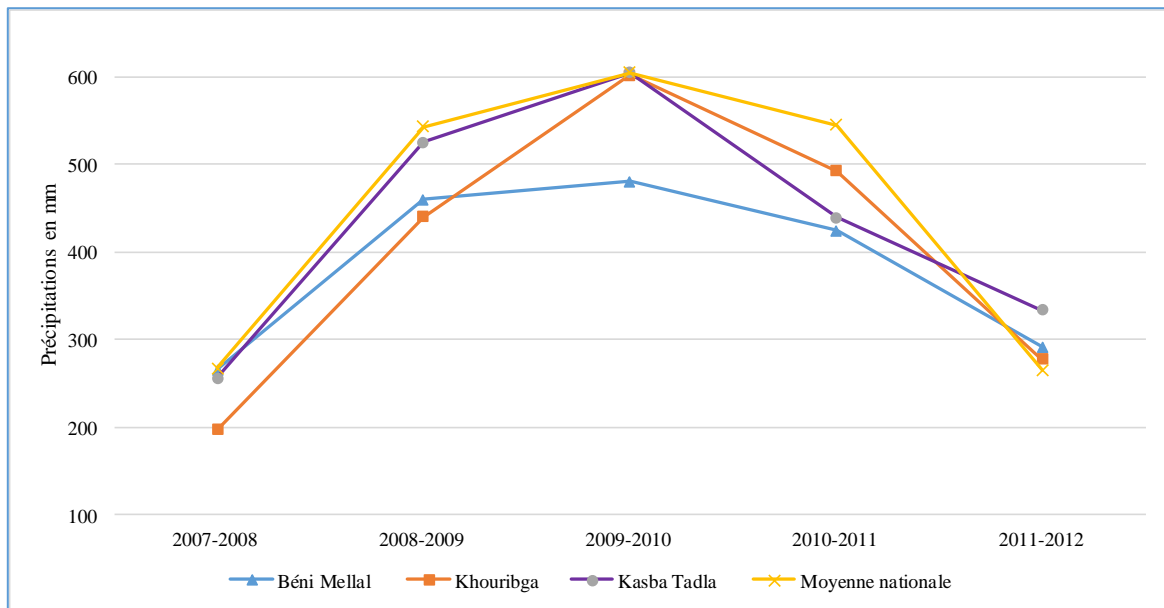


Figure 22 : Evolution de la pluviométrie moyenne annuelle par station dans la région de Béni Mellal-Khénifra (HCP, 2016)

I.4.2. Types des climats de la région

Selon les reliefs et les altitudes des terrains, on peut différencier le territoire de la région en 5 unités bioclimatiques en passant de la plaine, le Dir et la montagne.

- **Plaine (A)** : climat semi-aride dont les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 380 mm/an.
- **Plateaux (B)** : climat aride caractérisé par des étés très chauds et secs et des hivers assez froids et humides ; les précipitations moyennes annuelles sont de 350 mm/an.



- **Dir (C) :** semi-aride à hiver froid ; les précipitations moyennes annuelles sont de 380 mm/an.
- **Moyenne altitude (D) :** climat subhumide à hiver frais. Les précipitations moyennes annuelles y sont de 450 mm et les Chutes de neige s'étalent du milieu de l'automne à la fin de l'hiver
- **Haute altitude (E) :** subhumide à hivers froids. Les précipitations moyennes annuelles y dépassent 600mm avec une période pluvieuse s'étalant sur 9 mois (du mois de septembre au mois de mai). Les Chutes de neige s'étalent du milieu de l'automne jusqu'au milieu du mois de février.

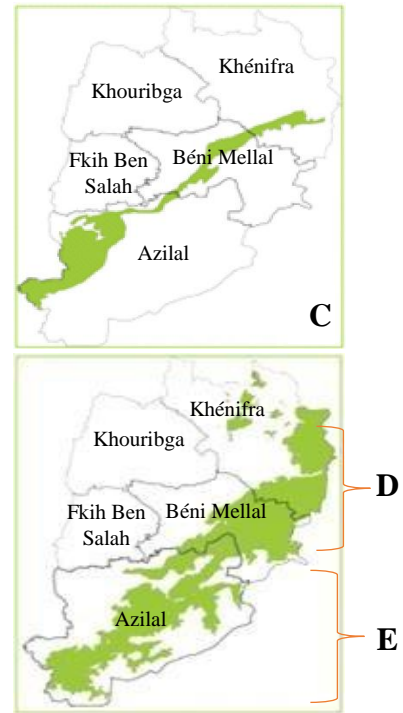


Figure 23 : Types de climat dans la région de Béni Mellal-Khénifra A : climat semi-aride, B : climat aride avec étés très chauds et secs et des hivers assez froids et humides, C : semi-aride à hiver froid, D : climat subhumide à hiver frais, E : subhumide à hiver

I.5. Ressources en eau

I.5.1. Eaux superficielles

La région de Béni Mellal-Khénifra est dotée de plusieurs cours d'eau dont les plus importants sont Oued Oum Er-Rbia, Oued El Abid et Oued Lakhdar et compte 15 barrages en plus de 7 systèmes de transfert d'eau. Ces ouvrages permettent de garantir, tant pour le bassin de l'Oum Er-Rbia que pour les bassins limitrophes, la satisfaction des besoins en eau potable, industrielle et agricole ainsi que le soutien des débits nécessaires à la salubrité des cours d'eau.

Le territoire de la région se trouve à 80% au niveau du bassin versant d'Oum Er-Rbia, le reste, qui correspond à la zone nord de la région, se trouve au niveau du bassin versant de Bouregreg. Les plus grands barrages de la région d'étude sont :

- Barrage Bin El Ouidane avec une capacité de 1233 million m³ ;
- Barrage Ahmed EL Hansali dont la capacité est de 724 millions m³ ;
- Barrage Hassan 1^{er} avec une capacité de 242 millions m³.

En plus de ces barrages, s'ajouteront prochainement deux grands barrages : celui de Tagzirth dans la province de Béni Mellal (85 Mm³) et le barrage de Tioughza dans la province d'Azilal (160 Mm³). En outre, 61 petits barrages seront construits : 27 dans la province d'Azilal, 10 dans la province de Béni Mellal, 20 dans la province de Khénifra, 03 dans la province de Khouribga et 01 barrage dans la province de Fkih Ben Salah (BTPNEWS, 2020).

L'Oued Oum Er-Rbia s'alimente principalement du Moyen Atlas où les précipitations sont importantes et où de nombreuses sources lui apportent un étiage assez régulier que connaît la région à la suite des précipitations et de la fonte des neiges. Les divers apports que l'on

enregistre au niveau de la région garantissent au fleuve de l'Oum Er- Rbia un étiage très soutenu faisant de lui le cours d'eau le plus régulier du pays avec un débit moyen de 117 m³/s.

Le réseau hydrographique des eaux superficielles se compose de la partie amont de l'oued OUM ER-RBIA tout le drainage de l'oued El Abid (grand tributaire de l'OUM ER-RBIA), tout le drainage de l'oued Lakhdar et une partie de l'oued Tassaout. Les grands barrages construits dans la région sont résumés dans la figure suivante :

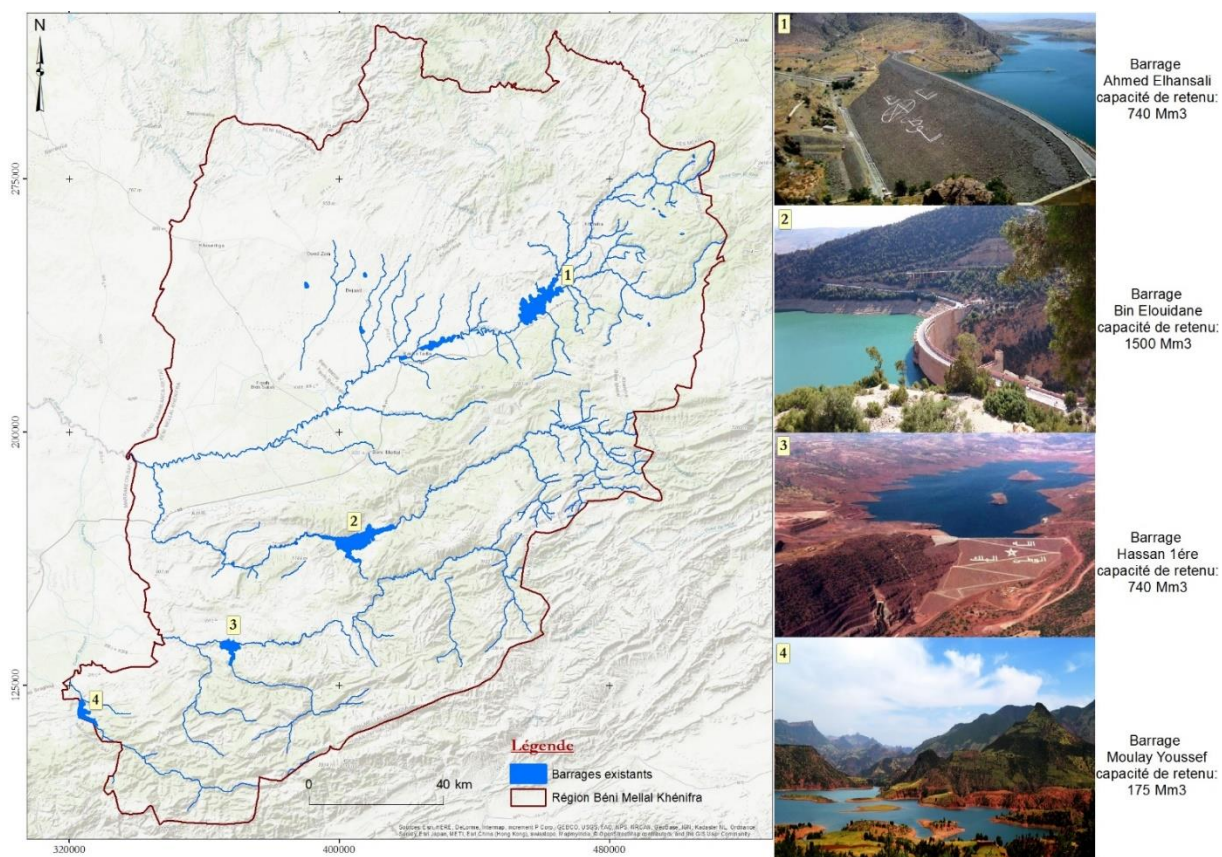


Figure 24 : Ressources en eau de la région de BMK

I.5.2. Eaux souterraines

La région Béni Mellal-Khénifra se distingue par ses ressources hydriques superficielles et souterraines. Elle est traversée par le 2^{ème} plus long fleuve du royaume « Oued Oum Er-Rbia » de longueur de 555 km. La nature Karstique de son substratum favorise la formation de nappes phréatiques de grandes étendues qui constituent 21.9% des volumes mobilisables du Maroc.

Les ressources en eau dans la région se répartissent comme suit :

- Eaux souterraines : 600 Mm3/an. Elles correspondent à 60% de la nappe profonde de Tadla et la totalité des nappes de Béni Moussa, Béni Amir et Dir et des nappes de montagnes ;
- Eaux de surface : 3 147 Mm3/an. Elles comprennent les bassins dominés par les barrages : Ahmed El Hansali, Bin El Ouidane, Hassan Ier et barrage Moulay Youssef.

II. Cadre sociodémographique

I.1. Population

La population totale de la région de BMK selon le dernier recensement général de la population et de l'Habitat en 2014 a compté 2 520 776 millions d'habitants, répartie comme illustrée dans le tableau (3). La comparaison entre les populations des municipalités de la région d'étude et leurs projections à l'horizon de l'année 2030 sont représentées dans la figure n°25 :

Tableau 3 : Statistique sur la population de la région Béni Mellal Khénifra (RGPH, 2014).

	Marocains	Etrangers	Population	Ménages
Total Région (hab)	2 519 514	1 262	2 520 776	520 174
Maroc (hab)	33 762 036	86 206	33 848 242	7 313 806
Pourcentage	7.46 %	1.46 %	7.45 %	7.11 %

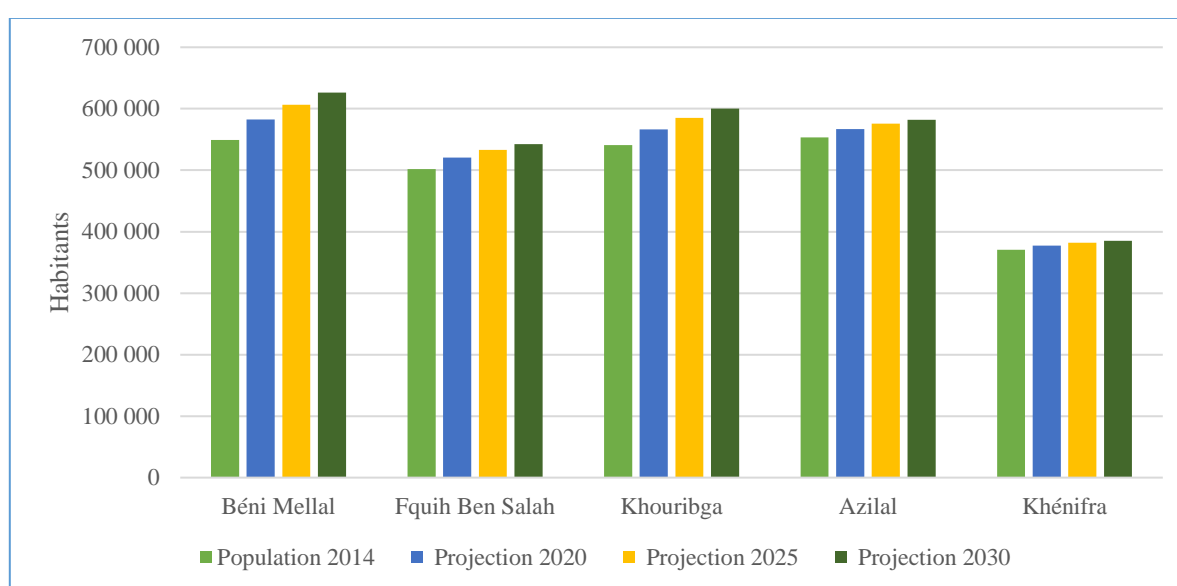


Figure 25 : Projections des populations des provinces de la région Béni Mellal - Khénifra entre 2014 et 2030

Selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2014, la région de Béni Mellal - Khénifra a compte 2.520.776 habitants, dont 49,14% sont urbains, taux inférieur au taux national (60,36%), avec une densité de 88,8 hab/km², très élevée par rapport à la moyenne nationale (47,6 hab/km²), occupant ainsi la 6^{ème} position en termes de densité après les régions de Casablanca-Settat, Rabat-Salé-Kénitra, Tanger-Tétouan-Al Hoceima, Marrakech- Safi et Fès-Meknès.

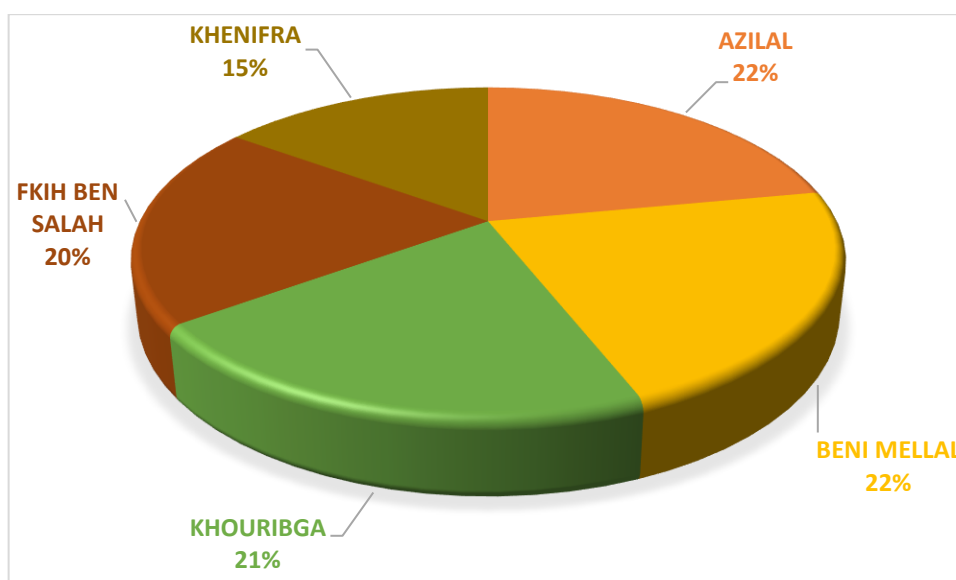


Figure 26 : Répartition de la population de la région par province

La région de Béni Mellal-Khénifra, qui ne couvre que 4% de la superficie du Royaume, abrite 7,45% de la population nationale en 2014. Au niveau communal, la densité varie de 10 hab/Km² (32 communes ont une densité inférieure à 30 habitants par Km²) à 12.700 hab/Km² au niveau de la municipalité de Khénifra.

I.2. Taux d'urbanisation

Le taux d'urbanisation dans la région de Béni Mellal Khénifra a atteint 49,1% en 2014. Plus que les 2/3 de la population urbaine de la région est concentrée dans les trois provinces de Béni Mellal, Khouribga et Khénifra qui abriteraient 75% du total de la population urbaine de la région avec des taux d'urbanisation successifs de 69,68%, 61,58% et 59,2% selon le recensement de 2014. Par ailleurs, les deux autres provinces ont des taux d'urbanisation divergents allant de 18,17% à la province d'Azilal et 40,91% à la province de Fquih Ben Salah.

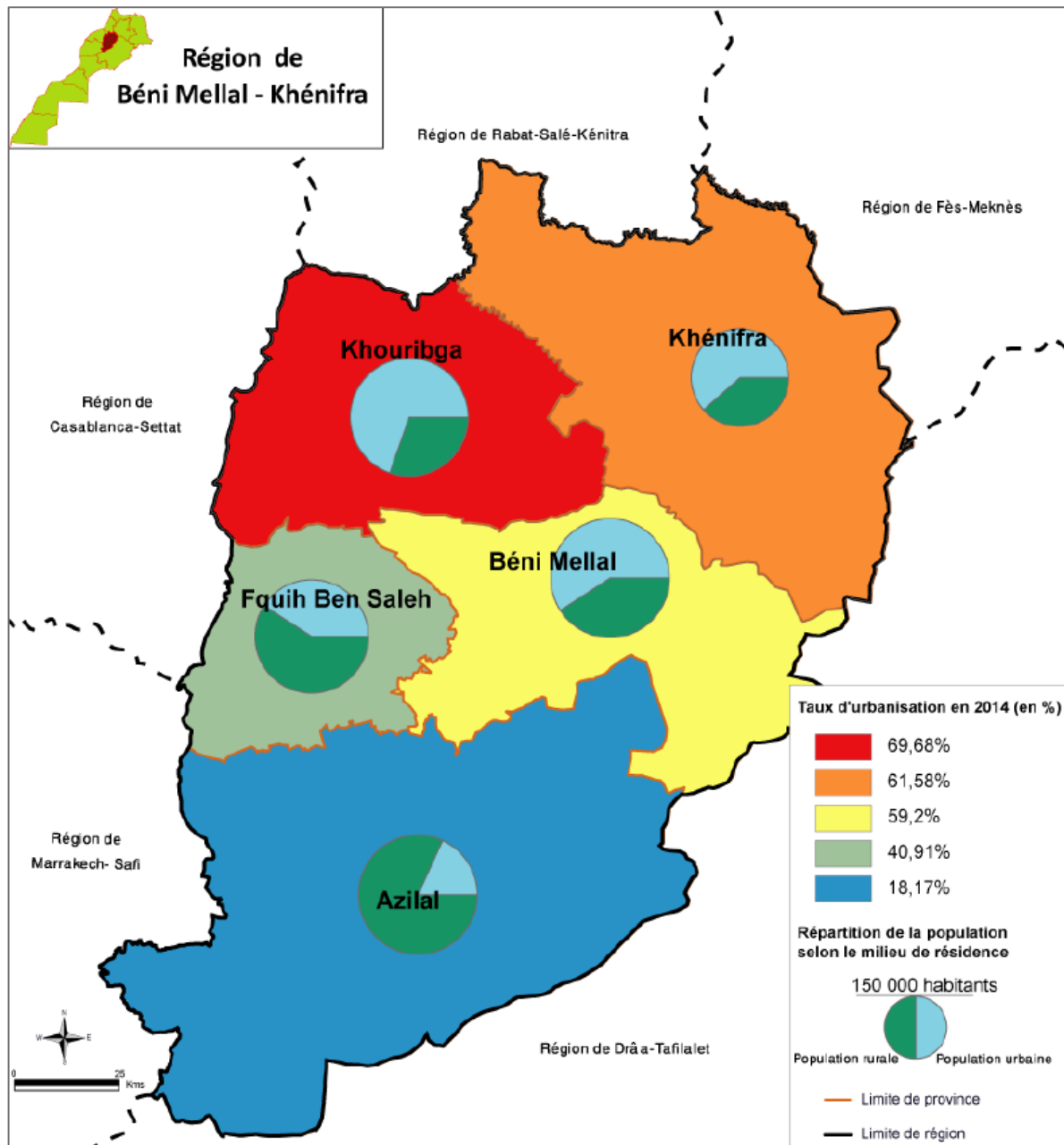


Figure 27 : Cartographie du taux d'urbanisation (Monographie RBK, 2015)

Il est intéressant de noter que le taux d'urbanisation, qui est un facteur de pression sur l'environnement, est plutôt faible dans les deux provinces dotées d'une biodiversité floristique élevée.

I.3. Besoins en eau potable

Le dynamisme économique et social de la région qui dépend de l'approvisionnement en eau, maintiendra inévitablement la pression sur les ressources en eau du fait de l'accroissement des besoins en eau et l'augmentation des flux de pollution.

Selon le PDAIRE en 2012, les bilans moyens des nappes de prélèvements sont déséquilibrés du fait de leur surexploitation de manière plus ou moins importante. En effet, le volume moyen des prélèvements excède les entrées. Cela entraîne une chute des niveaux d'eau et une réduction de la productivité des ouvrages de mobilisation.

En effet, sur la base de l'évolution de la population, de l'industrie (industries agroalimentaires et le pôle phosphater), la progression des besoins en eau potable et industrielle dans la zone du bassin de l'Oum Er-Rbia sera comme suit :

Tableau 4 : Evolution de la demande en eau potable et industrielle dans la zone du bassin de l'Oum Er-Rbia entre 2010 et 2030 en Mm³/an (PDAIRE, 2012)

Demande en eau	Année 2010	Horizon 2015	Horizon 2020	Horizon 2025	Horizon 2030
Milieu urbain	82	88	94	102	110
Milieu rural	47	63	73	83	91
Industries isolées	68	91	134	155	167
Projets touristiques	2	17	17	17	17
Total zone	199	259	318	357	385

D'un autre côté, la demande en eau d'irrigation dans la zone du bassin de l'Oum Er-Rbia est amené à diminuer (comme le montre le tableau ci-dessous) grâce notamment au Programme National d'Economie d'Eau d'Irrigation qui prévoit la reconversion à l'horizon 2025, des modes d'irrigation sur une superficie de près 256 000 ha au niveau des périmètres alimentés à partir des ressources en eau de la zone. Ce qui permet ainsi de réduire la demande en eau d'irrigation de 3 500 Mm³/an à 2 900 Mm³/an, soit une économie d'eau globale de 600 Mm³/an.

Tableau 5 : Evolution de la demande en eau d'irrigation du bassin OUM ER-RBIA jusqu'à l'horizon 2030 (Mm³/an) (PDAIRE, 2012)

Demande en eau	Année 2010	Horizon 2015	Horizon 2020	Horizon 2025	Horizon 2030
Bassin d'OUM ER-RBIA	3526	3112	2947	2947	2946

Ainsi, le déficit moyen pour l'irrigation dans la zone du bassin de l'Oum Er-Rbia par rapport à la dotation maximale serait de 560 Mm³ (en 2010) contre 980 Mm³ (en 2030). Cependant, ce bilan offre-demande négatif de -560 Mm³ pour 2030 n'intègre pas suffisamment le risque climat et son effet possible sur le potentiel en eau de la zone. Le déficit devrait être plutôt autour des 1500 Mm³ avec la tendance hydro-climatique constatée et les prévisions disponibles de nos jours (Centre de compétences Changement climatique Maroc, 2012).

C'est pour cela la réutilisation des eaux usées est devenue primordiale sachant que l'augmentation du nombre des stations d'épurations des eaux usées de la région de Béni Mellal-Khénifra est devenue un défi.

I.3.1. Alimentation en eau potable

L'AEP est une composante primordiale pour la stabilité et le confort de toute population, en plus, c'est le moteur de tout projet de développement. La demande de cette matière vitale est en augmentation avec l'augmentation de la population (Lahbabi A. et al, 2009). C'est le cas de la région BMK qui connaît une demande croissante sur l'eau potable et industrielle.

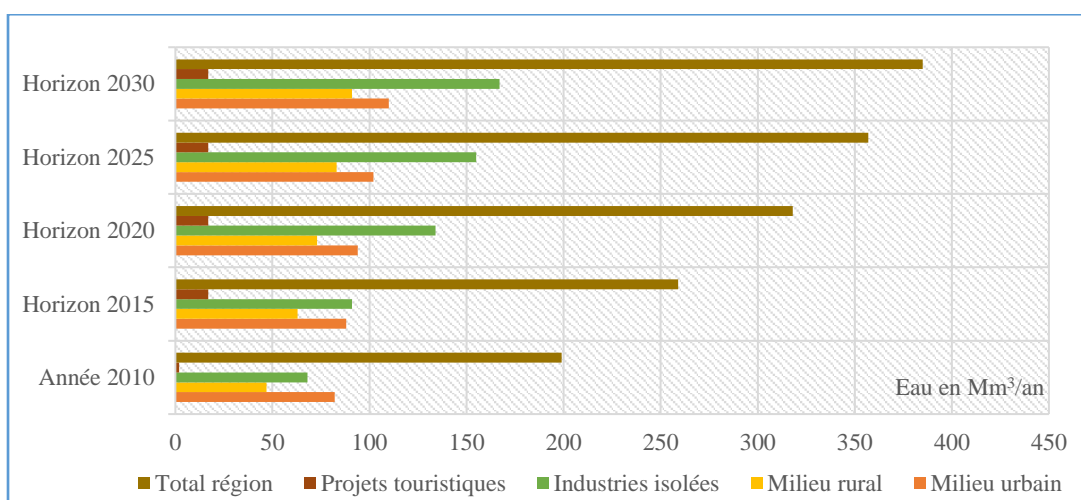


Figure 28 : Evolution de la demande en eau jusqu'à l'horizon 2030 en Mm3/an (ABHOER, 2012)

Les infrastructures dédiées au stockage et à l'alimentation en eau potable, d'irrigation et de l'industrie ou à la production d'électricité dans la région BMK, se considère parmi les meilleurs au niveau national. Les réseaux des fleuves et des oueds sont très développés dans cette région, permettent d'implanter plusieurs barrages de grandes capacités de stockage, et parfois on trouve plusieurs barrages sont implantés sur le même oued, comme le cas d'Oum Er-Rbia. Les barrages de la région par ordre de capacité sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Caractéristiques des barrages de la région Béni Mellal-Khénifra (HCP, 2016)

Barrage	Oued	Province	Date de mise en service	Capacité en Mm ³	Utilisation
Bine El Ouidane	El Abid	Azilal	1954	1233.1	I+E+EP
Hassan 1er	Lakhdar	Azilal	1986	242	I+E+EP+EI
A. Al Hansali	Oum Er-rabia	Béni Mellal	2001	724.4	I+E+EP
Ait Massaoud	Oum Er-rabia	Béni Mellal	2003	14.2	E
Ait Ourda	El Abid	Azilal	1954	0.7	I+E +EP
Tigit	Oum Er-rabia	Khénifra	2010	0.5	E
Tanafnit	Oum Er-rabia	Khénifra	2011	2	E+EP

(I : Irrigation, E : Energie, EP : Eau potable, EI : Eau industrielle, Mm³ : million de m³)

I.4. Assainissement et stations d'épuration des eaux usées de la région Béni Mellal-Khénifra

Actuellement les volumes des eaux usées deviennent énormes et la pollution devient plus concentrée à cause de l'augmentation de la population. Dans ce cas, le retour à l'utilisation des STEPs pour la dépollution devient un besoin persistant. Le branchement par un réseau d'assainissement liquide est aussi une condition principale pour garantir l'efficacité de toute

opération de collecte des eaux polluées. La région Béni Mellal-Khénifra dispose de plusieurs pôles urbains comme la ville de Béni Mellal, Khénifra, Khouribga et Azilal et d'autres centres ruraux qui demandent le branchement total au réseau d'assainissement ainsi, le traitement des eaux usées évacuées pour ne pas dégrader l'environnement.

I.4.1. Etat de la pollution d'origine domestique dans la région BMK

En fonction de l'accroissement démographique rapide, les volumes d'eaux usées ont connu une évolution de point de vue quantitatif comme représenté dans la figure n°29, en même temps la qualité se détériore et devient de plus en plus dégradée. Les flux des eaux chargées en polluants organiques, sont déversés (parfois sans traitement) dans les cours d'eau et les affluents d'Oued Oum Er-Rbia, ce qui affecte négativement la qualité des ressources en eaux. D'où l'obligation de traiter les eaux usées des agglomérations de la région BMK pour les rendre moins nocifs à l'environnement. De plus, la valorisation des eaux usées épurées dans différents domaines, comme l'agriculture par exemple, est une nécessité majeure.

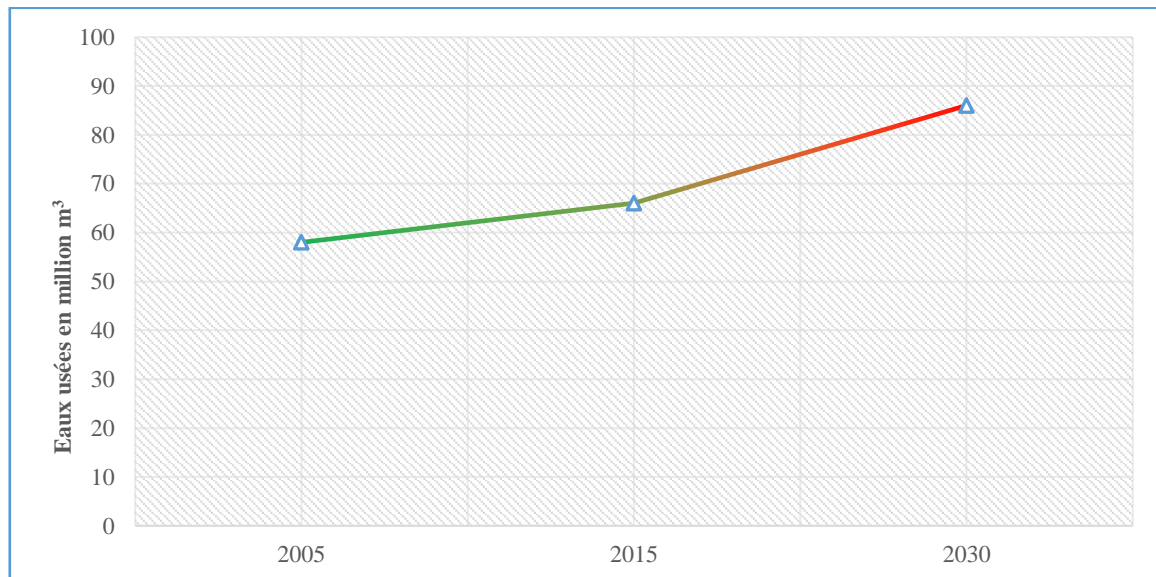


Figure 29 : Evolution de la quantité des eaux usées domestiques dans la région BMK entre les années 2005 et 2030 (ABH Oum Er-rbia, 2012)

Les eaux usées évacuées sont très chargées en polluants de différents types : Matière Organique (MO), Matière en Suspension (MES), Azote Totale Kjeldahl (NTK), Phosphore Totale (Pt), Micro-organismes (CT, SF, Œufs de parasites, Virus).

Le graphe de la figure suivante illustre les tonnages de quelques paramètres de pollution ainsi que leurs tendances d'augmentation dans le temps.

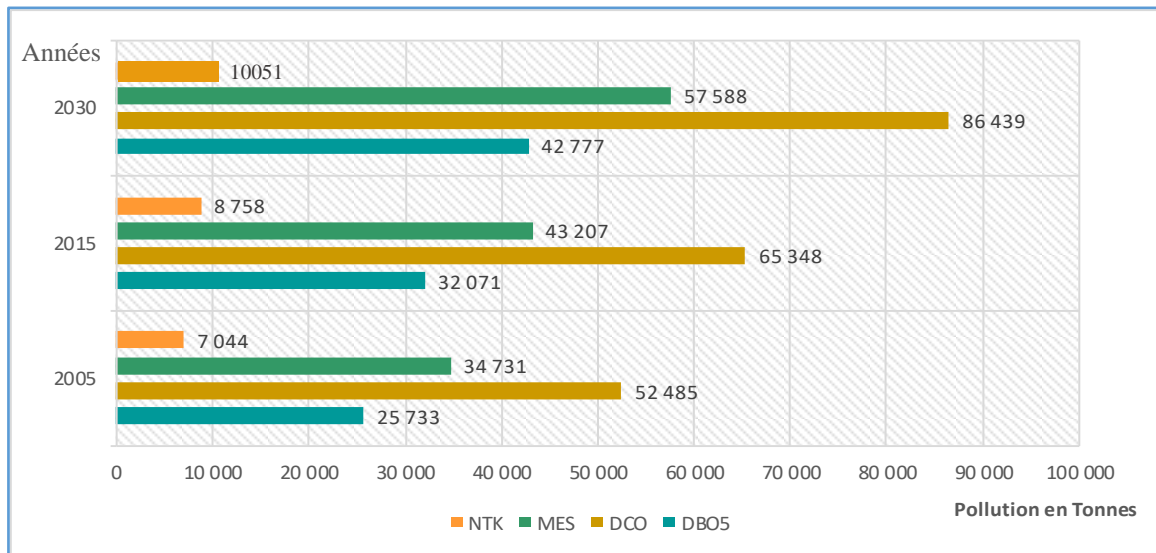


Figure 30 : Evolution de la quantité des polluants dans les eaux usées de la région BMK entre les années 2005 et 2030 (ABH Oum Er-rbia, 2012)

Devant cette situation critique en matière d'augmentation des quantités des rejets liquides, le recours au traitement et à l'épuration grâce aux STEPs est devenu nécessaire pour encercler ces effets indésirables envers la population et l'environnement d'une façon générale.

I.4.2. Stations d'épuration des eaux usées de la zone d'étude

I.4.2.1. Situation géographique

Chaque province, de la région Béni Mellal- Khénifra, dispose d'une ou plusieurs stations d'épuration des eaux usées, cela en fonction du nombre de population. De même, toute ville ou groupement d'habitants cherche à adopter le système d'épuration le plus adéquat en fonction de ses besoins et sa capacité budgétaire. A cet égard, on peut compter jusqu'à présent, 14 stations qui existent dans la région BMK, elles sont de différents types :

- Station de type Lagunage Aéré (LA) : à Hattan.
- Station de type Lagunage Naturel (LN) : à Azilal, Boujaâd, El Ksiba, Mrirt, Ouaouizeght, Oued Zem, Béni Zerantal, Zaouit Cheikh et Aghbala.
- Station de type Lit Bactérien (LN) : à Béni Mellal, à Khénifra, Agropole de Béni Mellal
- Station de type Boues Activées (BA) : Khouribga.

Ces différentes STEPs sont distribués sur le territoire de la région et localisées comme ci-dessous :

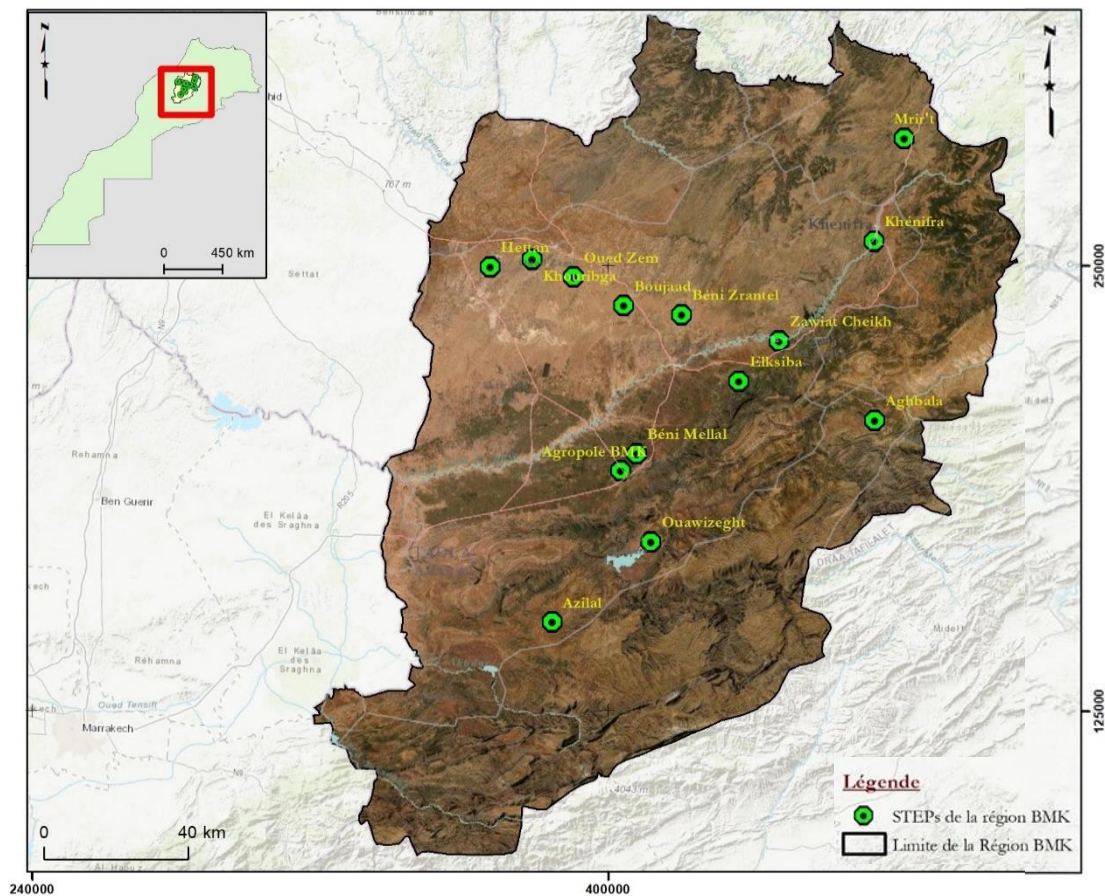


Figure 31 : Localisations des STEPs de la région de Béni Mellal-Khénifra

I.4.2.2. Fiches synoptiques des STEPs

Chaque station d'épuration des eaux usées a ses propres caractéristiques quantitatives, techniques et physiques. Les tableaux en Annexe N°2, résument les caractéristiques des STEPs de la région BMK.

I.4.2.3. Sélection des STEPs de type lagunage

Du fait que certaines STEPs de la région sont artificielles et quasi-totalement indépendantes des conditions du milieu et plus particulièrement les conditions climatiques, notre étude sera consacrée à contrôler seulement les stations de type lagunage. De plus, d'après des études antérieures et des enquêtes qu'on a réalisées, deux STEPs de type lagunage qui sont vraiment bien opérationnelles : STEP de Boujaad et celle de Zaouit Cheikh.

CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES

I. Matériels

I.1. Données des stations climatologiques de la zone d'étude

Dans le cadre de l'étude d'impact des variabilités climatiques sur le rendement des stations d'épuration des eaux usées de type lagunage, plusieurs données climatiques des différentes stations météorologiques au niveau de la zone d'étude depuis 1985, ont été collectées. En effet, deux stations représentatives de la zone d'étude ont été choisies : la station climatique du barrage Ahmed El-Hansali proche de la STEP de Zaouit Cheikh en montagne et celle de Khouribga proche de la STEP de Boujaâd en plaine. Plusieurs visites sur terrain, aux différentes STEPs et administrations (ONEE, ABHOER) ont été réalisées, afin de combler les lacunes de la base de données et de recueillir le maximum d'informations fiables pour la mise en évidence de toute relation entre la variabilité du climat et son impact sur le rendement des STEPs.

La base de données climatique, sous format Excel, contient des valeurs de températures mensuelles en °C (minimales, maximales et moyennes), des valeurs de précipitations en mm, des valeurs d'évaporation en mm (Bac Colorado).

Les caractéristiques des deux stations climatiques étudiées sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 7 : Caractéristiques des stations climatiques de Khouribga et Zaouit Cheikh.

Station	Appareillage	Coordonnées métriques
Station Barrage Ahmed El-Hansali (La plus proche de Z. Cheikh)	Pluviomètre, Anémomètre, Thermomètre, Bac Colorado	X : 32° 41' 03'' N Y : 5° 52' 51'' W
Station de Khouribga (La plus proche de Boujaâd)	Thermomètre, Bac Colorado Pluviomètre, Anémomètre,	X : 32° 23' 30'' N Y : 6° 47' 13'' W

I.2. Données d'analyses d'eaux usées des STEPs de Zaouit Cheikh et Boujaâd

La base de données climatique susmentionnée est comparée avec une autre physicochimique (recueil des résultats d'analyses des eaux usées avant et après traitement) récoltée au sein des STEPs, afin de quantifier les performances épuratoires des deux stations d'épuration des eaux usées.

Les paramètres mesurés in situ à l'entrée et à la sortie des STEPs sont : le débit (m³/s) le pH, la conductivité électrique en (µSm/Cm à 25°C), la température de l'air et de l'eau en °C et l'oxygène dissous en mg O₂/l.

Les autres paramètres de la base de données biochimique sont analysés au sein du laboratoire d'analyses de l'agence du bassin hydraulique d'Oum Er-Rbia et le laboratoire d'analyses de l'Office Nationale de l'Eau et d'Electricité-Branche Eau. Ces paramètres sont comme suivis :

- Demande Biologique en Oxygène pendant cinq jours (DBO₅) ;
- Demande Chimique en Oxygène (DCO) ;
- Les Matières en Suspension (MES) ;

Les teneurs de ces paramètres constituent la base de données exploitée pour déduire les rendements des STEPs. Ces derniers, vont constituer un outil de témoignage du comportement

des performances des stations d'épuration des eaux usées aussi bien dans le temps que dans l'espace et ceci en fonction de la variabilité climatique de la région.

I.3. Logiciels utilisés

Plusieurs logiciels sont utilisés durant ce travail, notamment ceux de la présentation cartographique et l'interpolation des données, le traitement des données climatologiques ainsi que les logiciels de statistiques à la base des langages de programmation.

I.3.1. RStudio

Le logiciel RStudio est un logiciel de statistique développé de la version R créée par Ross Ihaka & Robert Gentleman en 1993. Il est à la fois un langage informatique et un environnement de travail : les commandes sont exécutées grâce à des instructions codées dans un langage relativement simple, les résultats sont affichés sous forme de texte et les graphiques sont visualisés directement dans des fenêtres propres à lui.

Le logiciel est gratuit et a code source ouvert (Opensource) même dans le contexte de l'entreprise ou de la formation. Il fonctionne sous Linux, Windows et Macintosh. C'est donc un logiciel multi-plates- formes.

I.3.2. RClimDex

C'est une package peut-être exécuté dans l'environnement du logiciel R pour donner une interface isolée de l'environnement R, ainsi, RClimDex est un module qui contient un code sous forme des équations qui incluent des paramètres climatologiques dans le but de calculer des indices comme l'indice d'aridité de Martonne ou l'indice embrothermique...

II. Méthodologie suivie

Au premier lieu on a réalisé des rencontres avec les représentants de l'ONEE-BE, les responsables des STEPs concernées par l'étude et les responsables des services au sein de l'Agence de Bassin Hydraulique Oum Er-Rbia, pour recueillir l'historique des bulletins d'analyses mensuelles des eaux usées des différentes STEPs et la base de données climatiques des stations hydrométéorologiques au niveau de la région Béni Mellal -Khénifra.

En deuxième lieu, on a effectué des visites, des campagnes de mesures et d'enquêtes pour combler les lacunes observées au niveau des bases de données récoltées, et parmi les mesures qu'on a faites c'est les paramètres physicochimiques des eaux usées (Ph, température, oxygène dissous, MES) et les paramètres biochimiques (DBO5 DCO) (Photo n°39) (Annexe N°3).



Photo 8 : Photos d'échantillonnage sur terrain (2018)

II.1. Traitement des bases de données

Les informations récoltées nous a permis, à travers un traitement poussé de données, d'avoir une idée sur les performances épuratoires saisonnières des STEPs et sur les variations spatio-temporelles des paramètres climatiques et par la suite de conclure l'effet des variabilités climatiques sur les rendements des stations d'épuration des eaux usées de la région.

Et ceci dont l'objectif final, de déterminer les conditions climatiques optimales, notamment celle de la température pour qu'une station d'épuration fonctionne d'une façon efficace et avec un rendement maximal.

II.2. Analyse statistique

L'analyse statistique de la base de données des paramètres mesurés est basée sur les principes de la science des données y compris les modèles statistiques que les paramètres peuvent suivre : les relations ou corrélations qui existent entre les variables et les individus ainsi que la visualisation des variables pour mieux comprendre la donnée et son comportement statistique.

II.3. Plateforme spatiale des STEPs

Dans cette partie on a essayé d'élaborer une plate-forme spatiale récapitulant toutes les STEPs de la région de Béni Mellal-Khénifra afin de faciliter la tâche aux chercheurs, aux responsables des communes et aux décideurs de naviguer sur la plate-forme et de savoir les caractéristiques de chaque STEP ainsi que son rendement et d'en tirer celle qui fonctionne bien et qui sera convenable et prototype pour les nouveaux projets.

En récapitulant, la méthodologie adoptée lors de notre étude de thèse- est illustrée dans l'organigramme de la figure suivante :

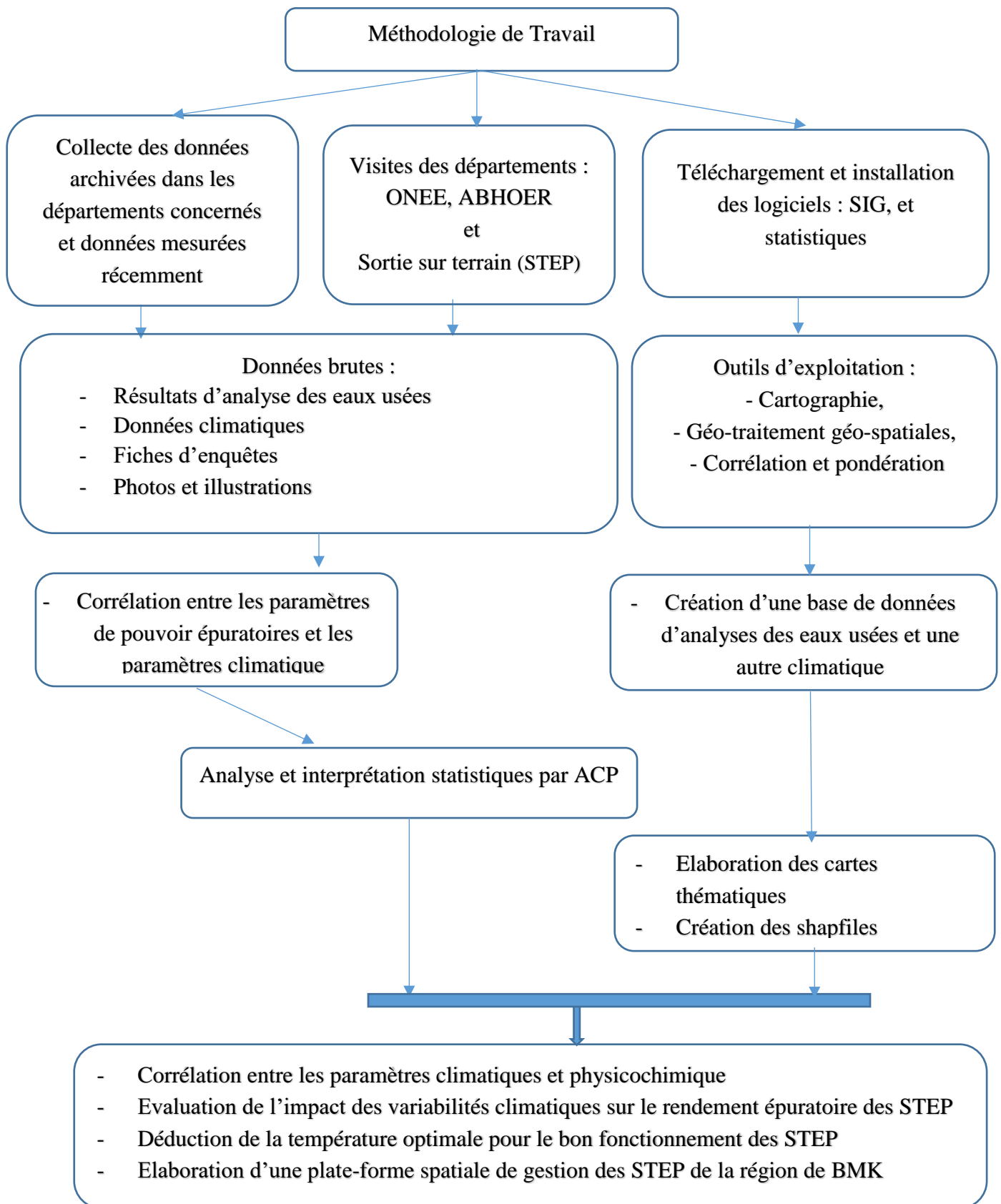


Figure 32 : Organigramme illustrant la méthodologie de travail suivie

PARTIE III :
RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE I : IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LE POUVOIR EPURATOIRE DES STEPS DE TYPE LAGUNAGE ET ESSAI DE CREATION D'UN SIG

I. Introduction

Le traitement des eaux usées au niveau de la région de Béni Mellal Khénifra, rencontre plusieurs problèmes permettant un changement du rendement de chaque station d'épuration a cause de variation de plusieurs facteurs climatique influençant le rendement épuratoire. Selon nos études et investigations précédentes, deux stations d'épuration de type lagunage naturel fonctionnent bien et ont des temps de séjour presque égaux : la station d'épuration de Boujaad et la station d'épuration de Zaouit Cheikh, c'est pour cela une comparaison de ces deux stations d'épuration sera la suite de ce chapitre pour déterminer l'impact des paramètres climatiques sur la variation du rendement épuratoire de ces STEPs.

II. Etude de cas : Comparaison entre climat de la plaine (STEP de Boujaâd) et de Dir (STEP de Zaouit Cheikh)

II.1. Données mesurées et données TERRA MODIS

Il faut tout d'abord une vérification de la fiabilité des données de climat issues du satellite Terra MODIS à l'aide des données mesurées au niveau de la station météorologique du barrage Ahmed El Hansali (Zaouit Cheikh), la projection bi-variable de température Terra et celle mesurée au niveau de la station, a donné les résultats suivants :

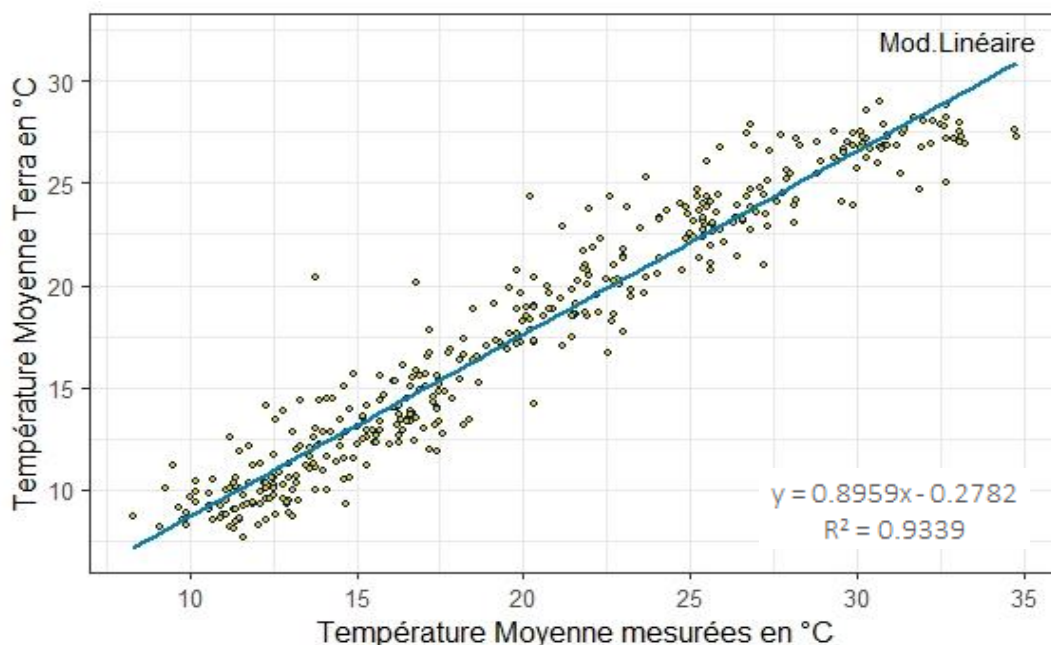


Figure 33 : Projection de corrélation entre la température mesurée au niveau de la station du barrage Ahmed El Hansali et la température de TERRA MODIS

La comparaison des séries temporelles de température depuis 1980 jusqu'à 2019 du satellite Terra montre que les données climatiques du satellite Terra utilisées au niveau de la STEP de

Zaouit Cheikh sont bien corrélées ($R^2 = 0.93$) avec les données mesurées au niveau de la station météorologique de barrage Ahmed El Hansali pour la même période (1980-2019). Le nuage de point formé par la projection des températures suit une distribution linéaire et une tendance de corrélation positive d'où la fiabilité des données de TERRA MODIS (figure n° 33).

II.2. Variabilité de la température entre les deux STEPs

La projection des données de température durant la période allant de 1985 à 2019 au niveau des deux STEPs (Zaouit Cheikh et Boujaâd), montre en général des valeurs de température plus au moins élevées à Boujaâd qu'à Zaouit Cheikh (figure n° 34) :

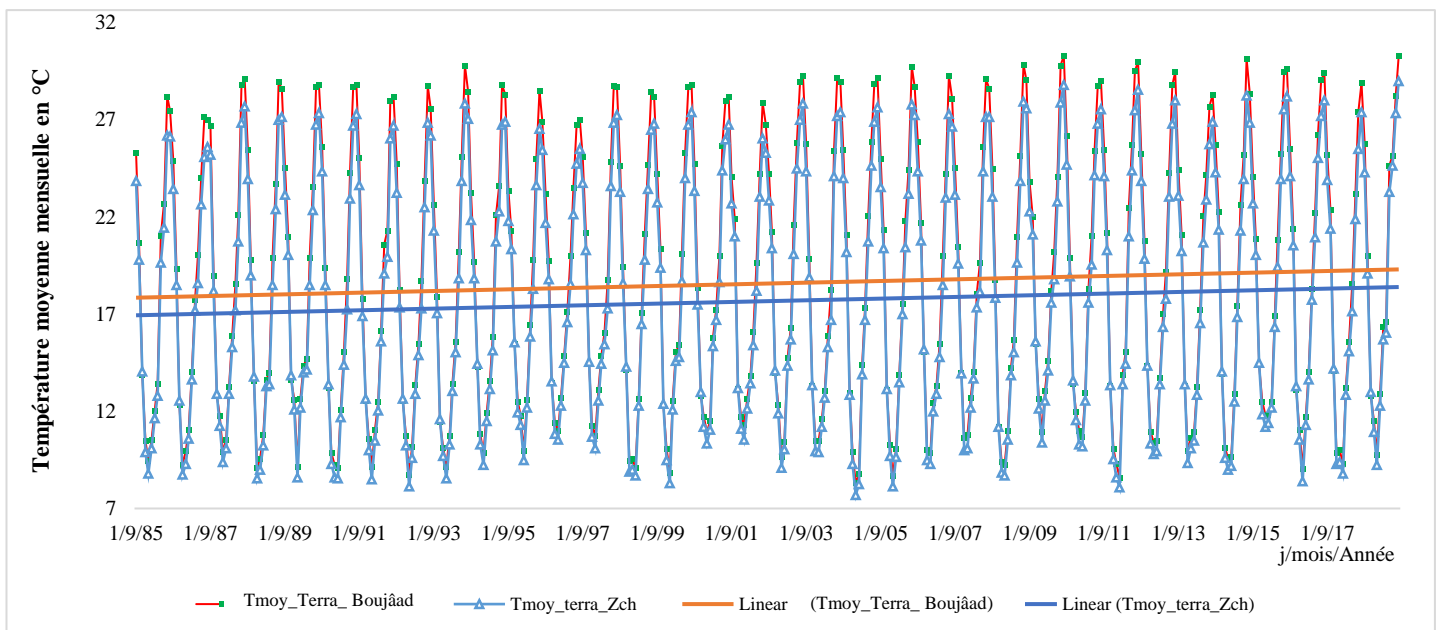


Figure 34 : Variation de la température mesurée au niveau des deux STEPs (Boujaâd et Zaouit Cheikh) entre la période (1985 - 2019)

La courbe de température moyenne à Boujaâd en orange, qui est empilée, au cours de cette période au-dessus de la courbe de T°C de Zaouit Cheikh qui est en bleu, l'écart entre les valeurs des températures des deux STEPs varie entre 2°C comme valeur minimale et 6°C comme valeur maximale ; ce qui témoigne la variabilité de température entre la plaine et le Dir en montagne. En général, les courbes de température dans les deux zones ont une tendance ascendante. Cela peut être expliqué par l'effet du réchauffement climatique dans le monde entier.

II.3. Variabilité de la radiation entre les deux STEPs

La mesure de la radiation solaire qui arrive à la terre, permet de quantifier la quantité d'énergie qui rentre en réaction avec l'eau des bassins au niveau d'une STEP de type lagunage, par la suite, connaître l'effet de toute augmentation ou diminution des quantités de radiation sur la croissance micro-algale des bassins au cours de la journée et pendant les saisons.

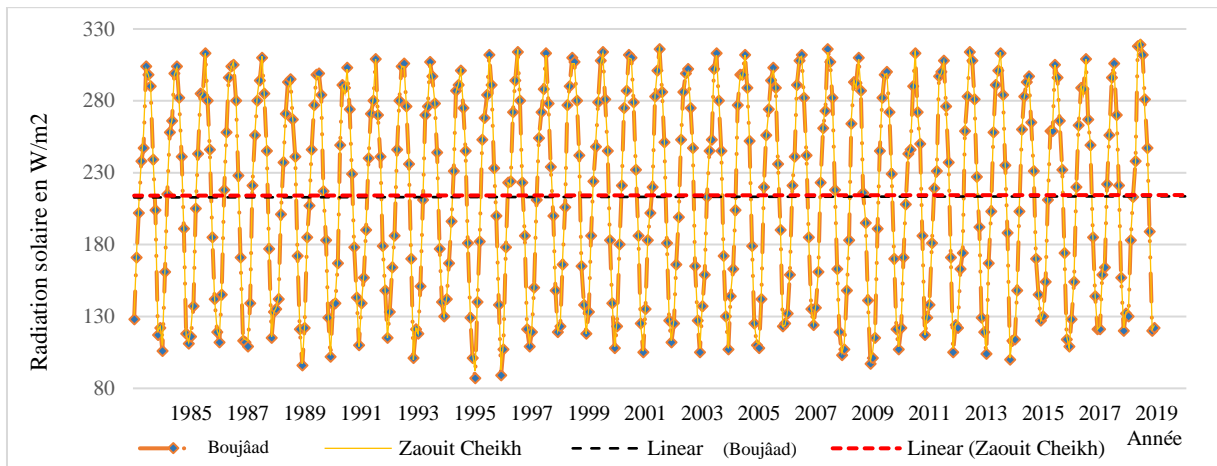


Figure 35 : Variation de la radiation solaire mesurée au niveau des deux STEP (Boujaâd et Zaouit Cheikh) entre la période (1985 - 2019)

D'après la figure n° 35 ci-dessus, on constate que les valeurs de radiation solaire au niveau des deux STEP, sont presque superposables et ne marquent pas de variabilité spatiale intéressante ; on note quelques petites élévations qui peuvent être relevées en plaine qu'en montagne. En revanche, elle connaît une variation remarquable en fonction des saisons et ceci pour les deux stations, en passant de 300 W/m^2 (période estivale) à 90 W/m^2 (période hivernale), ça veut dire qu'il y a plus d'énergie solaire qui arrive en été à la surface des bassins des STEP qu'en hiver.

D'après les graphiques, il paraît que le paramètre climatique qui varie de plus entre la station en plaine (Boujaâd) et celle en montagne (Zaouit Cheikh) c'est la température du fait qu'elle est totalement dépendante des conditions du milieu (topographie, vent).

II.4. Corrélation entre la température de l'eau et le rendement des STEP

Les différents paramètres biotiques et abiotiques, mesurés dans les eaux usées des STEP de type lagunage et aux milieux avoisinants sont interdépendants les uns aux autres, c'est pour cela l'étude expérimentale et l'analyse de la relation entre ces paramètres, permettent de définir les facteurs limitants qui maîtrisent le processus de biodégradation ; chose qui peut aider à développer les procédés convenables à la nature des effluents, ainsi le type de STEP à installer selon les conditions climatiques du milieu.

II.4.1. Variabilité spatiale de température de l'eau et rendements des STEP

D'un point de vue réglementaire, les performances de traitement d'une station sont définies dans les articles 14 et 15 de l'arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées. Selon Reverdy A.L., et al (2013) les performances épuratoires d'une station de traitement des eaux usées sont fixées :

- ▶ En concentrations maximales en sortie de STEU,
- ▶ En rendement minimal calculé en faisant le rapport entre la pollution sortante et la pollution entrante dans la station ; il définit donc le pourcentage d'abattement des différents paramètres de pollution et donc les performances de la station.

Le rendement d'une STEP matérialise le degré d'abattement des polluants organiques et minéraux dans l'effluent d'eaux usées tout en comparant les concentrations à la rentrée avec celles de la sortie de la station, il se calcul selon l'équation suivante (Choubert et al, 2011) :

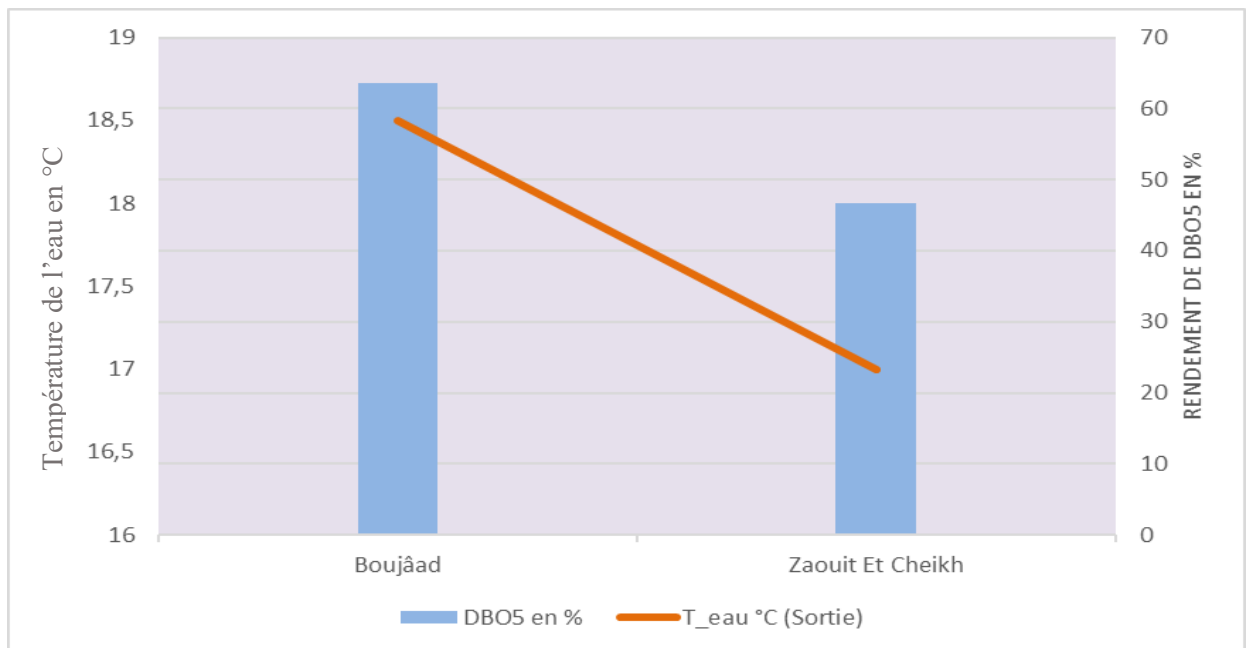
$$\text{Rendement en X (\%)} = \frac{([\text{Concentration X}] \text{ entrée} - [\text{Concentration X}] \text{ sortie}) \times 100}{[\text{Concentration X}] \text{ entrée}}$$

La description et l'analyse de la relation existante entre la variation de la température de l'eau et la localisation géographique des STEPs, peuvent nous donner une idée sur le degré d'impact de la viabilité climatique sur les rendements des stations d'épuration d'eaux usées.

NB : Sachant que, la plupart des stations d'épuration d'eaux usées de la région BMK ne fonctionnent pas correctement, on s'intéresse, dans cette partie, à calculer les rendements épuratoires uniquement à la sortie de deux STEPs (rendement de la STEP de Boujâad durant l'année de 2014 et rendement de la STEP de Zaouit Cheikh durant l'année de 2018) qui se diffèrent par les conditions du milieu (topographie, climat) et qui se caractérisent par la disponibilité de leurs données surtout en DBO₅ et DCO, ainsi qu'elles sont bien contrôlées par l'ONEE et ont des temps de séjours presque proches.

a. Variation de la température de l'eau et le rendement en DBO₅ des STEPs étudiés

La figure n°36 représente la variation de la réduction en pourcentage de la DBO₅ en fonction de la fluctuation de la température de l'eau au niveau des STEPs étudiés.



$$*\text{Rendement en DBO}_5 (\%) = \frac{([\text{DBO}_5]_{\text{brute}} - [\text{DBO}_5]_{\text{traitée}}) \times 100}{[\text{DBO}_5]_{\text{brute}}}$$

Figure 36 : Variation de la température de l'eau et du rendement en DBO₅ au niveau des deux STEPs de la région BMK (mois 03/2019)

Le graphique ci-dessus représente des variations de température de l'eau en °C des STEPs à la sortie et le rendement en DBO₅. D'après le graphique, on peut dire que la STEP de Boujâad

a un rendement convenable (64%) avec une T°C de l'eau de 19°C cependant celle de Z Cheikh a un rendement insuffisant (47%) avec une T°C de 17°C.

D'une façon générale, on peut conclure qu'il y'a une corrélation positive entre le rendement en DBO₅ et la température de l'eau qui est aussi influencée par la température de l'air.

La STEP de Boujaâd qui se trouve en plaine, se caractérise par des valeurs de températures de l'air élevées, pouvant atteindre un maximum de 45°C et par la suite un abattement significatif de la pollution en DBO₅ de l'ordre de 64% par rapport à celle qui se situe en montagne (Zaouiat Cheikh) qui se caractérise par des températures de l'air moyennes à faibles (16°C à 20°C) donnant des rendements assez faibles (47%).

Comme résultat déduit : les faibles abattements de la DBO₅ sont enregistrés dans des STEPs localisées dans des zones en relief moins tempérées (± froides) et les STEPs à forts abattements se situent dans les zones en plaine plus tempérées.

b. Variation de la température de l'eau et le rendement en DCO dans les STEPs étudiées

La demande chimique en oxygène c'est la quantité d'oxygène (mgO₂/l) nécessaire pour la dégradation chimique de la matière organique non biodégradable qui existe dans les eaux usées, c'est l'un des paramètres mesurés pour caractériser les performances épuratoires des STEPs.

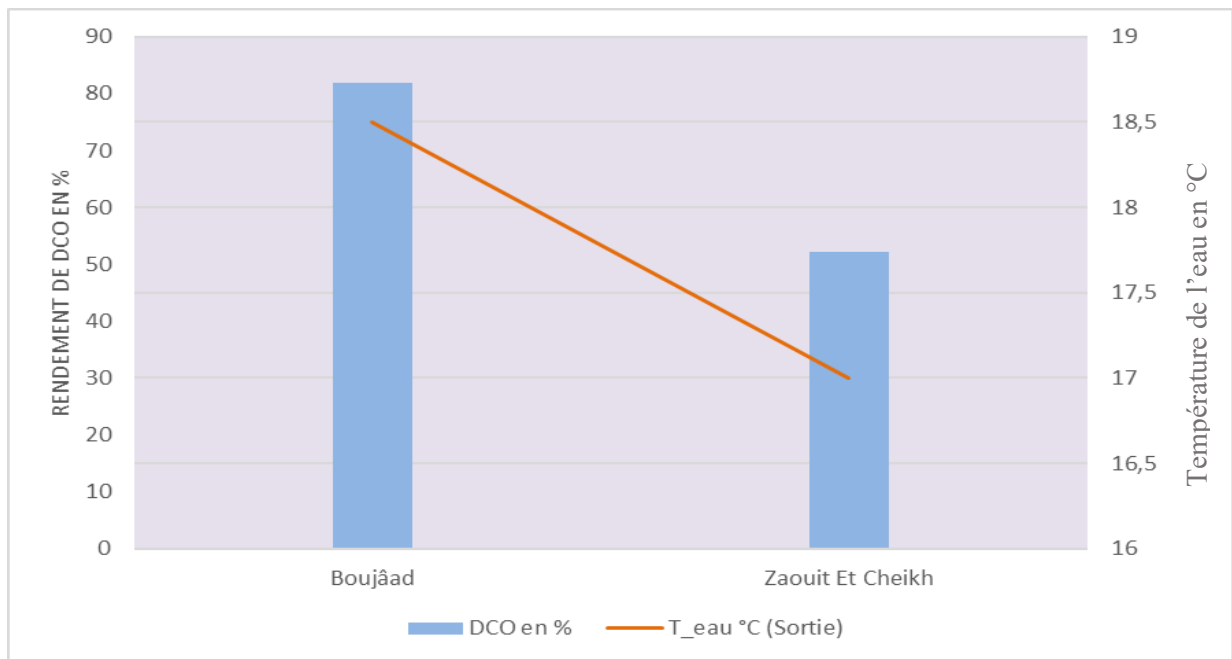


Figure 37 : Variation de la température de l'eau et du rendement en DCO au niveau des deux STEPs de la région BMK (mois 03/2019)

La figure n°37 décrit la variation du rendement en DCO dans les deux STEPs de la région étudiées en fonction de la température. Il dépend de la température de l'eau : à Boujaâd (82% en DCO à 19 °C), à Zaouit Cheikh (50% en DCO à 17°C).

D'après ce qui précède, on peut déduire que le rendement en DCO des STEPs de la zone d'étude varie en fonction de la variation de la température de l'eau qui est dépendante elle-

même de celle de l'air ambiant. Autrement, on peut dire que la variation du climat, influence la dégradation de la matière organique et par la suite les performances épuratoires.

La station d'épuration des eaux usées de Zaouit Cheikh placée en Dir avec un climat moins tempéré, se caractérise par des faibles valeurs d'abattement en DCO.

A l'autre côté, la STEP qui est en plaine (Boujaâd) où les conditions climatiques plus tempérées, on enregistre des abattements importants en DCO allant même à 80%.

Donc, on peut déduire que, la température des eaux usées constitue un facteur limitant du rendement en DCO et toute variation de température influence le rendement d'une STEP. A cet effet, la prise en considération des conditions climatiques du milieu pour une telle implantation de STEP s'avère nécessaire.

En conclusion, il ressort clairement de ce qui précède que les performances d'épuration des stations d'épuration, qui sont représentées par les rendements d'épuration en DBO₅ et en DCO et leurs variabilités spatiales d'une station à l'autre, sont étroitement liées aux variabilités climatiques, telle que la température de l'air. Les plus faibles rendements se trouvent dans les régions montagneuses moins tempérées (Zaouit Cheikh), tandis que les stations situées dans la plaine avec des températures élevées dans la majorité de l'année, sont caractérisées par des rendements épuratoires élevés (Boujaâd).

En effet, la radiation solaire, la température de l'air et par la suite la température de l'eau, agissent en groupe pour fournir suffisamment d'énergie et de lumière pour accélérer les processus de la biodégradation et de la photosynthèse et ainsi de créer des conditions propices à la croissance des algues favorisant à son tour l'oxygénation du milieu aqueux. Ce dernier est primordial pour les bactéries pour dégrader la matière organique soluble dans les eaux usées.

En contrepartie, toute diminution des valeurs de ces paramètres climatiques affectera séquentiellement les activités biologiques des microorganismes (algues et bactéries) et donc affaiblira le rendement de la STEP dans son ensemble.

II.4.2. Variabilité mensuelle de la température de l'eau et du rendement des STEP

On s'intéresse dans cette partie aux variations des performances épuratoires en fonction des mois, à l'aide d'une base de données récoltant les analyses des paramètres physico-chimiques des eaux usées des STEP de Boujaâd en 2014 et de Zaouit Cheikh en 2018.

II.4.2.1. STEP de Zaouit Cheikh

a. Le rendement en DBO₅

Le graphe de la figure n°38, représente la variation mensuelle des données de mesures climatiques et d'analyses des eaux usées de la STEP de Zaouit Cheikh pour l'année 2018 : température de l'air, de l'eau, de radiation solaire et de DBO₅.

D'après cette figure, les courbes de température de l'air en °C, température de l'eau °C et radiation solaire en W/m² sont caractérisées par une corrélation positive entre eux. La courbe de DBO₅, suit également le même sens de variation des trois paramètres climatiques : si la température de l'eau augmente, l'abattement est maximal et la teneur de la DBO₅ à la sortie de la STEP atteint des valeurs minimales (en mois de mai où la température de l'eau est 22°C, on

enregistre une teneur de 95 mgO₂/l en DBO₅ ; c'est la plus faible valeur mesurée en 2018) et qui est conforme aux normes nationales des rejets d'eaux usées dans les milieux naturels.

En général, la période entre le mois de mai et le mois de novembre, se caractérise par des valeurs importantes d'abattement de pollution en DBO₅ conformes ou proches des valeurs limites. Elles dépassent légèrement ces normes pendant les mois de juin, juillet et août où les valeurs de température et de radiation sont très élevées.

En revanche, entre le mois de décembre et le mois d'avril (période hivernale caractérisée par des faibles valeurs de température et de radiation qui peut agir négativement sur le rendement des stations d'épuration) on a enregistré des concentrations maximales en DBO₅ à la sortie des STEP's pouvant aller jusqu'à 380 mgO₂/l, d'où le rendement des STEP's est faible.

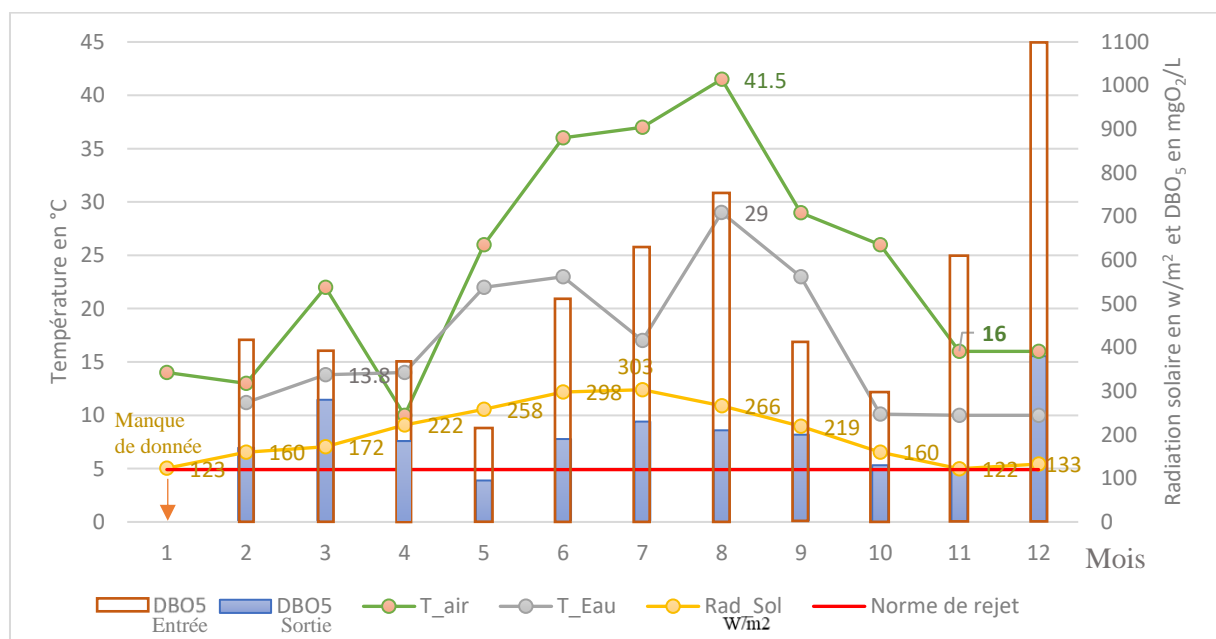


Figure 38 : Variation mensuelle de la température de l'air, de l'eau, de radiation solaire et de DBO₅ à la sortie de la STEP de la ville de Zaouit Cheikh (2018)

En conclusion, l'élimination de la DBO₅ est plus importante pendant la période estivale que la période hivernale. Et plus précisément, le rendement maximal se réalise pendant la saison du printemps et d'automne, il diminue un peu pendant l'été à cause des températures mortelles.

On peut dire aussi que la gamme de température de l'eau (10°C à 28°C), est plus convenable au processus de biodégradation de la MO. Une telle déduction rappelle les mêmes résultats adoptés par (Agoumi, 1982).

De surcroit, on peut aussi remarquer qu'il y'a un retard d'effet du climat sur le processus d'épuration d'à peu près un mois, à cause de l'effet du temps de séjour qui peut dépasser un mois, dans le cas de STEP de type lagunage (Zaouit Cheikh).

b. Le rendement en DCO

La figure suivante représente la variation des valeurs de DCO à la sortie de la STEP de Zaouit Cheikh, des températures de l'air, de l'eau et de la radiation solaire pendant les douze mois de l'année 2018.

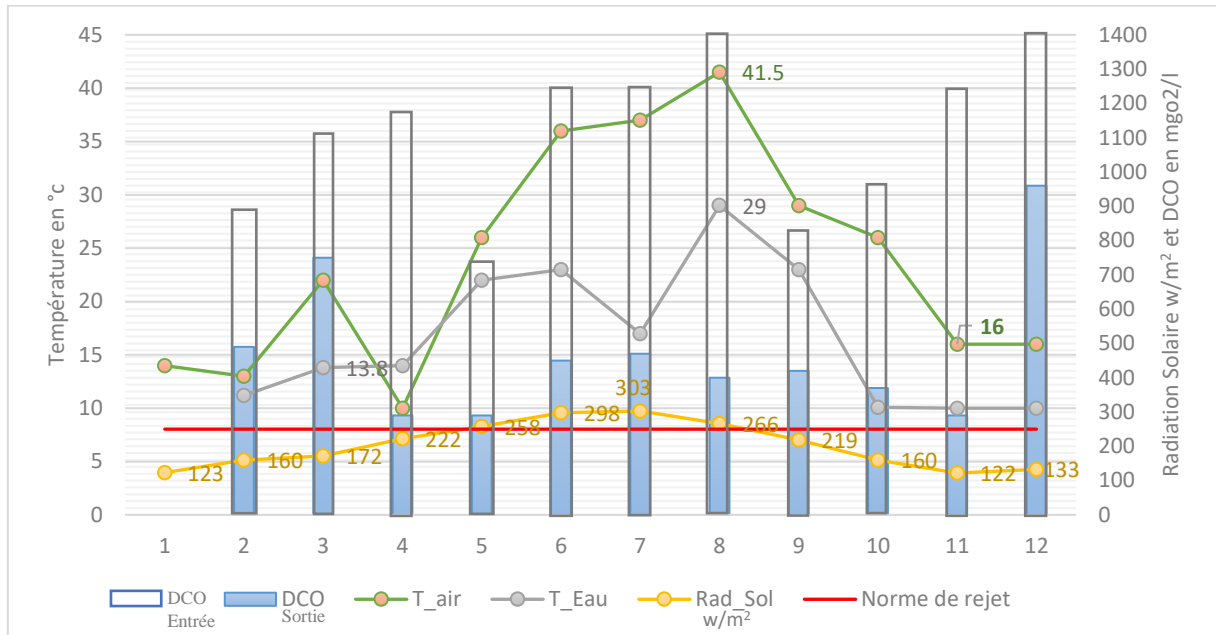


Figure 39 : Variation de la température de l'eau, de l'air, de radiation solaire et de DCO à la sortie de la STEP de la ville de Zaouit Cheikh (2018)

On observe, d'après la figure n°39, que la période entre novembre et mars, se caractérise par des taux de DCO élevés à la sortie de la STEP, causés par une diminution des valeurs de température et de radiation solaire. Et vice versa, les choses se passent en épisode estivale. Les températures de l'eau appartenant à la gamme [12°C-29°C] sont plus préférées par les microorganismes pour dégrader la MO. De même, la radiation solaire la plus convenable s'étale entre 120 W/m² à 250 W/m².

II.4.2.2. STEP de Boujaâd

a. Rendement en DBO₅

La zone d'implantation de la STEP de la ville de Boujaâd se caractérise par une aridité du climat, où on assiste à une augmentation de la radiation solaire et de la température favorisant ainsi le rendement de la STEP en DBO₅.

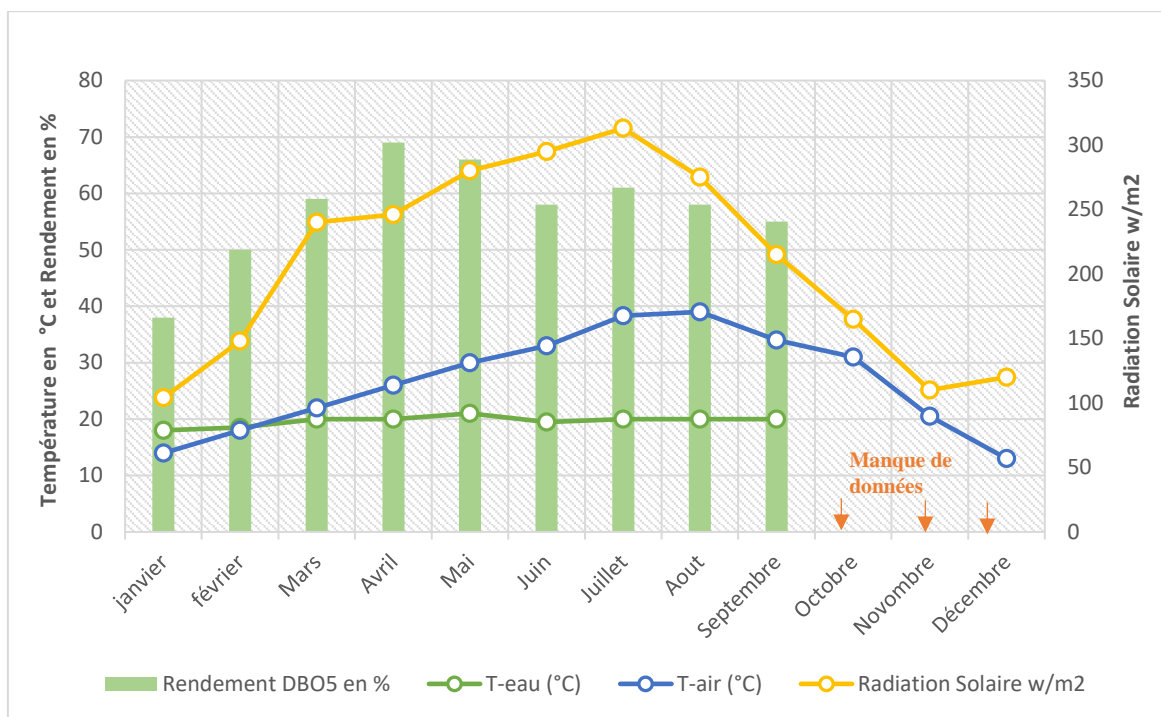


Figure 40 : Variation de radiation solaire, de la température de l'air, de l'eau et de la DBO5 à la sortie de la STEP de la ville de Boujaâd (année 2014)

La température moyenne de l'air à Boujaâd, augmente d'une manière progressive d'un minimum de 11 °C en janvier, jusqu'à un maximum de 38 °C en mois d'août, En même temps, la radiation solaire et la température de l'eau augmentent d'une manière proportionnelle avec la température de l'air.

Le rendement de la STEP Boujaâd en DBO₅ le plus faible (environ 38% en 2014), s'enregistre en mois de janvier où la température est la plus faible durant toute l'année 2014.

En contrepartie, pour la même année, le mois d'avril a marqué la valeur du rendement la plus élevée (70%) ; cette valeur maximale a été enregistrée dans des conditions climatiques optimales : 25.5°C de température de l'air, 20°C de température de l'eau et 258 W/m² de radiation solaire. En revanche à partir du mois mai, l'augmentation excessive de la température de l'air, entraine un recul des valeurs du rendement. Ces températures élevées inhibent le processus de biodégradation de la MO par les souches bactériennes qui existent dans les eaux usées.

A noter que les teneurs en DBO₅ des usées épurées de la STEP de Boujaâd sont conformes et ne dépassent pas les normes de rejet fixées par les autorités. Et par conséquent, on peut qualifier la STEP lagunage de Boujaâd est la station la plus opérationnelle par rapport aux autres qui font partie de la région Béni Mellal-Khénifra.

b. Rendement en DCO

L'impact des conditions sur le rendement en DCO de la STEP de Boujaâd est illustré par la figure suivante :

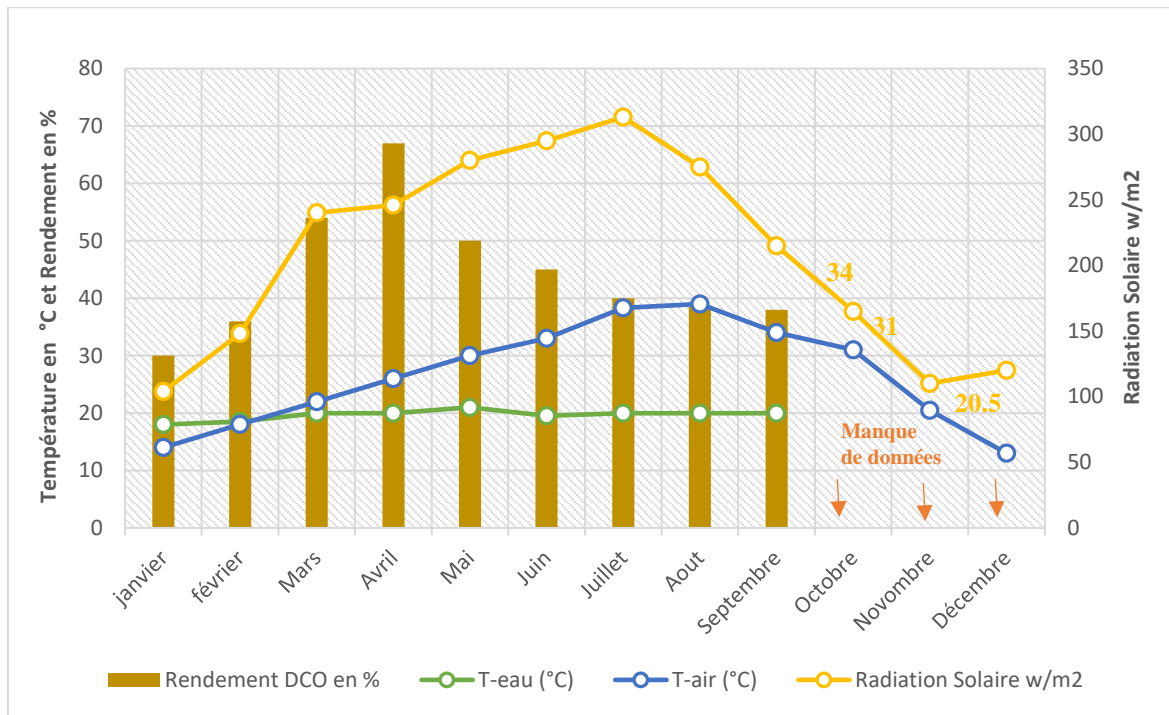


Figure 41 : Variation de la radiation solaire, de la température de l'air, de l'eau et de la DCO à la sortie de la STEP de la ville de Boujaâd (année 2014)

Les performances d'épuration du rendement en DCO dans la STEP de Boujaâd en fonction de temps présentent un pic de 66% en mois d'avril avec une température de l'air de 25.5 °C. En revanche, lorsqu'elle atteint 38°C en mois d'août, le rendement se réduit à 39%.

Le mois de janvier marque le rendement le plus faible de l'année 2014 (avec 28%) avec des températures minimales de l'eau de l'ordre 18°C.

Les valeurs de la DCO en sortie de la STEP restent conformes aux normes marocaines pour la majorité des mois de l'année 2014, à l'exception du mois de janvier où la DCO à la sortie dépasse celle à l'entrée. Ceci peut être expliqué par l'arrivée d'un flux de pluie parasite plus chargée en matières organiques.

En guise de conclusion, l'observation et l'analyse des résultats des performances épuratoires au niveau des deux STEPs : (Boujaâd en 2014) et (Zaouit Cheikh en 2018), montrent qu'il y'a une corrélation directe et positive entre les variations des performances et les variabilités climatiques tout le long de l'année, surtout pour la matière organique exprimée en DBO₅ et DCO. En effet, quand on passe d'une saison froide à une autre chaude, le rendement épuratoire accroît par augmentation de l'activité microbienne à cause de l'élévation de la température de l'eau dans les lagunes de la STEP qui est dépendante des conditions climatiques. A noter bien que, si la valeur de température dépasse une certaine limite (en été par exemple), on peut avoir un effet inverse tout en diminuant le rendement de la STEP.

En comparant les deux stations d'épuration en se basant sur les rendements, la STEP de Boujaâd est plus rentable que la STEP de Zaouit Cheikh à cause de la variabilité des conditions climatiques en fonction de la topographie : le climat est plus tempéré dans la ville de Boujaâd que dans Zaouit Cheikh.

Il est clair que la température de l'eau est le facteur principal dans les solutions aqueuses : une température basse inhibe la réaction, tandis qu'une température élevée stimule la réaction, la rendant plus complète et plus rapide.

D'après les résultats déduits, on peut tirer quelques recommandations en termes de température de l'eau pour le bon fonctionnement d'une STEP. Elles sont récapitulées dans le tableau suivant (constat reste à prouver dans une étude prochaine plus détaillée) :

Tableau 8 : Valeurs limites de température de l'eau pour le bon fonctionnement d'une STEP

Des eaux usées d'une STEP	
La température minimale inhibitrice	Inférieure à 10 °C
L'intervalle des températures convenables	12 à 26°C
La température optimale	Aux environs de 20°C
La température maximale létale	Supérieure à 36°C

II.5. Traitement par ACP des bases de données des deux STEPs

L'étude expérimentale des caractéristiques des eaux usées à l'aide de la mesure, de l'échantillonnage et analyses mensuelle pendant une longue durée, donne naissance à une base de données assez grande, L'analyse d'une base de données avec une multitude de variables et d'individus devient de plus en plus complexe et demande des projections à plusieurs dimensions pour bien connaître la nature de relation qui lie les paramètres les uns aux autres, ainsi le comportement des variables en fonction du temps et des saisons.

C'est pour cela, l'Analyse en Composante Principale (ACP), constitue l'un des méthodes les plus pratiques pour ce type d'analyse multi-variables. L'ACP vise à donner le meilleur résumé statistique de la base de données en se basant sur le calcul de la matrice de corrélation, puis la représentation graphique des variables sous forme d'un cercle de l'ACP, sur lequel les variables sont des segments orientés et ayant une contribution de la formation des dimensions qui résumement les variables.

Le jeu de données utilisées comme variables d'entrée sont : les variables climatiques et les résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées des STEPs Boujaâd et Zaouit Cheikh. Ces analyses et mesures sont effectuées dans le cadre des campagnes de suivi des performances épuratoires de ces STEPs pendant l'année 2014 pour Boujaâd et 2018 pour Zaouit Cheikh.

II.5.1. STEP de Zaouit Cheikh

a. Matrice de corrélation

La matrice de corrélation montrée par la figure ci-dessous, désigne les valeurs du coefficient de corrélation qui varie entre -1 pour une corrélation maximale négative et 1 pour une

corrélation maximale positive. D'autre part, la projection des valeurs du coefficient de corrélation de tous les couples de variables en nuances de trois couleurs, donne une grille de corrélation deux à deux des variables du jeu de données concernant les différents paramètres physico-chimiques mesurés dans les eaux usées de la STEP de Zaouit Cheikh en 2018.

Les rectangles en couleur verte sont les couples de paramètres qui sont corrélés entre eux positivement, alors que les rectangles en mauve, sont corrélés négativement et plus en tend vers la couleur blanche, la corrélation devienne nulle.

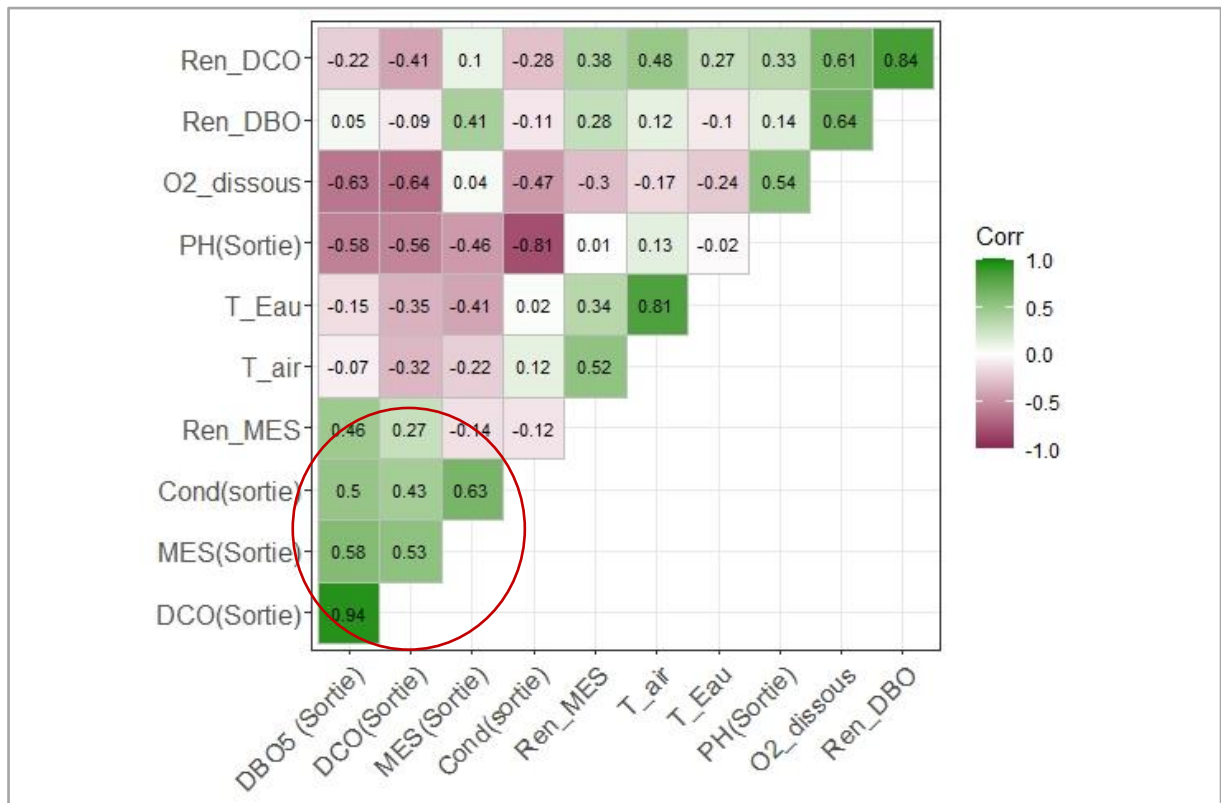


Figure 42 : Matrice de corrélation des paramètres mesurés au niveau de la sortie de STEP de Zaouit Cheikh en 2018

Statistiquement, à la sortie de STEP de Zaouit Cheikh, les paramètres : DCO(Sortie) et DBO₅(Sortie) présentent la valeur positive maximale du coefficient de corrélation qui est égale à 0.94, en deuxième lieu, il y a les deux variables Ren_DBO et Ren_DCO qui ont la valeur 0.84, ça peut être expliqué par la relation proportionnelle entre la DBO₅ et la DCO, vue que les deux paramètres caractérisent la matière organique (biodégradable et non biodégradable) et que cette dégradation subit les mêmes conditions du milieu en termes de température de l'eau, pH, et oxygène dissous.

Le variable T_Eau est fortement proportionnel au variable T_air ; ceci explique bien le transfert de chaleur de l'atmosphère vers les plans d'eau surtout en périodes chaudes.

De même, on remarque que les teneurs de DBO₅, de DCO et de MES à la sortie des STEP (c-a-d dans les eaux usées épurées) sont inversement proportionnelles à la température de l'eau et la quantité d'oxygène dissous dans les eaux usées. Ça vaut dire que, plus la température de

l'eau est optimale et le milieu est oxygéné, plus l'abattement de ces composants devient grand et le rendement de la STEP en DBO₅, DCO et MES augmente, ce qui explique bien la forte corrélation entre ces rendements et la teneur en oxygène dissous dans l'eau qui peut aller jusqu'à 0.64 pendant la période estivale.

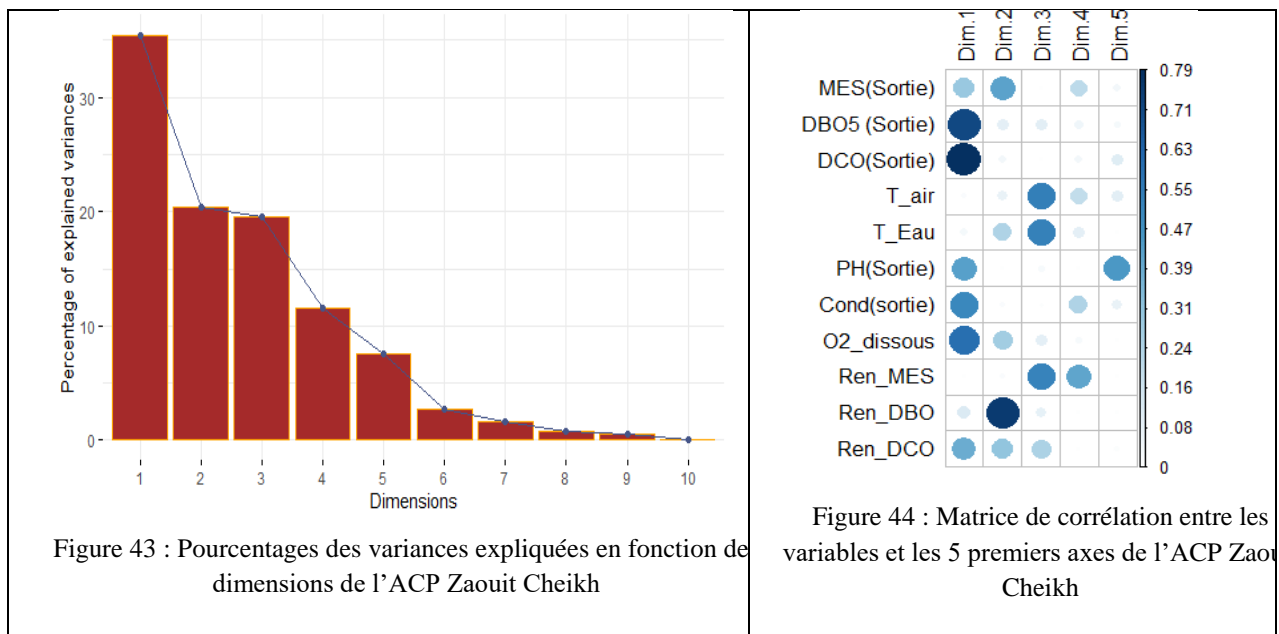
D'après la figure n°42, on observe que certaines variables présentent des corrélations presque nulles, comme le pH (Sortie) et le Ren_MES (corr = 0.01), la T_Eau et le pH (Sortie) qui est de l'ordre de -0.02.

b. Cercle de corrélation des paramètres de la station de Zaouit Cheikh

L'analyse statistique de plusieurs variables en interdépendance entre eux, concernant une même population (l'eau usée dans ce cas), nécessite une étude globale et multidimensionnelle afin de mettre en évidence toute association (dans le même sens ou au sens inverse) et tout effet qu'une variable, peut avoir sur les autres paramètres de la base de données.

La différence entre les unités de mesures des variables quantitatives, pose également de nombreuses difficultés, c'est pour cela, dans une analyse en composante principale, les variables quantitatives sont transformées en données centrées réduites qui ne dépendent que de leurs variances et pas de leurs unités.

La base de données dans ce cas, contient 12 individus (les mois de janvier au décembre) et 11 variables (les paramètres physico-chimiques), distribués selon deux dimensions, dimension 1 qui porte 35.5% des données c'est celles qui contribuent dans la formation de cet axe, et la dimension 2 qui porte 20.4% des données, le reste est réparti sur les autres axes comme suit :



On s'intéresse juste des deux premières dimensions, par ce qu'ils portent la majorité de l'information sur les variables nécessaires pour l'étude d'impact des variabilités climatiques sur les STEPs.

De plus, et d'après la figure n°43, on peut déduire que les variables DBO₅(Sortie), DCO(Sortie), Con (Sortie), O₂_dissous et PH(Sortie) sont les variables qui contribuent plus à

la formation de l'axe 1, le reste comme la MES(Sortie) et le Ren_DBO sont plus expliquées par l'axe 2.

L'ACP, cherche à trouver les meilleurs résumés possibles des variables de la base de données et leur distribution selon des axes formés par la projection des données centrées réduites. L'application de cette méthode sur les données de STEP de Zaouit Cheikh, nous a ramené les résultats suivants :

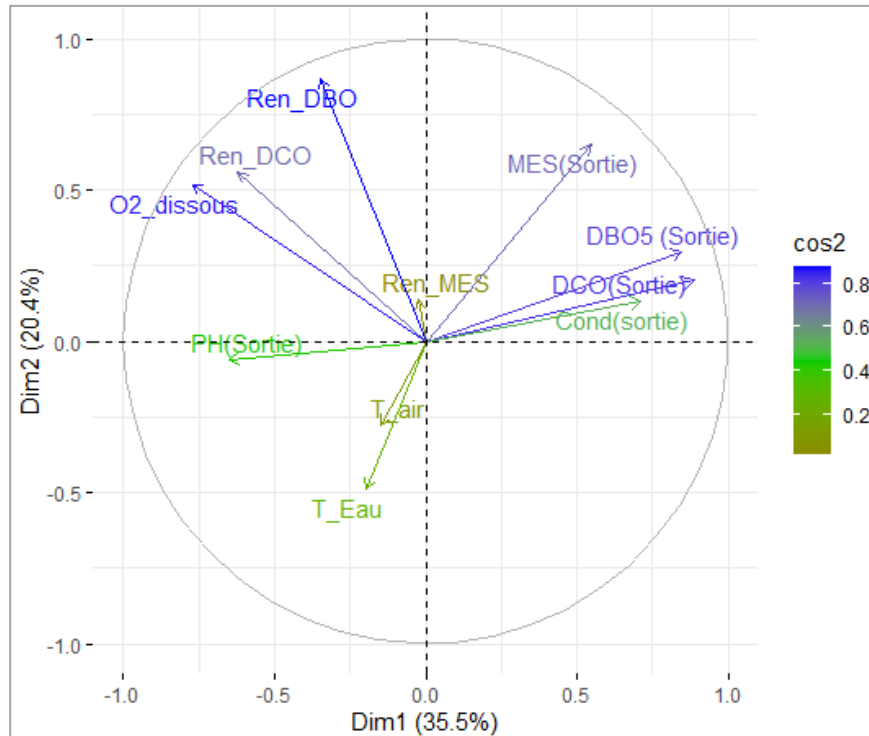


Figure 45 : Résultats d'ACP des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Zaouit Cheikh

Selon la dimension 1, quatre variables qui sont à l'opposé de l'axe 1 à droite, ces variables sont la DBO₅(Sortie), la DCO(Sortie), la Con (Sortie) et la MES(Sortie), les trois premières variables sont fortement corrélés entre eux et participent significativement dans la formation de cet axe. D'autre part, ils sont corrélés en sens inverse avec les variables T_{air}, T_{Eau} et pH (Sortie), qui ont des coordonnées négatives sur l'axe 1, la quatrième variable MES (Sortie) porte aussi les mêmes caractéristiques mais il n'a pas de grande corrélation dans le même sens avec les autres paramètres de sortie (DBO₅, DCO et Con (Sortie)). On peut déduire que l'augmentation de la température de l'air et par conséquent l'augmentation de la température de l'eau, conduit à une diminution significative des quantités de DBO₅, DCO et MES à la sortie de la STEP.

De plus, on constate que la conductivité électrique aussi augmente à cause de transformation de la matière organique biodégradable en matière minérale dans l'eau, ainsi l'augmentation significative du pH à cause de l'abattement des composantes organiques dans l'eau.

En revanche, sur l'axe 2 les variables Ren_DCO, O₂_dissous et Ren_DBO, semblent corrélés négativement avec les variables DBO₅(Sortie), DCO(Sortie) et MES(Sortie), et ça

implique logiquement que toute augmentation des rendements de ces paramètres va mener à une baisse des concentrations de DBO₅, de DCO et de MES dans les eaux usées épurées.

Or, le rendement de la MES (Ren_MES) ne montre pas une corrélation significative avec les autres variables selon les axes 1 et 2. La raison probable, c'est que l'élimination de MES est plus tôt liée grandement à la gravité des particules qu'à la biodégradation ou plus précisément, la quantité éliminée de MES par décantation et plus grande que celle éliminée par la biodégradation.

II.5.2. STEP de Boujaâd

a. Matrice de corrélation

Cette matrice décrite en nuance de 3 couleurs, selon leurs contrastes, les valeurs du coefficient de corrélation double (oscille entre 1 et -1), entre les variables de la base de données des paramètres physico-chimiques des eaux usées à la sortie de la STEP de Boujaâd pour l'année 2014, ces données sont collectées lors des campagnes mensuelles de mesures, d'échantillonnages et d'analyses.

Les couleurs : verte, blanche et mauve désignent successivement, une corrélation positive (les variables varient dans le même sens), une corrélation nulle et une corrélation négative (les variables varient dans le sens inverse). Les résultats de test de corrélation des données de la STEP de Boujaâd sont résumés dans la figure n°46.

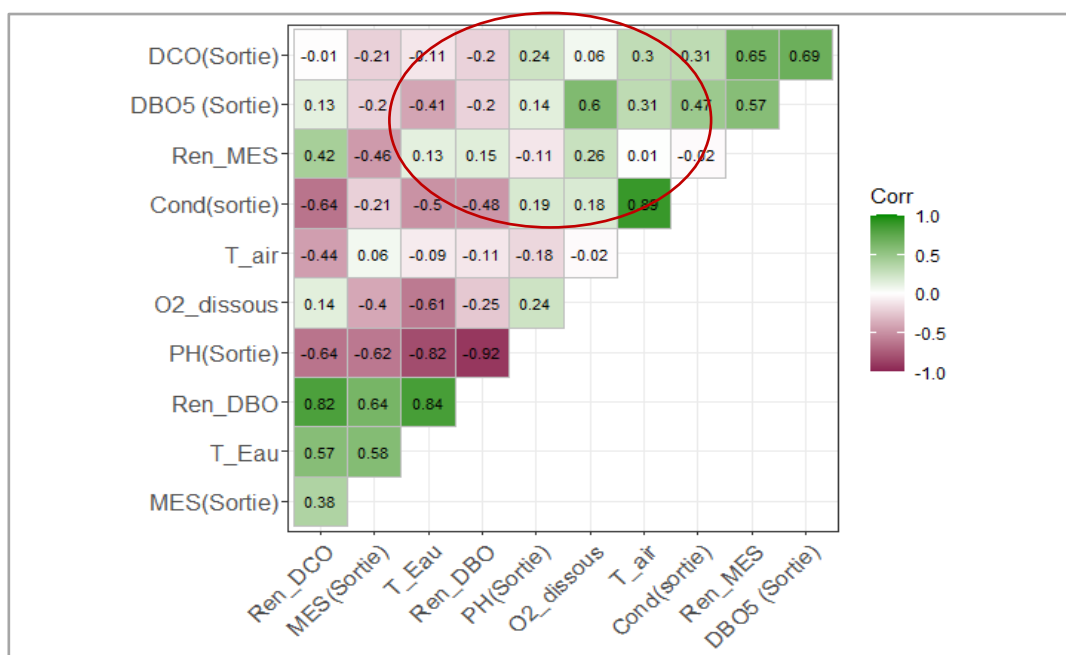


Figure 46 : Matrice de corrélation des paramètres mesurés et analysés à la sortie de STEP de Boujaâd en 2014

Le test de corrélation des variables physico-chimiques deux à deux ci-dessus, montre de point de vue statistique, que la valeur importante du coefficient de corrélation négative entre les deux variables pH(Sortie) et Ren_DBO, signifie que la baisse de concentration de DBO₅ (avec augmentation du rendement), fait diminuer le pH(Sortie), ce qui est n'est pas logique de point de vue expérimentale, car la diminution de la matière organique dans les eaux usées fait

augmenter le pH et rendre le milieu plus basique. On peut expliquer ce phénomène par l'augmentation de la température dépassant la limite optimale qui fait jouer en sens inverse et diminuer le pH (Maulding et al, 1968), ce qui rend le milieu plus acide. Ceci confirme et prouve que le processus d'épuration des eaux usées, nécessite des conditions optimales de température et de pH et au-delà desquelles l'effet devient inverse.

Les variables DBO_5 (Sortie) et T_Eau ayant une corrélation inverse assez forte ; la matière organique se dégrade bien avec augmentation de la température de l'eau.

En outre, les deux variables Ren_DBO et T_Eau sont corrélés en même sens, et toute augmentation de la température de l'eau de STEP, provoque l'augmentation du rendement en DBO_5 et fait diminuer la concentration de la matière organique dans les eaux usées épurées.

b. Cercle de corrélation des paramètres de la STEP de Boujaâd

Comme le cas de la station de Zaouit Cheikh, on a effectué une analyse en composante principale de la base de données de la station de Boujaâd qui est constitué de 12 individus et 11 variables, résultants des analyses physico-chimiques mensuelles, in situ et au laboratoire des eaux usées durant les 12 mois (constituent les 12 individus de l'année 2014). Lesdites variables contribuent dans la formation des axes du cercle en tant que valeurs centrées réduites, pour avoir une compatibilité entre les variables.

Les deux figures n°47 et n°48 décrivent successivement le pourcentage de la variance expliquée par les 10 premiers axes et la corrélation de chaque variable avec les 5 premiers axes sous forme d'une matrice de corrélation de type grille avec cercle.

En premier lieu, la figure n°47 montre que, seuls les deux premiers axes représentent un pourcentage de 60% de la variance des 12 variables, la 40% qui reste est réparti sur cinq axes, donc la variation des variables est mieux représentée par les deux premiers axes qui sont utiles pour l'interprétation des résultats de l'ACP.

En deuxième lieu, et d'après la figure n°48, les variables suivantes : pH (Sortie), Ren_DBO, T_Eau, Cond (Sortie) et MES(Sortie), semble être les plus corrélés avec la dimension1, c'est-à-dire qu'ils se sont les grands actionnaires dans la formation de cet axe. Alors que, les variables de concentration de DBO_5 (Sortie), DCO(Sortie) et Ren_MES, contribuent mieux à la formation de l'axe2, donc ils sont mieux représentés sur cet axe. Or le reste des 12 variables sont plus expliquées par les trois derniers axes (3, 4 et 5) par ce qu'ils ont des grandes valeurs de corrélation avec eux.

Pour l'axe 1, on voit qu'il a une valeur maximale de corrélation proche de 0.8 avec les variables T_Eau et Ren_DBO, ça veut dire qu'il y a presque une proportionnalité entre ces deux variables surtout dans la gamme de température convenable. La corrélation positive est constatée aussi entre les variables DBO_5 (Sortie) et Ren_MES avec l'axe 2 d'une part et entre la T_air et la Cond (Sortie) avec l'axe 3 d'autre part.

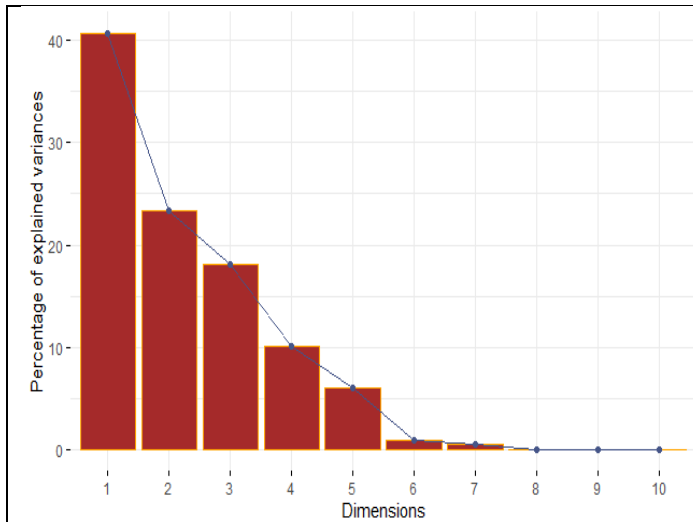


Figure 47 : Pourcentages des variances expliquées en fonction de dimensions de l'ACP Boujaâd

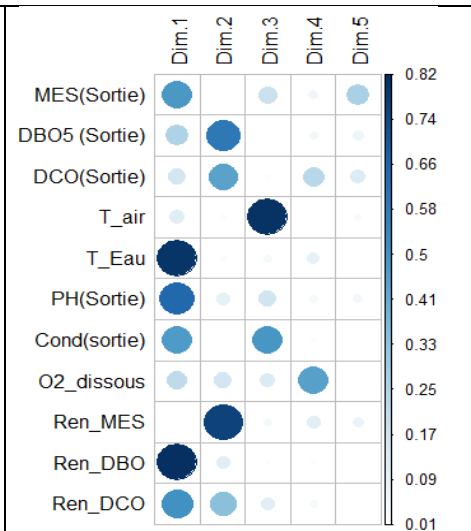


Figure 48 : Matrice de corrélation entre 10 variables et les 5 premiers axes de l'ACP Boujaâd

L'exécution de la méthode d'analyse en composante principale - pour bien comprendre les interactions entre les différents paramètres physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Boujaâd en prenant en considération l'influence exercée réciproquement par les variables les unes sur les autres- nous a permis d'acquérir les résultats représentés par la figure n°49.

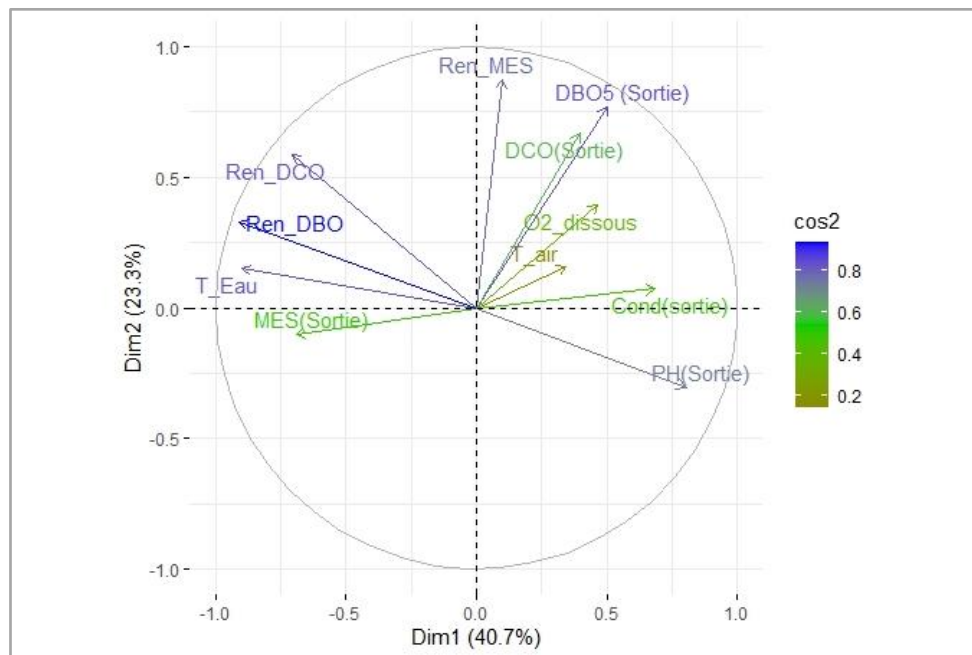


Figure 49 : Résultats d'ACP des paramètres physico-chimiques des eaux usées de la STEP de Boujaâd

D'après la figure ci-avant, l'axe 1 (Dim1) se trouve en face des variables tels que le pH(Sortie), l'O2_dissous, la Cond(Sortie) et la T_air à droite du graphe : c'est-à-dire que ces variables sont caractérisés par une corrélation fortement à moyennement positive sur l'axe 1, les variables T_air et O2_dissous sont corrélés entre eux dans le même sens, donc si la température de l'air augmente, elle va résulter une augmentation de la température de l'eau,

d'où l'augmentation de la quantité d'O₂_dissous dans l'eau grâce à la simulation de la photosynthèse algale.

En plus, il y a un groupe de variables constitué de Ren_DBO, le Ren_DCO, la T_Eau et la MES(Sortie) à gauche du graphique, caractérisé par une corrélation fortement négative sur le même axe. Ces variables sont fortement corrélées entre eux, ce qui est normal vu que la biodégradation de la matière organique s'accélère quand la température augmente ce qui conduit à une augmentation du rendement en DBO₅ et en DCO. D'autre part le variable DBO₅(Sortie) est inversement proportionnel à la température de l'eau (T_Eau), c'est-à-dire plus la température est élevée, engendre une dégradation de matière organique dans les eaux usées à la sortie de la STEP.

Cependant, quant à l'axe 2 (Dim2), il est à l'opposé de trois variables qui sont : DBO₅(Sortie), DCO(Sortie) et le Ren_MES, les premières variables sont positivement corrélées entre eux et contribuent fortement dans la formation de l'axe 2, car ils sont très proches du bord du cercle de corrélation, de même, comme les variables DBO₅(Sortie) et DCO(Sortie) sont corrélés dans le sens inverse avec les rendements en DBO₅ et en DCO. Alors toute augmentation des valeurs de ces derniers se traduit par une diminution des concentrations en DBO₅ et en DCO dans les eaux usées traitées.

Tandis que, les variables pH (Sortie) et Ren_MES ont un comportement statistique qui est différent à des résultats expérimentaux (même explication précédente pour le cas de STEP de Zaouit Cheikh).

III. Création d'une plateforme numérique pour la gestion des STEPs de la Région BMK

La région Béni Mellal-Khénifra comporte quatorze (14) stations d'épuration des eaux usées, qui se différencient entre elles en fonction de ses caractéristiques. Leur objectif principal c'est de traiter et/ou épurer l'eau polluée avant d'être rejetée dans le milieu naturel.

Ce chapitre aborde les processus d'élaboration de base de données spatiale, qui inclue des données géo-spatiales et des informations géographiques désignant des informations liées à des objets ou éléments présents dans un espace géographique. Cette base de données permet aussi de stocker le maximum d'informations vis-à-vis des STEPs de la région pour une bonne gestion. La création d'une base de données de référence spatiale implique un système d'information géographique (SIG). Il est donc très important de maîtriser tous les aspects de cette technologie, y compris les outils impliqués dans la production et les outils de conception.

III.1. Procédure de conception du SIG

Le but de cette partie est d'exposer la démarche de travail c'est-à-dire les différentes étapes suivies pour la conception du SIG.

III.1.1. Etapes de réalisation de la base de données spatiale

III.1.1.1. Acquisition des données

C'est la phase la plus importante pour la réalisation d'un SIG. Les données sont souvent très difficiles à acquérir car elles ont été inexistantes ou dispersées. Et si elles existent, elles sont

quelque fois erronées. Or pour une bonne fiabilité des SIG, il faut des données de qualité. Les données sont acquises sous forme des fichiers Excel, d'images satellite, de cartes sur papiers, ou de tableaux de coordonnées. Une fois obtenues, les données sont transformées en format numérique.

Dans notre cas, on a travaillé avec des données collectées d'auprès des services externes responsables du secteur de gestion des eaux usées, ainsi que des données musées sur terrain sur les différentes stations d'épuration (coordonnes, altitudes, paramètres physicochimiques, photos...).

III.1.1.2. Manipulation et Traitement de données

Dans un SIG, on est en présence de plusieurs types d'informations superposées qu'il faut savoir manipuler et traiter pour une meilleure restitution. La phase de manipulation nous permet donc de restructurer les données afin d'en extraire les informations pertinentes selon la destination du projet. A titre d'illustration, prenons le thème bassin ; il contient en son sein un certain nombre d'informations telle que la fonction, l'état, le nombre de niveaux.

Le traitement des données des stations d'épuration nécessite leurs projections dans la plateforme d'ArcGis pour les visualiser et les identifie spatialement.

III.2. Création de la base de données géo-spatiale

Les objectifs visés par cette partie c'est d'apporter un outil convivial et pertinent pour la consultation et la mise à jour d'une base de données sur le volet « gestion des stations d'épuration » destinée principalement aux décideurs des secteurs publics et privés de l'eau et de l'environnement. Cet outil devrait permettre de suivre et d'évaluer l'état des lieux des stations d'épuration sur le territoire de la région de Béni Mellal-Khénifra.

III.3. Localisations des stations d'épuration

Les STEPs visitées au cours de cette étude sont distribuées sur 4 provinces de la région de Béni Mellal-Khénifra

- Province de Béni Mellal (STEPs : Béni Mellal, El Ksiba, Zaouit cheikh, Aghbala, Agropole Béni Mellal).
- Province de Khénifra (STEPs : Khénifra, Mrirt).
- Province de Khouribga (STEPs : Boujaâd, Oued Zem, Hattan, Kouribga, Béni Zerantal).
- Province d'Azilal (STEPs: Azilal, Ouaouizeght).

Tableau 9 : Caractéristiques des stations d'épuration des eaux usées de la région

STEP	Altitude (m)	X (m)	Y (m)	Type de STEP	Type de traitement
Azilal	1277	384552,01	149774,01	Lagunage naturel	Tertiaire (maturation)
Ouaouizaght	953	411912	127354	Lagunage Naturel	Tertiaire (filtration sur un lit de sable)
Agropole Béni Mellal	478	403683,97	192366,52	Lit bactérien	Tertiaire
Béni Mellal	482	411300,98	192438,13	Lit bactérien	Secondaire
El Ksiba	778	436377	217667	Lagunage Naturel	Tertiaire (maturation)
Aghbala	1744	477500	209800	Lagunage Naturel	Tertiaire
Zaouit Cheikh	647	447732	229031	Lagunage Naturel	Tertiaire (maturation)
Khénifra	851	474018,868	256964,544	Lit bactérien	Secondaire
Mrirt	1115	482521,17	285844,818	Lagunage Naturel	Secondaire (facultative)
Béni Zrantel	635	420516,844	236241,923	Lagunage Naturel	Tertiaire (maturation)
Boujaâd	536	404372,773	238770,612	Lagunage Naturel	Tertiaire (maturation)
Oued Zem	732	390412,203	246856,964	Lagunage Naturel	Tertiaire (maturation)
Khouribga	786	357446	254467,44	Boues activées	Tertiaire (maturation)
Hattan	734	367270	249667	Lagunage aéré	Tertiaire (microfiltration & traitement UV)

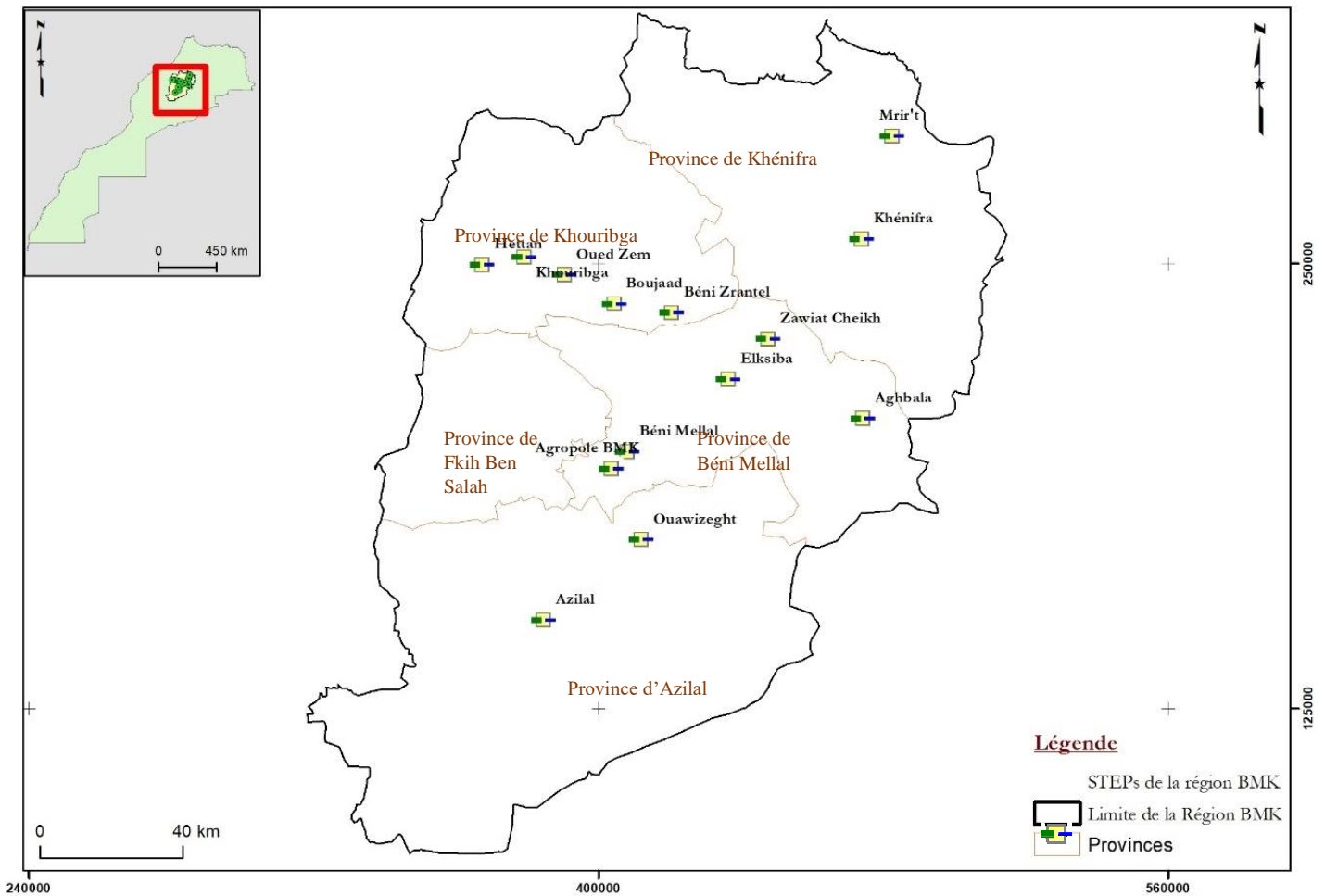


Figure 50 : Localisations des STEPs par province de la région BMK

Les informations géographiques intégrées au sein du SIG permettent dès lors d'engager et de suivre l'état des STEPs ainsi l'aide au choix du type de station à implanter en tenant compte du facteur climat et plus précisément le paramètre température. La mise en place d'un tel outil et son exploitation sur SIG se sont révélées pertinents notamment au regard des besoins des décideurs et les présidents des communes territoriales de la région. Cette application couplée à un système d'information géographique constitue un véritable enjeu pour les acteurs responsables d'épuration des eaux usées.

L'objectif de cette plateforme SIG c'est de présenter aux décideurs un outil de prise de la décision vis-à-vis du choix du type de station d'épuration des eaux usées à implanter dans une telle commune territoriale en se basant sur des indicateurs climatiques influençant le rendement épuratoire des stations d'épuration.

III.4. Fonctionnement de la base de données spatiale

Le fonctionnement de cette plateforme numérique est très simple à utiliser ; lors de la sélection de n'importe quelle station d'épuration de la région de Béni Mellal-Khénifra ; une fenêtre s'affiche qui contient toutes les informations concernant cette STEP.

Pour avoir une idée sur le type de la station et leurs caractéristiques de forme (les bassins) ou bien de performance (temps de séjour et rendement) il suffit de sélectionner une station et faire afficher ces informations dans une nouvelle fenêtre (figure n° 51).

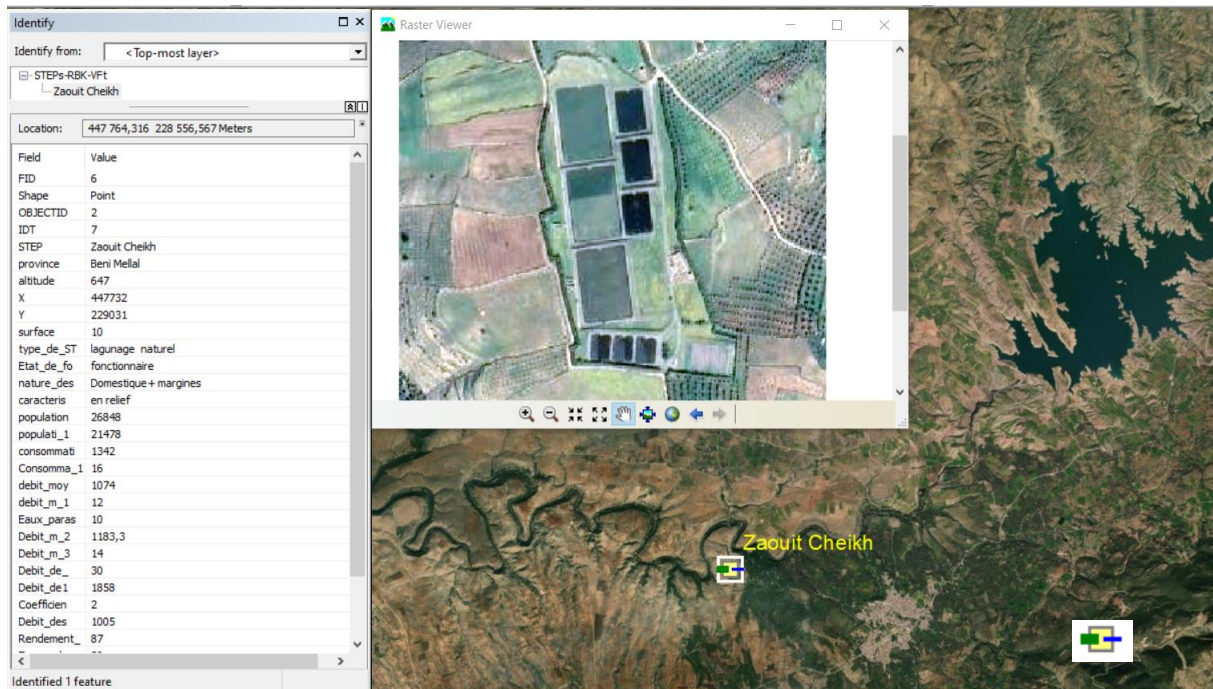
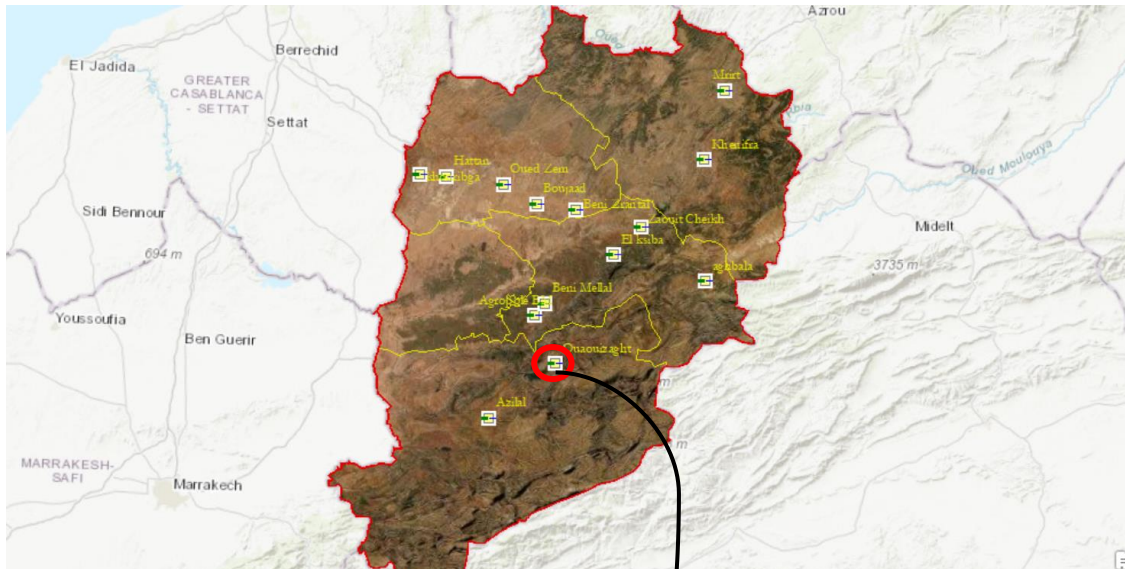


Figure 51 : Affichage des informations de la STEP de Zaouiat Echiekh

Ce type de visualisation des données concernant la station d'épuration et le climat de la zone d'implantation va nous aider à illustrer les circonstances et les conditions du milieu et peut nous faire déduire les défaillances de fonctionnement et de performance de chaque STEP de la région (le type de STEP implantée dans une telle zone est convenable ou pas avec le climat ?).

A titre d'exemple, au niveau de la station épuration lagunage naturel d'Ouaouizaght (figure n°52), on constate que la température moyenne, surtout en périodes froides, varie entre 2°C et 13°C. Ces conditions climatiques sont défavorables pour un tel type de STEP installée dans cette localité de la région et par la suite son rendement est faible. C'est pour cela, avant toute conception et construction d'une station d'épuration, il est recommandé d'avoir une idée sur les conditions du milieu et en particulier le climat de la région (température, radiation solaire ou autres).



Identify

Identify from: < Top-most layer >

STEPs-RBK
Ouaouizaght

Location: 412 546,457 170 707,741 Meters

Field	Value
surface	8
type_de_ST	lagunage naturel
Etat_de_fo	fonctionnaire
nature_des	Domestiques
caracteris	en relief
population	9720
populati_1	7776
consommati	486
Consomma_1	6
debit_moy	389
debit_m_1	5
Eaux_paras	10
Debit_m_2	427,7
Debit_m_3	5
Debit_de_	13
Debit_de1	693
Coefficien	3
Debit_des	0
Rendement_	0
Temps_de_s	0
OBJECTID	16
images	<Raster>
IDT2	2

Identified 1 feature

Raster Viewer

Figure 52 : Démonstration du fonctionnement de la plateforme

Cette plateforme globale (figure n°53) nous permet donc, à travers un simple clic, de visualiser facilement les différentes STEP's de la région, de savoir leurs types, leurs conditions du milieu et leurs performances épuratoires. Et par la suite, cet outil numérique va aider les décideurs à apprendre des décisions vis-à-vis des projets de nouvelles STEP's.

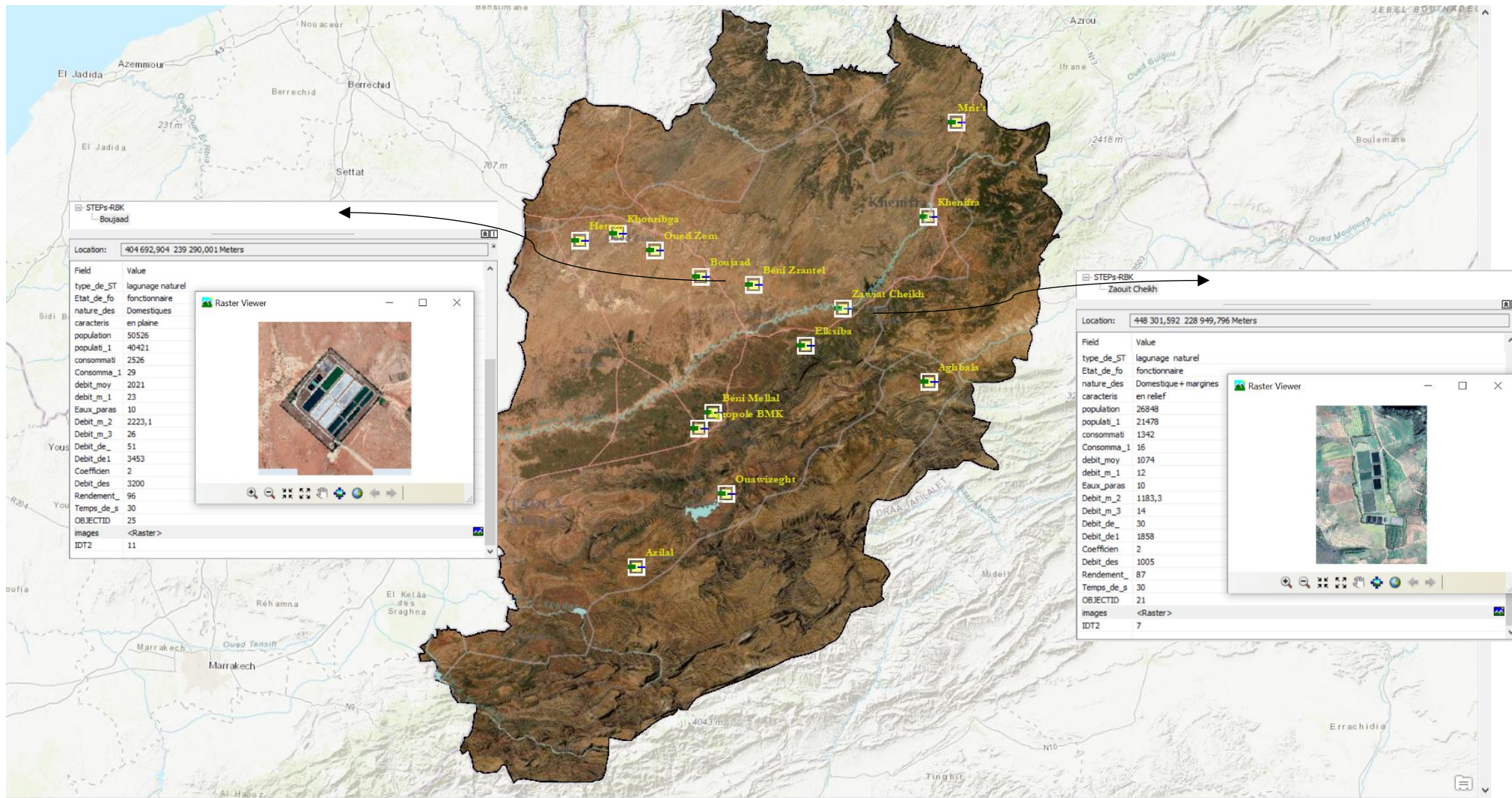


Figure 53 : Plateforme numérique globale des STEPs de la région BMK

IV. Conclusion

L'étude statistique par ACP des bases de données d'analyses physico-chimiques des eaux usées relevant des deux STEPs (Zaouit Cheikh et Boujaâd), ainsi que les données climatiques de ces villes, nous a donné une idée générale sur les interactions multiples qui se produisent lors des processus d'épuration dans une station d'épuration en fonction du temps et de l'espace, notamment, les paramètres qui influencent sur l'abattement de la charge polluante que ce soit par décantation ou par biodégradation chimique ou biologique.

En se basant sur les résultats de l'ACP, on a pu caractériser la relation de proportionnalité qui existe entre la température de l'air, de l'eau et les paramètres de biodégradabilité comme la DBO₅, la DCO et les MES et la teneur en oxygène dissous dans les eaux usées. Pendant les périodes froides de l'année, les rendements en DBO₅ et en DCO sont défavorables. Par contre en été, les températures deviennent élevées, ce qui favorise la stimulation de la biodégradation de la matière organique via une forte activité des microorganismes.

Par ailleurs, les variables comme la Conductivité électrique et le pH à la sortie, montrent des variations en fonction du changement de la température de l'air ou de l'eau : si la température augmente dans l'intervalle optimal, la conductivité électrique augmente aussi à cause de l'accroissement de la charge minérale dans l'eau (Sangare et al., 2018). Et si les températures atteignent des valeurs extrêmement élevées, on assiste à des taux élevés d'évaporation qui rendent les eaux usées plus concentrées, selon El haiti en 2010 le soleil accentue la photosynthèse algale, ce qui a pour effet de consommer rapidement le dioxyde de carbone et d'augmenter le pH du bassin. Les rayons UV combinés à un pH élevé sont donc responsables de l'élimination des pathogènes.

Les informations géographiques et de mesures in situ qui sont intégrées au sein de cette plateforme numérique permettent dès lors d'engager et de suivre l'état et le déroulement des STEPs existantes dans la région BMK. De plus, elle nous facilite le choix du type de station à implanter à n'importe quelle commune en tenant compte les conditions du milieu et principalement le facteur climat. La mise en place d'un tel outil et son exploitation avec le SIG se sont révélées pertinentes notamment au regard des besoins des décideurs et les présidents des communes territoriales. Cette application, couplée à un Système d'Information Géographique, constitue un véritable enjeu et intéressant aussi bien pour les acteurs responsables d'épuration des eaux usées et les chercheurs dans le domaine du traitement des eaux usées.

***CONCLUSION GENERALE ET
RECOMMANDATIONS***

CONCLUSION GENERALE

En conclusion, et compte tenu de l'exacerbation du problème de la pénurie d'eau dans des nombreux pays du monde tel que le Maroc, et du fait que les ressources en eau douces et potables diminuent de jour en jour à cause de la consommation excessive à utilité domestique, agricole ou industrielle, ainsi que les obstacles du changement climatique et des températures élevées, il s'est avéré nécessaire d'optimiser la gestion des ressources en eau ou chercher à compenser les déficits hydriques (eaux usées épurées, dessalement de l'eau de mer, ...).

Selon l'article 2 du premier chapitre de la loi 36-15 relative à l'eau l'intégration de la mobilisation des eaux non conventionnelles dans la planification de l'eau est devenu une nécessité. À cet égard, le traitement et la valorisation des eaux usées sont l'une des solutions qui est devenue au centre d'intérêt, car il s'agit d'un réservoir d'eau non conventionnel non exploitable et qui n'expire pas, s'il est traité efficacement.

La présente étude constitue une modeste contribution dans le sens de la recherche scientifique sur l'efficacité du traitement des eaux usées par lagunage en relation avec les variabilités climatiques dans le temps et dans l'espace. Et ceci dont l'objectif de chercher les conditions climatiques optimales qui conditionnent le meilleur rendement épuratoire des stations d'épuration des eaux usées dans la région Béni Mellal-Khénifra.

En effet, l'étude s'est focalisée sur la variation des performances épuratoires des stations d'épurations des eaux usées de cette région, en fonction du temps (variation saisonnière) et aussi en fonction de l'espace en passant de la plaine vers la montagne.

Dans ce cadre, une visite et un diagnostic des stations d'épurations de la région BMK ont été réalisés, tout en essayant d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur leurs rendements épuratoires.

C'est ainsi, par exploitation et traitement des bases de données d'analyses des paramètres de pollution des eaux usées entrants et sortants des STEPs et des bases de données climatiques de la région, on a pu déduire les constatations et conclusions suivantes :

La température de l'eau est interdépendante des conditions climatiques de la région ; le transfert de l'énergie thermique s'effectue à travers l'interface air-eau. Généralement, la température de l'eau suit la courbe de la température de l'air. La température de l'eau joue un rôle prépondérant dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques en particulier dans les bassins facultatifs et de maturation des stations d'épurations des eaux usées. Elle impacte

également le fonctionnement de l'activité bactérienne responsable de la dégradation de la matière organique. Les performances épuratoires d'une station d'épuration des eaux usées dépendent fortement des conditions climatiques régnantes, notamment la radiation solaire, la température de l'air, l'évaporation et les précipitations. Les performances épuratoires augmentent avec l'élévation de température ; c'est ainsi les rendements des STEPs de la plaine sont mieux que ceux des autres installées en montagne. Les rendements des STEPs peuvent parfois chuter s'il y a des variations brusques des charges organiques ou arrivée des eaux parasites supplémentaires issues des eaux de pluies ou d'autres origines non domestiques. Les performances épuratoires des deux STEPs pilotes de la région (Boujaâd et Zaouit Cheikh) dépendent des variations climatiques en fonction du temps. C'est-à-dire : quand on passe d'une saison froide à une autre chaude, le rendement épuratoire accroit par stimulation de l'activité microbienne à cause de l'élévation de la radiation solaire, de la température de l'eau. Si la température de l'eau dépasse une certaine limite (en été par exemple), on peut avoir un effet inverse tout en diminuant le rendement de la STEP. Pour un bon rendement des STEPs, les températures de l'eau doivent être entre 12 et 26°C. La température de l'eau optimale souhaitée pour que la STEP donne le rendement maximal est 26°C. Lorsque la température de l'eau dépasse 36°C, elle devient létale pour les microorganismes aquatiques et par conséquent le rendement chute.

D'un autre côté, en se basant sur les résultats de l'ACP, on a pu caractériser la relation de proportionnalité existante entre la température de l'air, de l'eau et les paramètres de biodégradabilité comme la DBO₅, la DCO, les MES et la teneur en oxygène dissous dans les eaux usées. Pendant les périodes froides de l'année, à titre d'exemple, les rendements en DBO₅ et en DCO sont défavorables. Par contre en saisons chaudes, les températures deviennent élevées, ce qui favorise la stimulation de la biodégradation de la matière organique via une forte activité microbienne.

Par ailleurs, les variables comme la conductivité électrique et le pH, montrent des variations en fonction du changement de la température de l'eau : si la température augmente dans un intervalle optimal, la conductivité électrique augmente aussi à cause de l'accroissement de la charge minérale dans l'eau. Et si les températures atteindront des valeurs extrêmement élevées, on assiste à des taux élevés d'évaporation qui rendent les eaux usées plus concentrées et par la suite le pH diminue.

D'autre part, une base de données spatiale a été élaborée pour intégrer toutes les informations concernant les différentes STEPs de la région BMK afin de :

- Avoir une plateforme spatiale numérique réelle et à jour pour faciliter la tâche aux contrôleurs et responsables de bien gérer leur fonctionnement ;
- Aider les décideurs à sélectionner la STEP convenable à chaque commune de la région BMK ;
- Offrir une plateforme numérique aux chercheurs scientifiques pour stocker les informations, traiter, modéliser et dimensionner facilement les ouvrages hydrauliques des stations d'épuration des eaux usées.

RECOMMANDATIONS

En tenant compte de ce qui précède, les futures stations avant d'être installées, il faut prendre en considération le contexte climatique des régions (température de l'air, radiation solaire, évaporation et précipitation) dans l'objectif de profiter le maximum possible de ces facteurs pour améliorer le rendement des stations d'épurations et par la suite améliorer la qualité des eaux usées épurées.

Dans les régions à climat froid (à haute altitude par exemple), pour lancer des nouveaux projets STEPs innovants, on doit viser le réchauffement des eaux usées et privilégier l'utilisation des énergies renouvelables (énergie solaire), à l'horizon de l'adoption accrue des ressources durables et adopter des dimensionnements convenables pour un bon rendement.

Pour améliorer les rendements des STEPs de type lagunage de la région BMK et qui sont caractérisées par des conditions climatiques froides, deux scénarios à envisager :

- **Cas des STEPs déjà installées :**

* **Appel à l'énergie solaire pour :**

- Aération artificielle afin de produire rapidement et d'enrichir les bassins en oxygène dissous nécessaire à la biodégradation de la matière organique ;
- Augmentation de la température à travers la couverture des bassins tout en créant ce qu'on appelle l'effet de serre ;

* **Ajouter des bassins supplémentaires pour augmenter le temps de séjour :**

Si on a plus de terrain libre, cette recommandation peut être utilisée par extension des lagunes au niveau de la STEP, pour augmenter le temps de séjour des eaux usées et afin de dégrader le maximum de la matière organique.

- **Cas des STEPs projets :**

* **Si terrain libre disponible :**

- On adopte un dimensionnement de STEP aboutissant à un temps de séjour grand.

* **Si terrain libre non disponible :**

- On procède à une couverture des bassins pour créer l'effet de serre à fin d'augmenter la T°C de l'eau jusqu'à une valeur convenable à la biodégradation de la matière organique ;
- On appelle à l'aération artificielle en utilisant l'énergie solaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AAGAARD H. J., Chaignat C. L., Blas E., Kurup A. S., (2010): Neglected tropical diseases: Equity and social determinants. Equity, Social Determinants and Public Health Programmes. Genève, Suisse, Organisation mondiale de la santé (OMS).
- ABOULOUAFA M., BERRICHI A., ELHALOUANI H., DSSOULI K., REDA TAZI M., BOULGHALEG J. et YAKOUBI A., (2009) ; Effet de la réutilisation des eaux usées brutes et épurées sur la croissance, le développement de la courgette et sa qualité hygiénique, Rev. Microbiol.Ind.
- ABBISY M., et Mandi, L., (1999) : Utilisation des plantes aquatiques enracinées pour le traitement des eaux usées urbaines : Cas du roseau. In Revue de Sciences de l'Eau, 12(2), 285-315.
- AGOUMI, A., Debbarh, A. (2006). Ressources en eau et bassins versants du Maroc: 50 ans de développement (1955-2005). Rapport sur le Développement Humain au Maroc. 2005.
- AGHZAR N., BERDAI, H., BELLOUTI A., et SOUDI B. (2002) : Pollution nitrique des eaux souterraines au Tadla (Maroc). Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, Maroc, vol. 459, pp : 492.
- AGOUMI ALI, (1982) : Modélisation du régime thermique de la Manche. Doctorat d l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Environnement aquatique et atmosphérique de la direction des études et recherches d'Electricité de France, pp : 127.
- AIT OUHAMCHICH K., ARIOUA A., I. KARAOUI et ELHAMDOUNI D., (2018): Performances Assessment of Wastewater Treatment Plant in Boujaâd City, Khouribga Province, Morocco'. European Scientific Journal, 14 (27) 193- 204. DOI: 10.19044/esj.2018. V14n27p193.
- AIT OUHAMCHICH K., KARAOUI I., ARIOUA A., ELHAMDOUNI D. et KASMI A., (2018) : Climate change Trend Observations in Morocco : Case of study Beni Mellal-Khenifra and Derâa-Tafilalt regions. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2018, vol. 6, no 07, p. 34. DOI: <https://doi.org/10.4236/gep.2018.67003>.
- ARIOUA ABDELKRIM, (1995), Evaluation de la qualité des eaux de l'oued Oum-Er-Rabia avec essai de modélisation (Etude du tronçon : Kasba Tadla – Kasba Zidania), DESA 1995, Université Cadi Ayyad, Marrakech
- BAUDOT B., PERERA P., (1991) : Guide des procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 eq-hab) Mise en œuvre de la directive du Conseil n° 91/271 du 21 mai 1991. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, 2001
- BENASSI M. (2001). Drought and climate change in Morocco. Analysis of precipitation field and water supply, Options Mediterranean's, Series A, No. 80, 83-86
- BENNIS A. et ELLINOR Z-M., (2012) : Environnement et changement climatique au Maroc- Diagnostic et Perspectives-. Konrad-Adenauer-Stiftung e.V. Le point sur le changement climatique au Maroc ; pp. 35–40. Rabat, Bureau au Maroc.
- BONNIN JACQUES, (1986) : Hydraulique urbaine appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance. Ed. Eyrolles, PASCAL7880341080, Paris, France, pp : 1-228.
- BOUARAB L., LOUDIKI M., DAUTA A., (2012) : Croissance en autotrophie et en mixotrophie de la microalgue *Micractinium pusillum* Fres. Isolée d'un lagunage naturel

: influence de la lumière et de la température, Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science. DOI : <https://doi.org/10.7202/705437ar>.

- BOUKHETALA Y., IDDOU K., (2010) : Etude de rendement épuratoire de la nouvelle station d'épuration par lagunage de la ville d'Ouargla. Mém. Ing. Hydraulique. Hydraulique urbaine, Univ de Ouargla, pp : 27.
- BOURRIER R., SATIN, M., SELMI, B., (2017) : Guide technique de l'assainissement. 5eme edition. Groupe Moniteur (Éditions du Moniteur), Antony, ISSN : 1257-9823 ISBN papier : 978-2-281-11924-4.
- BOUTIN C., ESSER, D., MOLLE, P., LIENARD, A., (2000) : Les filtres et lits plantés de roseaux en traitement d'eaux usées domestiques. Perspectives pour le traitement d'eaux pluviales. Association d'intérêt général (Graie), groupe de recherche, animation technique et information sur l'eau. Campus LyonTech la Doua.
- BOUHOUM K., AMAHMID O., HABBARI KH. ET SCHWARTZBROD J., (1997) : Devenir des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires dans un canal à ciel ouvert alimenté par les eaux usées de Marrakech. Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science. doi :<https://doi.org/10.7202/705278ar>.
- BORN, C., Hardy, O. J., Chevallier, M. H., Ossari, S., Atteke, C., Wickings, E., & Hossaertà Mckey, M. (2008). Small scale spatial genetic structure in the Central African rainforest tree species *Aucoumea klaineana*: a stepwise approach to infer the impact of limited gene dispersal, population history and habitat fragmentation. *Molecular Ecology*, 17(8), 2041-2050.
- BOUAICHA, R., & Benabdelfadel, A. (2010). Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 21(4), 325-326.
- BRAD ÉDOUARD, (2011) : Influence du soleil sur le climat. L'astronomie. Article de conférence sur l'effet du soleil sur le réchauffement planétaire, International conférence au collège, Bruxelles, Belgique, pp : 33-35.
- BRGM, (2010) : La réutilisation des eaux usées : un enjeu majeur de développement durable. Les enjeux des géosciences, Fiche de synthèse scientifique n° 24, pp : 4.
- BRONCHART S., CORS M., (2007) : Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestiques. In Dossier Inter-Environnement, Wallonie.
- BTPNEWS, (2020) : Région de Béni Mellal-Khenifra. Programme national d'approvisionnement en eau potable et d'irrigation 2020/2027.
- CADILLON M. (1992) ; Traitement et valorisation des eaux usées d'Oujda, Rapport préliminaire du programme de coopération Franco-Marocaine, Collectivités locales.
- CHARFI AMINE, (2014) : Etude d'un procédé membranaire de traitement des eaux usées : effet des paramètres biotiques et abiotiques sur le colmatage de la membrane. Thèse doctorale Soutenue le 19/12/2014 à l'Université de Carthage, Tunisie.
- CHOUBERT J.M., MARTIN-RUEL S., BUDZINSKI H., MIÈGE C., ESPERANZA M., SOULIER C., LAGARRIGUE C., COQUERY M., (2011), Évaluer les rendements des stations d'épuration Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées, Extrait numérique de Techniques Sciences Méthodes n° 1/2 de 2011 Exemplaire des auteurs Droits d'utilisation, de diffusion, d'exploitation réservés TSM/Astee, <http://tsm.astee.org>
- COUVREUR, G. (1988) : « Essai sur l'évolution morphologique du Haut Atlas central calcaire (Maroc) ». Notes et mémoires du service géologique du Maroc, Rabat. N°318. 391 pages.

- CORCORAN E., NELLEMANN C., BAKER E., BOS R., OSBORN D., SAVELLI, H., (2010) : « L'eau malade ? Le rôle central de la gestion des eaux usées dans le développement durable » (en anglais) Programme des Nations Unies pour l'environnement/Programme des Nations Unies pour les établissements humains/ GRID-Arendal (PNUE/ONU-Habitat). www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf.
- DRIOUECH, F., DÉQUÉ, M., & MOKSSIT, A. (2009). Numerical simulation of the probability distribution function of precipitation over Morocco. *Climate dynamics*, 32(7-8), 1055- 1063.
- DRIOUECH, F., MAHÉ, G., DÉQUÉ, M., DIEULIN, C., EL HEIRECH, T., MILANO, M. E., ... & ROUCHE, N. (2010). Evaluation d'impacts potentiels de changements climatiques sur l'hydrologie du bassin versant de la Moulouya au Maroc. *Global Change : Facing Risks and Threats to Water Resources*, 561-567.
- DRA-BMK (Direction Régionale de l'Agriculture Beni Mellal Khenifra), (2018) : Monographie de la région de Béni Mellal-Khénifra.
- EL HACHEMI O., EL HALOUANI H., MEZIANE M., TORRENS A., SALGOT M., SBAA M., (2012) étude des performances épuratrices dans une station de traitement des eaux usées par lagunage en climat désertique (oasis de Figuig - Maroc) : aspect bactérien et organique. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 6, N°1, p : 84-97
- EL HAITE Hakima, (2010), Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation. *Sciences de l'ingénieur [physics]*. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2010. Français. NNT: 2010EMSE0569. tel-00611149
- EL HALOUANI H. (1990) ; Lagunage à haut rendement : Caractérisation physicochimique de l'écosystème : Etude de son aptitude à l'élimination de l'azote et du phosphore dans l'épuration des eaux usées, Thèse de troisième cycle, Université de Montpellier I, Montpellier, France.
- EME CLAIRE, (2012) : Traitement des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes. Adaptation de la filière au contexte tropical : État de l'art. In IRSTEA, Lyon.
- DEKKICH S. (2007) : Conception d'une station d'épuration des eaux usées par lagunage commune de Zaouïa El Abedia-Tougourte. *Mém. Ing. Hydraulique*. Univ de Ouargla, pp : 96.
- DRPE, (2003) : Hydraulique en chiffres. Direction de la recherche et de la planification de l'eau, Rabat, Maroc.
- FAO, (2016): Climate change, agriculture and food security, the state of food and agriculture. FAO, Rome.
- FAO, (2003). L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO, Rome.
- FILLAUDEAU L., BLANPAIN-AVET P., DAUFIN G., (2006): Water, wastewater and waste management in brewing industries. *J. Clean. Prod.* 14, 463–471. doi: 10.1016/j.jclepro.2005.01.002.
- GANDER M., JEFFERSON B., JUDD S., (2000): Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations. *Sep. Purif. Technol.* 18, 119–130.
- GRIFFITHS, J. F., & Soliman, K. H. (1972). The northern desert (Sahara). *World survey of climatology*, 10, 75-132.

- GROISMAN, P. Y., Knight, R. W., Karl, T. R., Easterling, D. R., Sun, B., & Lawrimore, J. H. (2004). Contemporary changes of the hydrological cycle over the contiguous United States: Trends derived from in situ observations. *Journal of hydrometeorology*, 5(1), 64- 85.
- GRASMICK A., CABASSUD C., SPERANDIO M., (2007) : Bioréacteurs à membranes (BAM) et traitement des eaux usées. *Tech. Ing. Technol. Eau* 1.
- GUEREE H., GOMELLA C., (1982) : Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales. I - La collecte. 2e ed. Paris : Eyrolles.
- HASSANE B., DURAND A., GARBA Z., DIEPPOIS B., SEBAG D., RAJOT J. L., DIEDHIOU A., NGOUNOU NGATCHA, B., TRAORE A., (2016): Can daily meteorological measurement of near-surface wind detect climate changes in the Sahel (SE Niger, 1950-1992)? *Journal of Arid Environments*, 124, 91-101. Doi: 10.1016/j.jaridenv.2015.07.014.
- HESS R., RUBIN R., WEST L., (2004): “Geographic information systems as a marketing information system technology”, *Decision Support Systems*, vol. 38, no. 2, pp. 197–212,
- HULME, M. (1992). Rainfall changes in Africa: 1931–1960 to 1961–1990. *International Journal of Climatology*, 12(7), 685-699.
- HUTTON G., VARUGHESE M.M., (2016): The Cost of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene. Technical paper. Washington DC, World Bank/ Water and Sanitation Programme (WSP). elibrary.worldbank.org/doi/pdf/10.1596/K8543.
- IDDER TAHAR, (1998) : Impacte des rejets d'origine agricole et urbaine et technique de remédiassions proposées. L'exemple de Ouargla. Thèse de doctorat. Univ.Angers, pp : 284.
- KATHIR A. (1991); Irrigation avec une eau usée épurée d'une culture de courgette: Aspect agronomique et qualité sanitaire du fruit, CEA, Université de Marrakech.
- KNIPPERTZ, P., Christoph, M., & Speth, P. (2003). Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 83(1-2), 67-88.
- KONE MARTINE, (2011) : Infiltration-percolation sur sable et sur fibres de coco, filtres plantés et épuration d'eaux usées domestiques à dominance agroalimentaire sous climat tropical sec : cas des eaux usées résiduaires urbaines de Ouagadougou, Burkina Faso (Thèse en cotutelle). Université de Ouagadougou/Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- KÖPPEN, W., 1900: Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – *Geogr. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–679.
- LAMB, P. J., & Pepler, R. A. (1987). North Atlantic Oscillation: concept and an application. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 68(10), 1218-1225.
- LAHBABI A., ANOUAR K., (2009) : Evaluation Environnementale. Projet d’Alimentation en Eau Potable et d’Assainissement (PAEPA) en Milieu Rural au Maroc. Rapport de l’ONEE et Banque Mondiale, BIRDII., Rabat, Maroc.
- LAMGHARI M.F., ASSOBEI O., (2005): Impact of urban effluents on intestinal helminth infections in the wastewater discharge zone of the city of El Jadida. Morocco. *Manag. Environ. Quality*, 16, 1, 6-16. Doi : <https://doi.org/10.1108/14777830510574308>.

- LANCEFIELD REBECCA C., (1932): Note on the susceptibility of certain strains of hemolytic streptococcus to a streptococcus bacteriophage. Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 30:169. DOI <https://doi.org/10.3181/00379727-30-6409>.
- LEVEQUE, P. (1952) : « Géologie appliquée aux grands travaux du Maroc (Zone française) Fascicule I : Les aménagements de l’oued El Abid ». Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc, N° 98, Edition Félix Moncho, Rabat. 168 pages.
- LE-CLECH P., CHEN V., and FANE T.A.G., (2006): Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment. J. Membr. Sci. 284, 17–53. doi: 10.1016/j.memsci.2006.08.019.
- LIANG L., Goh S. G., Vergara G. V., Fang H. M., Rezaeinejad S., Chang S. Y., Bayen S., Lee W. A., Sobsey M. D., Rose J. B., Gin K. Y. H., (2015) : Alternative Fecal Indicators and Their Empirical Relationships with Enteric Viruses, Salmonella enterica, and Pseudomonas aeruginosa in Surface Waters of a Tropical Urban Catchment, ASM Journals Applied and Environmental Microbiology Vol. 81, No. 3. Doi : <https://doi.org/10.1128/AEM.02670-14>.
- LISS S.N., ALLEN D.G., (1992): Microbiological Study of Bleached Kraft Pulp Mill Aerated Lagoon. Journal of pulp and paper science, 18(6), pp: 5. Doi : <https://doi.org/10.1139/m93-003>.
- LOMBARD L. R., MOLLE P., (2017) : Les filtres plantés de végétaux pour le traitement des eaux usées domestiques en milieu tropical : Guide de dimensionnement de la filière tropicalisée. Agence Française de Biodiversité, collection Guides et protocoles. Veronique Barre, Béatrice Gentil-Aalasc. Lyon.
- MARA Duncan, (2004): Domestic wastewater treatment in developing countries. London, Earthscan Publications. ISBN: 1-84407-019-0 paperback.
- MAULDING JS, ROBERT H., (1968) : Effet de l’environnement ionique et de la température sur la coagulation des composés organiques colorants avec le sulfate ferrique. Article scientifique, J. Am. Water Works Association., pp : 60 : 460.
- MENDES A., THEMIDO I., (2004) : “Multi-outlet retail site location assessment”, International Transactions in Operational Research, vol. 11, no. 1, pp. 1–18.
- MERZOUGUI WARDA. (2017) : Etude de performance d’un dessableur « station d’épuration de la ville d’Ain Beida ». Mémoire de fin d’études, chapitre 1 : Composition des eaux usées, page 7
- MERTZ O., MBOW, C., REENBERG, A., GENESIO, L., LAMBIN, E. F., D’HAEN, S., ZOROM, M., RASMUSSEN K., DIALLO, D., BARBIER, B., MOUSSA, I. B., DIOUF, A., NIELSEN, J., SANDHOLT, I., (2011): Adaptation strategies and climate vulnerability in the Sudano-Sahelian region of West Africa. Atmos. Sci. Let. 12, 104–108. doi : 10.1002/asl.314.
- MERCOIRET L. C., (2010), Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités Application aux agglomérations d’assainissement inférieures à 2 000 Equivalent Habitants, Rapport final, Partenariat 2009 – Domaine : Ecotechnologie et pollutions Action 28bis-1 « Conception et exploitation des stations d’épuration des petites et moyennes collectivités »
- METCALF et EDDY, (1991): Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse (3rd ed.). In G. Tchobanoglous, & F. L. Burton (Eds.), New York: McGraw-Hill. ISBN-10 : 0071008241.
- MOHSEN M.S., JABER J.O., (2003): Potential of industrial wastewater reuse. Desalination 152, 281–289. doi :10.1016/S0011-9164(02)01075-5.

- MOLLE P., LIENARD A., BOUTIN C., MERLIN G., IWEMA, A., (2004) : Traitement des eaux usées domestiques par marais artificiels : État de l’art et performances des filtres plantés de roseaux en France. In Ingénieries numéro spécial, 23-32.
- MORE T.T., YAN S., TYAGI R.D., SURAMPALLI, R.Y., (2012): Applications of Membrane Processes for Concentrated Industrial Wastewater Treatment, in: Membrane Technology and Environmental Applications. American Society of Civil Engineers, pp. 217–238.
- MOUNTADAR M., ASSOBBHEI O., (2006): Production of sludge from wastewater treatment plants in Morocco (Annexe 1). Design and Application of an Innovative Composting Unit for the Effective Treatment of Sludge and other Biodegradable Organic Waste in Morocco. Reference : LIFE05 TCY/MA/000141/Acronym: MOROCOMP.
- MOUSSA, I. B., Maiga, O. F., Ambouta, J. M. K., Sarr, B., Descroix, L., & Adamou, M. M. (2009). Les conséquences géomorphologiques de l’occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 20(1), 145-152
- NICHOLSON, S. E., Some, B., & Kone, B. (2000). An analysis of recent rainfall conditions in West Africa, including the rainy seasons of the 1997 El Niño and the 1998 La Niña years. *Journal of Climate*, 13(14), 2628-2640.
- OUATTARA P. J. M., COULIBALY L., MANIZAN, P. N., GOURENE, G., (2008) : Traitement des eaux résiduaires urbaines par un marais artificiel à drainage vertical planté avec *Panicum Maximum* sous climat tropical. In *European Journal of Scientific Research*, 23(1), 25-40.
- PARAWIRA W., KUDITA I., NYANDOROH M.G., ZVAUYA R., (2005): A study of industrial anaerobic treatment of opaque beer brewery wastewater in a tropical climate using a full-scale UASB reactor seeded with activated sludge. *Process Biochem.* 40, 593–599. doi: 10.1016/j.procbio.2004.01.036.
- PIADEH F., ALAVI MOGHADDAM, M.R., MARDAN, S., (2014): Present situation of wastewater treatment in the Iranian industrial estates: Recycle and reuse as a solution for achieving goals of eco-industrial parks. *Resour. Conserv. Recycl.* 92, 172–178. Doi: 10.1016/j.resconrec.2014.06.004.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l’environnement), (2015a) : Good Practices for Regulating Wastewater Treatment: Legislation, Policies and Standards. Nairobi, PNUE.
unep.org/gpa/documents/publications/GoodPracticesforRegulatingWastewater.pdf.
- PNUE (Programme des Nations Unies pour l’environnement), (2015b): Economic Valuation of Wastewater - The Cost of Action and the Cost of No Action. Nairobi, PNUE.
unep.org/gpa/Documents/GWI/Wastewater%20Evaluation%20Report%20Mail.pdf.
- PNE, (2015) : Le Plan National de l’Eau. Ministère chargé de l’eau et l’environnement, Maroc. <http://www.environnement.gov.ma/fr/eau/112-theme/eau>.
- RASSAM A., chaouch a., bourkhiss b., ouhssine m., lakhlifi t., bourkhiss m. et el watik l., (2012), Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées brutes de la ville d’oujda (MAROC), *LES TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE*, Volume 7, N°28.
- REVERDY A.L., Baudez J.C., Dieudé F. E., (2013), Etude de l’impact de la digestion anaérobie sur les performances épuratoires d’une STEU Rapport final. Thème 12.5.1 - Techniques de réduction des pollutions – Action n°110.

- RIAD, S. (2003). Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc (Doctoral dissertation, Atelier de reproduction des thèses).
- RIAD, S., Mania, J., & Bouchaou, L. (2006). Variabilité hydroclimatique dans les bassinsversants du Haut Atlas de Marrakech (Maroc). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 17(3), 443-446.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET, N., (2009) : *L'Analyse de l'Eau*. Dunod, Paris
- SANGARE D., SAWADOGO, B., SOUDAKOURE, M., OUEDRAOGO, D.M., HIJIKATA, N., YACOUBA, H., COULIBALY, L., FUNAMIZU, N., (2018) : Short term effects of treated greywater by high rate algal ponds process on vegetable yield and soil properties under Sudano-Sahelian climate conditions. *Environ. Prog. Sustain. Energy* 37, 465–470. Doi :10.1002/ep.12658.
- SATIN M., SELMI B., (2006) : *Guide technique de l'assainissement*. 3e ed. Paris: Le Moniteur Editions.
- SEBBAR, A., Hsaine, M., Fougrach, H., & Badri, W. (2012). Étude des variations climatiques de la région centre du Maroc. *Les climats régionaux: observation et modélisation*, 709-714.
- SEYHI B., DROGUIL, P., BUELNA G., BLAIS J.-F., HERAN M., (2011) : État actuel des connaissances des procédés de bioréacteur à membrane pour le traitement et la réutilisation des eaux usées industrielles et urbaines. *Rev. Sci. Eau* 24, 283. doi :10.7202/1006478ar.
- SINGLA, S., Mahé, G., Dieulin, C., Driouech, F., Milano, M., El Guelai, F. Z., & Ardoin-Bardin, S. (2010). Evolution des relations pluie-débit sur des bassins versants du Maroc. *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources*, 679-687
- SHI HANCHANG, (2000): Industrial wastewater types, amounts and effects, in: point sources of pollutions: local effects and its control. *Encyclopedia of Life Support Systems*, Paris, France, p. 4.
- SHUVAL H., ADIN A., FATTAL B., RAWITZ E., YEKUTIEL P., (1986): Wastewater irrigation in developing countries Health Effects and Technical Solutions Summaly of World Bank Technical. Paper Number 51. The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/662691468174871226/pdf/multi-page.pdf.w>
- SMELCER J., CARMEL E., (1997): “The effectiveness of different representations for managerial problem solving: Comparing tables and maps”, *Decision Sciences*, vol. 28, no. 2, pp. 391–420.
- SRAT, (2020) : Phase 3 : orientations stratégiques et espaces projets, Etude relative à l'élaboration du schéma régional d'aménagement du territoire de la région de Béni Mellal – Khénifra. <http://benimellalkhenifra.ma/fr/publication/srat-phase-3>.
- SRAT, (2019) : Phase 2 : Rapport du diagnostic stratégique territorial. Etude relative à l'élaboration du schéma régional d'aménagement du territoire de la région de Béni Mellal – Khénifra. <http://benimellalkhenifra.ma/fr/publication/srat-phase-2>.
- TCHIMOGO M., (2001) : Épuration des eaux usées de l'ENSH par lagunage naturel. *Mém. ing. Genie rurale*. Blida, Algérie, pp : 132.
- THOMAZEAU ROBERT., (1981) : *Stations d'épuration. Eaux potables – Eaux usées*. Paris : Éditions Technique et documentation.

- UN WATER, (2017) : Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau. Place de Fontenoy, 75352 Paris 07-SP.
- VAHEDI B., KUHN W., BALLATORE A., (2016) : “Question-based spatial computing—a case study.” dans *Geospatial Data in a Changing World. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography 1*. B. Springer, édition 2016, Book Section, pp. 37–50.
- VEOLIA EAU. (2008) : Les Enjeux d’assainissement. Service Technique. Marseille : Région Sud -Est.
- VILLAIN MATTEO, (2012) : Bioréacteur à membranes pour le traitement d’eaux usées domestiques : influence des conditions environnementales et opératoires sur l’activité des biomasses et le transfert de matière. Université Aix Marseille, Marseille, France.
- WARD, M. N., Lamb, P. J., Portis, D. H., El Hamly, M., & Sebbari, R. (1999). Climate variability in northern Africa: Understanding droughts in the Sahel and the Maghreb. In *Beyond el Niño* (pp. 119-140). Springer Berlin Heidelberg.
- WEST LAWRENCE A., (2000): “Designing end-user geographic information systems”, *Journal of Organizational and End User Computing*, vol. 12, no. 3, pp. 14–22.
- WINKLER MARTIN., (2012) : Rapport d'application. Analyse de laboratoire-Analyse en continu -Traitement des eaux usées- Elements nutritifs. BIOSERVE GmbH, Mayence, Allemangne.
- WOODARD FRANK, (2001): *Industrial Waste Treatment Handbook, Waste Management*. Butterworth–Heinemann, United States of America.
- ZAMRANE Zineb. (2016) Recherche d’indices de variabilité climatique dans des séries hydroclimatiques au Maroc : identification, positionnement temporel, tendances et liens avec les fluctuations climatiques : cas des grands bassins de la Moulouya, du Sebou et du Tensift. Sciences de la Terre. Université Montpellier; Université Cadi Ayyad (Marrakech, Maroc). Faculté des sciences Semlalia. Français. ffNNT : 2016MONTT181ff. fftel-01690063f
- ZERROUKI Z., (2009) ; Contribution à l’étude des performances épuratoires des stations d’épuration des villes de Nador et de Beni Ensar et du degré de pollution de leur milieu récepteur (lagune de Nador, Maroc Oriental), Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, Oujda, Maroc, 162 pages.
- ZHENG X., ZHANG, Z., YU, D., CHEN, X., CHENG, R., MIN, S., WANG, J., XIAO, Q., WANG, J., (2015) : Overview of membrane technology applications for industrial wastewater treatment in China to increase water supply. *Resour. Conserv. Recycl.* 105, Part A, 1–10. doi : 10.1016/j.resconrec.2015.09.012.

REFERENCES WEBO-GRAPHIQUES

- <http://www.hqe.guidenr.fr/> : Guide de l'information Haute Qualité Environnementale (GUIDEnR_HQE, 2014)
- <http://benimellalkhenifra.ma/fr/> : Site web officielle du Conseil régional de Béni Mellal Khénifra
- <https://libra.developmentseed.org/>: Libra is a highly usable Landsat imagery browser
- https://scholar.google.com/scholar?hl=fr&as_sdt=0%2C5&as_vis=1&q=eaux+us%C3%A9es&btnG= : Google scholar
- <https://twcc.fr/fr/> : Conversion des Coordonnées
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>: Téléchargement des images satellitaires
- <https://www.btpnews.ma> : BTPnews est un magazine mensuel, tiré à 5000 exemplaires ; spécialisé dans le domaine du bâtiment et des travaux publics.
- <http://www.impetus.uni-koeln.de/fr/projet/approches/sspd.html> : IMPETUS approches intégrée pour la gestion efficiente des ressources hydriques limitée en Afrique de l'Ouest.
- chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www4.ac-nancy-metz.fr/ia54/circos/ienstmax/sites/ienstmax/IMG/pdf_pdf_Les_eaux_usees_et_leur_epuration.pdf :les eaux usées et leur épuration (LIBES Y, 2010).

ANNEXES

Annexe N° 1 : Procédure de la Technique pour la création de la base de données spatiale

Annexe N° 2 : Les fiches descriptives des stations d'épurations de la région de Béni Mellal - Khénifra.

Annexe n° 2 : Photos des campagnes de mesures et de prélèvements des échantillons.

Annexe n° 3 : Photos au sein du laboratoire d'analyses ABHOER.

Annexe N° 1 :

- Procédure de la Technique pour la création de la base de données spatiale

I - Procédure de la Technique pour la création de la base de données spatiale

I-1 -Importation des fichiers

Pour la visualisation et l'importation des fichiers des provinces de la région sous la plateforme d'ArcGis, on procède comme suit : on ouvre l'interface Arcgis et on commence par l'importation du shapfile (Fichier de forme) de la région de Béni Mellal-Khénifra et ses provinces. Pour ce faire, on procède par le raccourci suivant :

-Add data et importer le fichier

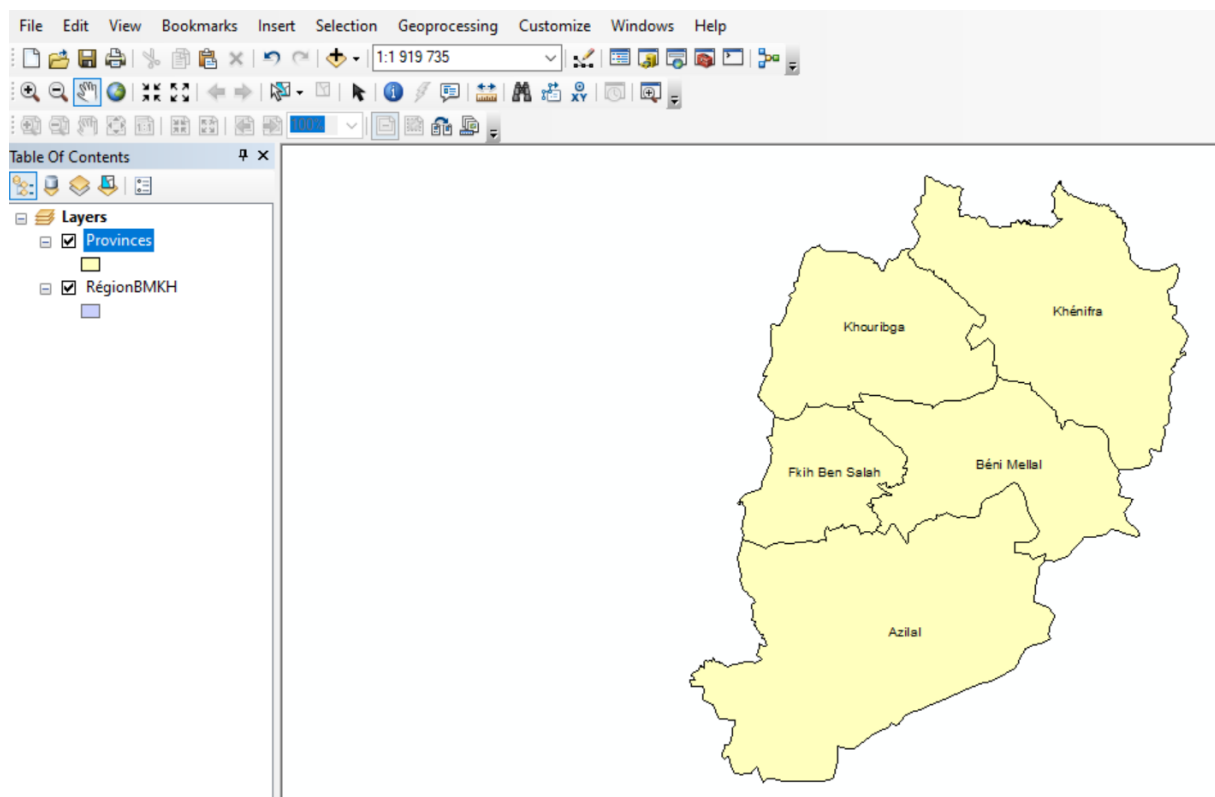


Figure 1 : Importation des provinces de la région Sous ArcGis

Pour importer le fichier Excel qui contient les données et la localisation cartographique (X, Y) des 14 STEPs, on procède par le raccourci suivant :

– **Add data>add x y data >importer les fichiers et choisir le système de projection**

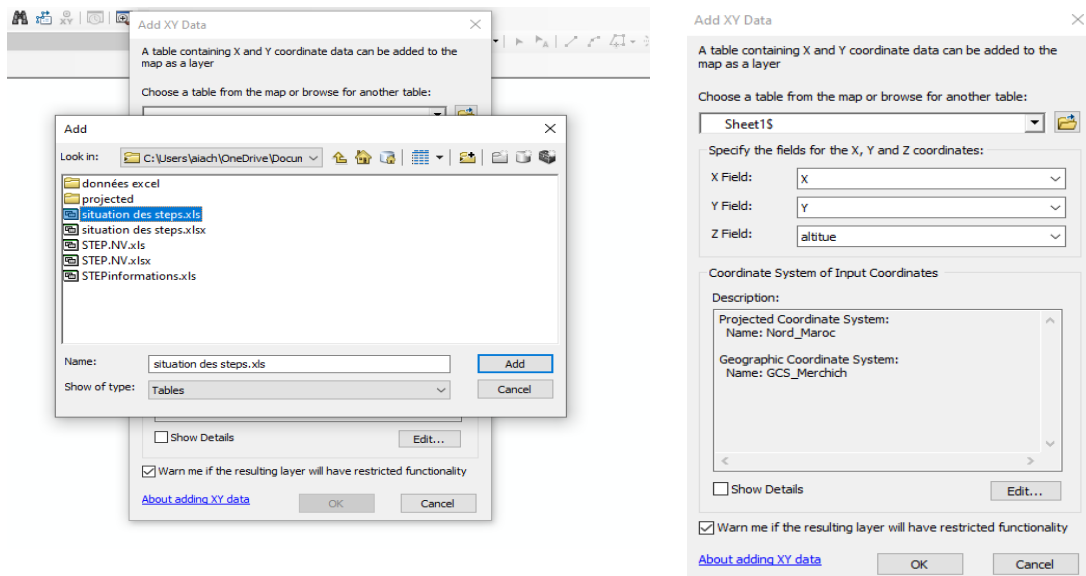


Figure 2 : Importation des données et localisation géographique des STEPs

- Exportation des fichiers Excel en fichier de forme (shapefile)
- **Data>export data>enregistrer le fichier**
- Projection de fichier de forme (shapefile)
- **Arctoolbox > data management tools > projectionset transformations > project > enregistrer le fichier de forme et choisir un système de projection.**

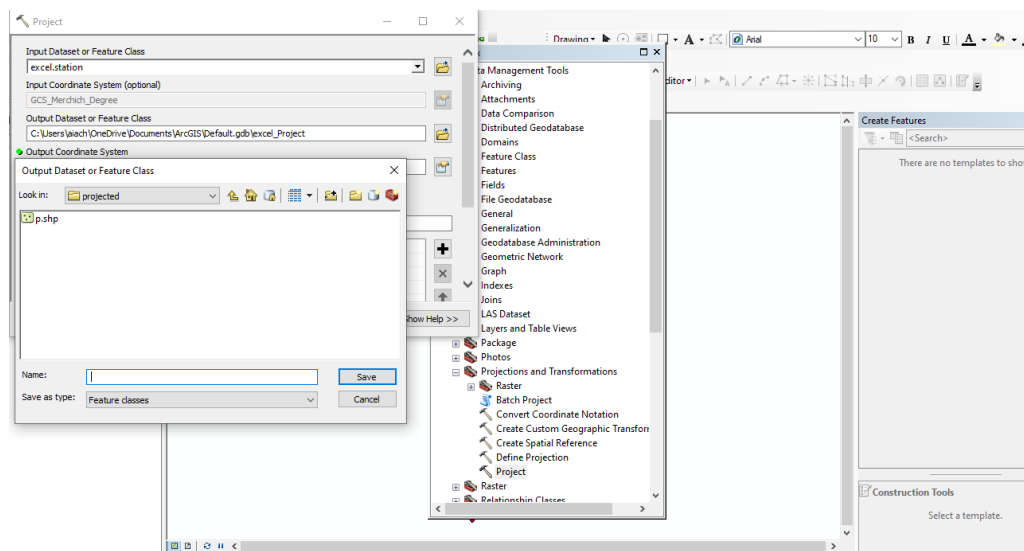


Figure 3 : Choix de la projection de fichier de forme des STEPs

- Ouvrir la table attributaire
- **Clique droit>open attribute table**

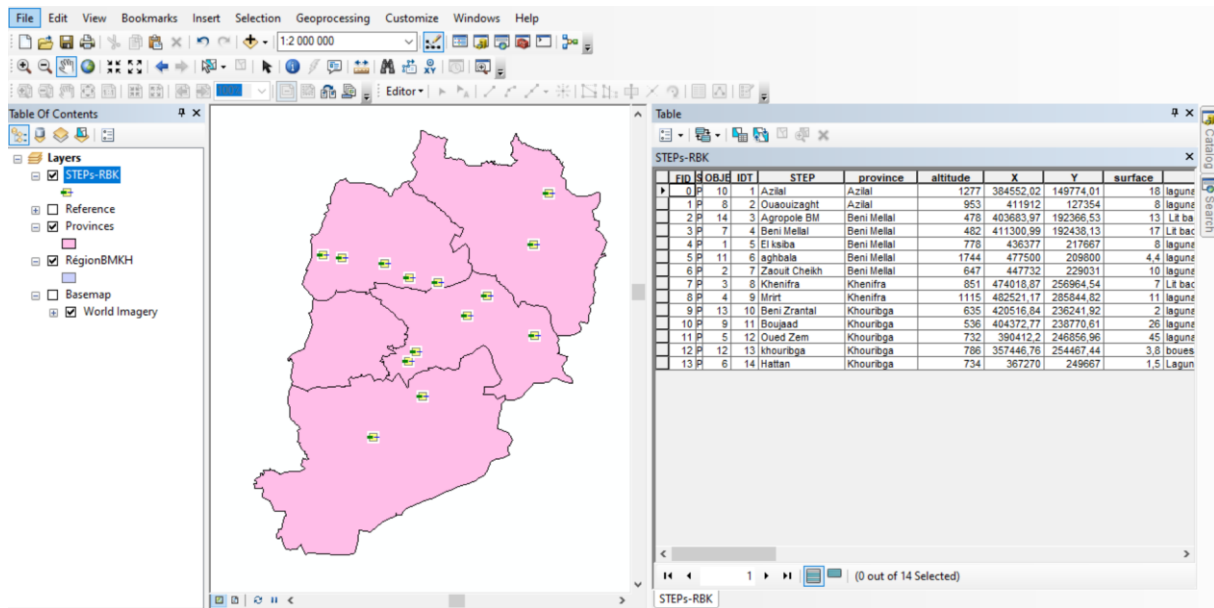


Figure 4 : Affichage de table attributaire

I-2- Création de la base de données

On crée la base de données pour stocker toutes les informations de notre travail. Pour ce faire, on procède par les étapes suivantes :

- Création de la base de données géo-spatiale
- **Ouvrir catalogue>new>file geodatabase>ok**
- Importation des fichiers que nous avons déjà créés (région de BM-KH,et stations)
- **Clic droit sur la base de données >import feature class>importer les 2 fichiers**

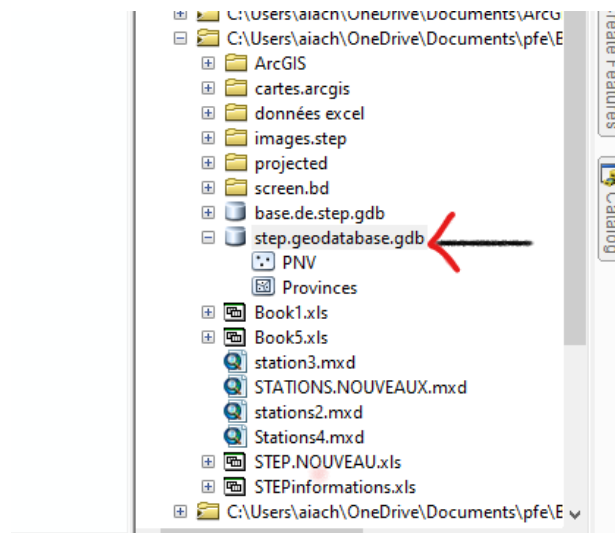


Figure 5 : Import des fichiers stockés dans la base de données géo-spatiale des STEPs

- Ajout des champs dans la table attributaire pour agrandir la base de données
- **Ouvrir la table attributaire >ajouter un champ >nommer le champ et choisir le type de ces données**

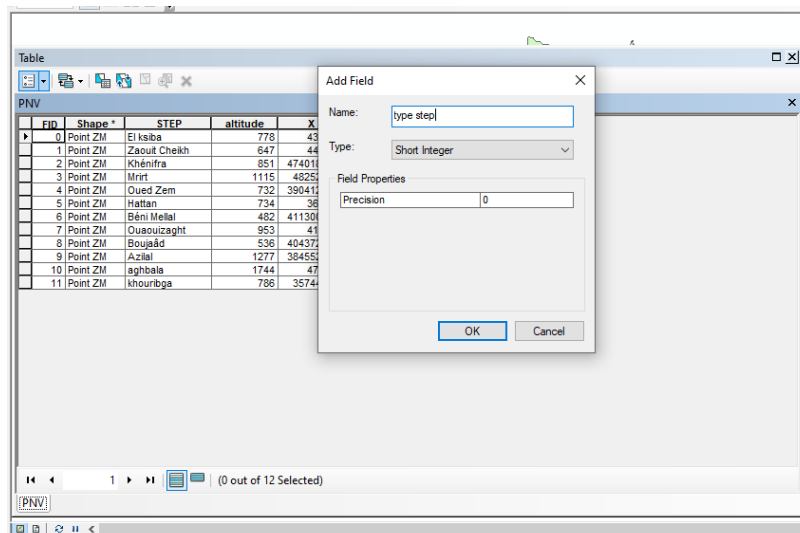


Figure 6 : Ajout des champs dans la base de données des STEPs

The screenshot shows a software window titled 'Table' containing a table with the following data:

FID	Shape	STEP	altitude	X	Y	surface	type de STEP	Etat de fonctionnement	nature des eaux brutes	caractéristiques de step	popul
1	Point ZM	El ksiba	778	436377	217667	8	lagunage naturel	fonctionnaire	Domestiques	en relief	
2	Point ZM	Zaout Chekh	647	447752	229051	10	lagunage naturel	fonctionnaire	Domestique+ margines	en relief	
3	Point ZM	Khénifra	851	474018,866	256964,544	7	Lt bacérien	fonctionnaire	Domestiques	en relief	
4	Point ZM	Mrit	1115	482521,17	285844,818	11	lagunage naturel	fonctionnaire	Domestiques	en relief	
5	Point ZM	Oued Zem	732	390412,203	246856,964	45	lagunage naturel	fonctionnaire	Domestiques	en plaine	
6	Point ZM	Hattan	734	367270	249667	1,5	Lagunage aéré strict	Periode d'essai	Domestiques	en plaine	
7	Point ZM	Béni Mellal	482	411300,985	192438,131	17	En période de reconstruction	en repos	Domestiques	en plaine	
8	Point ZM	Ousouizaght	953	411912	127354	8	lagunage naturel	fonctionnaire	Domestiques	en relief	
9	Point ZM	Bouaâd	536	404372,773	238770,612	26	lagunage naturel	fonctionnaire	Domestiques	en plaine	
10	Point ZM	Azliâl	1277	384552,015	149774,014	18	lagunage naturel	fonctionnaire	Domestiques	en relief	
11	Point ZM	aghbala	1744	477500	209800	4,4	lagunage naturel	<Null>	Domestiques	en relief	
12	Point ZM	khourbga	786	357466,76	254467,44	3,8	Lagunage aéré	fonctionnaire	Domestiques	en plaine	<Null>

Figure 7 : Table attributaire des STEPs

I-3- Insertion des photos des STEPs

- Ajouter un champ spécifique pour les photos des STEPs
- Add field > nommer photo > choisir le type Raster > editor > start editing > insérer les images > save edit > stop editing

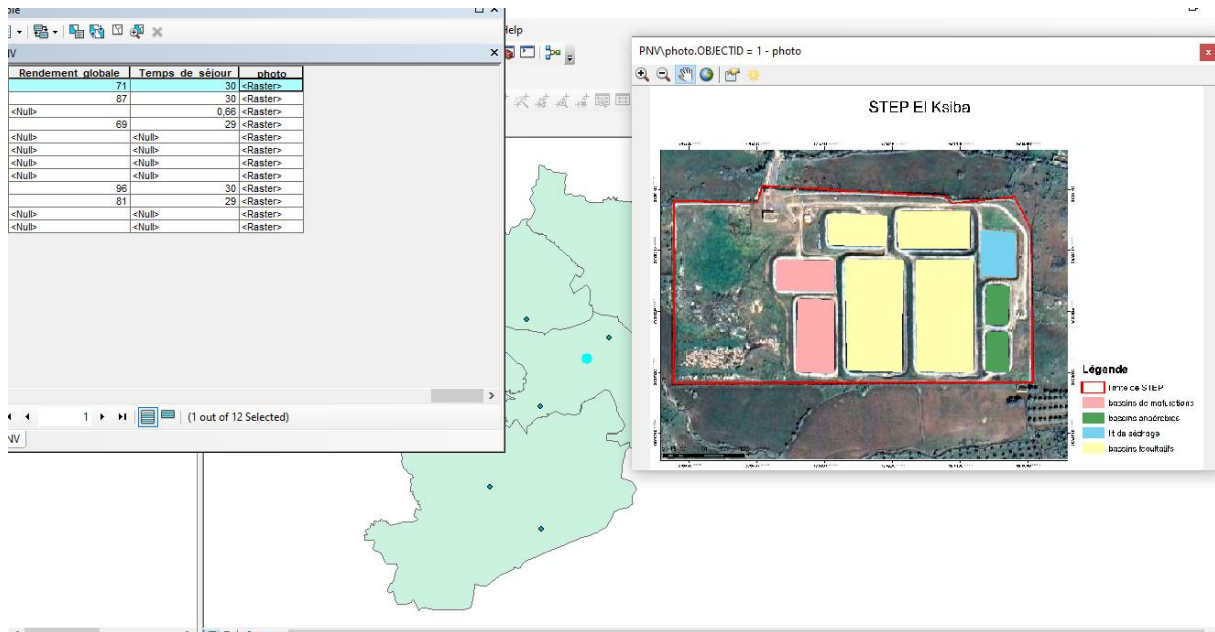


Figure 8 : Sélection de l'image de la station d'EIKSIBA

Après l'insertion de toutes les données, les photos et images, on peut visualiser notre projet dans sa globalité comme il est illustré dans la figure suivante :

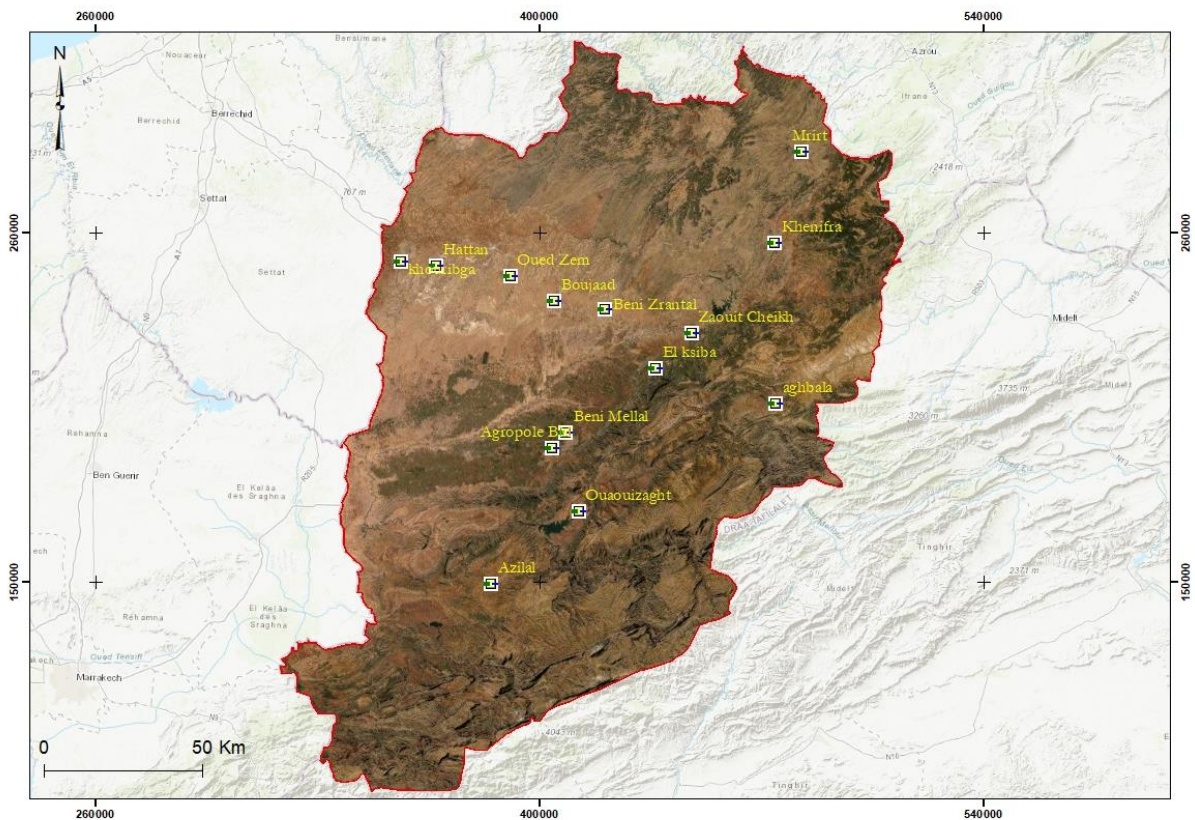


Figure 9 : Vue globale du projet SIG

Annexe N° 2

- Les fiches descriptives des stations d'épurations de la région de Béni Mellal-Khénifra.

FICHE STEP : Béni Mellal	
Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Béni Mellal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Béni Mellal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 408 155 ; Y : 196 950
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Béni Mellal ▪ Population : 192 553 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 180 000 m² ; ▪ Procédé : lit bactérien ; ▪ Débit : 20.000 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Dégrilleur, Désableur ; - 4 lagunes anaérobies ; - 4 lits bactériens ; - 4 lagunes de maturation. ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement : 495,5 MDH (PNA 247,75 MDH/DE 89 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : RADEET
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : il est assuré quotidiennement par la RADEET ▪ Performance : DBO₅ : 35 mg/l DCO : 150 mg/l MES : 50mg/l
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE : La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.

FICHE STEP : Agropole Béni Mellal

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Béni Mellal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Béni Mellal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées :X : 403 680 ; Y : 192 365
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Communes : Ouled M'Barek, Foum Oudi, quartiers Ouest de Béni Mellal et l'Agropole ; ▪ Population :32007Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 130 000m² ; ▪ Procédé : lit bactérien ; ▪ Débit : 10320 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Station de Pompage/conduite de refoulement ; - Prétraitement ; - 2 décanteur -Digesteur (fosse IMHOFF) ; - 2 lits bactériens ; - 2 bassins de clarification ; - Conduite de rejet. ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement : 87,25 MDH (PNA 43,6 MDH/DE 12,5 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : RADEET
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien /Performance : <ul style="list-style-type: none"> - La STEP n'est pas encore opérationnelle (en attente d'achèvement du réseau de Ouled M'Barek et Foum Oudi afin d'assurer le débit minimal du fonctionnement de la STEP)
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE : <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.</p>

FICHE STEP : El Ksiba

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Béni Mellal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : EL Ksiba
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 436 465 ; Y : 217530
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : El Ksiba ▪ Population : 20000 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 110 000 m² ; ▪ Procédé : lagunage naturel ; ▪ Débit : 1500 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Station de Pompage ; - Prétraitement ; - 2 bassins anaérobies ; - 2 bassins facultatifs ; - 2 bassins de maturation ; - Emissaire de sortie ; - 6 lits de séchage des boues ; ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement : 63 MDH (PNA 31,5 MDH/DE 18,5 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE- Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Exécuté, bon ; ▪ Performance : DBO₅ 88 % ; DCO 84 % ; MES 76 %
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE : <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.</p>

FICHE STEP : Zaouiat Cheikh

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Béni Mellal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Zaouiat Cheikh
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 447 660 ; Y : 228860
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Zaouiat Cheikh ▪ Population : 25 388 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie totale : 120 000 m² ; ▪ Procédé : Lagunage aéré / Secondaire ; ▪ Débit : 2 400 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Station de Pompage ; - Prétraitement ; - 4 bassins aérés ; - 4 bassins facultatifs ; - Emissaire de sortie ; - 6 lits de séchage des boues ; ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ; ▪ Coût d'investissement/ financement : Coût Global 114 MDH (PNA 57 MDH / DE 38,8 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE- Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Exécuté, bon ; ▪ Performance : DBO₅ 79 % ; DCO 81 % ; MES 53 %
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par l'EIE : <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE...</p>

FICHE STEP : Aghbala

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Béni Mellal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Aghbala
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 474 250 ; Y : 206 540
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Aghbala ▪ Population : 6745 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 65000 Ha ▪ Procédé : lagunage naturel ; ▪ Débit : 740 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Station de Pompage ; - Prétraitement ; - 3 bassins anaérobies (primaire) ; - 2 bassins facultatifs ; - 2 bassins de maturation ; - Emissaire de sortie ; - 4 lits de séchage des boues ; ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement : 50 MDH (PNA 25 MDH/DE 9,5 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE- Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Exécuté, Bon ; ▪ Performance : DBO₅ 76 % ; DCO 68 % ; MES 88 %
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE : ▪ La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.

FICHE STEP : Boujaâd

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Khouribga
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Boujaâd
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X :404 380 ; Y :238760
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Boujaâd ▪ Population :46 893 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie totale : 220 000 m² ; ▪ Procédé : Lagunage naturel / Tertiaire ; ▪ Débit : 3300 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Station de Pompage ; - Prétraitement ; - 6 bassins anaérobies (primaire) ; - 6 bassins facultatifs ; - 6 bassins de maturation ; - Emissaire de sortie ; - 6 lits de séchage des boues ; ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non (étude pour irrigation des cultures avoisinantes, mandatées par l'ABH de l'Oum Rbia, est en cours) ; ▪ Milieu récepteur : Chaâba à côté de la route vers Fquih Ben Salah ; ▪ Coût d'investissement/ financement : Coût Global 173 MDH (PNA 53,9 MDH / DE 39 MDH);
Gestion	Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE-Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Exécutée, très bon ; ▪ Performance : DBO₅ 70 % ; DCO 75 % ; MES 62%
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par l'EIE <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.</p>

FICHE STEP : Oued Zem

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Khouribga
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Oued Zem
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X :390 470 ; Y :246835
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Oued Zem ▪ Population : 95 243 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie totale : 440 000 m² ; ▪ Procédé : Lagunage naturel / Tertiaire ; ▪ Débit : 5600 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Prétraitement ; - 6 bassins anaérobies (primaire) ; - 6 bassins facultatifs ; - 6 bassins de maturation ; - Emissaire de sortie ; - 8 lits de séchage des boues. ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ; ▪ Coût d'investissement/ financement : Coût Global :215 MDH, (PNA 56,9 MDH / DE 34,9 MDH);
Gestion	Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE-Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Exécuté, bon ; ▪ Performance : DBO₅ 75 % ; DCO 83 % ; MES 92 %
Situation Environnementale	<p>Mesures préconisées par l'EIE : La Direction Régionale de l'Environnement ne dispose pas de l'EIE.</p>

FICHE STEP : Hattane

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Khouribga
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Hattane
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 367 278 ; Y : 249 725
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Hattane ▪ Population : 10 618 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 70 000m² ; ▪ Procédé : lagunage aérée ; ▪ Débit : 750 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Ouvrages d'arrivée et de prétraitement (Unité compacte de prétraitement, dégrillage, dessablage-déshuilage) ; - Traitement primaire : 2 bassins complètement mélangés rectangulaires en béton armé ; - Traitement secondaire : 2 bassins complètement mélangés rectangulaires en béton armé ; - L'aération des bassins primaires et secondaires est assurée par des suppresseurs d'air ; - Traitement tertiaire : Microfiltration à disques (02 modules) avec désinfection aux UV ; - 07 lits de séchage ; - Un bâtiment d'exploitation et une loge gardien ; - Aménagement divers (réseau d'eau potable, électricité, voiries, piste d'accès et espaces verts etc.) ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement : 43 MDH (PNA 21,5 MDH/DE 15,5 MDH)
Gestion	Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE-Branche eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : bon, exécuté. ▪ Performance : DBO5 82 % ; DCO 82 % ; MES 85,7%
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE...</p>

FICHE STEP : Béni Zrantel

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Khouribga
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Béni Zrantel
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X :420 515 ; Y :236 265
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Béni Zrantel ▪ Population :6597 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 20 000m² ; ▪ Procédé : lagunage naturel ; ▪ Débit : 820 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : Prétraitement – 2 bassins anaérobies (primaire) - 2 bassins facultatifs – 3 bassins de maturation - Emissaire de sortie – 1 lit de séchage des boues ; ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement :27,27 MDH (100% DE)
Gestion	Régie/ONEE/Convention avec commune : gérée directement par la commune
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Non, station abandonnée. ▪ Performance : station en arrêt : <ul style="list-style-type: none"> - La commune ne peut pas assurer les frais de fonctionnement de la station ; - Besoin d'un hydrocureur.
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.

FICHE STEP : Khénifra

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Khénifra <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Khénifra <hr/> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X :474 000 ; Y :257 020
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Khénifra ▪ Population :116 589 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie totale : 92 000 m² ; ▪ Procédé : Lit bactérien / Secondaire ; ▪ Débit : 12 000 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Station de Pompage ; - Prétraitement ; - 4 décanteurs ; - Digesteur (fosse IMHOFF) ; - 2 lits bactériens ; - 1 bassin de clarification ; - Emissaire de sortie ; ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ; ▪ Coût d'investissement/ financement : Coût Global 241 MDH (PNA 120,5 MDH / DE 64,5 MDH);
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE-Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Exécuté, très bon ; ▪ Performance : DBO₅ 96 % ; DCO 75 % ; MES 100 %
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.

FICHE STEP : OCP Khouribga

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Khouribga
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Khouribga
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 356 060 ; Y : 251165
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Khouribga, Ouled Abdoune, Boulanoire ▪ Population :222 600 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 155 000 ha ▪ Procédé : Boues activées ; ▪ Débit :18.000 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Dégrilleur, Dessableur et déshuileur - Décanteur primaire - Bassin d'aération, 6 aérateurs - Clarificateur, Débitmètre - 3 épaisseurs boues brutes - Digesteur, lits de séchage ▪ Réutilisation des eaux traitées :6000 m³/j des eaux usées traitées réutilisées pour le lavage et le transport des phosphates. ▪ Coût d'investissement/ financement :292 MDH (100% OCP)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : OCP
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : bon, Exécuté quotidiennement ▪ Performance : DBO₅ 84 % ; DCO 88 % ; MES 81 %
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE : <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.</p>

FICHE STEP : M'irt

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Khénifra
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : M'irt
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées :X : 482 530 ; Y:285 870
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : M'irt ▪ Population :40 000 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie totale : 120 000 m² ; ▪ Procédé : Lagunage aéré / Secondaire ; ▪ Débit :2400 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Station de pompage ; - Prétraitement ; - 4 bassins aérés ; - 4 bassins facultatifs ; - Emissaire de sortie ; - 6 lits de séchage des boues. ▪ Réutilisation des eaux traitées : il est prévu la réutilisation des eaux usées épurées de la ville de M'irt pour l'arrosage des espaces verts et utilisation agricole au voisinage de la STEP ▪ Coût d'investissement/ financement :114 MDH (PNA 57 MDH/DE 38,3 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE- Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Exécuté, bon ; ▪ Performance : DBO₅ 78 % ; DCO 87 % ; MES 54 %
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE : <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.</p>

FICHE STEP : Azilal

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Azilal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Azilal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 384 560 ; Y : 149 775
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Azilal ▪ Population : 42 320 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 185 000m² ; ▪ Procédé : lagunage naturel ; ▪ Débit : 2800m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - Dégrilleur, Déssableur ; - 3 Bassins Anaérobie ; - 2 bassins Facultatif ; - Un bassin de maturation. - 8 Lits de séchage (15m x 20m). - Ouvrage d'arrivé - Ouvrages de répartition : Deux répartiteurs, le 1er situe Avant les bassins Anaérobie et l'autre avant les bassins facultatifs. - Étanchéité par la géo membrane. - Ouvrages annexes (Bâtiment d'exploitation, clôture ...). ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement :75 MDH (PNA 37,5 MDH/DE 10 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE- Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : Entretien systématique Assurée par L'entreprise ELECLEAU FOUNApar un contrat de sous-traitance. ▪ Performance : DBO5 : 150 mg/l DCO :200 mg/l MES :150 mg/l - La STEP fonctionnait à 86 % de sa capacité nominale. - Le rejet de la STEP est non conforme pour les deux paramètres DCO et DBO5. - Le rendement épuratoire de la STEP est légèrement faible pour les deux paramètres DBO5 et MES
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE : <p>La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.</p>

FICHE STEP : Ouaouizeght

Site/Localisation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Province : Azilal
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Collectivité territoriale : Ouaouizeght
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Coordonnées : X : 412 095 ; Y : 172 404
Communes desservies	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Commune : Ouaouizert ▪ Population : 15 000 Hab
Description	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie : 80 000m² ; ▪ Procédé : lagunage naturel ; ▪ Débit : 541 m³/j ; ▪ Installation /Equipement : <ul style="list-style-type: none"> - 3 Bassins Anaérobie ; - 3 bassins Facultatifs ; - 2 bassins de maturation ; - 4 Lits de séchage (10m x 42m) ; - Ouvrage d'arrivé des effluents de la station de pompage principale. - Ouvrages de répartition : Deux répartiteurs, le 1er situ Avant les bassins Anaérobie et l'autre avant les bassins facultatifs ; - Limiteur de débit à l'entrée des bassins de maturation ; - Etanchéité : la géomembrane ; - Ouvrages annexes (Bâtiment d'exploitation, clôture ...). ▪ Réutilisation des eaux traitées : Non ▪ Coût d'investissement/ financement : 41 MDH (PNA 20,5 MDH/DE 12,5 MDH)
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Régie/ONEE/Convention avec commune : ONEE- Branche Eau
Etat d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entretien : <ul style="list-style-type: none"> - Entretien systématique Assurée par L'entreprise ELECLEAU FOUNA par un contrat de sous-traitance ▪ Performance : DBO5 : entre 80 mg/l et 110 mg/l DCO : 240 mg/l MES : entre 130 mg/l et 160 mg/l. - Le rejet de la STEP est conforme pour le paramètre de la DCO, DB_{O5} et MES.
Situation Environnementale	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mesures préconisées par EIE La DRE ne dispose pas de l'EIE car son examen a été fait par le Comité National des EIE.

Annexe n° 3

- Photos des campagnes de mesures et de prélèvements des échantillons













Annexe n° 4

- Photos prises au laboratoire d'analyses d'ABHOER

